

بررسی آلودگی و تغییرات مکانی غلظت سرب و کادمیوم در مسیر زابل-زاهدان

ولی بهنام، احمد غلامعلی زاده آهانگر، محمد رحمانیان و ابوالفضل بامری

دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۳۴۲ - ۳۳۱

Vol. 4(4), Winter 2019, 331 – 342

DOI: 10.22034/jewe.2018.130834.1261

**Investigation of Contamination and Spatial
Variations of Lead and Cadmium on the Zabol
- Zahedan Route**

Behnam V., Gholamalizadeh Ahangar A.,
Rahmanian M. and Bameri A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: بهنام و، غلامعلی زاده آهانگر ا، رحمانیان م. و بامری ا. (۱۳۹۷). بررسی آلودگی و تغییرات مکانی غلظت سرب و کادمیوم در مسیر زابل - زاهدان. مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۴، صفحات: ۳۴۲ - ۳۳۱.

Citing this paper: Shahabizad V., Hassanoghli A. and Sotoodehnia A. (2019). Investigation of contamination and spatial variations of lead and cadmium on the Zabol - Zahedan route. J. Environ. Water Eng., 4(4), 331– 342. DOI: 10.22034/jewe.2018.130834.1261

بررسی آلودگی و تغییرات مکانی غلظت سرب و کادمیوم در مسیر زابل - زاهدان

ولی بهنام^۱، احمد غلامعلی زاده آهنگر^۲، محمد رحمانیان^{۳*} و ابوالفضل بامری^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۳ استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

^۴ مربی، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* نویسنده مسئول: m.rahmanian10@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۷/۰۲/۲۵]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۸/۲۳]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۹/۱۳]

چکیده

آلودگی خاک‌ها به سرب و کادمیوم تولید شده توسط خودروها یک مسئله زیست‌محیطی جدی می‌باشد. سرب در نتیجه استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار و کادمیوم موجود در تایر خودروها از طریق استهلاک خودروها و ترافیک به محیط وارد می‌شوند. این پژوهش با هدف تعیین تغییرات مکانی فلزات سرب و کادمیوم در خاک‌های کنارجاده‌ای مسیر زابل - زاهدان و ارزیابی آلودگی منطقه به این فلزات انجام شد. به‌همین منظور، ۲۵۲ نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ cm برداشت و غلظت کل فلزات سرب و کادمیوم، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک شامل pH، EC و ماده آلی اندازه‌گیری شد. بررسی آلودگی خاک توسط فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین-انباشتگی صورت گرفت. نقشه پراکنش مکانی غلظت فلزات مورد مطالعه به روش کریجینگ ترسیم شد. میانگین غلظت در فاصله ۰، ۵۰ m و ۱۰۰ m به ترتیب ۲/۰۳، ۲/۱۲، ۲/۰۳ و ۲ mg/kg برای سرب که از میانگین جهانی (۲۵ mg/kg) برای این فلز کمتر و همچنین، به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۲۱ و ۰/۲۰ mg/kg برای کادمیوم که از میانگین جهانی (۰/۵۳ mg/kg) برای این فلز کمتر بود. نتایج آنالیزهای زمین‌آماری نشان داد هر دو متغیر ناهمسانگرد بودند و مدل نمایی برای سرب و مدل گوسی برای کادمیوم بهترین برازش را داشتند. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات نشان داد که کادمیوم و سرب منشأ زمین‌شناسی و انسانی دارند. در حقیقت این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسانی سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خودروی؛ توزیع مکانی؛ فلزات سنگین، جاده؛ کریجینگ

۱- مقدمه

خودروها از مهم‌ترین منابع تولید فلزات سنگین و در نتیجه آلودگی‌های محیط‌زیستی هستند. خاک ترکیب ویژه‌ای از زیست‌کره است که نه تنها یک مخزن ژئوشیمیایی برای آلودگی‌هاست، بلکه به‌عنوان یک بافر طبیعی کنترل‌کننده انتقال فلزات و مواد شیمیایی به هواکره، آب‌کره و جانداران می‌باشد (Kabata and Pendias 2001). یکی از مهمترین و شناخته‌ترین آلاینده‌ها که ورود آنها به محیط‌زیست باعث بروز صدمات و بیماری‌های مختلفی می‌شود، فلزات سنگین هستند. سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) دو فلز ناشی از فرآیندهای سوخت در صنعت و حمل‌ونقل بوده و با روی حاصل از سایش تایر در جاده‌ها در ارتباط هستند (Erfanmanesh and Afyuni 2002). کادمیوم با مقدار معمول ۰/۱۱ - ۰/۰۶ mg/kg متحرک‌ترین و سرب با مقدار معمول ۳۰۰ - ۲۰۰ mg/kg کم‌تر حرکت‌ترین فلز سنگین در خاک محسوب می‌شوند (Abaspour et al. 2005).

از آنجا که خاک‌های کشاورزی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت عمومی دارند، داشتن اطلاعات از تجمع و تغییرپذیری مکانی فلزات سنگین در آنها، از اهمیت خاصی برخوردار است. تکنیک‌های آماری و زمین‌آماری می‌توانند چنین اطلاعاتی را در اختیار ما قرار دهند. (Movahedi Rad (2007 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 ماده مادری و توپوگرافی منطقه موثرترین عامل در افزایش غلظت نیکل در منطقه به شمار می‌رود. بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب در خاک و تعیین منشأ این فلزات در شهرستان نهاوند نشان داد که فلزات کادمیوم، مس و سرب منشأ زمین-شناسی و کشاورزی دارند (Shahbazi et al. 2011). در حقیقت این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است. بررسی آلودگی فلزات سنگین در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین نشان داد، غلظت سرب و کادمیوم فراتر از میزان پس‌زمینه مورد مطالعه بود. غلظت بالای این فلزات در این مطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شد

(Li et al. 2015). بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک-های مجاور صنایع فولاد کرمان 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 بود (Sistani et al. 2017). در پژوهشی دیگر بررسی تغییرات مکانی پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و GIS نشان داد که داده‌ها نرمال بوده و مدل کروی مدلی مناسب برای بررسی تغییرات مکانی سرب و کادمیوم تشخیص داده شد. همچنین مشخص شد که جهت باد غالب نقش مهمی در پراکنش سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه داشته است (Khaledan et al. 2017). بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شانگ‌های، منبع ورود فلزات روی، سرب و مس به محیط را عمدتاً فعالیت‌های انسانی عنوان کرد (Shi et al. 2008). بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک و سبزیجات نزدیک جاده‌ای در بنگلادش 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 گزارش شد که ترافیک و انتشار خودروبی در تولید این فلزات نقش عمده‌ای داشتند (Naser et al. 2012). بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کنار جاده‌ای در نیجر به مشخص نمود که غلظت فلزات سنگین در کنار جاده به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و با افزایش فاصله از جاده غلظت آنها کاهش می‌یابد که به ترافیک خودروها نسبت داده شد (Akan et al. 2013).

نظر به اینکه تاکنون مطالعه آلودگی خاک در جاده زابل - زاهدان انجام نگردیده است و از طرفی با توجه به وجود اراضی مختلف در مسیر مورد نظر از قبیل مسکونی، کشاورزی و مرتع، تعیین آلودگی فلزات سنگین مذکور و غلظت و پراکنندگی آنها در این مسیر ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر با هدف تعیین تغییرات مکانی غلظت کل عناصر سرب و کادمیوم در مسیر زابل - زاهدان انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 57' 20''$ و $30^{\circ} 11' 6''$ و طول‌های جغرافیایی $61^{\circ} 29' 32''$ و $38^{\circ} 51' 55''$ می‌باشد (شکل ۱). متوسط بارش سالانه ۵۵ mm

معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ گسسته) و مدل‌های مختلف (دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی) در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (Mohamadi 2006). به منظور ارزیابی روش‌های میان‌یابی از تکنیک ارزیابی متقابل و پارامتر آماری MAE^2 ، MBE^3 و $RMSE^4$ استفاده شد. روش استفاده شده را نشان می‌دهد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر یا نزدیک صفر هستند، نشان‌دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند. پارامترهای MAE ، MBE و $RMSE$ با استفاده از رابطه‌های (۱) الی (۳) محاسبه شدند.

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

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

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_s - R_0)^2} \quad (3)$$

که، n : تعداد داده‌ها، R_s : مقدار برآوردشده، R_0 : مقدار اندازه‌گیری شده

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- توصیف آماری داده‌ها

شاخص‌های آماری فلزات سنگین و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در جدول (۱) آمده است. کمینه و بیشینه غلظت سرب در منطقه به ترتیب ۰/۹۲ و mg/kg ۸/۰۷ بود. میانگین غلظت سرب در فاصله ۵۰، ۰ و ۱۰۰ m به ترتیب برابر با ۲/۱۲، ۲/۰۳ و mg/kg ۲ بود که از میانگین جهانی (mg/kg ۲۵) برای این فلز کمتر است. غلظت کمینه و بیشینه کادمیوم در منطقه به ترتیب ۰/۰۲ و mg/kg ۰/۶۷ بود. میانگین کادمیوم در فاصله ۵۰، ۰ و ۱۰۰ m به ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۲۱ و mg/kg ۰/۲۰ بود که از میانگین جهانی (mg/kg ۰/۵۳) برای این فلز کمتر می‌باشد (Kabata and Pendias 2001).

و حداکثر و حداقل سالانه دما به ترتیب $34/4^{\circ}C$ و $8/4^{\circ}C$ است. میزان تبخیر سالیانه ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ mm و ارتفاع از سطح دریا ۴۸۹/۲ m می‌باشد. در این پژوهش به منظور نمونه‌برداری خاک از روش شبکه‌ای منظم استفاده شد. تعداد ۲۵۲ نمونه خاک از فاصله ۵۰، ۰ و ۱۰۰ m از دو طرف جاده از عمق ۰-۲۰ cm برداشت شد. پس از عملیات نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک‌شدن در هوای آزمایشگاه، کوبیده شده و از الک ۲ mm عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره گل اشباع، بافت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder) (1986)، درصد کلسیم کربنات معادل با روش خنثی‌کردن کلسیم کربنات با کلریدریک اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود (Loeppert and Suarez) (1996)، درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers) (1996) بود. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، ۱ g از نمونه‌های خاک وزن شده و ۲۰ mm محلول تیزاب سلطانی (کلریک اسید + نیتریک اسید غلیظ با نسبت ۳:۱)، جهت هضم اسیدی بدان اضافه شد. نمونه‌ها همراه با محلول تیزاب سلطانی به مدت ۱ h در حمام آب داغ با دمای بالای $90^{\circ}C$ قرار داده شد و بعد از سرد شدن با آب مقطر به حجم رسانیده شدند. غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (Gupta 2000).

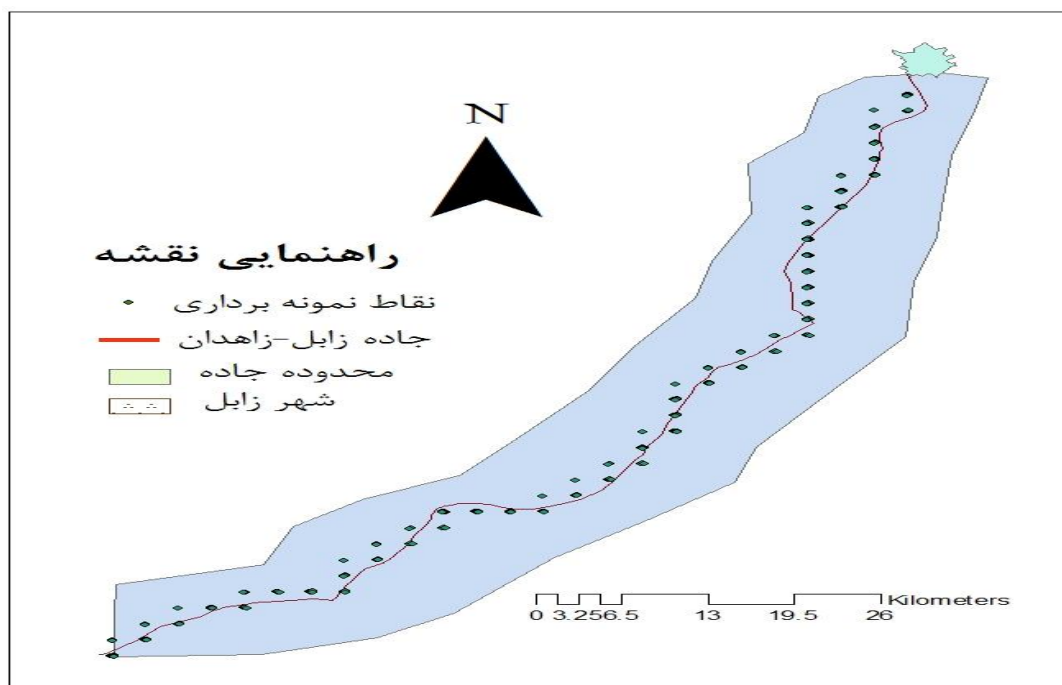
برای تهیه نقشه فلزات سرب و کادمیوم به روش زمین‌آمار، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) اطلاعات اولیه نمونه‌ها، توزیع فراوانی داده‌ها و شاخص‌های آماری مانند میانگین، میانه، واریانس، چولگی و کشیدگی محاسبه گردید پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال، الگوهای تغییرنا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۹،۳) رسم و بهترین الگوی تغییرنا انتخاب گردید. برای بررسی تغییرات مکانی و برآورد غلظت فلزات سنگین از روش‌های مختلف میان‌یابی کریجینگ (کریجینگ

1- Cross Validation

2- Mean Absolute Error

3- Mean Bias Error

4- Root Mean Square Error



شکل ۱- نقاط نمونه برداری شده

Fig. 1 Sampling stations

بالا است (Karimi Nezhad et al. 2016). سرب و کادمیوم تغییرپذیری متوسطی را نشان دادند که بازتاب‌کننده توزیع نسبتاً غیر همگن این دو عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است.

ضریب تغییرات (CV)، درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در خاک نشان می‌دهد. اگر $CV \leq 2\%$ باشد، نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک، $21\% \leq CV < 50\%$ تغییرپذیری متوسط و $50\% < CV \leq 100\%$ تغییرپذیری بالا است، در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت

جدول ۱ - توصیف آماری و برخی ویژگی‌های فلزات سنگین

Table 1 Descriptive statistics and some of the characteristics of heavy metals

متغیر	حداقل	حداکثر	میان	میانگین	کشیدهگی	چولگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات
سرب	0.92	8.07	2	2.07	5.29	0.73	0.67	32.36
کادمیوم	0.02	0.67	0.21	0.21	9.26	-1.37	0.17	43.33
اسیدیته	7.1	10.01	8.2	8.22	7.5	1.2	0.35	4.25
کربن آلی	0.019	2.89	0.29	0.36	3.83	-0.43	0.33	90
EC(ds/m)	0.017	67.2	8.26	13.5	3.61	-0.97	11.61	86

به فلزات سرب و کادمیوم نرمال نبوده و با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند.

۳-۲- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین

جهت تعیین مقدار آلاینده‌گی خاک به فلزات سنگین در یک منطقه، باید مقدار غلظت فلزات در آن منطقه را با یک استاندارد مقایسه کرد. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با

ضریب تغییرات سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه کمتر از ۵۰٪ می‌باشد که بیانگر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیر است. نرمال بودن داده‌ها برای انجام درون‌یابی روش‌های زمین‌آمار ضروری است که در این پژوهش به‌منظور ترسیم تغییرپذیری مکانی داده‌ها و به‌ویژه، تعیین توزیع و ساختار مکانی سرب و کادمیوم در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط

مقادیر $EF > 10$ می‌باشد، طبیعی بودن منشأ این فلزات مورد تأیید قرار می‌گیرد (Rey et al. 2009).

جدول ۲- بررسی شدت غنی‌شدگی (Chen et al., 2007)
Table 2 Assessing Enrichment Factor (EF)

ضریب غنی‌شدگی (EF)	شدت غنی‌شدگی
$1 >$	بدون غنی‌شدگی
1-3	غنی‌شدگی اندک
3-5	غنی‌شدگی متوسط
5-10	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
10-25	غنی‌شدگی شدید
25-50	غنی‌شدگی خیلی شدید
$50 <$	غنی‌شدگی بینهایت شدید

جدول ۳- میانگین فاکتور غنی‌شدن سرب و کادمیوم در طول جاده

Table 3 Mean EF of Pb and Cd along the road length

فلزات	فاصله از جاده (m)	میانگین نمونه‌ها
Pb	0	0.105
	50	0.102
	100	0.100
Cd	0	0.674
	50	0.637
	100	0.674

۳-۴- شاخص زمین‌انباشتگی

به منظور تعیین شدت آلودگی می‌توان از شاخص زمین‌انباشتگی که توسط Muller پیشنهاد شده است، استفاده کرد. این شاخص با علامت I_{geo} نشان داده شده و از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. که در این رابطه (I_{geo})، شاخص زمین‌انباشتگی یا شاخص شدت آلودگی، (Log_2)، لگاریتم در پایه ۲، (C_n)، غلظت فلز در رسوب یا خاک و (B_n)، غلظت زمینه فلز مورد نظر (میانگین شیل) است. ضریب $1/5$ ، به عنوان ضریب تصحیح اثر احتمالی ماتریکس زمینه در رابطه (۴) گنجانده شده است (Muller 1979). بر اساس این شاخص، خاک‌ها از نظر آلودگی به شش گروه تقسیم‌بندی

استاندارد های موجود برای همان منطقه می‌باشد. زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در ایران به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای درجه آلودگی خاک، از استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. میانگین جهانی برای سرب و کادمیوم به ترتیب 20 و 0.3 mg/kg است (Kabata and Pendias 2001). مقایسه نتایج جدول (۱) با میانگین جهانی غلظت سرب و کادمیوم نشان می‌دهد که مقادیر سرب و کادمیوم کمتر از حد استاندارد است. علاوه بر استانداردهای ذکر شده معیارهایی هم برای بررسی درجه آلودگی خاک ارائه شده است که می‌توان بر اساس آنها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی‌برد، که می‌توان به فاکتور غنی‌شدن، شاخص زمین‌انباشتگی، و ضریب آلودگی اشاره نمود (Muller 1979).

۳-۳- فاکتور غنی‌شدن

با توجه به این فاکتور مقدار فلز را می‌توان نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید، این فاکتور از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$EF = \frac{Sc}{Rc} \quad (3)$$

که، $EF =$ فاکتور غنی‌شدگی، $Sc =$ غلظت فلز در خاک و $Rc =$ غلظت فلز در ماده مرجع می‌باشد (Delijani et al. 2009). غلظت ماده مرجع، میانگین جهانی غلظت فلزات موجود در شیل می‌باشد، که همان مقادیر استاندارد جهانی است. بر اساس این فاکتور، می‌توان شدت غنی‌شدگی فلز مورد نظر را در ۶ دسته (جدول ۲) جای داد (Chen et al. 2007). مقادیر $10 < EF < 1$ ، نشانگر آلودگی طبیعی و $EF > 10$ ، حاکی از تأثیر فعالیت‌های انسانی در تجمع فلزات مورد نظر در خاک و رسوب می‌باشد (Rey et al. 2009).

میانگین غنی‌شدن سرب و کادمیوم در جدول (۳) نشان داده شده است. مقدار غنی‌شدگی سرب و کادمیوم کمتر از یک است. بر اساس طبقه‌بندی چن و همکاران (Chen et al. 2007) در خاک‌های منطقه، سرب و کادمیوم بدون غنی‌شدگی، نشان می‌دهند (جدول ۲). همچنین با توجه به اینکه

است. ضریب همبستگی در دو سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ محاسبه شد. با توجه به ضریب همبستگی (جدول ۶)، مواد آلی هیچ رابطه معنی‌داری با غلظت فلزات نشان ندادند. این شواهد (مقدار اندک مواد آلی و عدم همبستگی آن با فلزات) گویای این مطلب است که مواد آلی در این رسوبات نقش خاصی در تحرک و جابه‌جایی فلزات نداشته‌اند. نتایج آنالیز همبستگی نشان می‌دهد فلزات سرب و کادمیوم در سطح معنی‌دار ۹۹٪ با هم همبستگی دارند که نشان‌دهنده منبع مشترک این فلزات می‌باشد. رابطه بین سرب و کادمیوم یک رابطه مثبت و معنی‌دار است یعنی حضور سرب و کادمیوم در کنار یکدیگر معنی‌دار است. در واقع وجود همبستگی بین فلزات مختلف نشان‌دهنده منبع مشترک آنها است (Arfania et al. 2016). که در مورد عناصر سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه می‌توان ذکر کرد که منبع آلودگی یکسان یعنی منابع طبیعی و انسانی باعث تجمع این عناصر در منطقه شده است. در خصوص وجود همبستگی بین فلزات سنگین سرب و کادمیوم نتایج این مطالعه با نتایج (2015) Parsafar et al. و (2016) Afshari et al. مطابقت و با نتایج (2016) Arfania and Asadzadeh مطابقت ندارد.

در مطالعه‌ای دیگر همبستگی بین فلزات سنگین از روش ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و به این نتیجه رسیدند، فلزاتی که همبستگی قوی با هم دارند احتمالاً منابع آلاینده یکسانی دارند (Yalcin et al. 2007). در پژوهشی، همبستگی بین فلزات سنگین سرب، کادمیوم، مس و کبالت خاک ناشی از ورود این عناصر از طریق منبع مشترک گزارش شد (Amini et al. 2007). ذرات خاک سطحی با توجه به دانه‌بندی آنها، کنترل‌کننده فرآیند جذب فلزات سنگین هستند و همبستگی بین این فلزات و کوچکترین اجزاء خاک (سیلت و رس) را توصیف می‌کنند (Chen et al. 1999). درصد رس ارتباط مثبت و معنی‌داری با سرب $r = 0/33$ و $p < 0/01$ ، کادمیوم $r = 0/22$ و $p < 0/01$ دارد و نشان‌دهنده تأثیر ذرات رس خاک بر جذب فلزات سنگین می‌باشد. مقدار رس در خاک از عوامل مهم کنترل‌کننده توزیع و غلظت فلزات سنگین می‌باشد (Chen et al. 1999). همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فلزات سنگین سرب $r = 0/19$ و $p < 0/01$ و کادمیوم $r = 0/12$ و $p < 0/05$

می‌شوند (جدول ۴). این شاخص برای نمونه‌های خاک منطقه محاسبه شد و نتایج حاصل در جدول (۵) آورده شده است.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (4)$$

جدول ۴- مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی مورد استفاده در تعیین آلودگی خاک

Table 4 Igeo used for determining soil contamination

درجه آلودگی (I_{geo} Class)	درجه آلودگی (I_{geo} Class)	شدت آلودگی
≤ 0	0	غیرآلوده
0-1	1	غیرآلوده تا کمی آلوده
1-2	2	کمی آلوده
2-3	3	کمی آلوده تا خیلی آلوده
3-4	4	خیلی آلوده
4-5	5	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
$5 <$	6	شدیداً آلوده

مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی سرب و کادمیوم در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص I_{geo} برای عناصر سرب و کادمیوم در تمامی نمونه‌های بررسی شده، منفی است که طبق تقسیم بندی مولر (Muller, 1979)، عدم آلودگی مطالعه با این دو فلز را نشان می‌دهد.

جدول ۵- میانگین شاخص زمین‌انباشتگی سرب و کادمیوم در

طول جاده

Table 5 Mean I_{geo} of Pb and Cd along the road length

عناصر	فاصله از جاده (m)	میانگین نمونه‌ها
Pb	0	-3.639
	50	-3.904
	100	-3.933
Cd	0	-1.335
	50	-1.225
	100	-1.296

۳-۵- ضریب همبستگی

در این بخش با محاسبه ضریب همبستگی (r)، رابطه بین خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با غلظت فلزات در آنها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. همبستگی فلزات با یکدیگر و سایر پارامترها (مواد آلی و pH) در جدول (۶) گزارش شده

به نداشتن بار سطحی و سطوح تبدیلی و عدم توانایی ذرات شن برای جذب و نگهداری فلزات در خاک نسبت داد.

با درصد سیلت خاک وجود داشت. همبستگی منفی و معنی - داری بین فلزات سرب ($r = -0.27$ و $p < 0.01$)، کادمیوم ($r = -0.18$ و $p < 0.01$) و درصد شن خاک سطحی را می توان

جدول ۶- ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی و فلزات سنگین مورد مطالعه
Table 6 Correlation coefficient of chemical parameters and heavy metals

	EC	CaCO ₃	O.C	pH	Sand	Silt	Clay	Pb	Cd
EC	1								
CaCO ₃	-0.016	1							
O.C	0.089	-0.005	1						
pH	-0.116	0.005	-0.027	1					
Sand	-0.029	-0.201**	-0.291**	-0.037	1				
Silt	-0.003	0.229**	0.245**	0.049	-0.944**	1			
Clay	0.081	0.081	0.284**	0.003	-0.777**	0.525**	1		
Pb	-0.010	0.099	0.104	-0.007	0.276**	0.199**	0.333**	1	
Cd	-0.037	-0.077	0.042	-0.002	-0.181**	0.128*	0.223**	0.289**	1

شد که مدل نمایی برای برآورد غلظت سرب مدل مناسبی است (Dragović et al. 2014). در مطالعه حاضر مدل نمایی به عنوان بهترین مدل برای برآورد غلظت سرب انتخاب شد که با نتایج تحقیق آنها مطابقت دارد. برای کادمیوم، کمترین مقدار برای خطاهای RMSE (0/167)، MAE (0/022) و MBE (0/098) مربوط به روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی بود. بنابراین، نقشه توزیع مکانی کادمیوم با استفاده از روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی تهیه گردید. زیرا دارای بالاترین میزان دقت در بین روش های مورد استفاده بود (جدول ۷).

یکی از مناسب ترین راه های بررسی ناهمسانگردی، استفاده از خاصیت تقارن تابع واریوگرام و ارایه تصویر دو بعدی از واریوگرام تجربی است. نمودار حاصل را واریوگرام رویه ای می نامند. در صورت وجود تقارن در تغییر رویه ای، متغیر همسانگرد و تغییرپذیری متغیر اندازه گیری شده در جهات مختلف یکسان است. در شرایط ناهمسانگردی، واریوگرام

۳-۶- آنالیز زمین آماری

تغییرنا ابزار اساسی برای تخمین به وسیله کریجینگ است، بنابراین، انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار بوده و باید درستی مدل های تغییرنا به نحو بهینه ای کنترل گردد. به منظور انتخاب مناسب ترین مدل تغییرنا، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل و پارامترهای میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. برای سرب، کریجینگ معمولی با مدل نمایی دارای کمترین مقدار RMSE (0/648) در بین مدل های مورد استفاده بود. همچنین در بین مدل های مورد استفاده مدل نمایی دارای کمترین MAE (0/009) و MBE (0/008) می باشد. به طور کلی مدل نمایی در روش کریجینگ معمولی به دلیل داشتن خطای RMSE کمتر نسبت به سایر مدل ها، دارای بالاترین میزان دقت بود و بنابراین برای تهیه نقشه توزیع مکانی سرب خاک مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهشی در مورد بررسی تأثیر فاکتورهای جغرافیایی در پراکنش برخی فلزات سنگین در اطراف مجتمع فولاد تاکید

می‌گردد (Mohamadi 2006). شکل (۲) تغییرنمای سطحی

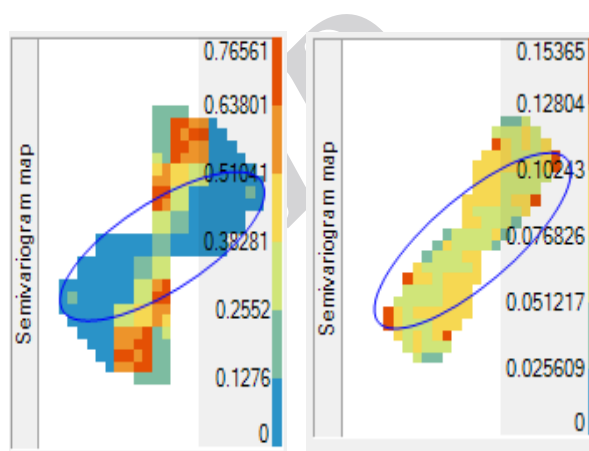
جهت‌دار در امتداد حداکثر و حداقل پیوستگی مکانی محاسبه فلزات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

Table 7 Results of spatial correlation analysis of variables and the models fitted with respect to the study data

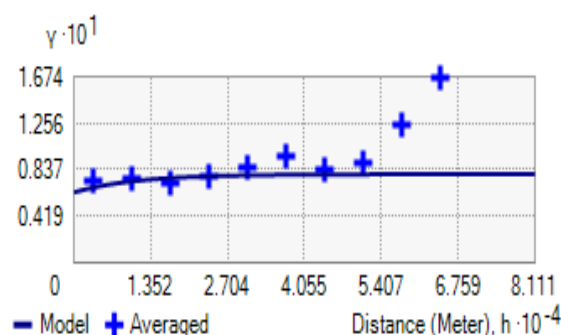
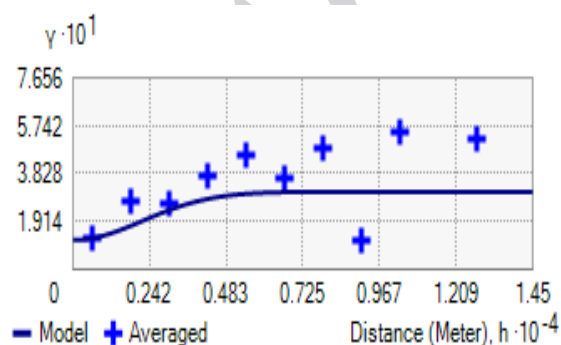
جدول ۷- نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه.									
RMSE	MBE	MAE	$\frac{C_0}{C_0 + C}$	حد آستانه (C)	دامنه تاثیر	اثر قطعه ای (C_0)	مدل	روش درون‌یابی	متغیر
0.648	0.008	0.009	0.72	0.019	81107	0.049	نمایی	کریجینگ معمولی	سرب
0.167	-0.908	-0.002	0.39	0.209	14312	0.135	گوسی	کریجینگ معمولی	کادمیوم

کادمیوم و سرب نشان‌دهنده تأثیر عوامل طبیعی از جمله ماده مادری، توپوگرافی و نوع خاک بر مقدار این فلزات است (Wang et al. 2008). نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه چگونگی وابستگی مکانی متغیر را نشان می‌دهد. اگر این مقدار کوچکتر از ۲۵٪ باشد، وابستگی مکانی متغیر قوی، ۲۵-۷۵٪ وابستگی مکانی متوسط و بیش از ۷۵٪ وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (Hu et al. 2006). در این پژوهش مقدار این نسبت برای کادمیوم ۲۵-۷۵٪ بود (جدول ۲). با توجه به طبقه‌بندی مذکور، مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به سقف برای فلزات سنگین مورد مطالعه، نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسطی می‌باشد که عوامل انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی، استفاده از سوخت‌های فسیلی، کوددهی و دیگر عملیات مدیریتی خاک که همبستگی مکانی را تغییر می‌دهند، می‌توان از عوامل کاهش‌دهنده همبستگی مکانی باشند.



شکل ۲- تغییرنمای سطحی سرب (سمت راست) و کادمیوم (سمت چپ)

Fig. 2 Surface view change of Pb (right) and Cd (left) تغییرنمای سطحی فلزات مورد مطالعه در شکل (۳) و پارامترهای آن در جدول (۲) نشان داده شده است. دامنه زیاد



شکل ۳- تغییرنمای سرب (سمت راست) و کادمیوم (سمت چپ)

Fig. 3 View change of Pb (right) and Cd (left)

مدل تغییر نمایی خطی و گوسی بودند (Yang et al. 2009). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در همه فلزات ۲۵ تا ۷۵٪ دارای همبستگی مکانی متوسط بودند. آنها فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی، قارچ‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب را منابع عمده این فلزات سنگین به خاک معرفی نمودند.

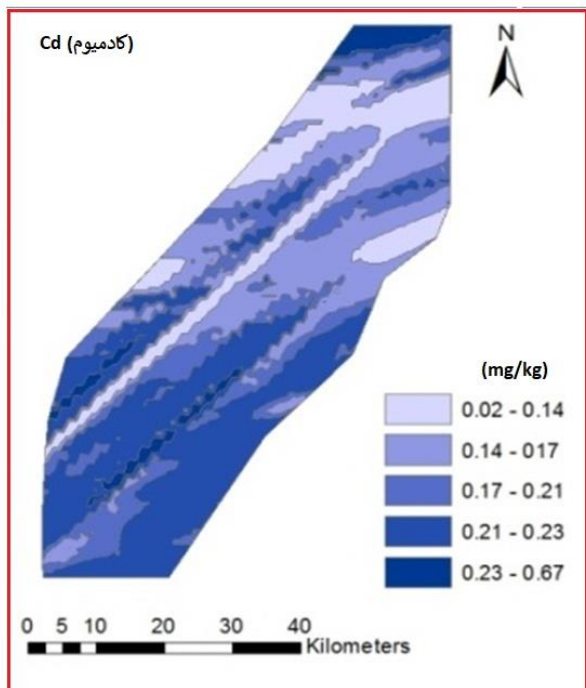
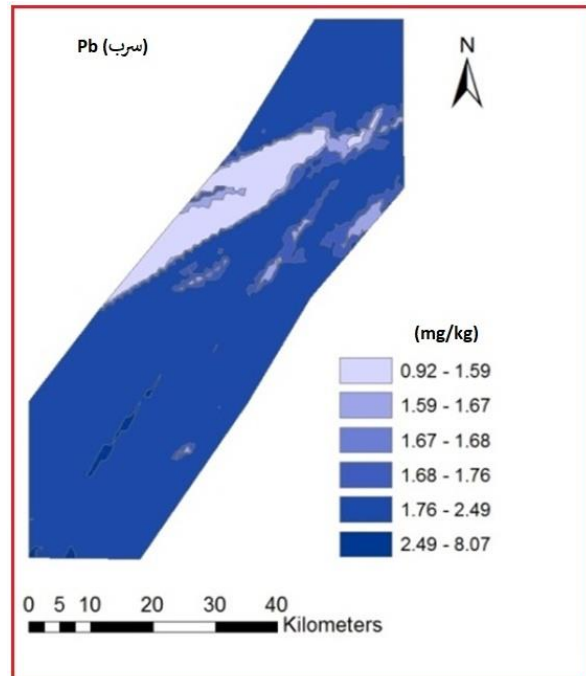
۳-۷- نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین

نقشه‌های توزیع غلظت کادمیوم و سرب خاک سطحی در شکل (۴) ارائه شده است. مناطق دارای غلظت بالای کادمیوم ($0.23 - 0.67 \text{ mg/kg}$) به صورت لکه‌هایی در جنوب و شمال منطقه واقع شده است. به نظر می‌رسد که بالا بودن غلظت کادمیوم در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه، منشا زمین-شناسی و عوامل انسانی نظیر کشاورزی، استفاده از سوخت‌های فسیلی و تردد خودروها باشد. مطالعه‌ای بر روی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک نشان داد که غلظت فلز کادمیوم تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی می‌باشد (Jiachun et al. 2007). برای سرب نیز لکه‌هایی در جنوب منطقه دیده می‌شود که دارای غلظت‌های بالای سرب خاک سطحی ($1.59 - 1.67 \text{ mg/kg}$) می‌باشند. به طور کلی، عامل اصلی در افزایش غلظت سرب در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه عوامل طبیعی می‌باشد، اما عوامل انسانی نظیر استفاده از سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های کشاورزی نیز در تجمع بیشتر این فلز در خاک بی‌تأثیر نبوده است.

۴- نتیجه‌گیری

۱- بیشترین غلظت کادمیوم به صورت لکه‌هایی در جنوب و شمال منطقه و برای سرب نیز لکه‌هایی در جنوب منطقه قرار داشت.

۲- تجزیه و تحلیل نقشه توزیع مکانی فلزات منطقه مورد مطالعه نشان داد که عناصر کادمیوم و سرب منشأ زمین‌شناسی و انسانی دارند. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و استفاده از سوخت‌های فسیلی و تردد خودروها سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده بود.



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی فلزات

Fig. 4 Spatial distribution of heavy metals

نتایج پژوهشی در چین نشان داد که تغییرات فلزات کادمیوم، آرسنیک، کروم، مس، جیوه و سرب در منطقه از مدل تغییر نمایی کروی تبعیت می‌کند، اما نیکل و روی به ترتیب دارای

References

- Abaspour A., Kalbasi M., Hajrasoliha Sh. and Golchin A. (2005). Investigation of contamination of some Iranian agricultural soils to cadmium and lead. 9th Iranian Soil Science Congress, Tehran University, [In Persian].
- Afshari A., Khademi H. and Delavar M. A. (2016). Heavy metals contamination assessment in soils of different land uses in central district of Zanjan province using contamination factor. *Water Soil Sci.*, 25(4), 41-52 [In Persian].
- 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.
- Amini M., Afyuni M. and Khademi, H. (2007). Modeling cadmium and lead balance in agricultural lands of Isfahan region, central Iran. *J. Water Soil Sci.*, 10(4), 77-90 [In Persian].
- Arfania H. and Asadzadeh F. (2016). Heavy metals bio-availability (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in sediments of Abshinehriver. *J. Soil Manag. Sustain. Product.* 4(5), 133-46 [In Persian].
- Chen C., Kao W., Chen C. M. and Dong C. F. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsinung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66, 1431-1440.
- Chen M., Ma L. Q. and Harris W. G. (1999). Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. *J. Environ. Qual.*, 28(4), 1173-1181.
- 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].
- Dragović R., Gajić B., Dragović S., Đorđević M., Đorđević M. and Mihailović N. (2014). Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). *J. Clean. Product.*, 84, 550-562.
- Erfanmanesh M. and Afyuni M. (2002). Environmental pollution water, soil and air. Arkan Publication, 318 pp [In Persian].
- Gee G. W. and Bauder J. W. (1986). Particle size analysis. p. 383-411. In Klute A. (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 1.* 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison.
- Gupta P. K. (2000). Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Delhi, India, 438 pp.
- Hu K., Zhang F., Li H., Huang F. and Li B. G. (2006). Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. *Pedosphere*, 16, 690-698.
- Jiachun S., Haizhen W., Jianming X., Jianjun W., Xingmei L. and Haiping Z. (2007). Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing, China. *Environ Geol.*, 52, 1-10.
- Kabata A. and Pendias H. (2001). Trace elements in soils and planets. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 413 pp
- Karimi Nezhad J., Behrouzi Rad B. and Hussini Alhashemi A. (2016). Investigating pollution caused by agricultural activities in Shadegan Marsh using birds index. *Green Wave*, 14(55), 3-10. [In Persian].
- Khaledan Sh., Taghavi L. and Paykanpour Fard P. (2017). Investigation of spatial variations of lead and cadmium dispersion using the techniques of geometric statistics and GIS. *J. Health Environ.* 10(2), 151-164. [In Persian].
- 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.
- Loeppert R. H. and Suarez D. L. (1996). Carbonate and gypsum. p. 437-474. In Sparks D. L. (ed), *Methods of Soil Analysis.* SSSA, Madison.

- Mohamadi J. (2006). *Pedometrics*. Pelk Publishing House. 240 pp [In Persian].
- 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, 150 pp [In Persian].
- Muller G. (1979). Schwermetalle in den sediments des rheins: Veränderungen seit 1971. *Umschau*, 79, 778-783.
- Naser H. M., Sultana S. Gomes R. and Noor S. (2012). Heavy metal pollution of soil and vegetable grown near roadside at Gazipur. *Bangladesh J. Agri. Res.*, 37(1), 9-17.
- Nelson D. W. and Sommers L.E. (1996). Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In Sparks D. L. (ed), *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
- Parsafar N., Marofi S., Rahimi G. and Marofi H. (2015). Assessment of pollution index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the soil irrigated with municipal wastewater. *Water Soil Sci.*, 25(1), 1-12 [In Persian].
- Rey R. D., Fierros F. D. and Barral M. T. (2009). Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach. *Micro. chemical J.*, 91, 253-263.
- Sistani N., Moin al-Dini M. and Khorasani N. (2017). Pollution of heavy metals in adjacent soils of steel industry. *J. Health Environ.*, 10(2), 75-86 [In Persian].
- 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. Remote Sens. GIS Nat. Resour. Sci.*, 2(2), 97-109 [In Persian].
- 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. *Environ. Pollut.*, 156, 251-260.
- Wang S. Y., Yu T. Q., Wang J. L., Yang L., Yang K. and Lu P. (2008). Preliminary study on spatial variability and distribution of soil available microelements in Pinggu County. Beijing. China. *Agri. Sci.*, 7, 1235-1244.
- Yalcin M. G., Battaloglu R. and Ilhan S. (2007). Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol.*, 53, 399-415.
- Yang P., Mao R., Shao H. and Gao Y. (2009). An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. *J. Hazard. Mater.*, 167(1-3), 1246-1251.

Investigation of contamination and spatial variations of Lead and Cadmium on the Zabol - Zahedan Route

Vali Behnam¹, Ahmad Gholamalizadeh Ahangar², Mohamad Rahmanian³
and Abolfazl Bameri⁴

¹M.Sc. Alumni, Department of Soil Sciences, Faculty of Soil and Water Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

²Assoc. Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Soil and Water Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

³Assist. Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Yasooj University, Yasooj, Iran

⁴Lecturer, Department of Soil Sciences, Faculty of Soil and Water Engineering, Zabol University, Zabol, Iran

*Corresponding author: m.rahmanian10@yahoo.com

Original Paper

Received: May 15, 2018

Revised: November 13, 2018

Accepted: December 03, 2018

Abstract

Soil contamination with cadmium and lead released from vehicles is a serious environmental problem. Lead as a result of using leaded petrol fuels and cadmium from the car tire are introduced into the environment through vehicle depreciation and traffic. This study aimed at investigating the spatial distribution of heavy metals such as Pb and Cd at the roadside soils of Zabol - Zahedan route. For this purpose, 252 soil samples were taken from a depth of 0 -20 cm and the concentration of total lead and cadmium metals, physicochemical properties of soil including pH, EC, and organic matter were measured. The contamination assessment of soil was performed through using enrichment factor and geoaccumulation index. The spatial distribution of Pb and Cd concentration was mapped using kriging method. The mean concentration of Pb at 0, 50 and 100 meters was 2.12, 2.03, and 2 mg/kg, respectively, which is less than the global mean (25 mg/kg) for this metal, and for Cd, it was 0.21, 0.21, and 0.20 mg/kg respectively, which was lower than the global average (0.53 mg/kg). The results of the geospatial analysis showed that both variables were anisotropic and the exponential model for lead and Gaussian model for Cd had the best fit. Interpolation map's analysis showed that Cd and Pb have geological and human origins. In fact, these metals naturally exist in soils, but human activity has caused the accumulation of these metals in the soil.

Keywords: Vehicle Pollution; Spatial Variations; Heavy Metals; Road; Kriging.