

پهنه‌بندی غلظت مس و بررسی هم‌بستگی pH و EC با عنصر مس در خاک‌های مجتمع مس سرچشمه

نجمه شفیعی* و حسین شیرانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۵)

چکیده

مس یکی از عناصر مهم غذایی برای گیاه محسوب می‌شود که در صورت داشتن غلظت بالا در خاک می‌تواند به عنوان یک عنصر آلاینده محسوب گردد. مقدار قابل جذب این عنصر در محدوده اطراف معدن مس سرچشمه می‌تواند زیاد باشد. بدین منظور، الگوی نمونه‌برداری خاصی به مرکزیت دودکش‌های کارخانه‌ی ذوب مجتمع و به شعاع ۶ کیلومتر، در سه جهت مختلف (مسیر رفسنجان، شهرک و معدن) طرح‌ریزی و نمونه‌ها در فصل تابستان جمع‌آوری شدند. غلظت کل مس قابل جذب و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند: pH و EC در ۱۲۲ نمونه‌ی خاک سطحی (عمق صفر تا ۳۵ سانتی‌متری)، اندازه‌گیری گردید که pH هم‌بستگی معنی‌دار و منفی و EC هم‌بستگی مثبت معنی‌داری با غلظت کل مس قابل جذب در هر سه مسیر نشان داد. بهترین مدل برازش داده شده، مدل کروی بود و به‌منظور پهنه‌بندی مقدار مس قابل جذب از کریجینگ معمولی استفاده گردید. نتایج نشان داد بیشترین غلظت کل این عنصر در جهت رفسنجان بوده است. هم‌چنین با توجه به جهت وزش باد غالب در این مجتمع که به سمت رفسنجان می‌باشد، نتایج حاکی از آن است که خروجی دودکش‌ها بر افزایش مقدار عنصر تأثیر داشته و بدین دلیل تجمع عنصر مس در اطراف دودکش‌ها بیش از سایر نقاط می‌باشد. هم‌چنین، انتقال این عنصر توسط باد از دودکش‌ها تا حدود ۴ کیلومتری بعد از کارخانه مؤثر بوده است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، مس، تغییرات مکانی، محیط زیست، مجتمع مس سرچشمه

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shafieenajme1086@yahoo.com

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در خاک به مشکل عمده‌ای تبدیل شده است که با ورود به زنجیره‌ی غذایی بر سلامت انسان، موجودات زنده و تولیدات کشاورزی تأثیر بگذارد (۱۰، ۲۰ و ۲۵). به دلیل پتانسیل این فلزات در ایجاد خطر برای سلامتی انسان، آلودگی خاک با فلزات سنگین توجه عموم و سازمان‌های دولتی را به ویژه در کشورهای در حال توسعه به خود جلب کرده است (۲۵). تقریباً اکثر عناصر سنگین در خاک باقی مانده و تجمع می‌یابند و این به دلیل طبیعت غیر متحرک آنها می‌باشد (۱۱ و ۱۳). سه منبع اصلی عناصر سنگین شامل "سنگ مادر"، "عوامل انسانی" و "عوامل خاکی" می‌باشند (۱۷). تمایل عناصر کمیاب نسبت به جذب در بخش‌های مختلف خاک، به شدت به وسیله خواص الکتروشیمیایی کنترل می‌شود. این عامل، رابطه نزدیکی با برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند: سطح ویژه، ظرفیت تبادل کاتیونی، PH و EC و مواد آلی خاک دارد (۱۷). اما در اغلب موارد، تأثیر واکنش خاک بر روند حرکت عناصر سنگین، به مراتب بیشتر از پتانسیل اکسیداسیون و کاهش می‌باشد (۲). اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز به صورت پوششی روی سطح ذرات خاک و یا به عنوان پرکننده شکستگی‌ها و رگه‌ها و یا به صورت متمرکز (نودول) وجود دارند و دارای ظرفیت بالایی برای جذب عناصر سنگین می‌باشند (۶). کربنات‌ها از اجزای معمول برخی خاک‌ها می‌باشند و تأثیر مهمی بر واکنش خاک دارند. بنابراین، رفتار عناصر کمیاب را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. کربنات‌ها با افزایش pH خاک، باعث رسوب عناصر سنگین می‌گردند (۱۷). در صورتی که اقدام جدی در زدودن این آلاینده‌ها به عمل نیاید در آینده‌ای نه چندان دور صدمات جبران‌ناپذیر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی گسترده‌ای بروز خواهد کرد (۲۵). با توسعه و شکل‌گیری معدن‌کاری، صنایع ذوب و هم‌چنین استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی در دو قرن اخیر، انتشار عناصر سنگین مسمومیت‌زا به محیط‌های مختلف، به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (۲۳).

غالب این عناصر از طریق فعالیت‌های معدن‌کاری و صنایع وابسته به آنها، سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های کشاورزی صنعتی (قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها) و لجن فاضلاب آزاد می‌گردند (۸).

کانسار مس سرچشمه، جزء کانسارهای سولفید فلزی است (۲). نکته‌ی مهم این است که مواد معدنی سولفیدی در رسوبات، وقتی در مجاورت اکسیژن قرار می‌گیرند، موجب کاهش pH شده و در نتیجه امکان جابه‌جا شدن فلزات سنگین افزایش می‌یابد (۱۹).

یکی از مشکلات عمده در تعیین آلودگی یک منطقه، عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط می‌باشد. استفاده از علم زمین‌آمار این مشکل را برطرف می‌سازد. این علم یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد. روش‌های زمین‌آمار را می‌توان جزء بهترین تخمین‌گرهای ناریب در نظر گرفت (۲۱).

کاسیوت و همکاران (۹)، آلودگی حاصل از آنتیموان و آرسنیک ناشی از معدنی در جنوب فرانسه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که فعالیت‌های معدن‌کاری در این منطقه باعث افزایش غلظت مجاز این دو عنصر در خاک‌ها شده است (۹). محمدی (۱۸) و مارتین و همکاران (۱۶) مطالعات گسترده‌ای را در زمینه‌ی کاربرد زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین انجام داده‌اند (۱۶ و ۱۸). هدف اصلی از انجام این پژوهش، ارزیابی میزان غلظت فلز مس در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه توسط مطالعات زمین‌آمار و بررسی هم‌بستگی میان pH و EC منطقه با میزان ورود مس از کارخانه به محیط اطراف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، شامل اراضی معدن مس سرچشمه و اطراف آن واقع در دشت رفسنجان و در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری رفسنجان می‌باشد. متوسط

طبیعت داده‌ها می‌باشد. یکی از روش‌های معتبر و بسیار رایج برای بررسی چگونگی توزیع داده‌ها آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolomogrove - Smirnov) می‌باشد (۲۲). زمانی که سطح معنی‌دار آزمون کمتر از ۵ درصد باشد، فرض نرمال بودن داده‌ها رد می‌شود. واضح است که اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند. داده‌هایی که شرایط نرمال نداشته باشند، با استفاده از توابع تبدیل مختلف، به مقادیری با توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. بیشتر تبدیلات غیر خطی بوده، چرا که تغییر شکل توزیع فراوانی از یک تبدیل خطی ساخته نیست. در بسیاری از موارد داده‌ها دارای توزیع نامتقارن با چولگی مثبت می‌باشند. در این شرایط اغلب با تابع تبدیل لگاریتمی، توزیع داده‌ها متقارن گشته و به توزیع نرمال نزدیک می‌گردد. ارتباط میان متغیرها نیز از طریق بررسی ضریب هم‌بستگی ارائه شد. ضریب هم‌بستگی شدت رابطه و هم‌چنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر می‌باشد (۵).

در این پژوهش با استفاده از تبدیل لگاریتمی، داده‌ها به حالت نرمال نزدیک شدند و هم‌بستگی میان داده‌ها بررسی شد.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

تغییرنما، مهم‌ترین ابزار بروز هم‌بستگی‌های فضایی بین داده‌ها می‌باشد. در واقع تغییرنما، میانگین مربعات تفاضل دو مقدار را به عنوان تابعی از افزایش فاصله بین آنها نشان می‌دهد (۱). به‌طور کلی تخمین زمین آماری، فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد (۴). در این پژوهش، از روش کریجینگ معمولی که بهترین تخمینگر نارایب می‌باشد برای درونیابی مناطق مورد تخمین استفاده شد. تخمینگرهای نارایب میانگین خطای نزدیک صفر را به‌دست می‌دهند (۲۱). جهت استفاده از این روش بایستی از ابزار واریوگرام برای تعیین پارامترهای

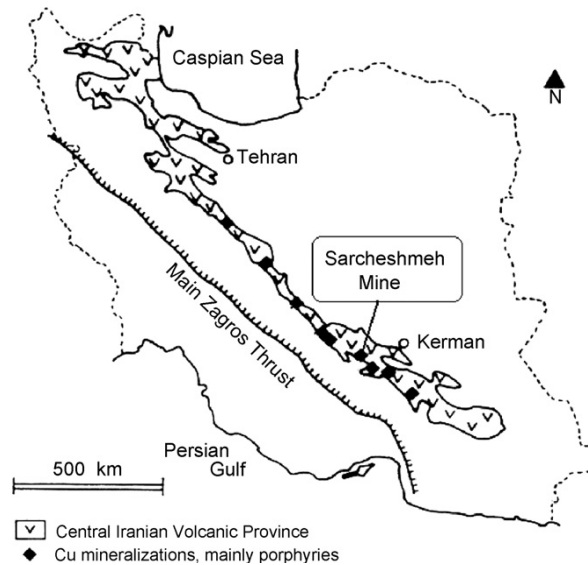
بارندگی منطقه سرچشمه ۲۰۰ میلی‌متر و طول دوره سرما در این منطقه سردسیر نسبتاً زیاد بوده و با وزش باد همراه می‌باشد. متوسط بارندگی در دشت رفسنجان ۹۰ میلی‌متر گزارش شده است (۲۴) (شکل ۱).

نمونه‌برداری و تجزیه

به منظور تهیه نقشه پراکندگی غلظت کل مس (مس عصاره‌گیری شده با DTPA یا مس قابل جذب)، نمونه‌برداری خاک در تابستان ۱۳۸۹ و در سه مسیر مختلف، رفسنجان-کارخانه، کارخانه-شهرک و کارخانه-معدن انجام گرفت. مختصات نقاط نمونه‌برداری نیز توسط دستگاه GPS ثبت شده است. در این پژوهش سعی شد تعداد ۱۲۲ نمونه خاک از خاک‌های سطحی حداکثر تا عمق ۳۵ سانتی‌متری از منطقه‌ای به مرکزیت دودکش‌های کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه به شعاع ۶ کیلومتر، جمع‌آوری شود. فواصل نمونه‌برداری به‌طور متوسط با در نظر گرفتن شیب، توپوگرافی و یا در مواردی عدم امکان نمونه‌برداری به لحاظ برخورد با نقاط صعب‌العبور حدود ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. فواصل نمونه‌برداری در نقاط نزدیک به دودکش‌ها کمتر و به ۵۰ متر رسید و با دور شدن از کارخانه فواصل افزایش و به ۶۰۰ متر رسید. از هر محل تقریباً ۳ کیلوگرم خاک برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده پس از خشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری، عبور داده شدند. الگوی نمونه‌برداری نمونه‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. غلظت کل مس، توسط روش ICP-MS تعیین شد (۱۵). هم‌چنین برای نمونه‌های خاک، گل اشباع تهیه و pH آنها توسط دستگاه pH متر و EC سنج به کمک دستگاه EC متر تعیین شد.

پردازش آماری تک متغیره داده‌ها

بررسی توصیف داده‌ها و هم‌بستگی بین آنها با کمک نرم‌افزار SPSS.19 تعیین شد (۵). اطلاع از پارامترها و ویژگی‌های آماری گروهی از داده‌ها شامل میانگین و واریانس به ویژه انحراف از حالت نرمال، اولین قدم برای شناسایی



شکل ۱. موقعیت معدن مس سرچشمه (۲۴)

پراکنندگی آلودگی و نقشه‌های واریانس تخمین با استفاده از نرم‌افزار Surfer 9 رسم شد.

اعتبار سنجی (Cross Validation) مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام‌ها

در تخمین‌های کریجینگ به دلیل وابستگی شدید دقت نتایج به مدل مفروض، این کنترل به طور خاص، اهمیت دو چندان دارد. علاوه بر این، انتخاب مدل واریوگرام، فرآیند حساسی بوده و به خاطر این که شکل دقیق واریوگرام به هیچ وجه از قبل معلوم نیست، مدل فقط به عنوان تقریبی از تابع آن واریوگرام کمک می‌کند. کنترل اعتبار در واقع تخمین هر نقطه نمونه برداری شده در یک ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه‌های همسایه (بدون در نظر گرفتن مقدار خود آن نمونه)، با روش کریجینگ می‌باشد. به منظور آگاهی از این که آیا مدل واریوگرام پارامترهای تجسس همسایگی در تخمین کریجینگ، به درستی تغییرات فاصله‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده نمونه‌ها را لحاظ می‌کند، مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی مقایسه می‌شوند. در این روش تخمین کریجینگ که به نام تخمین جک‌نایف نامیده می‌شود هر نقطه معلوم با استفاده از نمونه‌های همسایگی

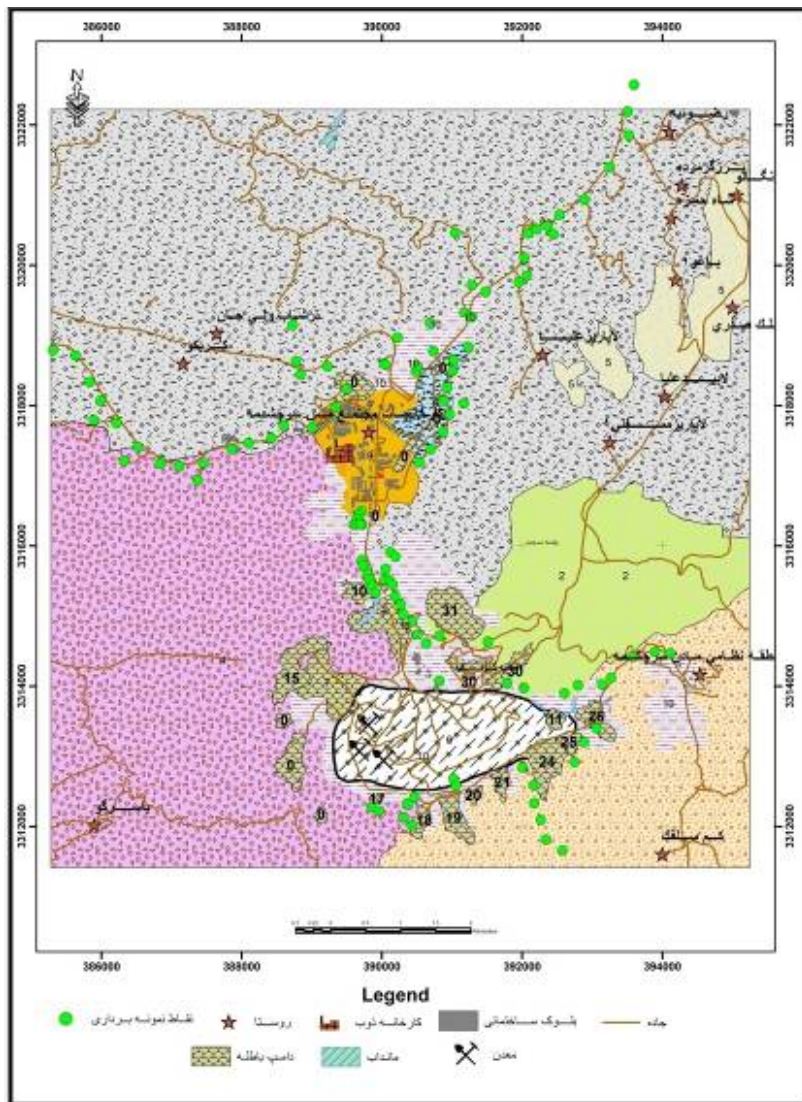
مورد نیاز کریجینگ استفاده کرد. واریوگرام ابزاری است که به صورت زیر تعریف می‌شود (۱):

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] \\ &= E[Z(x+h) - Z(x)]^2 \end{aligned} \quad [1]$$

" $2\gamma(h)$ " واریوگرام و E امید ریاضی برای هر جفت از مقادیر متغیرهای $Z(x)$ و $Z(x+h)$ است و به ازای هر مقداری از فاصله h . عبارت $\{Z(x+h) - Z(x)\}$ باید دارای واریانس معینی (Var) باشد که به مختصات، وابسته نبوده و تابعی از فاصله است. هم‌چنین واریوگرام عنصر مورد مطالعه توسط نرم‌افزار Variowin 2.2 رسم شد. کریجینگ یک میانگین متحرک وزن دار است. این تخمینگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z_V^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{V_i} \quad [2]$$

که در آن Z_V^* عیار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و Z_{V_i} عیار نمونه i ام است (۴). برای تخمین توزیع آلودگی عنصر مس به کمک نرم‌افزار Wingslib و از روش کریجینگ برای تخمین آلودگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد و سپس داده‌ها توسط عکس تبدیل لگاریتمی به محدوده داده‌های خام عودت داده شدند. هم‌چنین نقشه‌های



شکل ۲. الگوی نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی (مختصات موجود روی شکل، از نوع UTM می‌باشد)
 (UTM: طول و عرض جغرافیایی بر حسب متر در سیستم تبدیلی مرکاتور)

اسمیرنوف توزیع مس کل در منطقه از تابع نرمال پیروی نکرده است. در نتیجه با گرفتن لگاریتم طبیعی نپین (Ln) از داده‌های حاصله با توزیع لاگ نرمال، توزیع آنها تا حد ممکن به توزیع نرمال نزدیک شد (۱). حسنی‌پاک (۱)، اعلام کرد که در بررسی یک سری از داده‌های ژئوشیمیایی مانند توزیع عناصر در سنگ‌ها، خاک‌ها و آب‌ها، طبیعت توزیع، غالباً لاگ نرمال است. شکل ۳ نمودار هیستوگرام داده‌های خام مس و شکل ۴ نمودار هیستوگرام داده‌های نرمال شده‌ی مس را نشان

اطراف آن نمونه تخمین زده می‌شود (۱). این اعتبارسنجی توسط تخمینگر جک نایف در نرم‌افزار GS⁺ تهیه شد.

نتایج و بحث

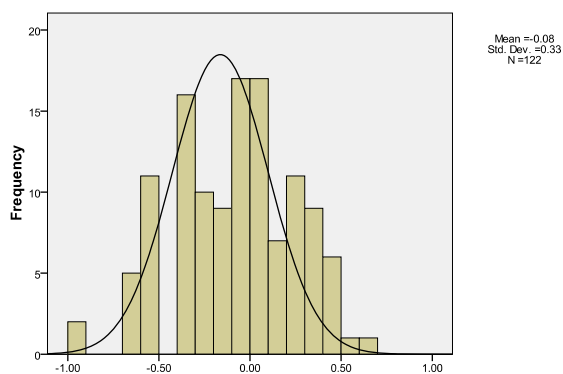
خلاصه‌ی آماری حاصل از توصیف داده‌های کلی مس در جدول ۱ و خلاصه آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده مربوط به سه جهت مختلف نمونه‌برداری در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج آماری جداول ۱، ۲ و آزمون کلموگروف _

جدول ۱. خلاصه آماری حاصل از توصیف داده‌ی مورد مطالعه ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

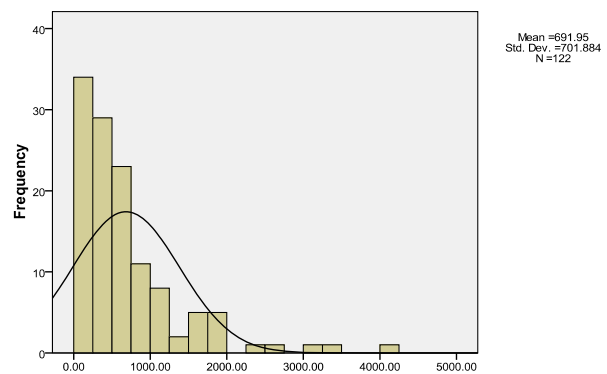
متغیر	تعداد نمونه	میانگین	میانه	واریانس	انحراف معیار	مد	کشیدگی	چولگی	کمینه	بیشینه
Cu	۱۲۲	۶۹۱/۹۵	۴۶۷/۸	۴۹۲۶۴۰/۷	۷۰۲/۶	۲۳۷/۵	۶/۷	۲/۳	۶۴/۲	۴۱۴۲/۴

جدول ۲. مقایسه آماره‌های آماری در سه مسیر نمونه برداری

عنصر	آماره	مسیر نمونه برداری		
		رفسنجان	معدن	شهرک
مس ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	تعداد	۳۹	۵۷	۲۶
	میانگین	۱۰۱۳/۲	۶۳۱/۰	۳۴۳/۵
	کمینه	۶۴/۲	۹۹/۱	۱۰۵/۳
	بیشینه	۴۱۴۲/۴	۲۵۳۸/۴	۱۸۷۹/۳
	میانه	۶۴/۲	۹۹/۱	۲۳۷/۵
	انحراف معیار	۹۱۰/۵	۵۴۸/۲	۳۹۳/۹
	میانگین	۷/۴	۷/۳	۷/۳
	کمینه	۶/۷	۶/۰	۶/۴
	بیشینه	۷/۸	۸/۱	۷/۹
	میانه	۷/۵	۷/۴	۷/۲
EC (dS/m)	انحراف معیار	۰/۲	۰/۴	۰/۳
	میانگین	۰/۷	۰/۵	۰/۵
	کمینه	۰/۲	۰/۱	۰/۱
	بیشینه	۴/۳	۲/۴	۱/۶
	میانه	۰/۳	۰/۴	۰/۳
	انحراف معیار	۰/۶	۰/۴	۰/۴
	میانگین	۰/۵	۰/۷	۰/۷
	کمینه	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱
	بیشینه	۲/۶۷	۰/۱۵	۱/۲
	میانه	۰/۵	۰/۶	۰/۷
کربن آلی (%)	انحراف معیار	۰/۴	۰/۴	۰/۳
	میانگین	۲۰/۳	۲۰/۴	۱۹/۶
	کمینه	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۴/۳
	بیشینه	۲۵/۸	۲۷/۳	۲۳/۲
	میانه	۱۶/۴	۱۹/۷	۱۹/۵
	انحراف معیار	۴/۰	۳/۳	۲/۳
CEC (me/100g)	میانگین	۲۰/۳	۲۰/۴	۱۹/۶
	کمینه	۱۲/۴	۱۲/۴	۱۴/۳
	بیشینه	۲۵/۸	۲۷/۳	۲۳/۲
	میانه	۱۶/۴	۱۹/۷	۱۹/۵
	انحراف معیار	۴/۰	۳/۳	۲/۳
	انحراف معیار	۴/۰	۳/۳	۲/۳



شکل ۴. نمودار هیستوگرام داده‌های نرمال شده مس



شکل ۳. نمودار هیستوگرام داده‌های خام مس

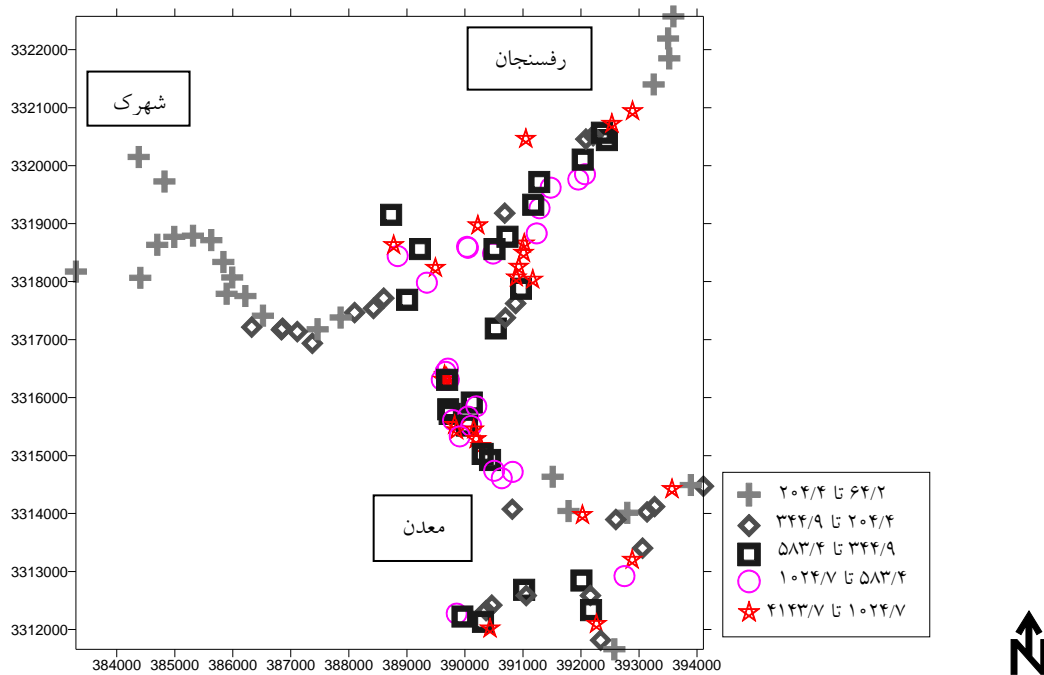
تخمینگر جک‌نایف در شکل ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هم‌بستگی مناسبی بین داده‌های واقعی و داده‌های تخمین زده شده (داده‌های حقیقی که یک به یک مورد تخمین قرار گرفته) وجود دارد، لذا می‌توان از پارامترهای واریوگرام برآزش داده شده برای تخمین کریجینگ استفاده نمود. در انتخاب مدل باید دقت کامل داشت، چنان‌چه در انتخاب آن اشتباهی صورت گیرد در کلیه مراحل بعد منعکس می‌گردد. جدول ۵، نتایج حاصل از مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ مس با داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. هم‌بستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از تخمین ۰/۹۷ به دست آمد که این مقدار در سطح یک درصد معنی‌دار است و نشان از دقت بالای تخمین دارد.

نقشه تخمین آلودگی و توزیع واریانس تخمین این عنصر در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. با استفاده از تخمینگر کریجینگ معمولی مناطق آلوده به عنصر مس مورد شناسایی قرار گرفت، ماکزیمم مقدار مس در کریجینگ معمولی به میزان ۸۳۹/۴۵ تا ۲۱۲۲ میکروگرم در کیلوگرم تخمین زده شد. مناطق آلوده به عنصر مس با رنگ قرمز در نقشه‌های حاصل از کریجینگ نشان داده شده‌اند. بر اساس آنالیزهای انجام شده، بافت خاک منطقه لوم شنی بوده و در نتیجه بالا بودن غلظت زمینه عنصر در این خاک دور از انتظار نیست. مقادیر بالای مس نشان داده شده مربوط به زمین‌شناسی منطقه مورد

می‌دهد. شکل ۵ نقشه پراکندگی غلظت مس کل خاک با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد. وبستر و الی‌ور (۲۶) در تحقیقات خود نشان دادند که معمولاً برای تبدیل توزیع غیر نرمال داده‌ها به یک توزیع نرمال، از تبدیل لگاریتمی استفاده می‌شود (۲۶).

دامنه تغییرات pH در کل منطقه مطالعات (مجموع سه مسیر) کمتر از ۲ بیشینه ۸/۱۹ و کمینه ۶/۰۲ می‌باشد و این بیانگر عدم تغییرات گسترده این ویژگی در منطقه است. به‌طور کلی در منطقه شرایط قلیایی حاکم است. هم‌چنین دامنه تغییرات غلظت مس در کل منطقه مطالعاتی (تفاوت بین مقادیر بیشینه و کمینه)، ۴۰۷۸/۲۱ با کمینه ۶۴/۲ و بیشینه ۴۱۴۲/۴۱ میکروگرم در کیلوگرم می‌باشد. جدول ۳، میزان ضریب هم‌بستگی میان داده‌ها را نشان می‌دهد. طبق جدول ۳، سطح معنی‌دار برای متغیرها کمتر از ۵ درصد است، در نتیجه هم‌بستگی میان pH و EC با مس وجود دارد.

واریوگرام غیر جهتی عنصر مس در شکل ۶ رسم شده است. مشخصات واریوگرام رسم شده در جدول ۴، آورده شده است. از آن‌جایی که توزیع نمونه‌ها با چگالی کم صورت می‌گیرد و هم‌چنین در جهات مختلف نقاط کمی در ارزیابی واریوگرام شرکت می‌کنند، لذا از واریوگرام غیر جهتی که تعداد جفت نقاط مورد قبولی را برای رسم واریوگرام به کار می‌گیرد، استفاده شد. هم‌چنین اعتبارسنجی



شکل ۵. پراکنندگی غلظت مس کل خاک در منطقه مطالعاتی (میکروگرم در کیلوگرم). (مختصات موجود، از نوع UTM می باشد)

جدول ۳. ضریب همبستگی اسپیرمن تعداد ۱۲۲ نقطه

CU	EC	PH	
۰/۳۶۶**	۰/۶۳۶**	۱/۰۰۰	PH
۰/۷۹۴**	۱/۰۰۰	۰/۳۶۶**	EC

** : معنی دار در سطح ۱٪

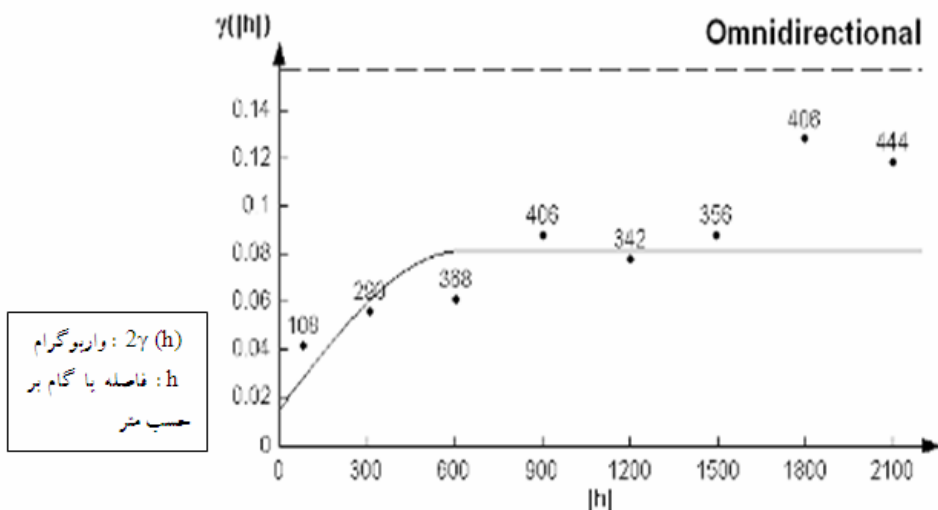
جدول ۴. پارامترهای واریوگرام برازش داده شده

۰/۰۱۸	اثر قطعه‌ای
۵۸۹	شعاع یا دامنه تأثیر
۰/۰۸	سقف

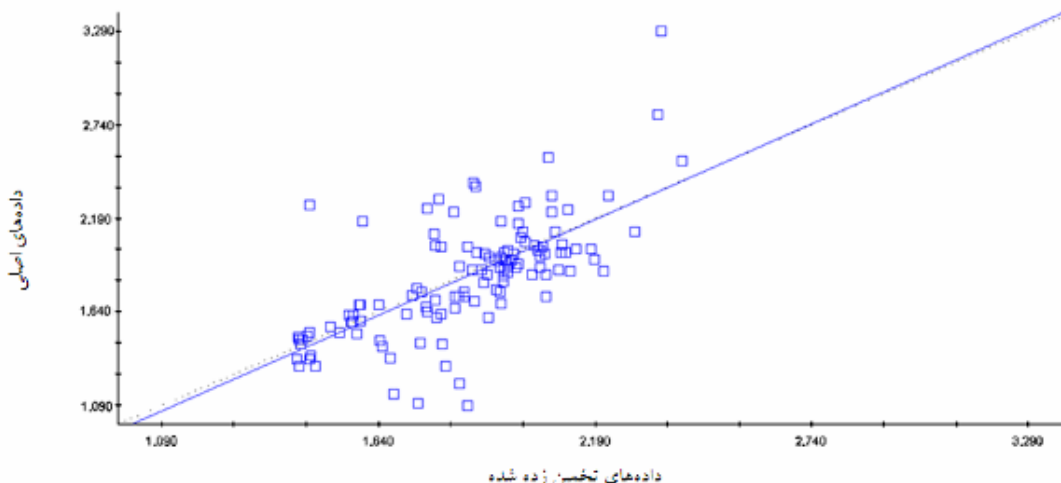
جدول ۵. مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ مس با داده‌های کلی

معیار	داده‌های واقعی	کریجینگ نقطه‌ای
تعداد	۱۲۲	۱۲۲
میانگین	۱/۰۸	۱/۰۷
انحراف معیار	۰/۸۱	۰/۷۰
MEE	-	۰/۰۰۱
ضریب همبستگی پیرسون	۰/۹۷**	

** : در سطح یک درصد معنی دار است.



شکل ۶. واریوگرام داده‌های مدل کروی حاصل از آنالیز مس

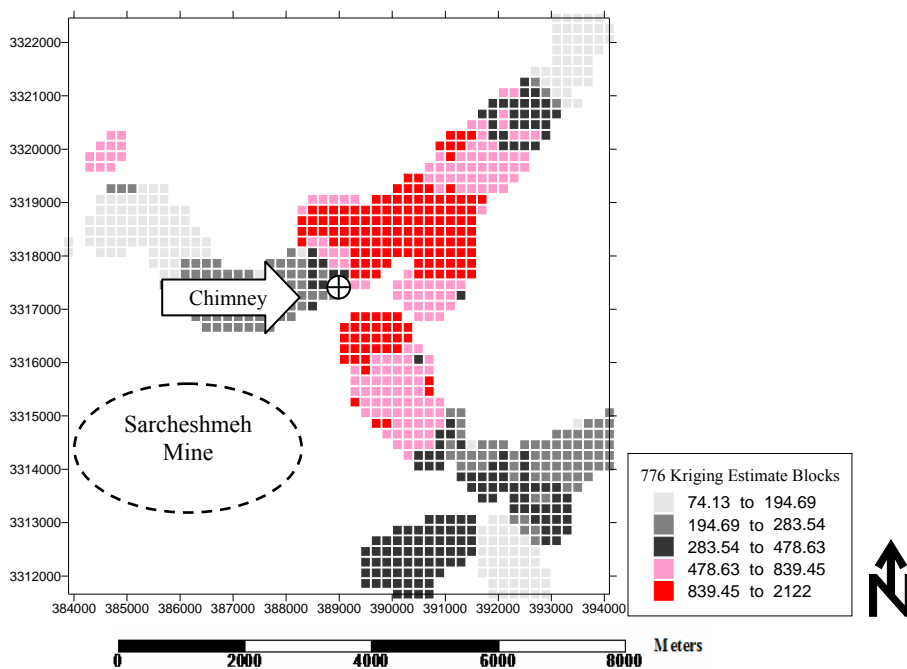


شکل ۷. نتیجه کریجینگ جک‌نایف عنصر مس بر حسب میکروگرم در کیلوگرم

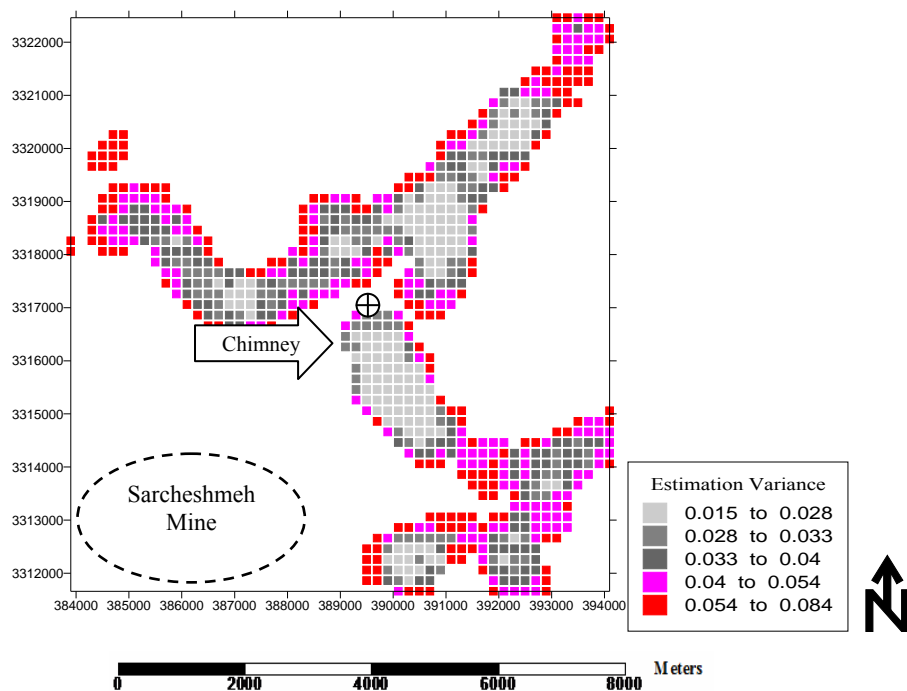
مسیر رفسنجان

دامنه تغییرات مس در این مسیر، ۴۰۷۸/۲۱ (۴۱۴۲/۴-۶۴/۲) با میانگین ۱۰۱۳/۲ میکروگرم در کیلوگرم، می‌باشد که مطابق با تغییرات کلی غلظت عنصر (مجموع سه مسیر) در منطقه است. در این مسیر حداکثر میزان pH ۷/۴۶ و EC ۴/۳۰ دسی زیمنس بر متر بود. اسیدیته هم‌بستگی منفی و EC هم‌بستگی مثبت معنی‌داری با غلظت کل مس در هر سه مسیر نشان دادند (جدول ۳). افزایش EC باعث افزایش قدرت یونی در خاک شده و می‌تواند باعث افزایش مس قابل جذب شود. هم‌چنین با

مطالعه می‌باشد و از ذات خود منطقه نشأت گرفته است. در نتیجه نوع مواد مادری در بالا بردن غلظت مس در این منطقه مؤثر است. وجود سنگ‌های کالکوسیت، کولیت، کالکوپیریت، کوپریت و مالاکیت در منطقه مطالعاتی این مطلب را تأیید می‌کند. با این تفاسیر مقایسه غلظت عنصر در خاک و غلظت‌های مجاز اعلام شده نشان می‌دهد که این خاک‌ها تقریباً از نظر عنصر مس به طور طبیعی غنی‌شدگی دارند. برخی از پژوهش‌گران نیز این نتیجه را گزارش کرده‌اند (۹، ۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۲۵).



شکل ۸. نقشه حاصل از کریجینگ نقطه‌ای مس (میکروگرم در کیلوگرم)



شکل ۹. نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ نقطه‌ای مس

با افزایش میزان اسیدیته، انتظار می‌رفت، غلظت مس کاهش یابد (۱۶) ولی افزایش یافت، به طوری که در نزدیکی دودکش‌ها

افزایش شوری کمپلکس‌های مس با کلر تشکیل شده که این کمپلکس‌ها حلالیت بیشتری نسبت به خود مس دارند (۱۴).

و در جهت رفسنجان بیشترین مقدار را داراست و به مقدار کمتر در مسیر معدن مشاهده می‌شود. در نتیجه جهت وزش باد و خروجی دودکش‌ها در غنی‌شدگی این عنصر موثر می‌باشد (۳). حد مجاز غلظت مس در محدوده طبیعی خاک‌ها بین ۲ تا ۲۵۰ میکروگرم در کیلوگرم و بر اساس استاندارد تعیین شده توسط اداره محیط زیست آمریکا، حد بهینه عنصر مس در خاک‌های غیر آلوده، حداکثر تا ۱۰۰ میکروگرم در کیلوگرم است (۱۲، ۱۷، ۱۹). بر اساس این طبقه‌بندی خاک منطقه در این مسیر مشکل آلودگی دارد. با توجه به نقشه پراکندگی عنصر مس، مناطق اطراف دودکش‌ها تا حدود ۴ کیلومتری در مسیر رفسنجان، غلظت مس نسبت به سایر مسیرها بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

منطقه‌ی مورد مطالعه در سمت رفسنجان به مناطق خشک منتهی می‌شود که میزان بارندگی در آنجا کم و شستشوی عناصر پایین و در نتیجه EC بالاست. با توجه به این که EC با غلظت قابل جذب مس در هر سه جهت هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشته است، عدم بارش کافی باعث شده جهت رفسنجان نسبت به دو جهت دیگر، تجمع غلظت مس بالاتری داشته باشد، زیرا همان‌طور که قبلاً بیان شد بالا رفتن EC به دلیل افزایش قدرت یونی و تشکیل کمپلکس‌های مس با کلر موجب افزایش مقدار مس قابل جذب می‌شود. لازم به ذکر است که در منطقه غلظت کل مس به علت وجود رگه‌های مس، بالاست. هم‌چنین با افزایش میزان pH انتظار می‌رفت، غلظت مس کاهش یابد، ولی افزایش یافت، به‌طوری‌که در نزدیکی دودکش‌ها و در جهت رفسنجان بیشترین مقدار را داراست و بر اساس نقشه توزیع آلودگی، تجمع عنصر مس در اطراف دودکش‌ها بیش از سایر نقاط است چرا که در آنالیز غبار خروجی از دودکش‌ها، عنصر مس دیده شده (طبق آمار روزانه کنترل کیفیت هوای مجتمع مس سرچشمه، مقدار مس خروجی از دودکش ۱۱/۵ درصد است (۳)) و با توجه به جهت وزش باد غالب در این مجتمع که به سمت رفسنجان می‌باشد، امکان پخش این عنصر در محیط‌های دورتر، در جهت رفسنجان،

مسیر معدن دامنه تغییرات مس در این مسیر ۲۴۳۹/۳۶ (۲۵۳۸/۴۷-۹۹/۰۱) با میانگین ۶۳۱/۰۶ میکروگرم در کیلوگرم می‌باشد. در این مسیر حداکثر میزان pH ۷/۳۸ و EC ۲/۴۸ دسی زیمنس بر متر بود. اسیدیته هم‌بستگی منفی و EC هم‌بستگی مثبت با غلظت کل مس در این مسیر نشان دادند (جدول ۳). با توجه به استانداردهای موجود، در بخش‌هایی از دو مسیر رفسنجان و معدن، غنی‌شدگی شدید مس وجود دارد. هم‌چنین با توجه به نقشه پراکندگی عنصر مس، منطقه غنی شده محل انتقال ذرات از سنگ‌شکن و اطراف کارخانه ذوب می‌باشد و در محل پیت معدن غنی‌شدگی شدیدی وجود ندارد. نتایج برخی تحقیقات نشان داد که فعالیت‌های معدن‌کاری در منطقه، باعث افزایش غلظت مجاز عناصر سنگین در خاک‌ها شده است (۹، ۱۶ و ۱۸).

مسیر معدن

مسیر شهرک دامنه تغییرات مس در این مسیر ۱۷۷۳/۹۹ (۱۸۷۹/۳۵-۱۰۵/۳۶) با میانگین ۳۴۳/۵۲ میکروگرم در کیلوگرم می‌باشد. در این مسیر حداکثر میزان pH ۷/۳۴ و EC ۱/۶۹ دسی زیمنس بر متر بود. اسیدیته هم‌بستگی منفی و EC هم‌بستگی مثبت با

مسیر شهرک

۲۲۱

رفسنجان می‌باشد. در نتیجه مقدار افزایش مربوط به زمین‌شناسی خود منطقه و قابل انتظار است و جهت وزش باد غالب در آن نقشی ندارد.

سیاسگزاری

نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از امور تحقیق و توسعه، بخش تحقیقات معدنی و زیست محیطی شرکت ملی صنایع مس ایران به دلیل حمایت مالی در جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

وجود دارد. بالطبع می‌توان به این نتیجه رسید که خروجی دودکش‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و جهت وزش باد، در انتقال مس در این مسیر و غنی‌شدگی این عنصر موثر است. در جهت شهرک و معدن، شرایط آب و هوایی بهتر شده و میزان بارندگی افزایش پیدا کرده است، در نتیجه در این دو مسیر قابلیت هدایت الکتریکی کاهش یافته است، اما در مسیر شهرک نسبت به معدن غلظت مس قابل جذب کمتر است، که مربوط به تفاوت عوامل زمین‌شناسی مانند سنگ‌شناسی، خاک، سن تشکیلات و ترکیب سنگ‌شناسی (گرانودیوریت و آندزیت دگرسان و غیر دگرسان شده) این مسیر نسبت به مسیر معدن می‌باشد (۱۶). میانگین غلظت عنصر در این مسیر کمتر از مسیر

منابع مورد استفاده

۱. حسنی پاک، ع. الف. و م. شرف الدین. ۱۳۸۴. تحلیل داده‌های اکتشافی. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.
۲. خراسانی پور، م. ۱۳۸۶. بررسی چرخه ژئوشیمیایی عناصر مسمومیت زای سنگین و تحلیل اثرات زیست محیطی آنها در محدوده شهرک مسکونی سرچشمه و مناطق مجاور آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳. شرکت کنترل کیفیت هوا. ۱۳۸۹. سنجش گازها و ذرات معلق در دودکش‌های مجتمع مس سرچشمه. امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه.
۴. مدنی، ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین‌آمار. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ۶۵۹ صفحه.
۵. مؤمنی، م. ۱۳۸۷. تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS. مرکز نشر کتاب نو، تهران، ۳۰۲ صفحه.
6. Binggan, W. and Y. Linsheng. 2010. A review of heavy metals contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 94: 99-107.
7. Bohling, G. 2005. Introduction to Geostatistics and variogram analysis. Kansas geological survey. geoff@kgs.ku.edu. 2093 pp.
8. Callender, E., 2005. Heavy metals in the environment-historical trends. In: Lokkar, B.S. (Ed.), *Environmental Geochemistry*. pp. 67-106. In: Holland, H.D. and K.K. Turekian. (Eds.), *Journal of Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Pergamon Oxford.
9. Casiot, C., M. Ujeric, J. L. Munoz and F. sedel. 2007. Antimony and arsenic mobility in a creek draining on Antimony mine abandoned 85 years ago. *Appl. Geochem.* 22: 788-789.
10. Jankite, A. and S. Vasarevicius. 2007. Use of poacea f. species to decontaminate soil from heavy metals. *Ekologija* 53(4): 84 - 89.
11. Greger, M. 2004. Metal availability, uptake, transport and accumulation in plant. PP.1-27. In: Prasad, M. N. V. (Ed.), *Heavy Metal Stress in Plants from Biomolecules to Ecosystems*. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
12. Kabata-Pendias, A. and A.B. Mukherjee. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. Springer-Verlag Pub., Berlin.
13. Lee, T.M., H.Y. Lai and Z.S. Chen. 2004. Effect of chemical amendments on the concentration of cadmium and lead in long-term contaminated soils. *Chemosphere* 57:1459-1471.
14. Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibrium in Soils*. Soil Chemistry and Mineralogy. John Wiley and Sons Ltd., USA.
15. Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
16. Martin, J.A.R., M.L. Arias and J.M.G. Corb. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain), Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variation. *Environ.*

- Pollut. 144: 1001-1012.
17. Merain, E., M. Anke, M. Inant and M. Stoeppler. 2004. Elements and their Compound in the Environment. 2nd ed., Wiley-VCH GMBH & CO. KGA, Weinheim, 1247 PP.
 18. Mohammadi, J. 1997. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. PhD. Thesis. Gent University, Belgium, 196p.
 19. Nyingi, J. K. 2002. Heavy metal distribution and enrichment at Port Reitz Creek, Mombasa. Western Indian Ocean J. Mar Sci. 1(1): 65-70.
 20. Pal, M., E. Horvath, T. Janda, E. Paldiand and G. Szalai. 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. J. Plant Nutr. Soil Sci . 169:239-246.
 21. Petard, F. 2001. A Strategy to Minimize ore Grade Reconciliation Problems Between the Mine and the Mill. Australian institute of mining and metallurgy; Melbourne.
 22. Reimann, C. F., P. Filzmoszer, R. Garrett and R. Dutter. 2008. Statistical Data Analysis Explained. John Wiley and Sons Ltd., USA.
 23. Schwab, A.P., D. Zhu and M.K. Banks. 2007. Heavy metal transport from mine tailings as affected by organic amendments. Bioresour. Technol. 98(15):2935-2941.
 24. Shayestehfar, M. R., S. KarimiNasab and H. Mohammadalizadeh. 2007. Mineralogy, petrology, and chemistry studies to evaluate oxide copper ores for heap leaching in Sarcheshmeh copper mine, Kerman, Iran. Intl. J. Hazardous Materials 154(1-3): 602-612.
 25. Xiaoqing, D., L. Chaolin, W. Jiaxin, L. Suting and Y. Bin. 2010. A novel approach for soil contamination assessment from heavy metal pollution: Alinkage between discharge and adsorption. J. Hazardous Materials 175(I): 1022-1030.
 26. Webster, R. and M.A. Oliver. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. Statistics in practice. 2nd ed., Wiley, Chichester, 271pp.

Copper Concentration Spatial Study and Correlation of pH and EC with Copper Element in Soils of Sarcheshmeh Copper Complex, Kerman, Iran

N. Shafiee* and H. Shirani¹

(Received : Feb. 7-2012 ; Accepted : May 5-2013)

Abstract

Copper is considered as one of the most important nutrient elements for plants. If its contents are concentrated higher than the standard value it can be considered as a pollutant element. The content of absorbable copper in the area around Sarcheshmeh copper mine can be significantly high. In this study, samples of soil were collected in summer through a particular sampling method with chimneys of Sarcheshmeh plant as the center of sampling area within a radius of 6km, in three different directions (Rafsanjan, Sarcheshmeh City and Sarcheshmeh mine) and. The total concentration of absorbable copper and some chemical properties of soil (i.e. pH and EC) were measured for 122 surface samples (depth of 0 to 35 cm). There was a significant negative regression between pH and total absorbable copper content, and a significant negative regression was observed between EC and total absorbable copper content. The best fitted model was spherical model, and Ordinary Kriging was applied to map the absorbable copper content. Results showed that most concentration of copper occurred in the Rafsanjan direction. Also, regarding wind orientation which blows towards Rafsanjan, the chimneys probably have a significant effect on increasing copper content in Rafsanjan; moreover, the copper content is substantially higher around chimneys than other areas. Also, transition of copper elements from chimneys by wind can be significant up to 4 km from Sarcheshmeh plant.

Keywords: Pollution, Copper, Spatial changes, Environment, Sarcheshmeh Copper complex.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Vali-Asr Univ. of Rafsanjan, Kerman, Iran.

*: Corresponding Author, Email: shafieenajme1086@yahoo.com