

## توزیع عناصر آرسنیک و سلیوم در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه کرمان

محمد رضا شایسته<sup>۱\*</sup> - نجمه شفیعی<sup>۲</sup> - حسین شیرانی<sup>۳</sup> - علی رضایی<sup>۴</sup> - محمد رضا کارگر دیاتی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۰

### چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعه مسایل آلودگی خاک در اطراف معادن و کارخانجات ذوب، توجه جدی متخصصان محیط زیست را به خود معطوف کرده است. در کشور ایران، با توجه به توسعه معادن، بررسی مسائل زیست محیطی امری ضروری به نظر می‌رسد. هدف اصلی این پژوهش، انجام مطالعات آماری و زمین‌آماری جهت ارزیابی و تهیه نقشه پراکنش عناصر آرسنیک و سلیوم در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه می‌باشد. جهت بررسی میزان تمرکز عناصر فلزی سنگین، مسیر نمونه‌برداری در سه جهت متفاوت انتخاب شد. از منطقه‌ای به مرکزیت دودکش‌های کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه به شعاع ۶ کیلومتر، تعداد ۱۲۰ نمونه خاک از خاک‌های سطحی حداکثر تا عمق ۳۰ سانتیمتری از مناطق بکر جمع‌آوری شد و بعد از آنالیز به روش پلاسما القایی - اسپکتروسکوپی جرمی (ICP-MS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در ابتدا، با توجه به توزیع داده‌ها، آنالیزهای آماری صورت گرفت. سپس از ابزار واریوگرام برای توجیه تغییرپذیری همه جهته استفاده شد و توسط روش تعیین اعتبار کریجینگ جک‌نایف، پارامترهای مدل واریوگرام برازش داده شده، تعیین اعتبار شدند. با استفاده از تخمینگر کریجینگ معمولی مناطق آلوده به عنصر آرسنیک و سلیوم مورد شناسایی قرار گرفت. با توجه به نقشه‌های ارائه شده، این نتیجه حاصل شد که احتمال تجمع عنصر آرسنیک در اطراف دودکش‌ها بیش از سایر نقاط می‌باشد و جهت وزش باد غالب در این مجتمع به سمت رفسنجان می‌باشد. همچنین در مورد سلیوم، نتایج نشان داد که بر عکس آرسنیک، جهت وزش باد تأثیری بر پراکنش آن نداشته و مقدار نشان داده شده به خصوصیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مربوط می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** نقشه پراکنش، آرسنیک، سلیوم، محیط زیست، زمین‌آمار، معدن مس سرچشمه

### مقدمه

اقتصادی برای هر کشوری امری ضروری است. اما در کنار آن باید به مسائل زیست محیطی معادن توجه کرد تا سلامت نسل‌های آینده به خطر نیفتد (۲). آلودگی خاک را نمی‌توان از آلودگی محیط زیست مستثنی نمود، زیرا خاک هم یکی از ارکان مهم محیط زیست محسوب می‌گردد و خاک آلوده می‌تواند آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده نماید. در مطالعات زیست محیطی، محیط ژئوشیمیایی خاک به دلیل ماهیت تشکیل و ارتباط مستقیم با منابع آلودگی طبیعی (زمین‌شناسی) و انسان‌زاد محیط مناسبی جهت تعیین تأثیر عوامل آلاینده می‌باشد. مقادیر عناصر در خاک‌ها به نوع مواد اولیه سنگی و فرآیندهای ثانویه موثر بر آنها بستگی دارد (۲۱، ۲۹). یکی از مهم‌ترین منابع آلوده کننده خاک می‌تواند عناصر فلزی سنگین و سمی از منشا غیرمتمرکز طبیعی باشد که از سنگ‌ها و تخریب آنها سرچشمه می‌گیرد (۱۴). سلیوم (Se)، عنصر سمی بالقوه و حیاتی برای حیوانات و انسان هاست. سلیوم بصورت ترکیب با دیگر مواد یافت می‌شود (۱۹، ۲۵). فراوانی سلیوم در پوسته زمین در محدوده ۰/۵۰ - ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گرفته است (۲۰).

امروزه از مهم‌ترین وظایف متخصصین علم ژئوشیمی معادن، پایش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی را می‌توان نام برد. حضور فلزات سنگین در خاک توسط فعالیت‌های صنعتی که اغلب با ضایعات کارخانه و یا به صورت گرد و غبار وارد محیط زیست شده، خطر بزرگی برای محیط زیست محسوب می‌شود (۸) و (۱۵).

استخراج معادن و استفاده از ذخایر برای پیشرفت‌های صنعتی و

۱- دانشیار گروه مهندسی معدن (پژوهشکده محیط زیست و انرژی) دانشگاه شهید باهنر کرمان

\*- نویسنده مسئول: (Email: shayeste@uk.ac.ir)  
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۴- کارشناس سازمان انرژی اتمی ایران و دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۵- مدیر امور معدن مجتمع مس سرچشمه کرمان

شناسایی و واریزه‌ها جدا شد (همگن‌سازی انجام شد). نمونه‌های خاک با اون خشک شده و پس از تقسیم‌کردن نمونه‌ها به روش چهارقسمتی (Quartering)، از الک ۲ میلیمتری، عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها، برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شدند. برای اندازه‌گیری غلظت کل آرسنیک و سلیوم از روش هضم نمونه‌های خاک با  $HClO_4$ ،  $HNO_3$ ،  $HF$ ،  $H_2O_2$  و  $HCl$  استفاده شد (۱۰) و برای اندازه‌گیری غلظت قابل جذب آنها از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد (۲۲) و غلظت‌های کل و قابل جذب آرسنیک و سلیوم با دستگاه ICP-MS قرائت گردید.

## نتایج و بحث

### آنالیز آماری

پارامترهای آماری پایه برای تفسیر رفتارهای محیطی عناصر آرسنیک و سلیوم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. اطلاع از پارامترها و ویژگی‌های آماری گروهی از داده‌ها شامل میانگین، واریانس و ... به خصوص انحراف از حالت نرمال، اولین قدم برای شناسایی طبیعت داده‌ها می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای آماری عناصر آرسنیک و سلیوم

پارامترهای آماری	Se ( $mg\ kg^{-1}$ )	As ( $mg\ kg^{-1}$ )
میانگین	۱/۰۸	۱۰۴/۰۱
انحراف معیار	۰/۸۱	۱۸۶/۳۶
واریانس	۰/۶۶	۳۴۷۳/۰۵
ضریب تغییرات (برحسب درصد)	۰/۷۵	۱/۸۰

نمودار فراوانی داده‌ها به عنوان ابزاری ارزشمند توصیف کننده این پارامترهای آماری می‌باشد. شکل‌های ۲ و ۳، نمودار فراوانی داده‌های عناصر آرسنیک و سلیوم را نشان می‌دهد.

### بررسی نرمال بودن داده‌ها

برای این که نوع توزیع داده‌های عناصر آرسنیک و سلیوم مشخص شود، از نمودار احتمال (P-P Plot) استفاده می‌شود. در حالت ایده‌آل، تمامی نقاط در یک نمودار احتمال مربوط به یک توزیع نرمال روی یک راستا (نیمساز ربع اول) قرار می‌گیرند. برای عناصر آرسنیک و سلیوم نمودار P-P Plot رسم شد (شکل‌های ۴ و ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود عناصر آرسنیک و سلیوم از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

منابع اصلی ترکیبات سلیوم اضافه شده به محیط زیست شامل احتراق سوخت‌های فسیلی (به ویژه زغال‌سنگ)، معدنکاری و پالایش مس و دیگر فلزات است (۱۷). آرسنیک (As) یکی از عناصر بسیار رایج در محیط زیست است. حدود ۶۰ درصد آرسنیک موجود در محیط زیست منبع بشرزاد دارد (۲۷). منابع صنعتی اصلی از آلودگی فعالیت‌های معدنی، تولید مس و اثرات کارخانه ذوب است (۴، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰ و ۳۲). میانگین غلظت آرسنیک در خاک‌های غیرآلوده به طور تقریبی ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۶، ۱۷ و ۲۳). در خاک‌های آلوده، غلظت آن ممکن است به ۱۴۰۰۰ و یا ۲۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد (۱۶).

معدن مس سرچشمه در ارتباط با رفتارهای زیست محیطی عناصر آرسنیک و سلیوم در خاک‌های اطراف آن است. هدف اصلی از انجام این پژوهش، ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین آرسنیک و سلیوم در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه توسط مطالعات آماری و زمین‌آماری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### طرح نمونه‌برداری

جهت ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین آرسنیک و سلیوم در اطراف معدن مس سرچشمه، نمونه‌برداری انجام گرفت. در این پژوهش، نمونه‌برداری خاک در سه جهت با فاصله گرفتن از دودکش-های کارخانه ذوب تا شعاع شش کیلومتری بر روی یک شبکه براساس شیب، توپوگرافی و منابع آلودگی در منطقه صورت گرفت. این سه جهت عبارتند از: کارخانه-رفسنجان، کارخانه-معدن، کارخانه-شهرک. فواصل این سه جهت حدود ۱۲۰ درجه بود که کل محیط دایره (مجتمع مس سرچشمه) را پوشش می‌داد. فواصل نمونه‌برداری به طور متوسط با در نظر گرفتن شیب، توپوگرافی و یا در مواردی عدم امکان نمونه‌برداری به لحاظ برخورد با نقاط صعب‌العبور و موانع جغرافیایی مثل کوه، ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. فواصل نمونه‌برداری در نقاط نزدیک به کارخانه کمتر و یا دور شدن از منبع آلودگی (دودکش‌ها) افزایش پیدا کرد. پس از هر ۱۰۰ متر فاصله از مجتمع با در نظر گرفتن دایره ای به شعاع ۱۰ متر، تعداد ۱۰ نمونه خاک ۲۰۰ گرمی از محیط دایره و از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری برداشته و با هم مخلوط گردید. موقعیت مرکز آن دایره به کمک دستگاه مکان‌یاب ثبت شد. در مجموع تعداد ۱۲۰ نمونه تهیه شد. شکل ۱، موقعیت نقاط نمونه‌برداری را در محدوده مجتمع مس سرچشمه نشان می‌دهد.

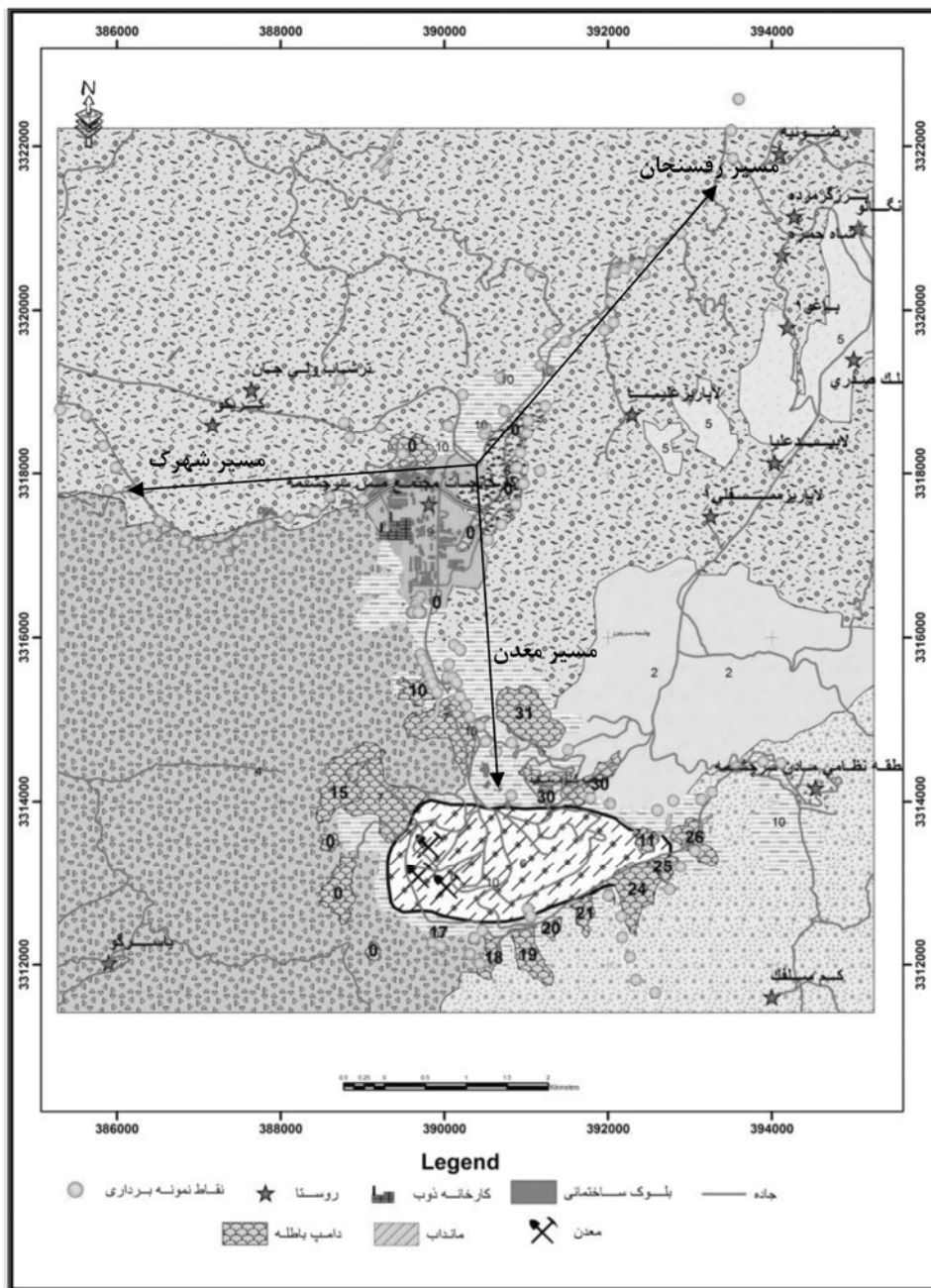
### آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز

در ابتدا، از نمونه‌های خاک برداشت شده، سنگ‌های قابل

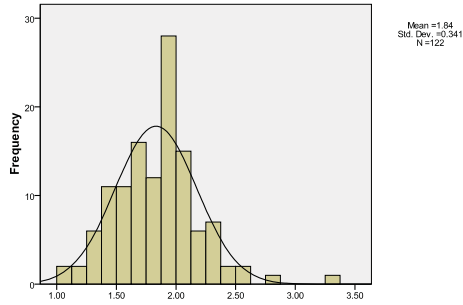
دارای توزیع نامتقارن با چولگی مثبت می‌باشند. در این شرایط اغلب با تابع تبدیل لگاریتمی، توزیع داده‌ها متقارن گشته و به توزیع نرمال نزدیک می‌شود. در این پژوهش با  $\ln$  گرفتن از داده‌های عناصر آرسنیک و سلیوم با توزیع لاگ نرمال، سعی شد توزیع آن‌ها تا حد ممکن به توزیع نرمال نزدیک شود (شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹).

### تبدیل داده‌ها به توزیع نرمال

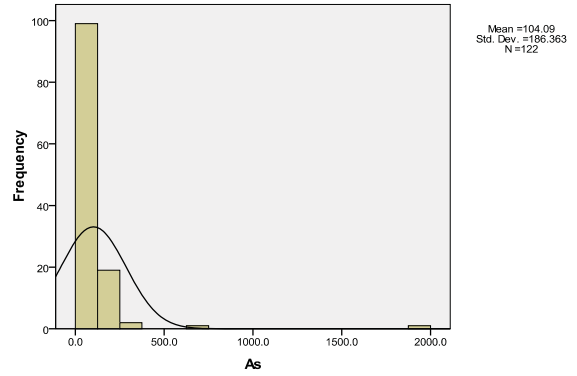
واضح است که اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند. داده‌هایی که شرایط نرمال نداشته باشند، با استفاده از توابع تبدیل مختلف، به مقادیری با توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. بیشتر تبدیلات غیر خطی بوده، چرا که تغییر شکل توزیع فراوانی از یک تبدیل خطی ساخته نیست. در بسیاری از موارد داده‌ها



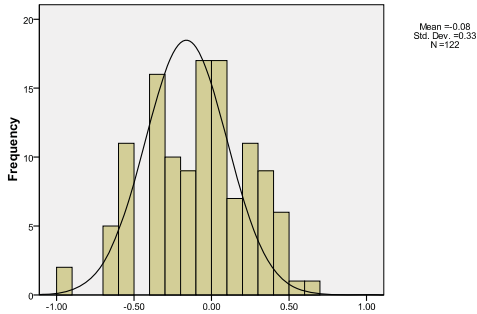
شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در محدوده مجتمع مس سرچشمه



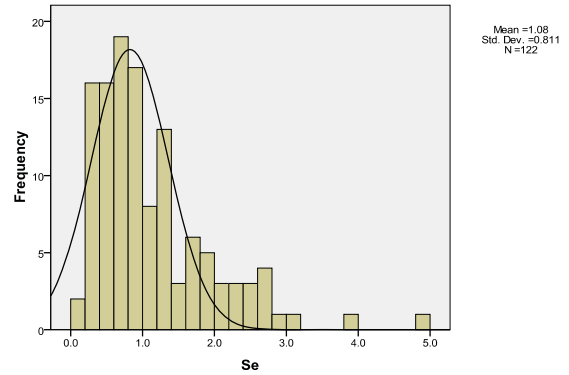
شکل ۶- نمودار فراوانی داده‌های نرمال شده آرسنیک



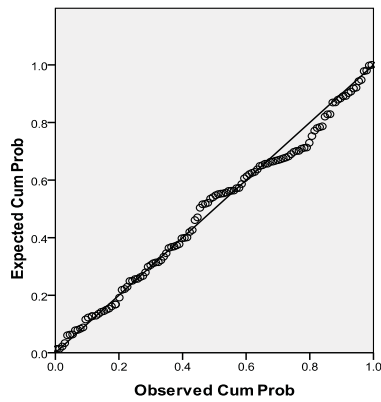
شکل ۲- نمودار فراوانی داده‌های خام آرسنیک



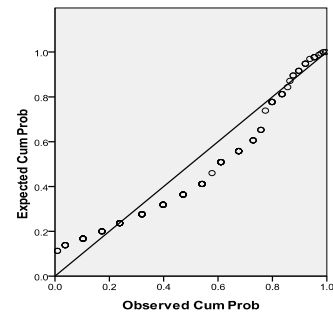
شکل ۷- نمودار فراوانی داده‌های نرمال شده سلنیوم



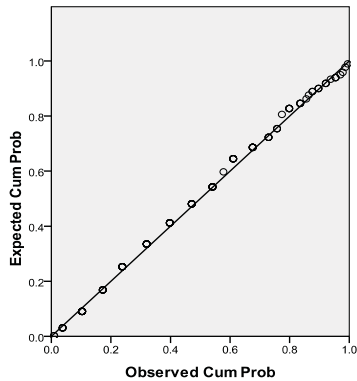
شکل ۳- نمودار فراوانی داده‌های خام سلنیوم



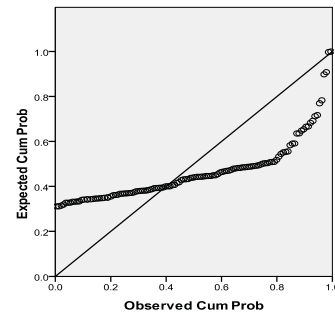
شکل ۸- نمودار P-P Plot مربوط به عنصر آرسنیک بعد از تبدیل داده‌ها با تابع لگاریتمی



شکل ۴- نمودار P-P Plot مربوط به عنصر آرسنیک



شکل ۹- نمودار P-P Plot مربوط به عنصر سلنیوم بعد از تبدیل داده‌ها با تابع لگاریتمی



شکل ۵- نمودار P-P Plot مربوط به عنصر سلنیوم

می‌کنند، لذا از واریوگرام غیر جهتی که تعداد جفت نقاط مورد قبولی را برای رسم واریوگرام به کار می‌گیرد، استفاده می‌شود (۲۸). واریوگرام غیر جهتی عناصر آرسنیک و سلیوم به ترتیب به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ رسم شده است.

### اعتبار سنجی<sup>۱</sup> مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام‌ها رسم مقادیر حقیقی<sup>۲</sup> در مقابل مقادیر محاسبه‌ای<sup>۳</sup> با استفاده از کریجینگ جک‌نایف<sup>۴</sup>

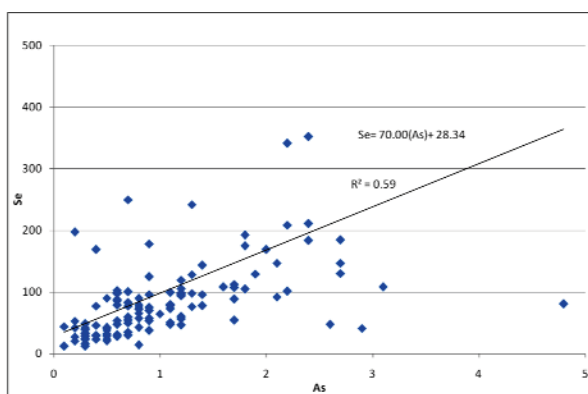
در تخمین‌های کریجینگ به دلیل وابستگی شدید دقت نتایج به مدل مفروض، این کنترل به طور خاص، اهمیت دو چندان دارد. علاوه بر این، انتخاب مدل واریوگرام، فرآیند حساسی بوده و به خاطر این که شکل دقیق واریوگرام به هیچ وجه از قبل معلوم نیست، مدل فقط به عنوان تقریبی از تابع آن واریوگرام کمک می‌کند. کنترل اعتبار در 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. همچنین اندازه بلوک‌ها  $100 \times 100$  متر در نظر گرفته شده است. 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 اطراف آن نمونه تخمین زده می‌شود (۱). این تخمین برای داده‌های عناصر آرسنیک و سلیوم توسط تخمینگر جک‌نایف انجام شد که نتایج آن در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ آمده است.

### ترسیم روابط خطی بین عناصر

یکی دیگر از راه‌های تشخیص ارتباط ژنتیکی بین عناصر، ترسیم روابط خطی بین عناصر است. نمودار همبستگی مربوط به دو عنصر آرسنیک و سلیوم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود آرسنیک با سلیوم دارای همبستگی مثبت است. به عبارتی با افزایش آرسنیک در منطقه، میزان سلیوم در منطقه نیز افزایش می‌یابد که این نشان دهنده آن است که آلودگی آنها منشأ مشترکی دارد.

### بررسی‌های زمین‌آماري

یکی از شروط اساسی جهت به‌کارگیری روش‌های زمین‌آماري، داشتن توزیع نرمال در داده‌ها می‌باشد (۹). در صورتی که نمودار توزیع داده‌ها از حالت نرمال پیروی نکند، برای استفاده از تخمین‌های زمین‌آماري می‌بایستی داده‌های خام را به طریقی به توزیع نرمال نزدیک کرد. در این پژوهش با استفاده از تبدیل لگاریتمی، داده‌ها تبدیل شدند که در قسمت‌های قبل این کار انجام شد. اکنون که توزیع داده‌ها به حالت نرمال نزدیک شد، می‌توان با استفاده از روش‌های زمین‌آماري مناطق را از نظر آلودگی بلوک‌بندی کرد. بطور کلی تخمین زمین‌آماري، 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 بدست آورد (۵). در این پژوهش، از روش کریجینگ معمولی که بهترین تخمینگر نارایب می‌باشد برای درونیابی مناطق مورد تخمین استفاده می‌شود. واریوگرام عناصر مورد مطالعه توسط نرم افزار Variowin 2.2 رسم می‌شود. از آنجایی که توزیع نمونه‌ها با چگالی کم صورت می‌گیرد و همچنین در جهات مختلف نقاط کمی در ارزیابی واریوگرام شرکت

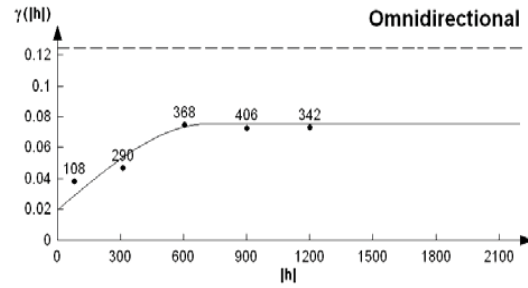


شکل ۱۰- نمودار همبستگی بین عناصر آرسنیک و سلیوم در منطقه مورد مطالعه

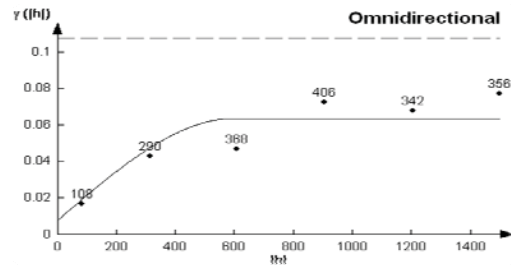
- 1- Cross Validation
- 2- Actual
- 3- Estimate
- 4- Jack Knife

همان طور که مشاهده می شود همبستگی مناسبی بین داده های واقعی و داده های تخمین زده شده (داده های حقیقی که یک به یک مورد تخمین قرار گرفته) وجود دارد، لذا می توان از پارامترهای واریوگرام برازش 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 می گردد.

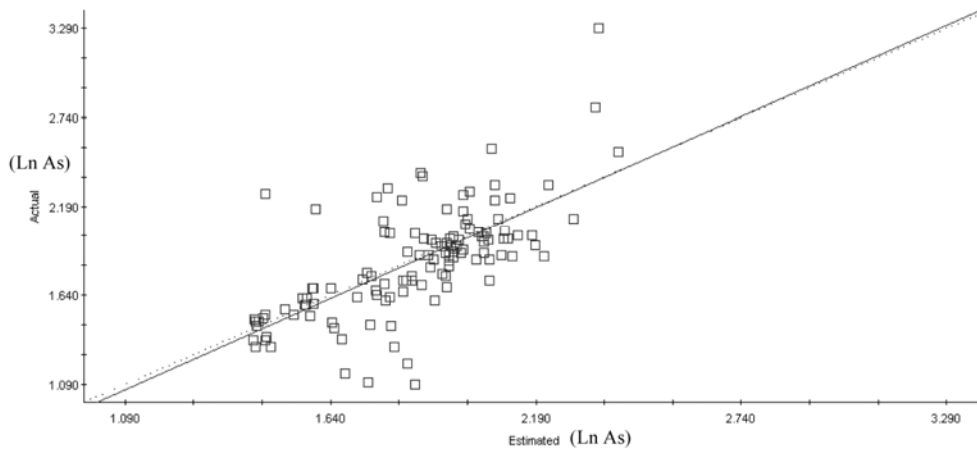
برای تخمین توزیع آلودگی عناصر آرسنیک و سلیسیم به کمک نرم افزار Wingslib از روش کریجینگ برای تخمین آلودگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد و سپس داده ها توسط عکس تبدیل لگاریتمی به محدوده داده های خام عودت داده می شود. نقشه های توزیع آلودگی این عناصر در شکل های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است.



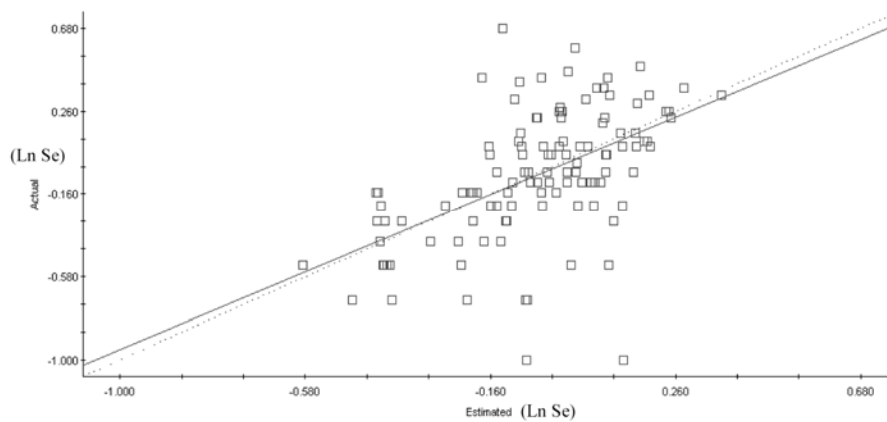
شکل ۱۱- واریوگرام داده های حاصل از آنالیز آرسنیک



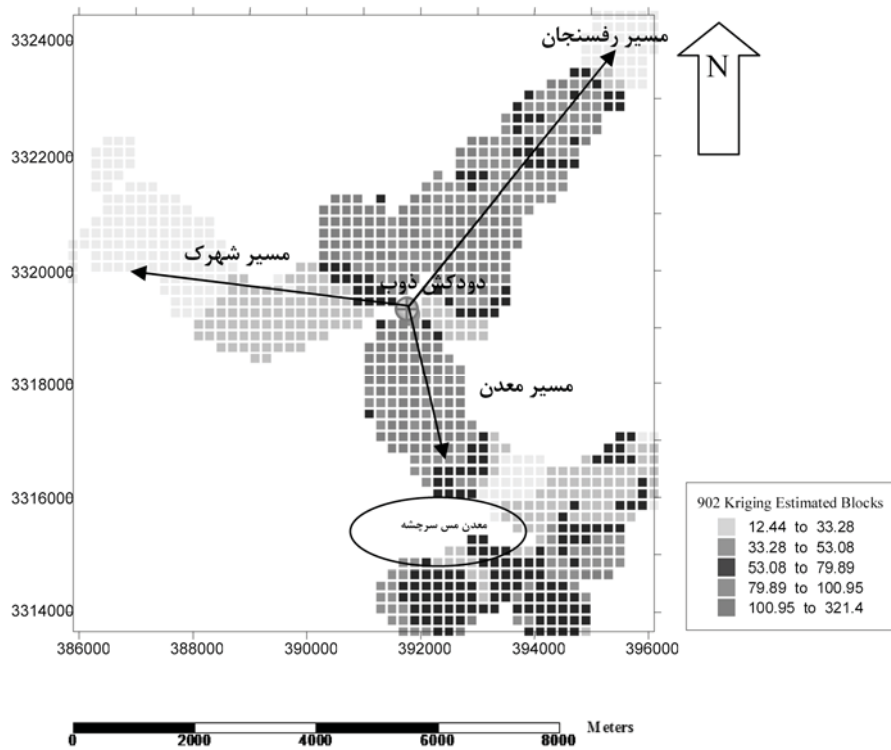
شکل ۱۲- واریوگرام داده های حاصل از آنالیز سلیسیم



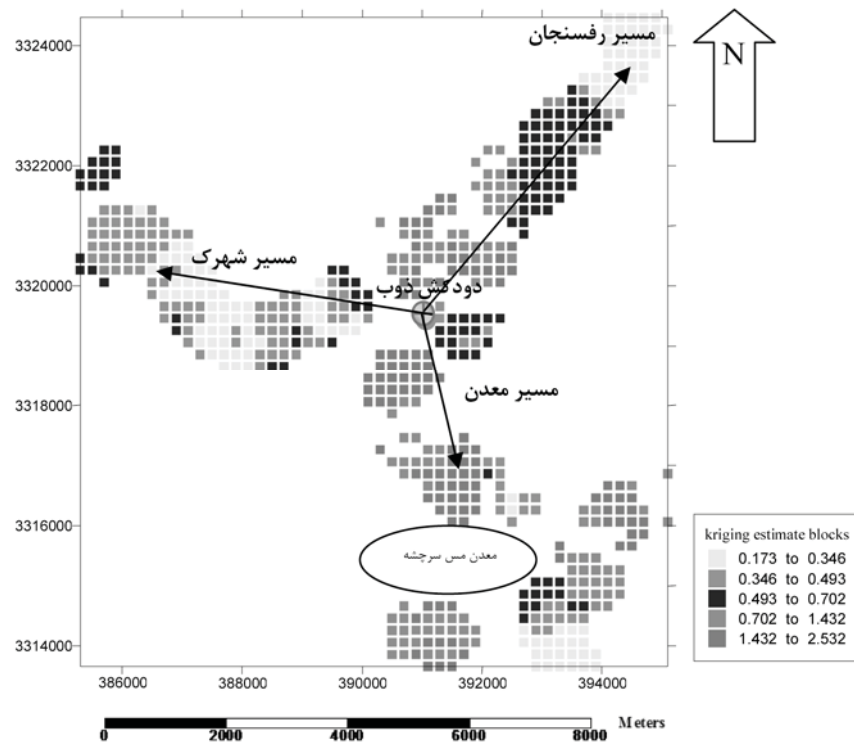
شکل ۱۳- نتیجه کریجینگ جک نایف عنصر آرسنیک



شکل ۱۴- نتیجه کریجینگ جک نایف عنصر سلیسیم



شکل ۱۵- نقشه حاصل از کریجینگ بلوک‌های تخمین زده شده برای عنصر آرسنیک



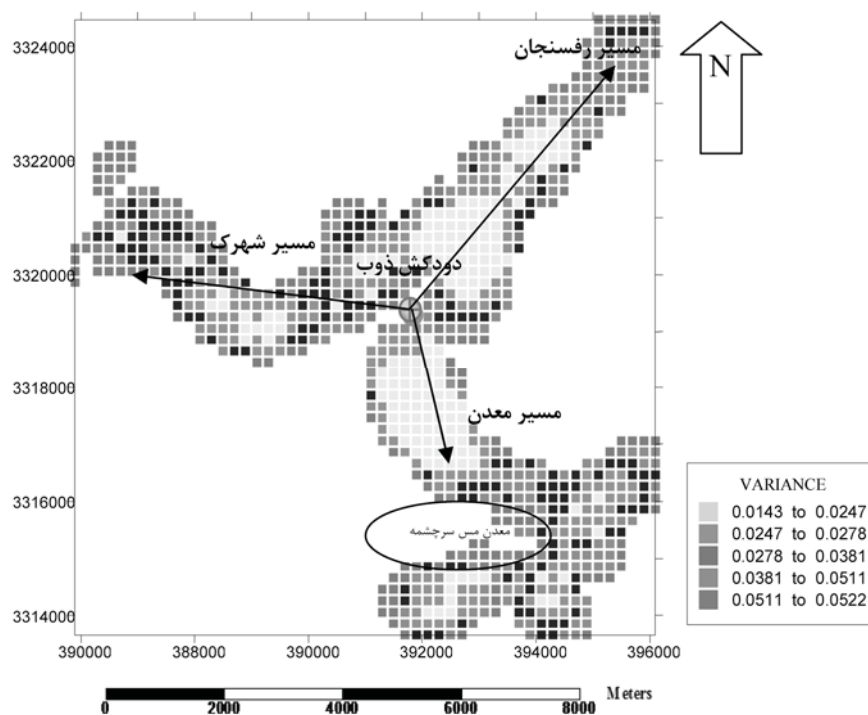
شکل ۱۶- نقشه حاصل از کریجینگ بلوک‌های تخمین زده شده برای عنصر سلیوم

عناصر آرسنیک در اطراف دودکش‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه و

همان‌طور که در نقشه‌ها مشاهده می‌شود، توزیع آلودگی برای

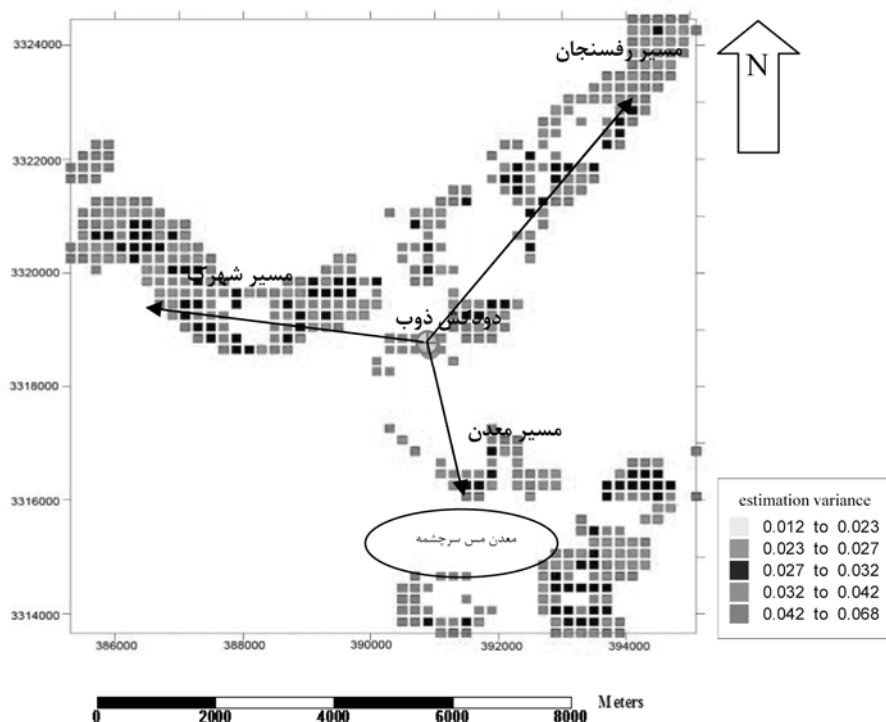
نشان داده شده در نقشه‌ها نیز، به علت وجود سنگ‌های گرانودیوریت و آندزیت دگرسان و غیر دگرسان شده در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد و بیشتر ناشی از خصوصیات ذاتی و مواد مادری منطقه است. یکی از نقاط قوت تخمینگر کریجینگ ارائه واریانس نقاط تخمین و در نتیجه اطلاع از میزان خطای تخمین می‌باشد. نقشه توزیع واریانس تخمین در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود واریانس تخمین در حاشیه‌ها به علت چگالی کم نمونه‌ها از بقیه مناطق بیشتر می‌باشد. با استفاده از تخمینگر کریجینگ معمولی مناطق آلوده به عنصر آرسنیک و سلینیوم به ترتیب با میزان  $100-320 \text{ mg kg}^{-1}$  و  $1/43-2/53 \text{ mg kg}^{-1}$  مورد شناسایی قرار گرفت. مناطق آلوده به عنصر آرسنیک با رنگ قرمز در نقشه‌های حاصل از کریجینگ نشان داده شده‌اند بطوری که در نزدیکی دودکش‌ها بیشترین مقدار را داراست و به مقدار کمتر در اطراف معدن مشاهده می‌شوند. دودکش‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه، تأثیری بر اضافه کردن سلینیوم در منطقه ندارند. با توجه به واریانس کمینه محاسبه شده که میانگین حدود  $0/05$  درصد واریانس را نشان می‌دهد، می‌توان به اعتبار تخمین کریجینگ اطمینان حاصل نمود.

در مسیر رفسنجان - کارخانه بیشترین مقدار را داراست (بیشترین میانگین غلظت آرسنیک در مسیر رفسنجان - کارخانه و سپس در مسیر معدن - کارخانه مشاهده می‌شود). عبارتی مناطق اطراف دودکش‌های ذوب تا حدود ۴ کیلومتری مسیر در جهت رفسنجان، غلظت آرسنیک نسبت به سایر مسیرها بیشتر است. با توجه به استانداردهای موجود، در قسمت‌هایی از دو مسیر رفسنجان - کارخانه و معدن - کارخانه، آلودگی آرسنیک وجود دارد و در سایر نقاط این دو مسیر آلودگی آرسنیک به صورت پراکنده و نقطه‌ای مشاهده می‌شود. بالا بودن میزان آرسنیک در اطراف پیت معدن، احتمالاً به علت وجود معادن سریدون و دره‌زار است که در نزدیکی پیت معدن قرار دارند. میانگین غلظت آرسنیک در مسیر شهرک - کارخانه کمترین مقدار را دارا می‌باشد بطوریکه آلودگی خاک نسبت به آرسنیک حداقل است. توزیع آلودگی برای عنصر سلینیوم علاوه بر اطراف دودکش‌های ذوب، در مسیر معدن - کارخانه نیز مقدار زیادی را نشان می‌دهد. براساس نقشه‌ی کریجینگ نقطه‌ای عنصر سلینیوم، مسیرهای رفسنجان - کارخانه و معدن - کارخانه از غلظت بالاتری نسبت به مسیر شهرک - کارخانه برخوردار هستند. البته بایستی به این نکته توجه داشت که در مسیرهای سه‌گانه مطالعاتی آلودگی سلینیوم وجود ندارد و مقادیر سلینیوم



شکل ۱۷- نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ برای عنصر آرسنیک





شکل ۱۸- نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ برای عنصر سلیوم

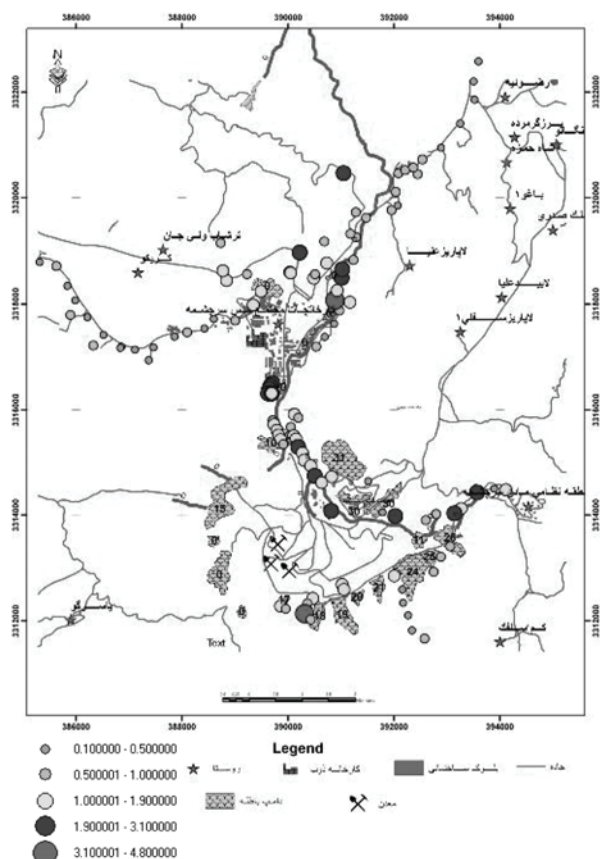
بالا بودن آرسنیک در اطراف پیت معدن می‌تواند به دلیل وجود معادن سریدون و دره‌زار نیز باشد. عنصر آرسنیک در کوره آند ذوب، به عنوان کمک ذوب و برای بالا بردن آمپراژ و افزایش تولید اضافه می‌شود که آلودگی اطراف دودکش‌ها به این علت می‌باشد. دلیل بیشتر بودن غلظت کل این عناصر در جهت رفسنجان، احتمالاً به خاطر این است که جهت باد غالب منطقه از جنوب غربی به شمال شرقی می‌باشد که باعث شده گازهای خروجی از دودکش‌ها که حاوی این عناصر هستند به سمت رفسنجان حرکت کنند. مطالعات پژوهشگران دیگر نیز، باد را عامل موثری در پراکنش و انتقال کادمیوم که از دسته فلزات سنگین است و در گازهای خروجی از دودکش‌های کارخانجات ذوب فلزات وجود دارد، عنوان کردند (۸ و ۳۱). در مطالعه دیگری، نقشه پراکنش آرسنیک و وانادیوم در استان اصفهان رسم گردید. بالاترین غلظت وانادیوم و آرسنیک در قسمت شمالی منطقه، واقع در نواحی شمالی کارخانه ذوب آهن مشاهده شد که به نظر رسید غالب بودن جهت باد به سمت غرب-شمال غرب در طول ۹ ماه از سال در پراکنش این دو عنصر در قسمت شمال منطقه بی‌تاثیر نبوده است (۳). مقادیر سلیوم نشان داده شده در نقشه‌ها نیز، به علت وجود سنگ‌های گرانودیوریت و آندزیت دگرسان و غیر دگرسان شده، وضعیت توپوگرافی و جهت حرکت آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بالطبع دودکش‌های ذوب مجتمع مس سرچشمه، تاثیری بر اضافه کردن سلیوم در منطقه ندارند.

همان‌طور که از نقشه‌های واریانس تخمین بر می‌آید، واریانس حاشیه‌ها (مناطقی است که نمونه‌گیری در آنها انجام نشده است) افزایش پیدا کرده است که این نشان دهنده آن است که در آن مناطق، تخمین اعتباری صورت نگرفته است (دقت و صحت کار انجام شده را نشان می‌دهد).

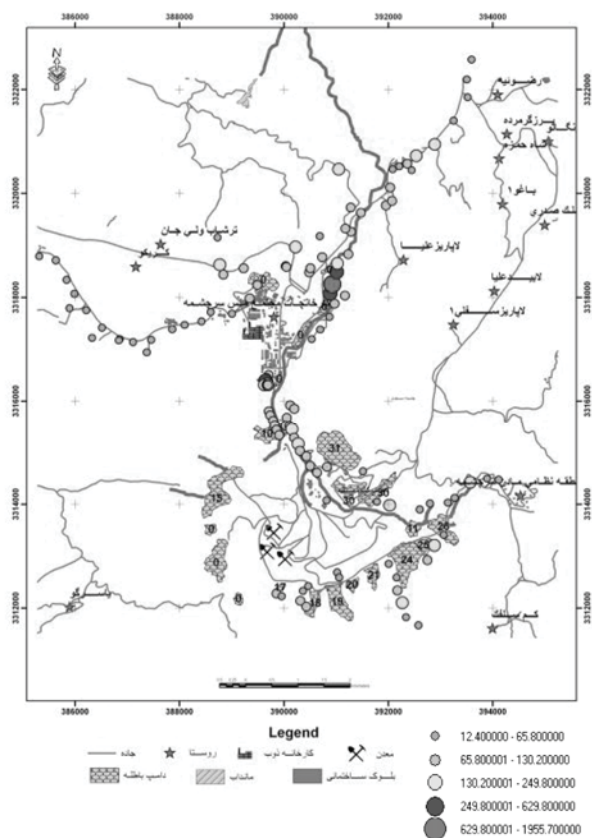
#### تاثیر زمین‌شناسی و جهت باد

با توجه به نقشه‌های ارائه شده (نقشه حاصل از کریجینگ بلوک-های تخمین زده شده) و همچنین نقشه‌های هم‌غلظت رسم شده (شکل‌های ۱۹ و ۲۰)، احتمال تجمع عنصر آرسنیک در اطراف دودکش‌ها بیش از سایر نقاط می‌باشد. با توجه به زمین‌شناسی منطقه، نقش مواد مادری در بالا بودن غلظت آرسنیک در منطقه نیز مؤثر است. همچنین وجود سنگ‌های حاوی آرسنوپیریت و انارژیت در منطقه مورد مطالعه این مطلب را تأیید می‌کند. با توجه به اینکه این دو عنصر در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها از طریق فعالیت‌های هیدروترمالی متمرکز شده و تا دگرسانی‌های سطحی (آرژیلیک) ادامه دارند. جهت وزش باد غالب در این مجتمع به سمت رفسنجان می‌باشد، لذا امکان پخش ذرات در محیط‌های دورتر، به علت بالا بودن فشار بخار آرسنیک، وجود دارد. آرسنیک عنصری مهاجرپذیر است که احتمال انتقال آن به راحتی وجود دارد. همچنین شباهت‌های زمین‌شناسی منطقه در این مسیر خود گواه بر این مهم است. از طرفی

(کارخانه ذوب) و منابع انتشار موضعی (معدن مس سرچشمه) است. عنصر سلیوم روند خاصی را در نقشه‌ها نشان نمی‌دهد. بر این اساس می‌توان احتمال داد که غلظت این عنصر تحت تاثیر عوامل زمین-شناسی مانند لیتولوژی، خاک، سن تشکیلات و ترکیب سنگ‌شناسی (گرانودیوریت و آندزیت دگرسان و غیر دگرسان شده) در منطقه مورد مطالعه است. همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به وجود الکتروفیلترها به منظور کاهش تراکم ذرات خروجی از دودکش‌های کارخانه ذوب، برای بررسی تاثیر این فیلترها در کاهش آلودگی، مطالعاتی در سال‌های آینده در این زمینه انجام گیرد.



شکل ۱۹- نقشه تغییرات غلظت سلیوم در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲۰- نقشه تغییرات غلظت آرسنیک در منطقه مورد مطالعه

## نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه‌های ارائه شده، مناطق اطراف دودکش‌های ذوب تا حدود ۴ کیلومتری مسیر در جهت رفسنجان، غلظت آرسنیک نسبت به سایر مسیرها بیشتر است. با توجه به استانداردهای موجود، در قمست‌هایی از دو مسیر رفسنجان- کارخانه و معدن- کارخانه، آلودگی آرسنیک وجود دارد و در سایر نقاط این دو مسیر آلودگی آرسنیک به صورت پراکنده و نقطه‌ای مشاهده می‌شود. بالا بودن میزان آرسنیک در اطراف پیت معدن، احتمالاً به علت وجود معادن سربدون و دره‌زار است که در نزدیکی پیت معدن قرار دارند. میانگین غلظت آرسنیک در مسیر شهرک- کارخانه کمترین مقدار را دارا می‌باشد بطوریکه آلودگی خاک نسبت به آرسنیک حداقل است. با توجه به این موارد می‌توان نتیجه گرفت که جهت باد و موانع طبیعی در منطقه عوامل موثری در جهت پراکنش این عنصر سنگین است، لذا امکان پخش ذرات در محیط‌های دورتر، به علت بالا بودن فشار بخار آرسنیک (مورد استفاده در کارخانه) وجود دارد. بطور کلی غلظت آرسنیک در خاک‌های منطقه ناشی از انتقال جوی از مناطق صنعتی

## سپاسگزاری

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

- ۱- حسنی پاک ع.ا. ۱۳۸۶. زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. ۳۱۴ صفحه.
- ۲- شایسته‌فر م.ر. و رضایی ع. ۱۳۸۸. ارائه راهکار در کاهش آلودگی زیست محیطی سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. تهران.
- ۳- افیونی م، و فتحیان پور، ن. ۱۳۸۵. بررسی نقشه‌های توزیع آرسنیک و وانادیوم در استان اصفهان. صفحات ۲۸-۲۸، مجموعه مقالات کنفرانس خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج.
- ۴- عرفان منش م. و افیونی م. ۱۳۸۴. آلودگی محیط زیست آب، خاک، هوا. انتشارات ارکان اصفهان. ۳۱۸ صفحه.
- ۵- مدنی ح. ۱۳۶۹. زمین آمار. مرکز انتشارات صنعت فولاد. تهران.
- 6- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2000. Toxicological Profile for Arsenic.
- 7- ATSDR. 2003. Toxicological profile for selenium. Atlanta: US Department of Health and Public Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- 8- Atteia O., and Dubois J.P. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. *Env. Pollution*, 86: 315-327.
- 9- Azcue J.M., Murdoch A., Rosa F., Hall G.E.M. 1994. Effects of abandoned gold mine tailings on the arsenic concentrations in water and sediments of Jack of Clubs Lake, BC. *Environ. Technol.* 15, p:669.
- 10- Baker D.E., and Amacher M.C. 1981. The development and interpretation of a digestic soil testing program. Bulletin no. 826, Pensylvania State University Agric. Pensylvania University.
- 11- Bohling G. 2005. Introduction to Geostatistics and variogram analysis. Kansas geological survey.
- 12- Bright D.A., Coedy B., Dushenko W.T., and Reimer K.J. 1994. Arsenic transport in a watershed receiving gold mine effluent near Yellowknife, Northwest Territories, Canada. *Sci. Total Environ.* 155, p.237.
- 13- De Temmerman L.O., Hoenig M., and Scokart P.O. 1984. Determination of " Normal" levels and upper limit values of trace elements in soils. *Zig. Pflanz. Bodenkunde*, 147: 687- 694.
- 14- Donald L.S. 1995. Environmental chemistry of the elements, Academic press. London.
- 15- Duzgoren A.N.S., Wong A., Aydin Z., Song M., and Li X.D. 2006. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China , *Environmental Geochemistry and Health.* 28: 375-391.
- 16- EPA. 1982. Exposure and risk assessment for arsenic. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulation. PB 85-221711. EPA 440/4-85-005. 1.1-4.68.
- 17- Goldschmidt V.M. 1958. *Geochemistry*. Ed.: Muir A., Oxford, Oxford University Press, p.468.
- 18- Hunt L.E., and Howard A.G. 1994. Arsenic speciation and distribution in the Carnon estuary following the acute discharge on contaminated water from a disused mine. *Marine Pollut. Bull.* 28, p.33.
- 19- IPCS. 1987. Selenium. *Environmental Health Criteria* 58. Geneva: World Health Organization International Programme on Chemical Safety.
- 20- Kabata-pendias A., and Mukherjee A.B. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Berlin: Springer-Verlag.
- 21- Klassen R.A. 1998. Geological factors affecting the distribution of trace metals in glacial sediments of central Newfoundland. *Environ. Geol.* 33(2/3), 154- 169.
- 22- Lindsay W.L., and Norvel W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *J. Soil Science.* 42: 421- 428
- 23- Lis J., and Pasieczna A. 1995. *Geochemical Atlas of Poland I: 2500000*. PIG, Warszawa.
- 24- McLaren R.G., Naidu R., and Tiller K.G. 1996. Fractionation of arsenic in soils contaminated by cattle dip. 1<sup>st</sup> International Conference: Contaminants and the Soil Environment, Adelaide, Australia, p.177.
- 25- Merain E., Anke M., Inant M., and Stoeppler M. 2004. Elements and their compound in the environment; 2nd, Edition, Wiley-VCH GMBH 8 CO. KGA, Weinheim, 1247 PP.
- 26- Miller J.W. 1991. Bureau of Plant Pathology, Tri-ology Techn, Rep. Div. Pl, Indus., Florida 30(6): 8-9.
- 27- Nriagu J.O. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature* 338, p.47.
- 28- Pincock A. 2007. Basics of variogram analysis, Issue no.84, Consultants for Mining and Financial Solutions.
- 29- Tack F.M.G., Verloo M.G., Vanmmechelen L., and Van Ranst E. 1997. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon content in soil in Flanders(Belgium), *Sci. Total Environ.*, 201: 113- 123.
- 30-Temple P.J., Linzon S.N., and Chai B.L. 1977. Contamination of vegetation and soil by arsenic emission from secondary lead smelters. *Environ. Pollut.* 12, p:311.
- 31- Van Meirvenne M. 1993. Geostatistical analysis of the Cadmium pollution in north west Limburg. *J. Biometric Society.* 3: 45- 56
- 32-Walsh L.M., and Keeney D.R. 1975. Behavior and phytotoxicity of inorganic arsenic in soils. *ACS Symp. Ser.*, 7, p:35.

## Distribution of As and Se Elements in the Soil of the Sarcheshmeh Copper Mine Area, Kerman

M.R. Shayestehfar<sup>1\*</sup> - N. Shafiee<sup>2</sup>- H. Shirani<sup>3</sup>- A. Rezaei<sup>4</sup>- M.R. Kargar Dianati<sup>5</sup>

Received:17-5-2010

Accepted:30-1-2012

### Abstract

In recent years, the study of soil contamination problems surrounding the mines and smelting plants has attracted the serious attention of the environmental experts. In Iran, due to the mining and mine development, the study of environmental problems seems to be obligatory. The main point of this research is the implications of the statistical and geostatistical studies to evaluate and prepare elemental dispersion map of the As and Se elements around the soil of the Sarcheshmeh copper mine area. To investigate the rate of concentration of heavy metals, the path of sampling selected in three different directions. From the area in which the chimneys of the smelting plant of the Sarcheshmeh copper factory is at the centre within a radius of 6 kms, which is collected for the number of 120 soil samples from the surface with the maximum of 30 centimeters depth from the entire area were collected from the original areas and were interpreted after the analysis by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Initially, the necessary statistical parameters have been done with respect to the data distribution. Therefore, variogram used for the variation justification of all the directions and the parameters of variogram model was processed and estimated by kriging jack knife method. Eventually the contaminated As and Se areas were identified respectively with the help of normal kriging estimator. With the use of the produced maps, the perquisite conclusion was the possible concentration of As element around the chimneys which is more than the rest of the places and dominated wind blow direction, that is towards the Rafsanjan city. Also about the Se, the result exhibited that, unlike As, the wind direction has no effect on the dispersion of it and the transmittal rate is related to the geological characteristic of the study area.

**Keywords:** Dispersion map, Arsenic, Selenium, Environment, Sarcheshmeh Copper Mine

---

1- Associate Professor, Department of Mining Engineering, Energy and Environmental Engineering Research Center Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(\*- Corresponding Author Email: shayeste@uk.ac.ir)

2,3- MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Vali Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

4- MSc Student, Department of Mining Engineering, (Expert of the Atomic Energy Organization of Iran) Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

5- Mine Manager, Sarcheshmeh Copper Mine, Kerman, Iran