



دانشگاه گوارز و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

ارزیابی آلودگی و تغییرات مکانی روی، مس و نیکل در خاک‌های مناطق خشک مسیر زابل - زاهدان

ولی بهنام^۱، احمد غلامعلی‌زاده آهنگر^۲، *محمد رحمانیان^۳ و ابوالفضل بامری^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زابل، ^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زابل،

^۳استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج، ^۴مربی گروه علوم خاک، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۳

چکیده

سابقه و هدف: فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک می‌باشند. افزایش مقدار آن‌ها با توجه به پایداری آن‌ها در محیط‌زیست منجر به توجه پژوهشگران در دهه‌های اخیر شده است. از طرفی آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین که از خودروها تولید می‌شوند نیز یک مسأله زیست‌محیطی جدی می‌باشد. با توجه به اهمیت آلودگی خاک، بررسی امکان آلودگی خاک توسط خودروهای گوناگون ضرورت پیدا می‌کند. ویژگی‌های توزیع مکانی آلودگی در خاک‌های آلوده عامل مهمی جهت شناسایی نقاط آلوده و برطرف کردن آن می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین روی، مس و نیکل در خاک‌های کنار جاده‌ای مسیر زابل - زاهدان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک منظم ۲۵۲ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر جمع‌آوری گردید. ویژگی‌های مختلف خاک شامل غلظت کل فلزات روی، مس و نیکل، پ‌هاس، هدایت الکتریکی خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل و بافت خاک اندازه‌گیری شد. فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی برای تعیین وضعیت و روند آلودگی خاک این منطقه استفاده شد. نقشه پهنه‌بندی غلظت مس و روی با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و برای فلز نیکل با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل گوسی تهیه شد. دقت روش‌ها با استفاده از خطای قدرمطلق میانگین و مجذور میانگین مربعات خطا مقایسه شد و روشی که دارای بالاترین مقدار دقت بود برای تهیه نقشه فلزات سنگین خاک مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: با افزایش فاصله از جاده غلظت فلزات سنگین کاهش یافت. برای تهیه نقشه نیکل مدل گوسی، و برای روی و مس مدل نمایی دارای بالاترین دقت بود. میانگین غلظت روی، مس و نیکل در فاصله صفر، ۵۰ و ۱۰۰ متری به ترتیب برابر با ۵۴/۳۳، ۵۲/۷۵، ۵۱/۵۶، ۹/۶۷، ۹/۴۰، ۹/۰۳ و ۱۰/۲۶، ۱۰/۰۲، ۹/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقادیر روی، مس و نیکل در خاک‌های کنار جاده‌ای در منطقه مورد مطالعه کم‌تر از حد مجاز سازمان جهانی بهداشت (WHO)^۱ بود. نتایج این مطالعه نشان داد رابطه بین روی، مس و نیکل یک رابطه مثبت و معنی‌دار است. در واقع وجود همبستگی بین فلزات مختلف نشان‌دهنده منبع مشترک آن‌ها است.

* مسئول مکاتبه: m.rahmanian10@yahoo.com

1- World Health Organization

نتیجه‌گیری: نتایج توزیع مکانی فلزات نشان داد که این خاک‌ها نسبت به مس، روی و نیکل غیرآلوده می‌باشند. غلظت و پراکنش این عناصر در منطقه دارای منشأ زمین‌شناسی و انسانی می‌باشند. عناصر مس، روی و نیکل به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی و احتراق سوخت‌های فسیلی سبب تجمع بیش‌تر این فلزات در قسمت‌هایی از منطقه مورد مطالعه شده است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، تغییرات مکانی، خاک‌های کنارجاده‌ای، فاکتور غنی‌شدن

مقدمه

علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی توزیع آلودگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد (۳۳) و این روش‌ها امکان کمی نمودن توزیع مکانی غلظت عناصر را فراهم می‌کنند.

مطالعات متعددی در کشورهای مختلف برای درون‌یابی و تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک وجود دارد. موحدی‌راد (۱۳۸۶) با بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، کادمیوم و نیکل در بخشی از استان قم گزارش کرد که عامل اصلی بر روند افزایش فلزات سرب و روی نوع کاربری است و مواد مادری و توپوگرافی منطقه مؤثرترین عامل در افزایش غلظت نیکل در منطقه می‌باشد (۲۲). شهبازی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب در خاک و تعیین منشأ این فلزات در شهرستان نهاوند پرداختند. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات نشان داد که فلزات کادمیوم، مس و سرب منشأ زمین‌شناسی و کشاورزی دارند (۲۷). در حقیقت این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیش‌تر این فلزات در خاک شده است. شی و همکاران (۲۰۰۸) توزیع مکانی برخی فلزات سنگین را در خاک‌های سطحی شانگ‌های بررسی کردند. آن‌ها منبع ورود فلزات روی، سرب و مس به محیط را به‌طور عمده فعالیت‌های انسانی عنوان کردند (۲۸). مولوا و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی آلودگی

آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین که از خودروها تولید می‌شوند یک مسأله زیست‌محیطی جدی می‌باشد. فلزات سنگین به‌دلیل پایداری و تجزیه‌ناپذیری از آلاینده‌های مهم و خطرناک محیط‌زیست هستند. از مهم‌ترین اختلالات و عوارض آن‌ها می‌توان به سرطان‌زایی، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی پوست، اثر بر روی سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه‌ها و تجمع در بافت‌ها اشاره کرد (۳۲). مس، روی، نیکل و سرب از مهم‌ترین آلاینده‌های فلزی محیط اطراف جاده‌ها محسوب می‌شوند که از طریق ترافیک سنگین، فرسایش لاستیک و قطعات استفاده شده در خودروها، فعالیت‌های معدنی و احتراق سوخت‌های فسیلی وارد محیط‌زیست می‌شوند (۱۷). این فلزات می‌توانند فرآیندهای مهم بیوشیمیایی را مختل و تهدیدی برای سلامت انسان، رشد گیاهان و زندگی حیوانات باشند (۳۲). مطالعات نشان داده‌اند که چنین آلاینده‌هایی می‌توانند برای پوشش گیاهی کنارجاده‌ای، حیات وحش و انسان مضر باشند (۳۰). توزیع این فلزات در خاک‌های کنارجاده‌ای بالا و همبستگی معکوس با افزایش فاصله از جاده دارد. به‌دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه‌های جمع‌آوری‌شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از روش‌های زمین‌آمار بسیار مفید می‌باشد (۳۳). علم زمین‌آمار از دقیق‌ترین روش‌هایی است که

مطالعه داشته است. لی و همکاران (۲۰۱۵) آلودگی فلزات سنگین را در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان داد، غلظت سرب و کادمیوم فراتر از مقدار پس‌زمینه مورد مطالعه است. غلظت بالای این فلزات در این مطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شد (۱۴).

نقشه‌های مشخص‌کننده مناطق آلوده به فلزات سنگین و یا در معرض خطر آلودگی می‌تواند اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب جهت کاربری‌های استفاده از سرزمین یا پاکسازی خاک در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. نظر به این‌که تاکنون مطالعه آلودگی خاک در دشت سیستان انجام نشده است و از طرفی با توجه به وجود اراضی مختلف در مسیر جاده اصلی زابل- زاهدان مانند مسکونی، کشاورزی و مرتع، بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین مذکور می‌تواند منجر به نتایج کاربردی و مناسبی جهت راهبرد مدیریت‌های لازم شود. بنابراین بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین در این مسیر ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی مس، روی و نیکل در خاک‌های کنارجاده‌ای زابل- زاهدان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

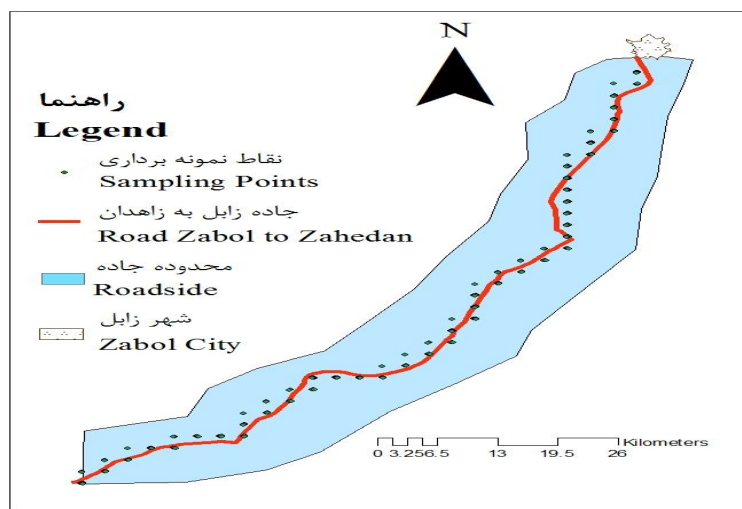
منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌برداری: این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 57' 20''$ و $30^{\circ} 11' 6''$ و طول‌های جغرافیایی $61^{\circ} 29' 32''$ و $60^{\circ} 51' 38''$ می‌باشد. در مسیر جاده زابل- زاهدان ۴۲ ایستگاه برای نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌های خاک از فاصله صفر، ۵۰ و ۱۰۰ متری از کنار جاده در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشته شد. در هر نمونه‌برداری از هر ایستگاه شش نمونه خاک و به‌طور کلی ۲۵۲ نمونه خاک جمع‌آوری شدند (شکل ۱).

فلزات سنگین در خاک‌های اطراف جاده در بوتسوانا اقدام به نمونه‌برداری کردند (۲۰). آن‌ها با به‌کارگیری از شاخص‌های فاکتور آلودگی و ضریب انباشت زمینی نشان دادند که این فلزات در وضعیت آلودگی کم ($CF < 1$) و متوسط ($1 < CF \leq 3$) می‌باشند. در این مطالعه اثرات فعالیت‌های بشری و خودروها به وضوح نشان داده شد. محمدناصر و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک و سبزیجات نزدیک جاده‌ای در بنگلادش پرداختند (۲۱). نتایج نشان داد غلظت فلزات در سبزیجات به ترتیب $Ni > Pb > Cd$ بود و با افزایش فاصله از جاده غلظت سرب و نیکل کاهش یافت. همچنین این پژوهشگران نشان دادند که ترافیک و انتشار خودرویی در تولید این فلزات نقش عمده‌ای داشتند. آکان و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کنارجاده‌ای در نیجریه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت فلزات سنگین در کنار جاده به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و با افزایش فاصله از جاده غلظت آن‌ها کاهش می‌یابند. این پژوهشگران نشان دادند ترافیک خودروها منبع عمده این فلزات در خاک می‌باشد (۱). سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم بیش‌تر تحت تأثیر مجتمع‌های فولادی بوده و غلظت نیکل، روی و آهن تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی است (۲۶). خالدان و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات مکانی پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و GIS پرداختند. تحلیل داده‌های آن‌ها نشان داد که داده‌ها نرمال هستند و مدل کروی مدلی مناسب برای بررسی تغییرات مکانی سرب و کادمیوم است (۱۱). همچنین نتایج پژوهش نشان داد که جهت باد غالب نقش مهمی در پراکنش سرب و کادمیوم در منطقه مورد

درصد کربنات کلسیم معادل با روش خشتی کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۱۵)، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (۲۴)، غلظت فلزات سنگین با روش هضم در نمونه‌های خاک، توسط محلول اکیو ریجا^۱ دارای اسید کلریک و اسید نیتریک غلیظ (نسبت ۳:۱)، استفاده شد و غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (۹).

موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی تعیین و ثبت گردید.

تجزیه‌های آزمایشگاهی: نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوای آزمایشگاه، کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل قابلیت هدایت الکتریکی و پهاش در عصاره گل اشباع (۱۳)، بافت به روش هیدرومتر (۸)،



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of sampling points in the studied area.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین: جهت تعیین مقدار آلاینده‌گی خاک به فلزات سنگین در یک منطقه، باید مقدار غلظت عناصر در آن منطقه را با یک استاندارد مقایسه کرد. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد. زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای درجه آلودگی خاک، از استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. علاوه بر استانداردهای ذکر شده معیارهایی هم برای بررسی درجه آلودگی خاک ارائه شده است

تجزیه و تحلیل‌های آماری: برای بررسی توزیع و آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آماره کلموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از روش تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن آن استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین با یک دیگر و با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد. محاسبه‌های آماری اطلاعات به دست آمده در پژوهش با نرم‌افزار Excel انجام شد و برای رسم نمودارهای مورد نظر از نرم‌افزار SPSS19 استفاده شد.

1- Aqua regia

بیانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی در تجمع فلزات موردنظر در خاک و رسوب می‌باشد (۲۵).

شاخص زمین‌انباشتگی: به منظور تعیین شدت آلودگی می‌توان از شاخص زمین‌انباشتگی که توسط مولر (مولر، ۱۹۶۹) پیشنهاد شده استفاده کرد (۲۳). این شاخص با علامت I_{geo} نشان داده شده و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (2)$$

که در آن، I_{geo} شاخص زمین‌انباشتگی یا شاخص شدت آلودگی، \log_2 لگاریتم در پایه دو، C_n غلظت فلز در رسوب یا خاک و B_n غلظت زمینه فلز موردنظر (میانگین شیل) است. ضریب ۱/۵، به عنوان ضریب تصحیح اثر احتمالی ماتریکس زمینه در رابطه فوق گنجانده شده است (۱۸).

که می‌توان بر اساس آن‌ها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی برد، که می‌توان به فاکتور غنی‌شدن^۱، شاخص زمین‌انباشتگی^۲ و ضریب آلودگی^۳ اشاره نمود (۳۰).

فاکتور غنی‌شدن: با توجه به این فاکتور مقدار عنصر را می‌توان نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید، این فاکتور از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$EF = \frac{S_c}{R_c} \quad (1)$$

که در آن، EF فاکتور غنی‌شدگی، S_c غلظت عنصر در خاک و R_c غلظت عنصر در ماده مرجع می‌باشد (۵). غلظت ماده مرجع، میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در شیل می‌باشد، که همان مقادیر استاندارد جهانی است. بر اساس این فاکتور، می‌توان شدت غنی‌شدگی فلز موردنظر را در پنج دسته جای داد (۴). مقادیر $1 < EF < 10$ ، نشانگر آلودگی طبیعی و $EF > 10$.

جدول ۱- بررسی شدت غنی‌شدگی (چن و همکاران، ۲۰۰۷).

Table 1. Investigating the severity of enrichment (Chen et al., 2007).

ضریب غنی‌شدگی Enrichment factor	میزان غنی‌شدگی Severity of enrichment
$2 >$	غنی‌شدگی کم Deficiency to minimal enrichment
2-5	غنی‌شدگی متوسط Moderate enrichment
5-20	غنی‌شدگی زیاد Significant enrichment
20-40	غنی‌شدگی خیلی زیاد Very high enrichment
$40 <$	غنی‌شدگی به شدت زیاد Extremely high enrichment

- 1- Enrichment Factor
2- Geoaccumulation Index
3- Contamination Factor

صفر باشد، نشان‌دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند. همچنین هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کم‌تر باشد، دقت روش ارزیابی افزایش می‌یابد. پارامترهای میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_s - R_0|}{n} \quad (۳)$$

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_s - R_0)^2} \quad (۴)$$

که در آن‌ها، R_s مقدار برآورد شده، R_0 مقدار اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

مولر (۱۹۶۹) بر اساس این شاخص خاک‌ها را از نظر آلودگی به هفت گروه تقسیم‌بندی نموده است (جدول ۲).

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری: در ابتدا ناهمسان‌گردی داده‌ها توسط تغییرنمای جهتی بررسی و پس از تعیین درجه ناهمسان‌گردی، تغییرنمای برای تمام فلزات مورد مطالعه، ترسیم شد. برای بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین از روش‌های زمین‌آماري کربجینگ، کوکریجینگ، وزن‌دهی معکوس فاصله و مدل‌های مختلف (دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی) در محیط نرم‌افزار ArcGIS10 و GS⁺ استفاده شده است. به‌منظور ارزیابی روش‌های میان‌یابی از تکنیک ارزیابی متقابل^۱ و پارامتر آماری میانگین خطای مطلق^۲ و مجذور میانگین مربعات خطا^۳ استفاده شده است. میانگین خطای مطلق مشخص‌کننده خطای نتایج می‌باشد. در شرایطی که MAE برابر صفر یا نزدیک

جدول ۲- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی مورد استفاده در تعیین آلودگی خاک (Muller, 1969).

Table 2. The values of Geo accumulation Index used to determine soil contamination (Muller, 1969).

شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) Index of geoaccumulation	شدت آلودگی Contamination Level
کم‌تر یا مساوی صفر $0 \geq$	غیرآلوده uncontaminated
0-1	غیرآلوده تا کمی آلوده Uncontaminated to moderately contaminated
1-2	کمی آلوده Moderately contaminated
2-3	کمی آلوده تا خیلی آلوده Moderately to heavily contaminated
3-4	خیلی آلوده Heavily contaminated
4-5	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده Heavily to extremely contaminated
>5	شدیداً آلوده Extremely contaminated

1- Cross validation

2- Mean Absolute Error, MAE

3- Root Mean Square Error, RMSE

نتایج و بحث

آلودگی فلزات سنگین نه تنها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارند، بلکه همچنین خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی محسوب می‌شوند. توصیف آماری غلظت فلزات سنگین و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی در جدول ۳ خلاصه شده است. در بین سه فلز مورد مطالعه، بیشترین میانگین غلظت مربوط به روی $52/83$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میانگین غلظت مربوط به مس $9/37$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. به طوری که میانگین غلظت برای فلزات به ترتیب روبرو است: $Zn > Ni > Cu$. جدول ۴ استانداردهای WHO برای غلظت کل فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج حاصل از غلظت کل فلزات سنگین با استانداردهای WHO مشاهده می‌شود که میانگین غلظت روی در خاک مورد بررسی برابر $52/83$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که با مقایسه غلظت روی در استاندارد WHO این مقدار کم‌تر از حد جهانی است.

غلظت مس و نیکل در خاک مورد آزمایش به ترتیب برابر با $9/37$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و $10/04$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که کم‌تر از حد استاندارد می‌باشد. ضریب تغییرات (CV)، درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در خاک نشان می‌دهد. اگر $CV \leq 20\%$ باشد، نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک، $20\% < CV < 50\%$ تغییرپذیری متوسط و $50\% \leq CV < 100\%$ بالا است، در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است (۱۰). ضرایب تغییرات غلظت فلزات در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به ترتیب مس (۲۰) < روی (۱۸/۴۹) < نیکل (۸/۵۶) کاهش یافت. ضریب تغییرات کربن آلی و بافت خاک در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر وجود تغییرات زیاد این متغیرها در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد، اما برای فلزات سنگین و سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل و پ‌هاش) ضریب تغییرات کم‌تر از ۵۰ درصد می‌باشد، که بیانگر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیرها است (۳).

جدول ۳- آمار توصیفی غلظت عناصر و برخی از ویژگی‌های خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه.

Table 3. Descriptive statistics of elements concentration and some of the surface soil parameters in the study area.

ویژگی‌های خاک Soil parameters	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
مس کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total Cu (mg kg ⁻¹)	4.81	16.40	9.37	1.98	20.00	0.58	1.16
روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total Zn (mg kg ⁻¹)	33.00	93.20	52.83	9.77	18.49	0.34	0.48
نیکل کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total Ni (mg kg ⁻¹)	8.00	13.25	10.04	0.86	8.56	0.71	1.10
pH	7.10	10.01	8.21	0.35	4.26	0.95	3.91
کربن آلی (%) Organic carbon (%)	0.02	2.90	0.37	0.33	89.18	-0.40	0.90
کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalentant (%)	6.50	28.50	1.95	3.74	22.00	0.13	-0.12
شن (%) Sand (%)	6.00	95.20	57.26	21.99	38.40	-0.33	-0.92
سیلت (%) Silt (%)	0.50	73.70	26.95	16.23	60.22	0.53	-0.52
رس (%) Clay (%)	2.10	40.30	15.78	8.54	54.11	0.68	-0.29

جدول ۴- استاندارد WHO برای غلظت فلزات سنگین خاک (mg kg^{-1}).

Table 4. WHO standard for concentration of heavy metals (mg kg^{-1}).

آلودگی متوسط Moderately contaminated	آلودگی کم Slightly contaminated	آلودگی شدید Extremely contaminated	فلزات سنگین Heavy metal
290.00	120.00	460.00	روی (Zn)
-	35.00	-	مس (Cu)
36.00	23.00	49.00	نیکل (Ni)

سرب در خاک‌های منطقه مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع برای حفاظت انسان کم‌تر می‌باشد (جدول ۵). میانگین غلظت روی، مس و نیکل کم‌تر از حد استاندارد آلودگی خاک برای حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد.

استاندارد کیفیت منابع خاک ایران برای فلزات سنگین مورد مطالعه که توسط سازمان محیط‌زیست کشور ارائه شده است در جدول ۵ نشان داده شده است. غلظت روی، مس و نیکل در منطقه مورد مطالعه از حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در خاک ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور پایین‌تر می‌باشد (۳۰). میانگین غلظت مس، نیکل، روی و

جدول ۵- استاندارد کیفیت منابع خاک ایران برای خاک‌های با $\text{pH} > 7$.

Table 5. Iranian soil quality standard for soils with $\text{pH} > 7$.

حفاظت از محیط‌زیست Environmental protection	کاربری مرتع و جنگل Forest and pastur land use	کاربری کشاورزی Agricultural land use	فلزات سنگین Heavy metal
200.00	500.00	500.00	روی (Zn)
63.00	500.00	200.00	مس (Cu)
50.00	530.00	110.00	نیکل (Ni)

و ماده آلی همخوانی دارد، نتایج این بخش نشان داد بین بافت خاک (شن و سیلت) و مقدار غلظت فلزات سنگین روی، مس و نیکل خاک ارتباطی وجود ندارد. بنابراین نمی‌توان بافت خاک را عاملی برای تفاوت در مقادیر روی، مس و نیکل در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه دانست و در نتیجه اثر بافت خاک (شن و سیلت) معنی‌دار نیست.

همبستگی روی، مس و نیکل با برخی پارامترهای خاک: نتایج نشان داد که عناصر روی، مس و نیکل با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله اسیدیته، شوری، درصد شن و سیلت همبستگی معنی‌داری ندارد که از این نظر با نتایج محمودی و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی ندارد (۱۶). ایشان تاکید کرده‌اند الگوی پراکنش فلزات سنگین با الگوی مکانی برخی ویژگی‌های خاک مانند درصد شن و سیلت، پ‌هاش

می‌باشد (۳۱). امینی و همکاران (۱۳۸۵) در مطالعه خود همبستگی بین فلزات سنگین خاک را ناشی از ورود این عناصر از طریق منبع مشترک بیان کردند (۳). **فاکتور غنی‌شدن:** میانگین غنی‌شدن مس، روی و نیکل در منطقه مورد مطالعه در جدول ۷ نشان داده شده است. مقدار غنی‌شدگی مس، روی و نیکل کم‌تر از یک است. بر اساس طبقه‌بندی چن و همکاران (۲۰۰۷) در خاک‌های منطقه، این فلزات بدون غنی‌شدگی، نشان می‌دهند (۴). همچنین با توجه به این که مقادیر $EF < 10$ می‌باشند، طبیعی بودن منشأ این عناصر مورد تأیید قرار می‌گیرد (۲۵).

همبستگی بین روی، مس و نیکل: جدول ۶ ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی و فلزات سنگین مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد رابطه بین روی، مس و نیکل یک رابطه مثبت و معنی‌دار است یعنی حضور این سه فلز در کنار هم معنی‌دار است. در واقع وجود همبستگی بین فلزات مختلف نشان‌دهنده منبع مشترک آن‌ها است (۴). در مورد فلزات روی، مس و نیکل در منطقه مورد مطالعه می‌توان ذکر کرد که منبع آلودگی یکسان یعنی منابع طبیعی روی غلظت این فلزات در خاک تأثیر داشته است که با نتایج یالکین و همکاران (۲۰۰۷) هم‌سو

جدول ۶- ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی و فلزات سنگین مورد مطالعه.

Table 6. Correlation coefficient of chemical parameters and heavy metals studied.

مس	نیکل	روی	رس	سیلت	شن	pH	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	هدایت الکتریکی
Cu	Ni	Zn	Clay	Silt	Sand		OC	CCE	EC
									1.00 هدایت الکتریکی EC
								1.00	-0.02 کربنات کلسیم معادل CCE
							1.00	-0.01	0.09 کربن آلی OC
						1.00	-0.03	0.01	-0.02 pH
					1.00	-0.04	-0.29**	-0.20**	0.03 شن Sand
				1.00	-0.94**	0.05	0.24**	0.23**	-0.01 سیلت Silt
			1.00	0.52**	-0.78**	0.01	0.28**	0.08	0.08 رس Clay
		1.00	0.34**	0.01	-0.14*	0.03	0.03	0.05	0.04 روی Zn
	1.00	0.09	0.17**	0.11	-0.15*	-0.03	0.04	0.13*	0.07 نیکل Ni
1.00	0.21**	0.17**	0.27**	0.10	-0.17**	0.02	0.17**	0.08	-0.01 مس Cu

جدول ۷- میانگین فاکتور غنی‌شدن فلزات سنگین در طول جاده.

Table 7. Mean of Enrichment Factor for heavy metals along the road.

نیکل Ni			روی Zn			مس Cu			فلزات Metals
100	50	0	100	50	0	100	50	0	فاصله از جاده (متر) Distance from the road (m)
0.14	0.15	0.15	0.54	0.56	0.57	0.20	0.21	0.22	میانگین نمونه‌ها Mean of samples

به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های گرگان اقدام به نمونه‌برداری کردند (۶). آن‌ها با به کارگیری شاخص زمین‌انباشتگی نشان دادند که این فلزات با داشتن مقادیر زمین‌انباشتگی کم‌تر از صفر غیرآلوده محسوب می‌شوند.

شاخص زمین‌انباشتگی: مقایسه نتایج حاصل از محاسبه شاخص Igeo جدول ۸ با جدول ۲ نشان می‌دهد که طبق شاخص Igeo خاک‌های کنارجاده‌ای زابل- زاهدان از لحاظ فلزات سنگین مورد مطالعه کاملاً غیرآلوده می‌باشند. گراوند و همکاران (۱۳۸۹)

جدول ۸- میانگین شاخص زمین‌انباشتگی فلزات سنگین در طول جاده.

Table 8. Mean of Geo accumulation Index for heavy metals along the road.

نیکل Ni			روی Zn			مس Cu			فلزات Metals
100	50	0	100	50	0	100	50	0	فاصله از جاده (متر) Distance from the road (m)
<۰	<۰	<۰	<۰	<۰	<۰	<۰	<۰	<۰	میانگین نمونه‌ها Mean of samples

نمایی دارای بالاترین مقدار دقت بود و بنابراین برای تهیه نقشه توزیع مکانی این فلزات مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۹).

توزیع مکانی فلزات: با در نظر گرفتن میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای نیکل، مدل گوسی بالاترین مقدار دقت، برای روی و مس مدل

جدول ۹- نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه.

Table 9. The results of the analysis of spatial correlation of variables and models fitted to the data studied.

پارامترهای ارزیابی مدل Model evaluation parameters		نسبت همبستگی (%) Correlation ratio (%)	حد آستانه Sill	دامنه تاثیر Range	اثر قطعه‌ای Nugget effect	مدل Model	متغیر Variable
RMSE	MAE						
0.60	0.01	95.83	0.01	367.80	0.01	گوسی Gaussian	نیکل Ni
7.96	0.20	64.97	42.97	320.05	27.92	نمایی Exponential	روی Zn
1.34	0.01	51.51	0.03	412.82	0.02	نمایی Exponential	مس Cu

خطا کمتری نسبت به کوکریجینگ و روش معین وزن‌دهی معکوس فاصله می‌باشد و تخمین بهتری را برای نیکل، مس و روی برآورد می‌کند.

میانگین غلظت نیکل در فواصل ۰، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب برابر با ۱۰/۲۶، ۱۰/۰۲ و ۹/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که فاصله صفر با میانگین ۱۰/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین غلظت نیکل می‌باشد. با افزایش فاصله از جاده غلظت نیکل کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از تردد خودروها باشد. بنابراین علاوه بر ساختار زمین‌شناسی می‌توان دود ناشی از وسایل نقلیه و احتراق سوخت‌های فسیلی را عامل افزایش غلظت نیکل دانست.

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنا درونیابی داده‌ها به کمک نرم‌افزار Arc GIS به‌وسیله روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش معین وزن‌دهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱۰ آورده شده است. در روش کوکریجینگ نیازمند استفاده از متغیر کمکی هستیم. بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد که بین فلزات سنگین و درصد رس همبستگی وجود دارد (جدول ۳). بنابراین از درصد رس به‌عنوان متغیر کمکی برای هر سه فلز مورد مطالعه استفاده شد. مقدار رس در خاک از عوامل مهم کنترل‌کننده توزیع و غلظت فلزات سنگین می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های زمین‌آماری کریجینگ دارای میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات

جدول ۱۰- نتایج روش‌های گوناگون تخمین فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه.

Table 10. Results of various methods for estimating heavy metals in the study area.

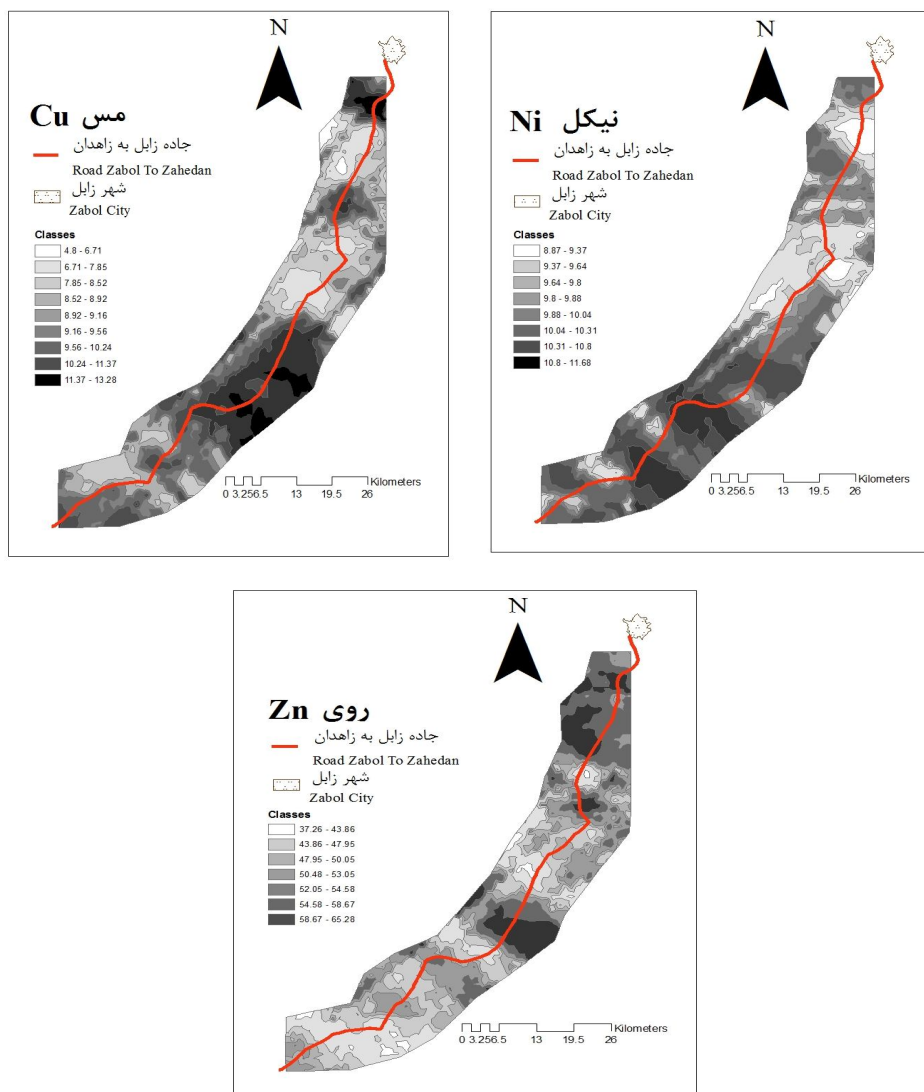
IDW	کوکریجینگ Cokriging			کریجینگ Kriging			خطای تخمین Estimated error	متغیر Variable
	گسسته Discrete	ساده Simple	معمولی Ordinary	گسسته Discrete	ساده Simple	معمولی Ordinary		
								متغیر کمکی Auxiliary variable
								درصد رس Clay (%)
	۰/۰۴۱	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۴۵	MAE
	۰/۶۳۳	۰/۶۳۲	۰/۶۲۵	۰/۶۹۰	۰/۶۸۹	۰/۷۱۷	۰/۶۰۳	RMSE
								متغیر کمکی Auxiliary variable
								درصد رس Clay (%)
	۰/۰۳۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۹۴	۰/۰۲۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	MAE
	۱/۳۰	۱/۳۹	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۳۰	۱/۳۴	۱/۲۶	RMSE
								متغیر کمکی Auxiliary variable
								درصد رس Clay (%)
	۰/۱۶۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۲۰۳	MAE
	۸/۵۵	۸/۱۳	۸/۱۳	۸/۱۹	۸/۱۴	۸/۱۴	۷/۹۶	RMSE

منطقه واقع است (شکل ۲). بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که عامل اصلی بالا بودن غلظت روی در خاک این مناطق، عوامل طبیعی مانند مواد مادری و عوامل جوی می‌باشد اما فعالیت‌های انسانی مانند تردد خودروها سبب افزایش بیش‌تر این عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه شده است. میانگین غلظت مس در فواصل ۰، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب برابر ۹/۶۷، ۹/۴۰ و ۹/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که فاصله صفر متری با میانگین ۹/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت مس می‌باشد. مس و روی از فرسایش آلیاژهای به‌کار رفته در وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی ناشی می‌شود (۳۴). ممکن است فعالیت‌های صنعتی نیز منبعی برای انتشار عناصر سنگین در خاک‌های کنار جاده‌ای باشند اما با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه هیچ کارخانه و صنعت خاصی وجود نداشت می‌توان منبع اصلی را فرسایش قطعات مورد استفاده در وسایل نقلیه دانست (۲). حداقل مقدار مس ۴/۸۱ و حداکثر ۱۶/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بالاترین توزیع غلظت مس در خاک منطقه مورد مطالعه بین ۱۰/۹۱-۱۶/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که به‌صورت لکه‌هایی در شمال و مرکز منطقه مورد مطالعه واقع شده است. به‌نظر می‌رسد منابع طبیعی و انسانی از عوامل مؤثر بر افزایش غلظت مس در منطقه مورد مطالعه باشد. شی و همکاران (۲۰۰۸) عنوان کردند که مس وابستگی مکانی شدیدی به عوامل طبیعی شامل مواد مادری و توپوگرافی دارد (۲۸). خداکرمی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای که در قسمتی از استان همدان انجام داد به این نتیجه رسید که عامل اصلی غلظت بالای مس در منطقه عوامل طبیعی از جمله بستر شیل، آهک و آبرفتی می‌باشد (۱۲).

در مطالعه انجام‌شده توسط میکو و همکاران (۲۰۰۶) برای تعیین منابع فلزات سنگین در خاک به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر نیکل در خاک توسط سنگ بستر کنترل می‌شود (۱۹). احتراق سوخت‌های فسیلی و روغن‌های مورد استفاده در خودروها از منابع تولیدکننده نیکل هستند (۳۴). البته ترافیک خودروها به آن صورت زیاد نبوده که ما آلودگی به نیکل را در منطقه مورد مطالعه داشته باشیم. بر اساس توزیع غلظت کل نیکل در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه حداقل مقدار غلظت نیکل ۸ و حداکثر ۱۳/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (شکل ۲). بالاترین مقدار غلظت نیکل در خاک بین ۱۳/۲۵-۱۰/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که در قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۲). در مطالعه انجام شده توسط ایناسیو و همکاران (۲۰۰۸) برای تعیین منابع فلزات سنگین در خاک و رسوبات به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر نیکل در خاک توسط سنگ بستر کنترل می‌شود (۷).

میانگین غلظت روی در فواصل ۰، ۵۰ و ۱۰۰ به‌ترتیب برابر با ۵۴/۳۳، ۵۲/۷۵ و ۵۱/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که فاصله صفر با میانگین ۵۴/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین غلظت روی می‌باشد. دلیل افزایش غلظت فاصله صفر متری نسبت به فاصله ۵۰ و ۱۰۰ متری می‌تواند تأثیر تردد خودرو روی غلظت این فلز باشد، البته ترافیک خودروها به آن صورت زیاد نبوده که آلودگی به روی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شود.

مطابق نقشه پراکنش غلظت کل روی در خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه حداقل مقدار غلظت روی ۳۳ و حداکثر ۹۳/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بالاترین مقدار غلظت روی در خاک منطقه مورد مطالعه در دامنه ۵۸/۶۷-۹۳/۲۰ در نواحی شمال



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی فلزات در منطقه مورد مطالعه.

Figure 2. Spatial distribution map of metals in the study area.

سوخت‌های فسیلی و تردد خودروها روی غلظت آنها تأثیر داشته است. البته میزان ترافیک و کارخانجات صنعتی (نبود منابع انسانی فلزات سنگین) به آن صورت زیاد نبوده که آلودگی به این فلزات در خاک مشاهده گردد. تجزیه و تحلیل نقشه توزیع مکانی فلزات نشان داد که فلزات مس، روی و نیکل منشأ زمین‌شناسی و انسانی دارند. با توجه به عدم آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه خاک این منطقه، جهت کشاورزی مناسب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با محاسبه شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی و مقایسه غلظت فلزات مورد مطالعه با استاندارد WHO منطقه مورد مطالعه به فلزات روی، مس و نیکل آلوده نیست. ولی با افزایش فاصله از جاده غلظت این فلزات کاهش می‌یابد، بنابراین به نظر می‌رسد تردد خودروها روی غلظت این فلزات تأثیرگذار باشند. نتایج نشان داد که فلزات سنگین منشأ زمین‌شناسی داشته اما فعالیت‌های انسانی مانند احتراق

منابع

1. Akan, J.C., Audu, S.I., Zakari, M., and Ogugbuaja, V.O. 2013. Assessment of heavy metals, pH, organic matter and organic carbon in roadside soils in Makurdi Metropolis, Benue State, Nigeria. *J. Environ. Prot.* 4: 618-628.
2. Al-Khashman, O.A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health.* 29: 1. 1-10.
3. Amini, M., Afyoni, M., and Khademi, H. 2006. Modeling of mass balance of Cd and Pb in agricultural lands of Isfahan region. *J. Agric. Sci. Technol.* 10: 4. 77-89. (In Persian)
4. Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., and Dong, C.D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsinung Harbor, Taiwan. *Chemosphere.* 66: 1431-1440.
5. Delijani, F., Kazemi, Gh., Parvinnia, M., and Khakshour, M. 2009. Enrichment and distribution of heavy metals in soils of South Pars Special Economic Region (Assaluyeh). Eighth International Congress on Civil Engineering, Shiraz University. (In Persian)
6. Gravand, M., Hafezi Moghadas, N., and Ghasemi, H. 2006. Evaluation of natural contamination of heavy metals in soils produced from Gorgan shistides. M.Sc. Thesis. Faculty of Earth Sciences, Shahroud University. (In Persian)
7. Inacio, M., Pereira, V., and Pinto, M. 2008. The soil geochemical atlas of Portugal: overview and applications. *J. Geochem. Explor.* 98: 1-2. 22-33.
8. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Partial size analysis. P 383-411, In: A. Klute (ed), *Methods of soil analysis, Part 2: Physical properties.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
9. Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India, 438p.
10. Karimi Nezhad, M.T., Tabatabaii, S.M., and Gholami, A. 2015. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *J. Geochem. Explor.* 152: 91-109.
11. Khaledan, Sh., Taghavi, L., and Paykan Pourfard, P. 2017. Investigation of spatial variations of lead and cadmium dispersion using the techniques of geometric statistics and GIS. *J. Health Environ.* Pp: 151-164. (In Persian)
12. Khodakarami, L. 2009. Evaluation of non-destructive agriculture pollutants using RS and GIS. M.Sc. Thesis on environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology. (In Persian)
13. Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis. Part I, Physical and Mineralogical Methods.* 2nd ed. Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, USA.
14. Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo, G., Chen, X., and Yang, X. 2015. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma.* 192: 50-58.
15. Loeppert, R.H., and Sparks, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474, In: D.L. Sparks (ed), *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
16. Mahmoudi, S., Mohammadi, J., and Naderi, M. 2013. Statistical and spatial distribution of some heavy metals in surface soil particle size fractions in South of Isfahan. *J. Water Soil Cons.* 20: 2. 1-22. (In Persian)
17. Manasreh, W.A. 2010. Assessment of trace metals in street dust of mutah city, Kurak, Jordan. *Carpatian J. Earth Environ. Sci.* 5: 1. 5-12.
18. Mediolla, L.L., Domingues, M.C.D., and Sandoval, M.R.G. 2008. Environmental assessment of and active tailings pile in the state of Mexico (Central Mexico). *Res. J. Environ. Sci.* 2: 3. 197-208.
19. Micó, C., Recatalá, L., Peris, M., and Sánchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere.* 65: 5. 863-872.

20. Mmolawa, A., Likuku, S., and Gaboutloeloe, G.K. 2011. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana. *Afric. J. Environ. Sci. Technol.* 5: 3. 186-196.
21. Mohammad Naser, H., Sultana, S., and Noor, S. 2012. Heavy metal pollution of soil and vegetable grown near roadside at Gazipur. *Bangladesh J. Agric. Res.* 37: 1. 9-17.
22. Movahedi Rad, Z. 2007. Investigation of spatial variations of zinc, lead, nickel and cadmium in soils in Qom province. M. Sc. Thesis of Soil Science. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. (In Persian)
23. Muller, G. 1969. Schwer metalle in den sediments des rheins. *Veränderungen seit, Umschan.* Pp: 778-783.
24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 961-1010, In: D.L. Sparks (ed), *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
25. Rey, R.D., Fierros, F.D., and Barral, M.T. 2009. Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach. *Microchem. J.* 91: 2. 253-263.
26. Sistani, N., Moin al-Dini, M., and Khorasani, N. 2017. Pollution of heavy metals in soils adjacent to steel industries. *J. Health Environ.* Pp: 75-86.
27. Shahbazi, A., Sofyanian, A., Afraz, R., and Khodakarami, L. 2011. Investigation of spatial distribution of heavy metals of cadmium, copper and lead in soil and determination of the origin of these metals in Nahavand. *J. Rem. Sens. GIS Natur. Resour. Sci.* Isfahan University. 2: 2. 97-109. (In Persian)
28. Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., and Teng, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environmental Pollution.* 156: 2. 251-260.
29. The standard of soil quality and its guidelines. 1391. Iran Environment Organization.
30. Turerd Maynard, J.B. 2003. Heavy metal contamination in highway soils. Comparison of corpus christi, TX and cincinnati. OH shows organic matter is key to mobility. *Clean Technology and Environmental Policy.* 4: 235-245.
31. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology.* 53: 2. 399-415.
32. Zamani, A., Yaftian, M.R., and Parizanganeh, A. 2015. Statistical evaluation of topsoil heavy metal pollution around a lead and zinc production plant in Zanjan province, Iran. *Caspian J. Environ. Sci.* 13: 349-361.
33. Zhang, J., Wang, Y., Liu, J., Liu, Q., and Zhou, Q. 2016. Multivariate and geostatistical analyses of the sources and spatial distribution of heavy metals in agricultural soil in Gongzhuling, Northeast China. *J. Soil Sed.* 16: 2. 634-644.
34. Wei, B., Jiang, F., Li, X., and Mu, Sh. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment.* 160: 33-45.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

Evaluation of contamination and spatial variations of Zn, Cu and Ni in arid-zone soils of the Route between Zabol and Zahedan

V. Behnam¹, A. Gholamalizadeh Ahangar², *M. Rahmanian³ and A. Bameri⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zabol, ²Associate Prof., Dept. of Soil
Science, University of Zabol, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Yasouj,

⁴Expert, Dept. of Soil Science, University of Zabol

Received: 05.07.2018; Accepted: 09.25.2018

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals are one of the most important soil pollutants. The increased level of them in the environment with respect to their stability has led to researchers attraction in recent decades. Soil contamination produced by heavy metals released from vehicles is a serious environmental problem. Considering the importance of soil contamination, evaluation of soil contamination by various industries seems to be necessary. Characteristics of the spatial distribution of pollutants in contaminated soils are important factors to identify and eliminate pollution. This study aimed to investigate the spatial distribution of heavy metals such as Ni, Zn and Cu at the roadside soils of Zabol - Zahedan route.

Materials and Methods: 252 soil samples were collected from a depth of 0-20 cm, using a regular systematic sampling process. In addition to the total concentration of the metals in the soil, the soil's properties including its pH, EC, organic matter, lime percentage and soil texture were measured. The contamination assessment of soil was done by using the enrichment factor and biological accumulation indicator. The copper and zinc concentration zonation map was prepared using conventional and exponential Kriging method and for Ni using conventional Kriging method and Gaussian model. The accuracies of the method were compared by using mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) and the method with the highest accuracy was used to prepare the heavy metal maps.

Results: As the distance from the road increased, the concentration of heavy metals decreased. To prepare the map of nickel Gaussian model and for the zinc and copper Exponential model has the highest precision. The average Zn, Cu and Ni concentration at 0, 50 and 100 meters intervals were 54.33, 52.75, 51.56, 9.67, 9.49, 9.03 and 10.26, 10.02, 9.76 mg kg⁻¹. Zn, Cu and Ni concentrations in roadside roads in the study area were less than the WHO limit. The results of this study showed that the relationship between zinc, copper and nickel is positive and meaningful. In fact, the existence of correlations between different metals represents their common source.

Conclusion: The results of spatial distribution of metals showed that these soils are uncontaminated to Zn, Cu and Ni. The concentration and distribution of these elements in the region are of geological and human origin. Zn, Cu and Ni are naturally occurring in the soil, but human activities, such as agricultural activities and the combustion of fossil fuels, have led to the accumulation of these metals in parts of the study area.

Keywords: Contamination, Enrichment factor, Roadside soils, Spatial variations

* Corresponding Author; Email: m.rahmanian10@yahoo.com