

## بررسی قابلیت جذب فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی در خاک‌های اطراف کارخانه زغال شویی زرنند

مرضیه آیینه حیدری<sup>۱</sup>، مجید حجازی مهریزی<sup>۲</sup>، اعظم جعفری<sup>۳</sup> و مریم یوسفی فرد<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
- ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
- ۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
- ۴- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۱۲	در ارزیابی کیفیت محیط‌زیست مناطق آلوده، قابلیت دسترسی فلزات سنگین برای گیاهان از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت آلودگی در ریزوسفر خاک‌های اطراف کارخانه زغال‌شویی زرنند به فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم بر اساس قابلیت جذب فلزات سنگین و غلظت کل می‌باشد. در این مطالعه چهار منطقه بر اساس پوشش گیاهی غالب، تفکیک و نمونه‌برداری مرکب (۵ نمونه در هر نقطه) از ۱۳۵ نقطه به طور سیستماتیک انجام شد. نمونه‌های خاک بعد از خشک شدن در معرض هوا و عبور از الک دومیلی‌متری به آزمایشگاه انتقال یافتند. شکل قابل دسترس فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA-TEA در pH برابر با ۷/۳ استخراج و برای تعیین غلظت کل فلزات، از اسید نیتریک ۵ نرمال استفاده شد و غلظت آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. بر اساس غلظت کل فلزات، شاخص زمین‌انباشتی، فاکتور آلودگی و بار آلودگی برای هر چهار منطقه تعیین شدند. نتایج نشان داد که غلظت قابل دسترس فلزات مس، روی، کادمیوم و سرب در هر چهار ناحیه از استاندارد ارایه شده توسط سازمان محیط زیست ایران بیش‌تر بود. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص زمین‌انباشتی، هر ۴ ناحیه مورد مطالعه دارای آلودگی شدید مس و سرب هستند، در حالی که روی و کادمیوم در محدوده غیرآلوده تا کمی آلوده قرار دارند. شاخص بار آلودگی بیش‌تر از یک در تمامی نواحی مورد مطالعه نشان دهنده تاثیر منابع انسانی علاوه بر منابع طبیعی بر افزایش غلظت فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم در خاک است.

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۱

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۱۲

### کلمات کلیدی:

شاخص‌های آلودگی،

فلزات سنگین،

قابلیت جذب،

کارخانه زغال‌شویی

\* عهده دار مکاتبات

Email: mhejazi@uk.ac.ir

### مقدمه

با شروع انقلاب صنعتی از قرن نوزدهم و آلودگی تدریجی محیط زیست، امروزه سلامت انسان و سایر موجودات به صورت جدی در معرض تهدید قرار گرفته است (۱۷). فلزات سنگین به عنوان یکی از مهم ترین آلاینده های زیست محیطی به شدت سمی و غیر قابل تجزیه است، به طوری که وجود چند میلی گرم بر کیلوگرم از آنها در خاک، سلامت گیاه و انسان را تهدید می کند (۲۲ و ۲۳). وجود ارتباط نزدیک بین اکوسیستم های کشاورزی و سلامتی انسان، آلودگی فلزات سنگین در این اکوسیستم ها را به یکی از نگرانی های بزرگ در سراسر جهان تبدیل کرده است (۷ و ۲۸). آلودگی اراضی کشاورزی به فلزات سنگین، کاهش کیفیت خاک، کاهش رشد گیاه و آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی را به همراه دارد (۲۵). برخی از فلزات سنگین مانند روی و مس از عناصر ضروری برای گیاهان و انسان است و به عنوان اجزای کاتالیزوری از پروتئین ها و آنزیم ها محسوب می شوند (۱۴)؛ در مقابل، تعداد زیادی از فلزات سنگین هیچ نقش فیزیولوژیکی مفیدی در انسان ندارند و از مهم ترین عوارض تجمع بیش از حد آنها می توان به سرطان زایی، اثر بر روی پوست (۴۳)، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی سیستم خون ساز، اثر بر سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه ها و تجمع در بافت ها اشاره کرد (۴۴).

تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در اراضی کشاورزی تحت تأثیر مواد مادری و فعالیت های انسانی قرار می گیرد. فلزات سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارند و در اثر فعالیت های انسانی تجمع بیشتری از این فلزات در خاک صورت می گیرد (۴۱). کارخانه های ذوب و تصفیه فلزات، کوره های احتراق زغال سنگ، زباله ها و پس مانده های صنعتی و ضایعات کارخانه ها از منابع اصلی آلودگی منابع خاک و آب در مناطق صنعتی می باشد (۲۶). معادن به عنوان یکی از مهم ترین منابع ورود فلزات سنگین به محیط زیست شناخته شده اند. معدن کاوی، تمرکز سنگ معدن و دفع

باطله های حاصل از آن به همراه پساب کارخانه، از منابع اصلی آلاینده های ناشی از استخراج معادن می باشد (۳). اگرچه غلظت کل فلزات سنگین شاخص مفیدی برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک می باشد؛ ولی اطلاعات کافی در ارتباط با قابلیت جذب و سمیت فلزات سنگین ارایه نمی کند. تحرک، قابلیت جذب و سمیت فلزات سنگین برای گیاهان به طور قابل توجهی به شکل های شیمیایی آنها در خاک بستگی دارد (۲۰ و ۴۲). فلزات سنگین در خاک به شکل های محلول، تبدالی، کرناتی، متصل شده به اکسیدهای آهن و منگنز، آلی و باقی مانده وجود دارند (۳۰ و ۳۶). قابلیت دسترسی این شکل ها با یکدیگر متفاوت است و از بین اجزای مختلف بخش محلول و تبدالی در مقایسه با سایر شکل ها قابلیت دسترسی بیشتری در خاک دارند (۳۰). به همین دلیل تعیین شکل قابل دسترس به جای غلظت کل فلزات سنگین ارزیابی مناسب تری را از آلودگی خاک نشان می دهد (۴۰). قابلیت جذب فلزات سنگین توسط گیاه نه تنها به غلظت فلزات خاک، بلکه به pH خاک، میزان رس و مواد آلی و کودهای استفاده شده نیز بستگی دارد (۱۳). وجود ترکیبات کمپلکس کننده ترشح شده از ریشه، مانند اسیدهای استیک، اگزالیک، فوماریک، سیتریک، تارتاریک، یورانیک و پلی ساکاریدها که قادر به تولید کمپلکس با یون های فلزی در ریزوسفر می باشند و می توانند سبب تغییر، تثبیت و تحرک فلزات سنگین در خاک شوند (۴۰).

در ایران اگرچه مطالعات متعددی در ارتباط با ارزیابی آلودگی خاک های اطراف معادن و مراکز صنعتی انجام شده است، ولی این مطالعات عمدتاً ارزیابی آلودگی را از طریق غلظت کل فلزات سنگین بررسی نموده اند. شهبازی و همکاران (۳۴) بررسی آلودگی فلزات سنگین مس و روی را با استفاده از شاخص های آلودگی در شهرستان نهاوند انجام دادند. این پژوهشگران منشا طبیعی را عامل ورود فلزات سنگین به خاک معرفی کردند. شایسته فر و رضایی (۳۵) ارزیابی و توزیع فلزات سنگین مس، روی و سرب در رسوبات معدن سرچشمه را با استفاده از شاخص های آلودگی انجام دادند. نتایج آنها نشان داد فلزات مس و روی در

پوشش غالب درمنه دشتی<sup>۱</sup>، ناحیه ۲ با پوشش غالب *Neoglollonia*<sup>۲</sup>، ناحیه ۳ با پوشش غالب تاغ<sup>۳</sup> و ناحیه ۴ با پوشش غالب پسته<sup>۴</sup> تفکیک و نمونه برداری از این نواحی انجام شد (شکل ۱). تعداد ۱۳۵ نمونه مرکب (در هر نقطه ۵ نمونه) به همراه دو نمونه شاهد (زمینه) جهت بررسی شاخص-های آلودگی از سطح خاک (عمق ۳۰-۰) برداشت و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی متری به آزمایشگاه منتقل شدند. برخی از خصوصیات شیمیایی خاک شامل pH و EC در عصاره ۱:۵ به وسیله الکتروود شیشه ای pH متر (۳۷) و هدایت سنج الکتریکی (۳۲)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۹) و کربنات کلسیم معادل به روش خشتی-سازی با اسید کلریدریک (۹) اندازه گیری شد. شکل قابل دسترس فلزات سنگین با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA-TEA در pH برابر با ۷/۳ استخراج (۶) و برای تعیین غلظت کل فلزات، از اسید نیتریک ۵ نرمال (۴) استفاده گردید؛ سپس غلظت فلزات در عصاره ها به کمک دستگاه جذب اتمی<sup>۵</sup> (Vario 1995) تعیین شد.

### مطالعات و بررسی شاخص های آلودگی

برای ارزیابی میزان آلودگی خاک از معیارهای شاخص زمین انباشتگی<sup>۶</sup>، فاکتور آلودگی<sup>۷</sup> و شاخص بار آلودگی<sup>۸</sup> براساس غلظت کل فلزات استفاده شد. برای تعیین غلظت زمینه دو پروفیل در فاصله دور از کارخانه حفر و نمونه برداری از خاک های عمقی غیر آلوده صورت گرفت.

### شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی اولین بار توسط مولر<sup>۹</sup> (۳۱) معرفی و به طور گسترده برای مطالعه آلودگی فلزات سنگین استفاده شده است (۱۹ و ۲۷). این شاخص (رابطه

محدوده آلودگی قرار دارند. در تمامی این مطالعات غلظت کل فلزات سنگین برای تعیین سطوح آلودگی در خاک ها مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند غلظت کل می تواند اطلاعات مناسبی در ارتباط با وضعیت آلودگی خاک به فلزات سنگین ارائه نماید، اما استفاده از شکل قابل دسترس فلزات، اطلاعات مفیدتر و واقع بینانه تری از میزان سمیت و قابلیت جذب آن ها توسط گیاه را فراهم می آورد. تاکنون مطالعه چندانی در ارتباط با وضعیت آلودگی خاک های اطراف کارخانه زغال شویی زرنند کرمان انجام نشده است؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آلودگی خاک های اطراف کارخانه زغال شویی و میزان غنی شدگی خاک به فلزات سنگین انجام گردید.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (کارخانه زغال شویی زرنند) در ۷۵ کیلومتری شمال غربی شهرستان کرمان و در نزدیکی شهر زرنند قرار گرفته است. این منطقه بین طول های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۳ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی قرار دارد. کارخانه زغال شویی زرنند از بزرگ ترین کارخانه فرآوری زغال سنگ ایران در سال ۱۳۵۷ مورد بهره برداری قرار گرفت و در حال حاضر روزانه به طور متوسط حدود ۴۰۰۰ تن زغال سنگ را به منظور افزایش درجه خلوص شستشو می دهد (۱۵). این کارخانه به دلیل انتشار آلاینده ها به محیط، آلودگی های زیست محیطی وسیعی را در منطقه زرنند به دنبال داشته است (۱۵).

### نمونه برداری

با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و وجود موانع زیاد جغرافیایی و شهری، نمونه برداری به صورت شبکه بندی تصادفی آشیانه ای انجام شد. مسیر نمونه برداری در اطراف کارخانه با استفاده از نرم افزار Google Earth 7.1.1 تعیین و بر اساس پوشش گیاهی، چهار ناحیه شامل ناحیه ۱ با

- 1- *Artenmisia sieberi*.
- 2- *Neogallonia cruianellides*
- 3- *Haloxyn ammodendron*
- 4- *Pistchios*
- 5- Atomic absorption spectroscopy 203
- 6- Geoaccumulation Index
- 7- Contamination Factor
- 8- Pollution load index
- 9- Muller

آيينه حيدري و همكاران: بررسي قابليت جذب فلزات سنگين...

ارزيابي سطح آلودگي فلزات سنگين را انجام مي‌دهد  
(۸).

رابطه (۳)

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \dots CF_n)^{1/n}$$

در اين رابطه CF شاخص آلودگي براي هر فلز و n  
تعداد فلزات مورد مطالعه در خاک مي‌باشد.

### مطالعات آماری

تجزيه واريانس و مقايسه ميانگين براساس آزمون  
دانكن در سطح ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS  
16.0 انجام شد.

### نتایج و بحث

برخي از ويژگي‌هاي شيميايي ۴ ناحيه مورد  
مطالعه و همچنين غلظت قابل دسترس فلزات  
سنگين در جدول ۳ نشان داده شده است. نتايج  
نشان داد كه هر چهار ناحيه داراي خاک آهكي،  
با pH خنثي و مقدار ماده آلي كم مي‌باشد. ناحيه  
۱ با كاربري مرتع با پوشش غالب درمنه دشتي  
در جهت شمال شرقي كارخانه زغال‌شويي قرار  
گرفته است (شكل ۱). در اين ناحيه به طور  
ميانگين، فلز روي بيش‌ترين غلظت قابل دسترس  
(۱۱/۹۳ ميلي‌گرم بر كيلوگرم) در بين ساير  
فلزات را به خود اختصاص داده و بعد از آن  
فلزات سرب (۳/۵۲ ميلي‌گرم بر كيلوگرم)، مس  
(۲/۵۳ ميلي‌گرم بر كيلوگرم) و كادميوم  
(۰/۳۸ ميلي‌گرم بر كيلوگرم) قرار گرفته‌اند (جدول ۳).  
همچنين نتايج نشان داد كه فلز سرب داراي  
بيشترين شاخص زمين انباشتگي (۳/۹۷) و فاكتر  
آلودگي (۲۴/۸) و فلز مس داراي كمترين  
شاخص زمين انباشتگي (۰/۷) و فاكتر  
آلودگي (۲/۵۶) در اين ناحيه مي‌باشد (جدول ۴).

(۱) با مقايسه تفاوت‌هاي بين غلظت‌هاي فعلي فلزات در  
خاك مورد مطالعه و غلظت‌هاي زمينه اين فلزات قادر به  
ارزيابي آلودگي‌هاي زيست محيطي مي‌باشد (۲۹).

رابطه (۱)

$$Igeo = \log_2((Cn)/1.5Bn)$$

كه Igeo شاخص زمين انباشتگي، Cn، غلظت كل  
در رسوب يا خاك و Bn، غلظت زمينه مي‌باشد. ضريب  
۱/۵ نيز براي حذف تغييرات احتمالي زمينه به علت  
تاثيرات زمين شناختي اعمال مي‌شود (۱۰). شاخص زمين  
انباشتگي متشكل از ۷ كلاس مي‌باشد (جدول ۱) كه در  
آن بالاترين كلاس ۷ نشان دهنده غني‌سازي فلزات ۱۰۰  
برابر بيش‌تر از غلظت زمينه مي‌باشد (۱۲).

### فاكتور آلودگي

طبق رابطه ۲، فاكتر آلودگي از تقسيم غلظت كل  
عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در  
نمونه زمينه به دست مي‌آيد (۲۶).

رابطه (۲)

$$CF = [C]_{heavy\ metal} / [C]_{background}$$

كه در آن CF، فاكتر آلودگي،  $C_{heavy\ metal}$ ،  
غلظت عنصر در نمونه و  $C_{background}$ ، غلظت عنصر در  
نمونه زمينه مي‌باشد. درجه آلودگي را مي‌توان براساس  
فاكتور آلودگي بين صفر تا ۶ تقسيم بندي كرد  
(جدول ۲).

### شاخص بار آلودگي

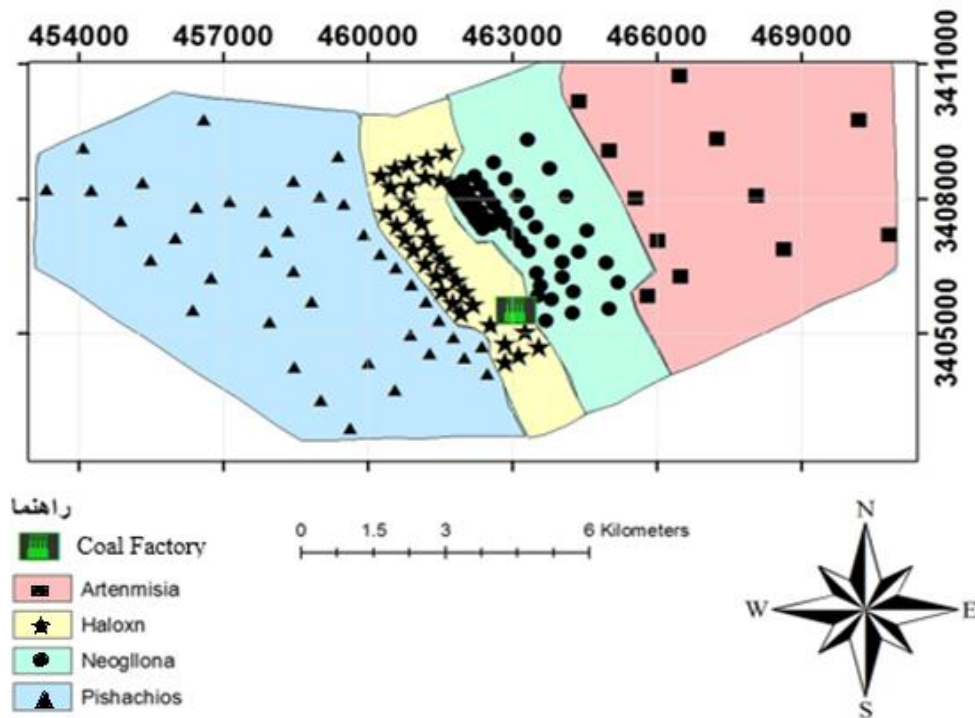
براي كل مناطق نمونه‌برداري، شاخص بار آلودگي  
(PLI) به عنوان ريشه nام فاكتر آلودگي محاسبه  
گرديد (رابطه ۳). اگر شاخص PLI به عدد يك  
نزديك باشد، نشان‌دهنده اين است كه بار يا غلظت  
فلزات سنگين نيز به غلظت زمينه و اگر بيش از  
يك باشد نشان دهنده آن است كه خاك آلوده  
مي‌باشد (۱). اين شاخص به صورت تجربي و ساده،

جدول (۱) کلاس‌های شاخص زمین انباشتی  
**Table (1) Classes of geoaccumulation index**

درجه آلودگی Degree of contamination	شاخص زمین انباشتی Geo-accumulation Index
غیر آلوده Non-polluted	0>
غیر آلوده تا کمی آلوده Non-polluted-slightly polluted	0-1
کمی آلوده slightly polluted	1-2
کمی آلوده تا خیلی آلوده slightly polluted-very polluted	2-3
خیلی آلوده very polluted	3-4
خیلی آلوده تا شدیداً آلوده very polluted-highly polluted	4-5
شدیداً آلوده highly polluted	5<

جدول (۲) طبقه بندی مقادیر فاکتور آلودگی (۲)  
**Table (2) Classification levels of contamination factor**

درجه آلودگی Degree of contamination	مقدار فاکتور Factor value
بدون آلودگی Non pollution	0
بدون آلودگی تا آلودگی متوسط Non pollution-average pollution	1
آلودگی متوسط average pollution	2
آلودگی متوسط تا قوی average pollution-strong pollution	3
آلودگی قوی strong pollution	4
آلودگی قوی تا خیلی قوی strong pollution- very strong pollution	5
آلودگی خیلی قوی very strong pollution	6



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و مناطق نمونه برداری شده  
 Figure (1) Location of the study area and sampling site

اندازه گیری شد. میانگین شاخص زمین انباشتگی فلزات سنگین در ناحیه ۲ نشان داد که فلزات مس و کادمیوم با کمترین شاخص زمین انباشتگی (به ترتیب ۰/۸۶ و ۱/۱۱) در محدوده غیرآلوده تا کمی آلوده و فلزات سرب و روی با بیشترین شاخص زمین انباشتگی (به ترتیب ۴/۱۹ و ۳/۷۰) در محدوده خیلی آلوده قرار دارند (جدول ۴). نتایج فاکتور آلودگی نشان داد که فلزات سرب و روی دارای آلودگی بسیار شدید و فلزات مس و کادمیوم دارای آلودگی متوسط تا قوی در این ناحیه می باشند. کوردوس و همکاران<sup>۲</sup> (۱۱) آلودگی فلزات مس، سرب، روی و کادمیوم را در منطقه معدن کاری در بایا

مطالعه بهویان و همکاران<sup>۱</sup> (۸) نیز نشان داد که شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی فلزات سرب و روی، مس در خاک اطراف معدن زغال سنگی در بنگلادش به طور قابل توجهی نسبت به سایر فلزات سنگین بیش تر است. آن‌ها منشأ این آلودگی را ناشی از عوامل انسانی و فعالیت‌های معدن بیان کردند. در ناحیه ۲ با کاربری مرتع با پوشش گیاهی غالب *Neogllonia* (شکل ۱)، از میان فلزات مورد مطالعه، روی بیشترین غلظت (۷/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داده است. میانگین غلظت قابل دسترس فلزات مس، سرب و کادمیوم به ترتیب برابر با ۱/۴۳، ۲/۸۱ و ۰/۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم

2- Cordos *et al.*

1- Bhuiyan *et al.*

جدول (۳) توصیف آماری غلظت قابل دسترس فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک در مناطق مورد مطالعه  
 Table (3) Statistical description of available forms of heavy metals (mg/kg) and some chemical properties of soil in the study area

ویژگی characteristic	تکرار replication	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	انحراف معیار Standard Deviation
مس (Copper)	13	1.92	4.40	2.53	0.98
روی (Zinc)	13	5.88	35.50	11.93	8.02
سرب (Lead)	13	1.74	4.76	3.52	1.05
کادمیوم (Cadmium)	13	0.14	0.5	0.38	0.13
pH(1:5)	13	6.90	7.90	7.35	0.29
EC(dS/m)	13	0.18	2.04	0.58	0.54
OM (%) <sup>۱</sup>	13	0.27	0.90	0.49	0.29
CCE (%) <sup>۱</sup>	13	8.50	27.00	18.00	4.23
مس (Copper)	48	0.06	3	1.43	0.8
روی (Zinc)	48	1.74	20.20	7.82	3.35
سرب (Lead)	48	0.2	4.54	2.81	0.96
کادمیوم (Cadmium)	48	0.12	0.72	0.35	0.12
pH(1:5)	48	7.00	7.80	7.27	0.25
EC(dS/m)	48	0.24	0.51	0.30	0.07
OM (%)	48	0.35	0.55	0.47	0.06
CCE(%)	48	11.00	20.00	15.13	2.40
مس (Copper)	35	0.06	4.14	1.68	1.07
روی (Zinc)	35	5.36	92.10	16.74	18.89
سرب (Lead)	35	0.64	5.76	2.98	1.05
کادمیوم (Cadmium)	35	0.14	7.48	0.56	1.27
pH(1:5)	35	7.30	8.20	7.64	0.25
EC(dS/m)	35	0.26	3.53	1.06	0.90
OM (%)	35	0.2	1.25	0.60	0.30
CCE (%)	35	16.00	29.50	19.17	3.52
مس (Copper)	39	0.06	5.36	2.35	1.03
روی (Zinc)	39	5.42	55.28	14.91	9.55
سرب (Lead)	39	0.72	7.28	4.03	1.5
کادمیوم (Cadmium)	39	0.14	0.84	0.48	0.14
pH(1:5)	39	6.80	7.50	7.10	0.17
EC(dS/m)	39	0.74	41.60	9.15	12.02
OM (%)	39	0.23	2.24	1.00	0.69
CCE(%)	39	9.50	23.00	14.07	3.38

دست آمد (جدول ۴)، به طوری که منطقه از نظر وضعیت سرب در محدوده خیلی آلوده تا آلودگی شدید قرار دارد (جدول ۱). شاخص زمین انباشتگی بالا برای عناصر سرب و روی در منطقه مورد مطالعه را شاید بتوان ناشی پساب خروجی از کارخانه نیز دانست که برای آبیاری باغات پسته استفاده می‌شود (۱۵). نتایج حمزه و زریسفی (۱۵) نشان داد مقدار فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم حاصل از پساب خروجی از پساب کارخانه به ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۶۲، ۰/۳۲ و ۰/۰۹ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. مصرف کودهای شیمیایی نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل افزایش غلظت فلزات سنگین در این ناحیه باشد. کمترین مقدار شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی برای فلز مس به ترتیب ۱/۱۶ و ۳/۵۸ تعیین شد (جدول ۴). در یک مطالعه خداکرمی (۲۴) به بررسی غلظت ۱۴ فلز سنگین در کاربری‌های مختلف در بخشی از استان همدان پرداخت. نتایج مطالعه نشان داد که عامل اصلی موثر بر افزایش مس و روی در منطقه مورد مطالعه، ساختار زمین‌شناسی می‌باشد، اما مصرف غیر اصولی کود در زمین‌های کشاورزی به دلیل وجود فلزات سنگین در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس نیز می‌تواند باعث افزایش غلظت این فلزات در خاک شده باشد.

شاخص بار آلودگی در هر ۴ منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید (شکل ۲). با توجه به این که شاخص بار آلودگی در هر ۴ منطقه مورد مطالعه بزرگ‌تر از یک به دست آمد، نشان دهنده

ماری بررسی و نتیجه گرفتند که با دور شدن از معدن زغال سنگ غلظت این عناصر کاهش می‌یابد. منطقه ۳ با کاربری صنعتی و پوشش غالب تاغ در جهت غرب و شمال غربی کارخانه زغال شویی قرار گرفته است. میانگین غلظت قابل دسترس فلز روی (۱۶/۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در این ناحیه نسبت به ناحیه ۲ (۷/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم) افزایش دو برابری داشته است (جدول ۳). براساس نتایج به دست آمده روی دارای بیشترین غلظت و کادمیوم دارای کمترین غلظت قابل دسترس می‌باشد. بررسی شاخص‌های آلودگی در این ناحیه نشان داد که بیشترین شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی در مورد فلزات سرب و روی اندازه‌گیری شد (جدول ۴) که براین اساس، منطقه از نظر آلودگی، در محدوده آلودگی شدید قرار دارد. منطقه ۴ با کاربری کشاورزی پسته دارای میانگین غلظت قابل دسترس سرب (۴/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بیش‌تری در مقایسه با سایر نواحی مورد مطالعه است (جدول ۳). نکته مهمی که در مورد فلز سرب مشاهده گردید، افزایش غلظت سرب در نواحی ۳ و ۴ در مقایسه با نواحی ۱ و ۲ بود. نواحی ۳ و ۴ در سمت غرب کارخانه ذغال و بیش‌تر در محدوده شهری قرار گرفتند. این امر نشان می‌دهد که در مناطق شهری خروج سرب از آگروور وسایل نقلیه نقش قابل توجهی در ایجاد آلاینده‌گی این فلز در خاک دارد. در این ناحیه بیشترین مقادیر شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی برای فلز سرب به ترتیب ۴/۵۱ و ۳۸/۴۴ به



فلزات سرب و کادمیوم در نواحی ۱، ۲ و ۴ و فلزات روی و مس در ناحیه ۳ همبستگی مثبتی مشاهده شد که نشان دهنده ورود این فلزات از منبع مشترک می‌باشد. همبستگی معنی‌داری بین ویژگی‌های شیمیایی نظیر pH هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی با غلظت کل فلزات سنگین مشاهده نشد. با توجه به دامنه تغییرات بسیار کم پ - هاش تاثیر ناچیز آن بر غلظت فلزات سنگین قابل توجه است. این نتایج با یافته‌های تامی و همکاران<sup>۱</sup> (۳۸) برای خاک‌های سطحی کاتولینا اسپانیا مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد در نواحی ۱ و ۴ بین درصد آهک با فلز مس ارتباط منفی معنی‌داری وجود دارد. با توجه به اینکه آهک باعث رسوب فلزات در خاک می‌شود. کرمی و همکاران (۲۱) ارتباط معنی‌داری و منفی بین مس در خاک با میزان کربنات کلسیم گزارش کردند. در مطالعه انجام شده توسط هانی و کرمی نژاد<sup>۲</sup> (۱۶) همبستگی بین فلزات مس، روی، کادمیوم و سرب را محاسبه و به این نتیجه رسیدند، فلزاتی که همبستگی قوی با هم دارند احتمالاً منابع آلاینده یکسانی دارند. همچنین امینی و همکاران<sup>۳</sup> (۵) همبستگی بین فلزات سرب و کادمیوم خاک را ناشی از ورود این عناصر از طریق منبع مشترک دانستند.

آلودگی مناطق در نتیجه فعالیت‌های انسانی است (۱). محاسبه شاخص بار آلودگی تحت تاثیر مقدار فاکتور آلودگی فلزات مورد مطالعه است. در مطالعه حاضر، مقدار شاخص بار آلودگی تحت تاثیر مقدار فاکتور آلودگی سرب و روی به دست آمد که دارای بیش‌ترین مقدار در هر چهار منطقه هستند (شکل ۲). آلودگی حاصل را شاید بتوان علاوه بر تاثیر کارخانه به سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نسبت داد. مناطق مرتفع کوهستانی محدوده معادن زغال از نظر سنگ-شناسی مربوط به دوره ژوراسیک و دارای سازندهای شیل، ماسه سنگ، آهک و رگه‌های زغال دار می‌باشد (۲). رگه‌های زغالی بزرگترین ذخیره زغال را داراست و درصد گوگرد رگه‌های زغالی ۱/۱ تا بیش از ۵ درصد است که اکثراً به شکل پیریت، گالن، ماراکاسیت و کلکوپیریت می‌باشد (۱۸ و ۳۳). یکی از دلایل غلظت بالای سرب و روی در منطقه می‌تواند وجود کانی‌های گالن، پیریت و کلکوپیریت باشد. کانی گالن یکی از کانی‌های اختصاصی سرب، کانی پیریت حاوی عناصری مثل کادمیوم، سرب، کروم و کانی کلکوپیریت هم دارای عناصر نیکل، سرب، مس، روی، کادمیوم می‌باشند.

#### همبستگی بین متغیرها

همبستگی بالا بین فلزات سنگین می‌تواند ناشی از ورود این فلزات از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق فعالیت‌های کشاورزی، از طریق اتمسفر یا از طریق ماده مادری باشد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون (جدول ۵) نشان می‌دهد بین

1- Tume et al.

2- Hani and Kariminejad

3- Amini et al.

آيينه حيدري و همكاران: بررسي قابليت جذب فلزات سنگين...

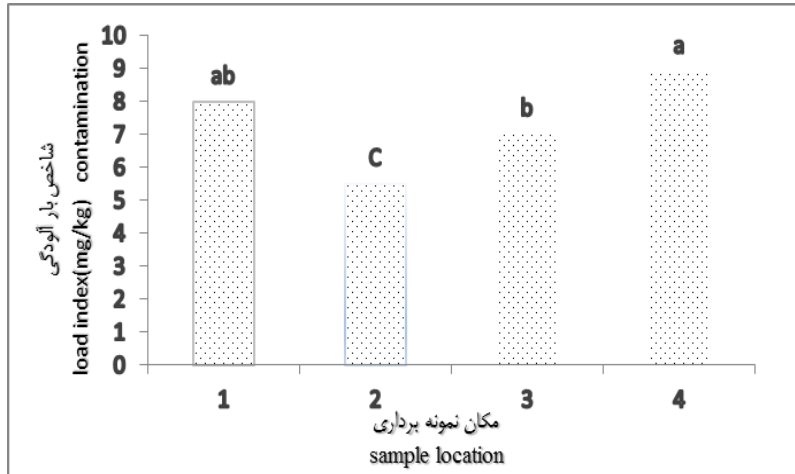
جدول (۴) مقادير شاخص زمين انباشتگي و فاکتور آلودگي فلزات سنگين در مناطق نمونه برداري  
Table (4) Values of Geo-accumulation index and contamination factor of heavy metals in the sampling sites

عنصر (Element)	مکان نمونه برداري (Sample location)	شاخص زمين انباشتگي (Geoaccumulation Index)	فاکتور آلودگي (contamination factor)
مس (Copper)	ناحيه ۱ (Zone1)	0.7c	2.56c
	ناحيه ۲ (Zone2)	0.86bc	2.81bc
	ناحيه ۳ (Zone3)	1.01ab	3.17ab
	ناحيه ۴ (Zone4)	1.16a	3.58a
روي (Zinc)	ناحيه ۱ (Zone1)	3.86a	22.72a
	ناحيه ۲ (Zone2)	3.70a	22.04a
	ناحيه ۳ (Zone3)	3.98a	25.6a
	ناحيه ۴ (Zone4)	3.91a	24.36a
سرب (Lead)	ناحيه ۱ (Zone1)	3.97b	24.8c
	ناحيه ۲ (Zone2)	4.19ab	30.18bc
	ناحيه ۳ (Zone3)	4.44a	35.6ab
	ناحيه ۴ (Zone4)	4.51a	38.44a
کادميوم (Cadmium)	ناحيه ۱ (Zone1)	1.28a	3.87a
	ناحيه ۲ (Zone2)	1.11a	3.83a
	ناحيه ۳ (Zone3)	1.16a	4.41a
	ناحيه ۴ (Zone4)	1.44a	4.42a

در هر ستون و براي هر فلز سنگين، ميانگين هاي داراي حروف مشترك از لحاظ آماري در سطح ۵ درصد معني دار

نيستند

In each columns and for any heavy metal, the means with the same letter are not significant at  $p < 0.05$



شکل (۲) مقدار شاخص بار آلودگی در مناطق نمونه برداری (ستون‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure (2) Pollution load index in the sampling locations (columns with the same letter are not significant at  $p < 0.05$ )

جدول ۵- ضریب همبستگی بین عناصر سنگین مورد مطالعه و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک

**Table (5) Correlation coefficient between studied heavy metals and soil chemical properties**

مکان نمونه برداری (Sampling location)	Cu	Zn	Pb	Cd	CCE(%)	EC(dS/m)	pH(1:5)	OM(%)	
1	Cu	1	0.16	0.10	0.32	-0.67*	0.13	0.27	0.15
	Zn	0.16	1	0.46	0.19	0.25	0.00	-0.01	-0.36
	Pb	-0.10	0.46	1	0.64*	0.23	-0.08	0.26	0.09
	Cd	0.32	0.19	0.64*	1	0.46	0.37	0.28	0.33
2	Cu	1	0.10	-0.10	0.22	0.14	0.10	0.42	0.10
	Zn	0.10	1	0.26	0.06	0.05	-0.08	0.51	0.51
	Pb	-0.10	0.26	1	0.34*	0.23	-0.18	-0.07	0.03
	Cd	0.22	0.06	0.34*	1	0.42	-0.55	0.16	-0.49
3	Cu	1	0.36*	0.10	-0.12	-0.07	-0.30	-0.26	0.11
	Zn	0.36*	1	-0.10	0.10	-0.01	0.03	-0.09	0.09
	Pb	0.10	-0.10	1	-0.12	-0.03	-0.32	0.23	-0.37
	Cd	-0.12	0.10	-0.12	1	0.35	0.01	-0.09	0.18
4	Cu	1	-0.01	-0.08	0.09	-0.55*	-0.24	-0.25	-0.17
	Zn	-0.01	1	0.11	0.04	0.14	-0.11	0.19	0.20
	Pb	-0.08	0.11	1	0.46**	0.10	0.42	-0.06	-0.01
	Cd	0.09	0.04	0.46**	1	0.11	0.27	-0.3	0.43

\*\* در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. \* در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

### نتيجه گيري

دست آمده و با توجه به همخواني نتايج شاخص آلودگي با غلظت قابل دسترس فلزات مورد مطالعه در اين منطقه، عواقب بسيار خطرناك سميت اين فلزات و تأثير آنها بر سلامت انسان و محيط زيست دور از انتظار نيست. از مناطق مورد مطالعه، منطقه ۴ با كاربري كشاورزي پسته داراي بيش ترين شاخص بار آلودگي (۸/۹۰) است كه مي تواند سبب به مخاطره افتادن سلامت مردم گردد.

نتايج اين مطالعه نشان داد كه شاخص هاي آلودگي در مورد فلزات سرب و روي در هر چهار ناحيه مورد بررسي در وضعيت نگران-كننده اي قرار دارند؛ به ويژه آن كه نمونه هاي خاك از مناطق نزديك ريشه برداشت شده و به طور مستقيم با گياه در ارتباط مي باشد، جمع آوري شده است. براساس شاخص هاي محاسبه شده، منطقه مورد مطالعه از نظر وضعيت فلزات سرب و روي در محدوده خيلي آلوده تا شديداً آلوده قرار دارد؛ به اين ترتيب با توجه به نتايج به

### منابع

1. Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, S., Serfor-Armah, Y., Osaе, S., Fianko, J., and Akaho, E. 2008. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 165-175.
2. Adriano, D.C. 2001. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York.
3. Aghanabati, A. 2004. "Geology of Iran". Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Ministry of Industries and Mines, 430 p. (in Persian).
4. Ajayi, A., and Kamson, O.F. 1983. Determination of lead in roadside dust in Lagos City by atomic absorption spectrophotometry. *Environment International*, 9: 397-400.
5. Amini, M., Afyuni, M., Fathianpour, N., Khademi, H., and Flühler, H. 2005. Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation. *Geoderma*, 124(3): 223-233.
6. Baker, D.E., and Amacher, M.C. 1982. Nickel, copper, zinc, cadmium. In: Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. ASA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 323-334.
7. Bermudez, G.M., Jasan, R., Plá, R., and Pignata, M.L. 2012. Heavy metals and trace elements in atmospheric fall-out: their relationship with topsoil and wheat element composition. *Journal of Hazardous Materials*, 213: 447-456.

8. Bhuiyan, M.A., Parvez, L., Islam, M., Dampare, S.B., and Suzuki, S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 384-392.
9. Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. 1965. *American Society of Agronomy: Madison. WI, USA*, 1149-1178.
10. Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., and Dong, C.D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8): 1431- 1440.
11. Cordos, E., Roman, C., Ponta, M., Frentiu, T., and Rautiu, R. 2007. Evaluation of Soil pollution with copper, lead, zinc and cadmium in the mining area Baia Mare. *Revista De Chimie*, 58(5): 470-474.
12. Förstner, U., Ahlf, W., Calmano, W., and Kersten, M. 1990. Sediment criteria development, pp. 311-338. Springer Berlin Heidelberg.
13. Fytianos, K., Katsianis, G., Triantafyllou, P., and Zachariadis, G., 2001. Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(3): 0423-0430.
14. Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., and Groneberg, D. A. 2006. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1(22): 1-6.
15. Hamze, A.D., and Zerisfi, A.M. 2010. This hydrochemical some toxic elements in Zarand coal washing factory waste and clearing it. *Journal of Applied Geology*, 3, pp. 182 – 194. (in Persian).
16. Hani, A., and Kariminejad, M. 2010. Toxic metal distribution in soils of Kaveh industrial city, Iran. *World Applied Sciences Journal*, 8 (11): 1333-1342.
17. Hashemi, S.A. 2012. Phytoremediation of lead in urban polluted soils in the north of Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 28(5): 470-473.
18. Hower, J.C., and Robertson, J.D. 2003. Clausthalite in coal. *International Journal of Coal Geology*, 53(4): 219-225.
19. Ji, Y.Q., Feng, Y.C., Wu, J.H., Zhu, T., Bai, Z.P., and Duan, C.Q. 2008. Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. *Journal of Environmental Science*, 20: 571–8.
20. Jin, C.W., Zheng, S.J., He Y.F., and Zhou, Z.X. 2005. Lead contamination in tea garden soils and factors affecting its bioavailability. *Chemosphere*, 59: 1151-1159
21. Karami, M., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Papritz, A., and Schulin, R. 2009. Grain zinc, iron, and copper concentrations of wheat grown in central Iran and their relationships with soil and climate variables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 10876 – 10882.

22. Keller, A., and Schulin, R. 2003. Modelling regional-scale mass balances of phosphorus, cadmium and zinc fluxes on arable and dairy farms. *European Journal of Agronomy*, 20(1): 181-198.
23. Khan, S., Cao Q., Zheng, Y., Huang, Y., and Zhu, Y. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing. *China Environmental Pollution*, 152(3): 686-692.
24. Khodakarami, L. 2009. Evaluation agricultural pollution sources using RS and GIS. Master Thesis of Environment, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology. (in Persian).
25. Lee, C.S.L., Li, X., Shi, W., Cheung, S.C.N., and Thornton, I. 2006. Metal contamination in urban, suburban and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment*, 356(1): 45-61.
26. Li, J., Xie, Z.M., Zhu, Y.G., and Naidu, R. 2005. Risk assessment of heavy metal contaminated soil in the vicinity of a lead/zinc mine. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 6: 881-885.
27. Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T.J., Yuan, Z., and Huang, L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 468: 843-853.
28. Liu, G., Yu, Y., Hou, J., Xue, W., Liu, X., Liu, Y., and Liu, Z. 2014. An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. *Ecological Indicators*, 47: 210-218.
29. Loska, K., Wiechuła, D., and Korus, I. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30(2): 159-165.
30. Mäkelä, M., Watkins, G., Pöykiö, R., Nurmesniemi, H., and Dahl, O. 2012. Utilization of steel, pulp and paper industry solid residues in forest soil amendment: relevant physicochemical properties and heavy metal availability. *Journal of Hazardous Materials*, 207: 21-27.
31. Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology Journal*, 2:108-118.
32. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis. Part, 3*: 417-435.
33. Shahabpour, J., Doorandish, M., and Abbasnejad, A. 2005. Mine-drainage water from coal mines of Kerman region, Iran. *Environmental Geology*, 47(7): 915-925.
34. Shahbazi, A., Safyanian, A.R., Mirghafari, N.A., Eyngholaei, M.R. 2012. Soil contamination with heavy metals pollution index factor, the factor accumulation and a comprehensive index of pollution (Case study: city Nahavand). *Environment and Development Journal*, 3 (5). pp. 31-38. (in Persian with English abstract).

35. Shayestehfar, M., and Rezaei, A. 2011. Copper mine pollution rate and distribution of heavy metals using geochemical data and statistical analysis. *Journal of Mining Engineering*, 6(11). pp. 34- 25. (in Persian with English abstract).
36. Tessier, A., Campbell, P. G., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Analytical chemistry*, 51(7): 844-851.
37. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis*. Part, 3: 475-490.
38. Tume, P., Bech, J., Longan, L., Tume, L., Reverter, F., and Sepulveda, B. 2006. Trace elements in natural surface soils in Sant Climent (Catalonia, Spain). *Ecological Engineering*, 27(2): 145-152.
39. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
40. Wang, J., Zhang, C.B., and Jin, Z.X. 2009. The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma*, 148(3): 299-306.
41. 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.
42. Zhang, X., Lin, F., Jiang, Y., Wang, K., and Feng, X. 2009. Variability of total and available copper concentrations in relation to land use and soil properties in Yangtze River Delta of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 155: 205-213.
43. Zhang, X.W., Yang, L.S., Li Y.H., Li H.R., Wang, W.Y., and Ye, B.X. 2012. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 2261-73.
44. Żukowska, J., and Biziuk, M. 2008. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *Journal of Food Science*, 73: 21 -29.