

Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Soil

Neda Ravankhah¹,
Rouhollah Mirzaei²,
Saeed Masoum³

¹ MSc in Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

² Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Kashan, Kashan, Iran

(Received November 14, 2015 ; Accepted January 23, 2015)

Abstract

Background and purpose: Soil heavy metal contamination is a major environmental concern. Contaminants in urban soils can directly pose significant human health risks through oral ingestion, particle inhalation, and dermal contact. The purpose of this study was to determine the health risk of heavy metals in surface soils in Aran-Bidgol, Iran.

Materials and methods: A descriptive cross-sectional study was performed in which 135 topsoil samples were collected from Aran-Bidgol (in Isfahan province) and the metal concentrations of Cd, Pb, Ni, Zn and Cu were determined. Carcinogenic and non-carcinogenic human health risks of heavy metals in surface soils through oral ingestion, inhalation and dermal contact pathways for children and adults were evaluated using the US Environmental Protection Agency (EPA) approved method.

Results: The mean concentrations of Cd, Pb, Ni, Zn and Cu, were 0.72, 11.41, 29.87, 48.59, and 14.82 mg/kg, respectively, which all exceeded the background values. The highest non-cancer risks for both children and adults were found in Pb (12.63 and 0.82, respectively) while the lowest values were observed in Zn (0.3 and 0.04, respectively). The total accumulated non-cancer risk (HI) of all heavy metals for children and adults were more than 17 and 2, respectively. The cancer risk values were 6.37E-06 (Cd), 6.78E-06 (Pb), and 3E-04 (Ni) for children and 1.12E-06 (Cd), 1.19E-06 (Pb), and 6.19E-05 (Ni) for adults.

Conclusion: In this study the carcinogenic and non-carcinogenic risks were higher for children.

Keywords: carcinogenic, non-carcinogenic, exposure pathways, toxic metals, Aran-Bidgol

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(136): 109-120 (Persian).

ارزیابی خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در خاک سطحی

ندا روان خواه^۱
روح اله میرزایی^۲
سعید معصوم^۳

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک به فلزات سنگین، نگرانی بزرگ زیست محیطی است. آلاینده‌های خاک‌های شهری می‌توانند به طور مستقیم و غیر مستقیم مانند بلع، تنفس ذرات و جذب پوستی، خطرات قابل توجهی برای سلامت انسان به همراه داشته باشند. از این رو، هدف این پژوهش ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل است.

مواد و روش‌ها: نوع مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی بود. ۱۳۵ نمونه خاک سطحی در سال ۱۳۹۲ از محدوده شهرستان آران و بیدگل جمع‌آوری شد و غلظت عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس در نمونه‌ها تعیین گردید. خطرات سرطان زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین خاک سطحی برای سلامت انسان به تفکیک مسیرهای بلع، تنفس و جذب پوستی با استفاده از روش پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای کودکان و بزرگسالان ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت کل کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۷۲، ۱۱/۴۱، ۲۹/۸۷، ۴۸/۵۹ و ۱۴/۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است؛ که این غلظت‌ها بیش‌تر از غلظت‌های زمینه بود. بیش‌ترین خطرات غیرسرطان‌زایی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان برای سرب (۱۲/۶۳ و ۰/۸۲) و کم‌ترین آن برای روی (۰/۳ و ۰/۰۴) بود. خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل فلزات برای کودکان بالاتر از ۱۷ و برای بزرگسالان بالاتر از ۲ تعیین شد. مقادیر خطر سرطان‌زایی کادمیوم، سرب و نیکل برای کودکان $6/37 \times 10^{-6}$ ، $6/78 \times 10^{-6}$ و 3×10^{-4} و برای بزرگسالان $1/12 \times 10^{-6}$ ، $1/19 \times 10^{-6}$ و $6/19 \times 10^{-5}$ بود.

استنتاج: نتایج نشان داد که خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی در کودکان بیش از بزرگسالان است.

واژه‌های کلیدی: سرطان‌زایی، غیرسرطان‌زایی، مسیرهای مواجهه، فلزات سمی، آران و بیدگل

مقدمه

زیست محیطی باشد (۱). فلزات سنگین، از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌آیند (۲). این فلزات با بروز خطرات بهداشتی مانند کاهش رشد کودکان، بیماری‌های کلیوی، سرطان و سایر آثار نامطلوب،

سرطان عامل مرگ و میر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه جهان است. افزایش ابتلا به سرطان ممکن است ناشی از افزایش سن جمعیت یا رشد جمعیت، شیوه زندگی سرطان‌زا و به ویژه آلودگی‌های

E-mail: ravankhahmeda@yahoo.com

مؤلف مسئول: ندا روانخواه: دانشگاه کاشان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین

۱. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

۲. استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

۳. استادیار گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۴/۸/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۱/۳

بیشترین تأثیر را در تهدید سلامت شهروندان دارند (۳). آلودگی خاک به فلزات سنگین در بسیاری از نقاط جهان به صورت مشکل جدی زیست محیطی درآمده است (۴۱). در ایران نیز با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، نگرانی قابل ملاحظه‌ای در مورد آلودگی خاک‌های شهری توسط فلزات سنگین وجود دارد. فلزات سنگین سمی، دارای قابلیت تجمع زیستی و مقاوم به تخریب بیوشیمیایی هستند و به عنوان خطر جدی برای سلامت انسان مطرح می‌شوند (۵).

این فلزات در خاک‌های شهری از سه مسیر تنفس، بلع و جذب پوستی به انسان منتقل شده (۶، ۷)، در بافت چربی، سپس بافت عصبی و سیستم غدد درون ریز تجمع پیدا می‌کنند و باعث اختلال در سیستم ایمنی بدن و متابولیسم سلولی می‌شوند (۱). برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم و سرب، عناصر غیرضروری و سرطان‌زا هستند. برخی فلزات دیگر مانند نیکل، روی و مس برای رشد بدن ضروری هستند و عناصر ضروری کم مصرف به شمار می‌روند، اما در غلظت‌های زیاد اثرات سمی دارند (۸). مهم‌ترین منابع ورود به خاک، اثرات بهداشتی و استاندارد آلودگی سازمان بهداشت جهانی برای این فلزات در جدول شماره ۱ آورده شده است.

با توجه به نگرانی‌های محیط زیستی و سلامت انسان در ارتباط با فلزات سنگین، هم‌چنین نقش اساسی خاک و کیفیت آن در سلامت اکوسیستم، آگاهی از غلظت این عناصر به عنوان شاخصی مهم در پیش‌بینی خطرات و بیماری‌های منتج شده از این فلزات و تعیین استانداردهای کیفیت ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات مختلفی در ایران و جهان، آلودگی خاک سطحی به

فلزات سنگین را مورد ارزیابی قرار دادند. این تحقیقات، موارد گوناگونی مانند فعالیت‌های صنعتی، مصرف غیر اصولی کود در زمین‌های کشاورزی و حمل و نقل شهری را به عنوان برخی از منابع ورود فلزات سنگین به خاک معرفی کردند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات Wu و همکاران (۲۰۱۱)؛ اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۴)؛ کریمی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵)؛ Zhang و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد (۱۹، ۲۵-۲۳).

در سال‌های اخیر، خوشبختانه در جامعه علمی دنیا، گرایش به ارزیابی خطر سلامت انسان رو به رشد است، اما مطالعات اندکی، ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین را در خاک مورد توجه قرار داده‌اند (۱، ۲۶، ۲۷، ۲۸). این مطالعات، نتایج متفاوتی را گزارش کرده‌اند؛ به عنوان مثال، Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳) دریافتند که مقادیر خطر غیرسرطان‌زای (HI) کروم تنها برای کودکان بیش‌تر از یک است، در حالی که خطر بروز سرطان در بزرگسالان بیش از کودکان بوده است (۲۶).

نتایج مطالعه Zhao و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که خطر غیرسرطان‌زایی همه فلزات کم‌تر از یک است، در حالی که مقادیر خطر سرطان‌زایی کروم، کادمیوم و آرسنیک بالاتر از حد مجاز بوده است (۱). طی مطالعه‌ای، Qing و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند که خطر غیرسرطان‌زایی همه فلزات در کودکان و بزرگسالان کم‌تر از یک بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که هر دو رده سنی از نظر تأثیرات بیماری‌های غیرسرطانی در محدوده امن قرار گرفته‌اند. هم‌چنین خطر سرطان‌زایی کروم، کادمیوم و نیکل کم‌تر از حد

جدول شماره ۱: منابع ورود برخی فلزات سنگین به خاک، اثرات بهداشتی بر روی انسان و استاندارد آلودگی هر فلز در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

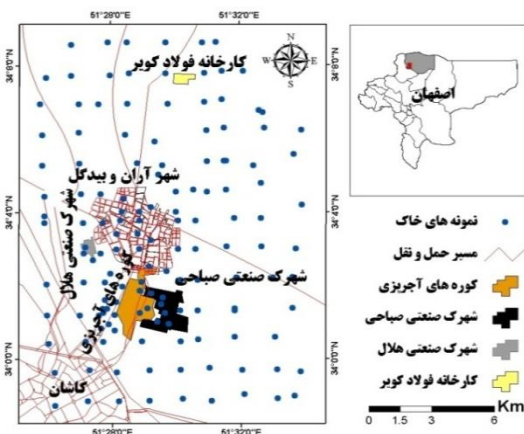
فلز	منبع ورود به خاک	اثرات بهداشتی فلز در انسان	استاندارد آلودگی WHO (میلی گرم بر کیلوگرم) هر فلز در خاک (۹)
کادمیوم	احتراق سوخت فسیلی، کود فسفاته، سموم دفع آفات کشاورزی، آبکاری، صنایع رنگ و پیگمان (۱۱۰ و ۱۲۰)	سرطان ریه، سرطان سینه، فشار خون بالا، نقص جنینی، اختلال عملکرد کلیه (۱۰، ۱۳ و ۱۴)	۰٫۳
سرب	احتراق بنزین دارای سرب، صنعت پتروشیمی، کودهای کشاورزی (۱۲ و ۱۵)	عملکرد نامطلوب سیستم ایمنی و گردش خون، اختلالات عصبی، اسکلی و عدد درون‌ریز (۱۶ و ۱۷)	۲۰
نیکل	شهرک‌های صنعتی، جاده‌ها، کودهای کشاورزی، مناطق مسکونی (۹ و ۱۸)	سرطان ریه، سرطان پوست، برونشیت مزمن، آمفیژم، آسم (۱۳ و ۱۴)	۶۸
روی	آبکاری، افزودنی‌های روان‌کننده و لاستیک خودروها، نساجی، کودهای کشاورزی (۱۰، ۱۵ و ۱۹)	مصرف بیش از حد: بیماری‌های کلیه، سردرد، اختلالات عصبی، پارکینسون (۱۴ و ۲۰)	۵۰
مس	معدن کاپو، ذوب فلزات، آفت کش‌ها و علف‌کش‌ها، لنت ترمز (۱۹ و ۲۲)	مصرف بیش از حد: بیماری‌های کلیه، سردرد، اختلالات عصبی، پارکینسون (۱۴ و ۲۱)	۴۵

مجاز بود (۲۸). در کشور ما پژوهش‌های بسیار محدودی در این زمینه صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعه یگانه و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی جیوه و نیکل در خاک استان همدان اشاره کرد. ایشان مقدار خطر غیرسرطان‌زایی جیوه و نیکل را بیش‌تر از یک گزارش کردند (۲۹). عمده‌ترین کاربری‌های شهرستان آران و بیدگل، شامل کاربری‌های صنعتی، مسکونی، کشاورزی و کوره‌های آجرپزی است. استفاده بیش از حد کودهای فسفاته و آفت‌کش‌ها، انتشارات ناشی از وسایل حمل و نقل، پساب خروجی شهرک‌های صنعتی و سوخت نفتی کوره‌های آجرپزی مهم‌ترین منابع ورود فلزات سنگین به خاک منطقه هستند. با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان گفت که بررسی چنین مطالعاتی در ایران نیز ضروری است؛ از این رو این پژوهش به دلیل اهمیت زیست‌محیطی و بهداشتی با هدف ارزیابی خطر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی ناشی از فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس به تفکیک مسیرهای بلع، تنفس و جذب پوستی در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل برای گروه‌های کودکان و بزرگسالان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

الف) نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

این نوع مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی بود. ۱۳۵ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) از تمام سطح شهرستان آران و بیدگل در سلول‌های هم‌اندازه و از محل تقاطع شبکه‌ها جمع‌آوری شد (تصویر شماره ۱). پس از نقطه‌یابی توسط GPS، ۵ زیرنمونه از هر گروه شبکه از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد، به این صورت که یک نمونه از نقطه تقاطع جمع‌آوری شد و ۴ نمونه دیگر از ۴ قسمت به شعاع ۵۰ متری از نقطه مرکزی نمونه‌برداری برداشت شد. زیرنمونه‌ها با هم مخلوط شدند تا نمونه خاک مرکب به دست آید (۳۰). نمونه‌های خاک در کیسه‌های پلی‌اتیلنی ذخیره و برای



تصویر شماره ۱: موقعیت شهرستان آران و بیدگل در استان اصفهان و نقاط نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از میانگین غلظت فلزات ۱۲ نمونه خاک که به‌طور تصادفی از مناطقی که تحت هیچ‌گونه فعالیت کشاورزی و صنعتی قرار نداشتند، به عنوان غلظت‌های زمینه استفاده شد. پارامترهای آمار توصیفی

(سانتی متر مربع)، AF فاکتور چسبندگی خاک به پوست (میلی گرم بر سانتی متر در روز) و ABS فاکتور جذب سطحی پوست (بدون واحد) است. جزئیات هر پارامتر و مقادیر به کار گرفته شده آن در معادلات ارزیابی خطر (۳۲، ۲۸، ۲۶) در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول شماره ۲: راهنمای پارامترهای معادلات ارزیابی خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی فلزات سنگین در خاک سطحی

پارامتر	واحد اندازه گیری	بزرگسالان	کودکان
IngR	mg/day	۱۰۰	۲۰۰
InhR	m ³ /day	۱۲/۸	۷/۶۳
EF	Day/year	۳۵۰	۳۵۰
ED	Year	۲۴	۶
BW	kg	۵۵/۹	۱۵
AT	days	ED × ۳۶۵	ED × ۳۶۵
PEF	m ³ /kg	۱/۳۶ × ۱۰ ^{-۹}	۱/۳۶ × ۱۰ ^{-۹}
SA	cm ²	۴۳۵۰	۱۶۰۰
AF	mg/cm day	۰/۷	۰/۲
ABS	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
SF	Per (mg/kg)/day	کادمیوم (۶/۳ × ۱۰ ^{-۶})، سرب (۴/۲ × ۱۰ ^{-۶}) نیکل (۸/۴ × ۱۰ ^{-۶})	
RfD _{ingestion}	mg/kg-day	کادمیوم (۰/۰۰۱)، سرب (۰/۰۰۳)، نیکل (۰/۰۰۲)، روی (۰/۰۳)، مس (۰/۰۴)	
RfD _{inhalation}	mg/kg-day	کادمیوم (۱ × ۱۰ ^{-۶})، سرب (۳/۵۲ × ۱۰ ^{-۶})، نیکل (۲/۰۶ × ۱۰ ^{-۶})، روی (۳ × ۱۰ ^{-۶})، مس (۴/۰۲ × ۱۰ ^{-۶})	
RfD _{dermal}	mg/kg-day	کادمیوم (۱ × ۱۰ ^{-۶})، سرب (۵/۲۵ × ۱۰ ^{-۶})، نیکل (۵/۴ × ۱۰ ^{-۶})، روی (۶ × ۱۰ ^{-۶})، مس (۱/۲ × ۱۰ ^{-۶})	

پس از محاسبه مقدار جذب روزانه فلزات برای هر یک از مسیرها، خطر غیرسرطان زایی (HI) کل مسیرها برای کودکان و بزرگسالان از تقسیم مجموع میزان ADD هر مسیر به مقدار مرجع سمیت آن فلز تعیین شد (معادله ۴).

$$HI = \sum HQ = \sum \frac{ADD_i}{RfD_i}$$

در این معادله، HQ خطر غیرسرطان زایی فلزات در هر مسیر، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) و RfD مقدار مرجع سمیت فلز در هر مسیر (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) است. اگر HQ ≤ ۱ باشد، با سلامت انسان ناسازگار نیست و اگر HQ > ۱ باشد، اثرات نامطلوب و نگران کننده‌ای بر سلامت انسان دارد (۳۳). مقدار شاخص خطر تجمعی غیرسرطان زایی

شامل میانگین، حداکثر، حداقل، چولگی و کشیدگی غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ به دست آمد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

ب) ارزیابی خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی

ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین، فرآیندی چند مرحله‌ای است که در دو بخش ارزیابی خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا و بر اساس روش ارزیابی خطر بهداشتی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) انجام شد (۲۸). در بررسی هر دو نوع خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی، قرارگیری انسان در معرض فلزات از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مد نظر قرار گرفت و مقادیر جذب روزانه فلزات (ADD) در هر یک از مسیرها (با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳) محاسبه گردید.

$$ADD_{ingestion} = C_{soil} \times \frac{IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (1 \text{ معادله})$$

$$ADD_{inhalation} = C_{soil} \times \frac{InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT} \quad (2 \text{ معادله})$$

$$ADD_{ingestion} = C_{soil} \times \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (3 \text{ معادله})$$

که در آن ADD_{ingestion}، ADD_{inhalation} و ADD_{dermal} به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه فلزات (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم در روز) از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است. C_{soil} غلظت فلزات در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)، IngR و InhR به ترتیب نرخ بلع و نرخ تنفس خاک (میلی گرم در روز و مترمکعب در روز)، EF فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (روز در سال)، ED مدت قرارگیری در معرض فلزات (سال)، BW وزن بدن شخص قرار گرفته در معرض فلزات (کیلوگرم)، AT مدت زمان قرارگیری در معرض هر مقدار از فلزات به طور میانگین (روز)، PEF فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا (مترمکعب بر کیلوگرم)، SA ناحیه‌ای از سطح پوست قرار گرفته در معرض فلزات

عناصر به ترتیب ۰/۳ - ۱/۱۵، ۱ - ۴۸/۵۲، ۵/۷ - ۵۷/۹۰، ۲۱/۵۰ - ۱۶۵/۷۵ و ۱/۴۵ - ۳۵/۲۲ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. غلظت زمینه کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس به ترتیب ۰/۱۵، ۴/۸، ۸/۵۵، ۲۱/۱۱ و ۲/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. میزان جذب روزانه فلزات (ADD) و خطر غیرسرطان زایی آن‌ها در هر یک از مسیرها (HQ) به تفکیک کودکان و بزرگسالان در جدول شماره ۴ آورده شده است. بیشترین و کمترین میزان جذب روزانه عناصر در هر دو گروه سنی برای فلز روی در مسیر بلع و فلز کادمیوم در مسیر جذب پوستی بود. میزان جذب روزانه تمام عناصر و گروه‌های مورد بررسی در مسیر بلع بیش‌تر از تنفس و جذب پوستی بوده است. جذب روزانه فلزات در مسیر بلع برای گروه کودکان بیش از بزرگسالان بوده و در مسیرهای تنفس و جذب پوستی برای بزرگسالان بیش از کودکان بوده است.

جدول شماره ۳: آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل (n=135)

فلز	میانگین	حداقل	حداکثر	ضرب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	جولگی	کشیدگی
کادمیوم	۰/۷۲	۰/۳	۱/۱۵	۲۵	۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۳۶
سرب	۱۱/۴۱	۱	۴۸/۵۲	۶۲/۶۶	۷/۱۵	۲/۰۱	۶/۹۳
نیکل	۲۹/۸۷	۵/۷	۵۷/۹۰	۴۰/۹۴	۱۲/۲۳	۰/۱۳	-۰/۹۹
روی	۴۸/۵۹	۲۱/۵۰	۱۶۵/۷۵	۴۵/۱۱	۲۱/۹۲	۲/۸۹	۹/۷
مس	۱۴/۸۲	۱/۴۵	۳۵/۲۲	۴۳/۹۹	۶/۵۲	-۰/۱۷	-۰/۱۶

بررسی خطر غیرسرطان زایی فلزات سنگین در هر مسیر (HQ) حاکی از آن است که اکثر فلزات به استثنای کادمیوم، نیکل و سرب در مسیر بلع کودکان و نیز سرب در مسیر تنفس کودکان، خطر غیرسرطان زایی کم‌تر از ۱ داشتند. بالاترین HQ برای سرب در مسیر تنفس و برای

(HI) کل فلزات برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان طبق معادله ۵ به دست آمد:

$$\text{Hazard Index (HI)} = \text{HQ}(\text{Contaminant 1}) + \text{HQ}(\text{Contaminant 2}) + \dots + \text{HQ}(\text{Contaminant n})$$

(معادله ۵)

کل فلزات مورد بررسی دارای اثر غیرسرطان‌زایی هستند، در حالی که کادمیوم، سرب و نیکل باعث بروز هر دو اثر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی می‌شوند (۳۴)، بنابراین ارزیابی خطر سرطان‌زایی در هر یک از مسیرهای سه‌گانه فقط برای این سه فلز و با استفاده از معادله ۶ انجام شد.

$$\text{Risk (RI)} = \sum \text{ADD}_i \times \text{SFi}$$

(معادله ۶)

در معادله فوق، Risk (RI) خطر سرطان‌زایی، ADD_i مقادیر جذب روزانه فلزات در هر یک از مسیرهای قرارگیری در معرض فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) و SFi فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض فلزات (هر میلی گرم بر کیلوگرم در روز) است.

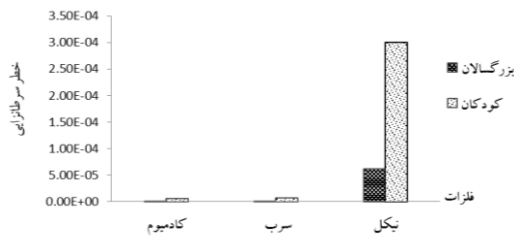
یافته‌ها

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل در جدول شماره ۳ آورده شده است. میانگین غلظت کل کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۷۲، ۱۱/۴۱، ۲۹/۸۷، ۴۸/۵۹ و ۱۴/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم است؛ محدوده تغییرات غلظت

جدول شماره ۴: جذب روزانه فلزات و خطر غیرسرطان‌زایی آن‌ها در هر مسیر از خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل به تفکیک بزرگسالان و کودکان

فلز	HQ _{ingestion}		HQ _{inhalation}		HQ _{dermal}		ADD _{ingestion}		ADD _{inhalation}		ADD _{dermal}	
	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک	بزرگسال	کودک
کادمیوم	۱/۳۵	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۲۱	۰/۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۸/۵۵×۱۰ ^{-۳}	۵/۳۴×۱۰ ^{-۳}	۲/۱۶×۱۰ ^{-۳}	۵/۵۲×۱۰ ^{-۳}
سرب	۶/۱۵	۰/۸۲	۲/۴۱×۱۰ ^{-۷}	۶/۴۸	۶/۵۶×۱۰ ^{-۱۱}	۱/۶۷×۱۰ ^{-۹}	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۳/۴۴×۱۰ ^{-۳}	۸/۸۰×۱۰ ^{-۳}
نیکل	۲/۷۹	۰/۳۷	۱/۷۱×۱۰ ^{-۳}	۱/۰۷×۱۰ ^{-۳}	۱/۶۵×۱۰ ^{-۸}	۴/۲۳×۱۰ ^{-۸}	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۸/۹۳×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۲
روی	۰/۳	۰/۰۴	۱/۹۱×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۱	۲/۴۳×۱۰ ^{-۷}	۶/۲۰×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
مس	۰/۶۹	۰/۰۹	۴/۳۴×۱۰ ^{-۷}	۲/۷۲×۱۰ ^{-۳}	۳/۷۰×۱۰ ^{-۷}	۹/۴۶×۱۰ ^{-۷}	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴/۴۴×۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۱

خطر سرطان‌زایی (RI) هر سه فلز کادمیوم، نیکل و سرب در کودکان بیش‌تر از بزرگسالان بوده است.



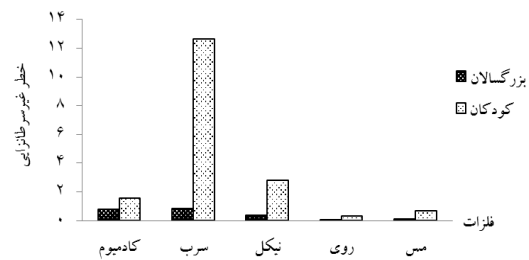
نمودار شماره ۲: خطر سرطان‌زایی (RI) فلزات سنگین خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل در بزرگسالان و کودکان

بحث

محدوده تغییرات غلظت فلزات به همراه ضریب تغییرات تقریباً وسیع بیانگر اثر فعالیت‌های انسانی بر افزایش غلظت فلزات در خاک سطحی منطقه است. این موضوع با مقایسه غلظت‌های میانگین با غلظت‌های زمینه نیز تأیید می‌شود، چون غلظت میانگین تمام فلزات مورد بررسی از غلظت زمینه آن‌ها بیش‌تر است. اگر چه نمی‌توان مورد آلودگی خاک تنها با تکیه بر غلظت‌های زمینه قضاوت کرد، اما در این مطالعه از غلظت‌های زمینه محلی که بهترین غلظت‌ها برای برآورد آلودگی است، استفاده شد (۳۵).

در این مطالعه به نظر می‌رسد جدا از منشأ طبیعی، مهم‌ترین منابع انسانی که بر ورود فلزات سنگین به خاک اثر داشته باشند، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و کوره‌های آجرپزی هستند که این موضوع توسط مطالعات دیگر نیز تأیید شده است (۳۶، ۲۵، ۳۱). به عنوان نمونه خداکرمی طی مطالعه‌ای (۲۰۰۸) در استان همدان پی برد که مصرف غیر اصولی کود در زمین‌های کشاورزی باعث افزایش غلظت مس در خاک شده است (۳۶). برخی منابع به نقش حمل و نقل وسایل نقلیه به افزایش غلظت سرب در خاک اشاره کرده‌اند (۳۷، ۳۶) که احتمال این موضوع نیز در منطقه مورد بررسی وجود دارد. در این پژوهش بیش‌ترین میزان جذب روزانه فلزات مربوط به عنصر روی بوده است. طبق استاندارد

سایر عناصر در مسیر بلع مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان HQ برای هر دو گروه به فلز سرب اختصاص پیدا کرد که در کودکان مربوط به مسیر تنفس و در بزرگسالان مربوط به مسیر بلع بود. خطر غیرسرطان‌زایی هر یک از مسیرهای جذب فلزات (HQ) در مسیر بلع برای کودکان بیش‌تر از بزرگسالان، در مسیر جذب پوستی برای کودکان کم‌تر از بزرگسالان و در مسیر تنفس جز در مورد سرب برای بزرگسالان بیش‌تر از کودکان بوده است. نتایج ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرهای سه‌گانه برای تک‌تک فلزات به تفکیک کودکان و بزرگسالان در نمودار شماره ۱ آورده شده است. مطابق با این نمودار، مقادیر خطر غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرهای جذب کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس به ترتیب برای کودکان ۱/۵۶، ۷۹/۶۳، ۲/۱۲، ۰/۳ و ۰/۶۹ و برای بزرگسالان ۰/۷۸، ۰/۸۲، ۰/۳۷، ۰/۰۴ و ۰/۰۹ است.



نمودار شماره ۱: خطر غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرهای جذب فلزات سنگین خاک شهرستان آران و بیدگل در بزرگسالان و کودکان

خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کل فلزات در خاک سطحی منطقه برای کودکان ۱۷/۹۷ و برای بزرگسالان ۲/۱ به دست آمده است. نتایج ارزیابی خطر سرطان‌زایی (RI) فلزات سنگین خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل به تفکیک کودکان و بزرگسالان در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است. خطر سرطان‌زایی (RI) کادمیوم، سرب و نیکل به ترتیب برای کودکان $6/37 \times 10^{-6}$ ، $6/78 \times 10^{-6}$ و 3×10^{-4} و برای بزرگسالان $1/12 \times 10^{-6}$ ، $1/19 \times 10^{-6}$ و $6/19 \times 10^{-5}$ است. بر این اساس، در هر دو گروه سنی، نیکل بیش‌ترین خطر سرطان‌زایی و کادمیوم کم‌ترین خطر را دارد. هم‌چنین

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، اگر مقدار جذب روزانه فلزات (ADD) بیش تر از مقدار مرجع سمیت فلز در هر مسیر (Rfd) باشد، خطر غیرسرطانزایی فلزات در هر مسیر بالاتر از حد مجاز ($1 < HQ$) خواهد شد (۲۸،۱). از این رو، جذب روزانه فلز روی کم تر از مقدار Rfd آن بوده است ($1 > HQ$)، لذا عواقب مضر بر سلامت انسان نخواهد داشت. مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، اگر خطر غیرسرطانزایی فلزات سنگین در هر مسیر (HQ) بیش از یک باشد، سمیت آن عنصر ممکن است اثرات سوء بر سلامتی انسان بگذارد (۳۳)، در این مطالعه سرب، کادمیوم و نیکل در مسیر بلع کودکان و نیز سرب در مسیر تنفس کودکان دارای چنین وضعیتی هستند. با توجه به این که میزان HQ در مسیر بلع از HQ در مسیرهای تنفس و جذب پوستی برای تمام فلزات به استثنای سرب بالاتر بوده است، مهم ترین مسیر قرارگیری در معرض فلزات سنگین برای کودکان و بزرگسالان مسیر بلع است که این موضوع توسط مطالعات Li و همکاران (۲۰۱۵)، Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳)، Qing و همکاران (۲۰۱۵) و Wei و همکاران (۲۰۱۵) تأیید شده است (۳۲،۲۸،۲۶،۸). Tao و همکاران (۲۰۱۵) نیز طی مطالعه‌ای دریافتند که خطر قرارگیری در معرض فلزات سنگین برای کودکان در مسیر بلع بیش تر از خطرات ناشی از مسیرهای تنفس و جذب پوستی است (۳۸). در این مطالعه مشخص شد که بیش ترین خطر غیرسرطانزایی (HI) کل مسیرها در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان مربوط به سرب و کم ترین آن مربوط به روی است که تا حدود زیادی با مطالعه Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳) تطابق دارد (۲۶). ایشان نشان دادند که خطر غیرسرطانزایی (HI) کل مسیرها برای بزرگسالان و کودکان در خاک مناطق صنعتی هند، به صورت روی > کادمیوم > مس > نیکل > منگنز > سرب > کروم کاهش می‌یابد (۲۶). هم چنین Li و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیش ترین مقدار HI در کل مسیرها را برای سرب در کودکان گزارش کردند (۸).

طی مطالعه‌ای Qing و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که کم ترین خطر غیرسرطانزایی (HI) در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان مربوط به فلز روی بوده است (۲۸) که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، بررسی خطر تجمعی غیرسرطانزایی (HI) کل فلزات نشان می‌دهد اگر $HI \leq 1$ باشد، خطر غیرسرطانزایی به ندرت مشاهده می‌شود و اگر $HI > 1$ باشد، نشانگر بالا بودن احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی است و با افزایش HI، این احتمال نیز افزایش می‌یابد (۳۲،۳۰). در این پژوهش نتایج خطر تجمعی غیرسرطانزایی (HI) کل فلزات برای کودکان و بزرگسالان بسیار بیش تر از یک و برای گروه کودکان خیلی بیش تر از بزرگسالان بود. این مقادیر، عددهای خیلی بزرگ و خطرناکی هستند که عواقب مضر به ویژه برای کودکان به همراه دارند. در ارزیابی خطر بهداشتی فلزات در خاک استان همدان، یگانه و همکاران (۲۰۱۳) مقدار خطر غیرسرطانزایی کل را برای دو عنصر جیوه و نیکل خیلی بیش تر از یک گزارش کردند (۲۹). Qing و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند خطر تجمعی غیرسرطانزایی (HI) در کودکان خیلی بیش تر از بزرگسالان است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۲۸).

نتایج نشان داد مقدار خطر سرطانزایی (RI) فلزات در خاک شهرستان آران و بیدگل دارای روند نزولی کادمیوم > سرب > نیکل است. هم چنین Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳) نیز در مطالعه خویش دریافتند که بیش ترین خطر سرطانزایی (RI) در خاک منطقه صنعتی هند، بعد از کروم به ترتیب مربوط به نیکل، سرب و کادمیوم بوده است (۲۶). در مطالعه حاضر، مشخص شد که مقدار خطر سرطانزایی (RI) در کودکان بیش از بزرگسالان است که با نتایج مطالعه Qing و همکاران (۲۸) تطابق دارد.

به طور کلی، مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا اگر خطر سرطانزایی (RI) کم تر

از 1×10^{-6} (احتمال سرطان یک نفر از هر یک میلیون نفر) باشد، این خطر قابل اغماض است؛ در حالی که خطر سرطان زایی (RI) بیش تر از 1×10^{-4} غیرمجاز و برای سلامت انسان مخاطره آمیز است. خطر سرطان زایی بین محدوده 1×10^{-6} و 1×10^{-4} نشان دهنده خطرپذیری مجاز تحت شرایط کنترل و نظارت است (۳۹،۳۲). در این پژوهش، خطر سرطان زایی (RI) کادمیوم، سرب و نیکل در بزرگسالان و کودکان از حد مجاز 1×10^{-6} (احتمال سرطان یک نفر از هر یک میلیون نفر) بیش تر شده است. این خطر در مورد فلز نیکل بالاتر از حد بحرانی 1×10^{-4} به دست آمد. مطالعات Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳)، Qing و همکاران (۲۰۱۵) و Li و همکاران (۲۰۱۵) نتایج متفاوتی را گزارش کرده اند (۲۸،۲۶۸). نتایج پژوهش Chabukdhara و Nema (۲۰۱۳) نشان داد که خطر سرطان زایی (RI) نیکل، کادمیوم و سرب پایین تر از مقدار مجاز توصیه شده سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بوده است (۲۶).

Qing و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند که خطر سرطان زایی کادمیوم و نیکل برای بزرگسالان در محدوده مجاز سفارش شده به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا قرار گرفته اند (۲۸).

Li و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ارزیابی خطر سرطان زایی فلزات در چین دریافتند که مقدار خطر سرطان زایی (RI) کادمیوم در خاک برای کودکان بیش تر از سطوح استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بوده است که با این مطالعه تطابق دارد (۸). نتایج تقریباً مشابهی نیز توسط Zhao و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است (۱). ایشان هم خطر سرطان زایی (RI) را برای کادمیوم بیش تر از حد مجاز سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا گزارش کردند (۱). نتایج ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه مطالعاتی بازتاب این واقعیت است که خطر سرطان زایی این فلزات زمینه تهدید جدی سلامت کودکان و بزرگسالان را فراهم می سازد. طبق نتایج مشخص شد که

پتانسیل خطرپذیری به بیماری های سرطانی و غیرسرطانی در کودکان بیش تر از بزرگسالان است. علی رغم این که توجه کمتری به ورود عناصر سنگین از طریق بلع و تنفس خاک و نیز جذب پوستی به عمل آمده، لیکن این مسیرها می توانند بسیار حائز اهمیت و دارای پتانسیل خطرپذیری بالا باشند. به طور خلاصه باید گفت در این پژوهش، ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات در خاک سطحی توسط روش پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) انجام شد. این روش به دلیل پارامترهای مختلفی که وابسته به مکان هستند، برای هر منطقه ای از جهان قابل انجام هست. پارامترهایی مانند غلظت زمینه، میانگین سن افراد، میزان بلع خاک، میانگین عمر و... برای هر منطقه یا کشوری، مقادیر گوناگونی دارند؛ بنابراین با تغییر چنین پارامترهایی می توان روش را برای هر منطقه ای انجام داد. علاوه بر تغییر پارامترها، شاید بتوان با لحاظ کسر دسترس پذیر فلزات، روش را توسعه داد و آن را برای کاربری های مختلف، یا گروه های سنی مختلف یا زن و مرد به طور مجزا انجام داد. بنابراین پیشنهاد می شود در مطالعات آتی، بر توسعه روش و ایرانیزه کردن آن تمرکز شود تا نتایج بهتری از چنین مطالعاتی در کشور به دست آید. در پایان نیز باید گفت که این روش به طور کلی پتانسیل خطرات بهداشتی را مشخص می کند و خطر بهداشتی زیاد، به معنی بروز خطرات بهداشتی نیست و در صورت وجود داده های مکانی بروز خطرات بهداشتی در مقیاس های بزرگ، شاید بتوان میزان تطابق آن ها را با ارزیابی خطرات بهداشتی صورت گرفته بررسی کرد.

سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از طرح پژوهشی به شماره ۲۰۲۵۵۲۲۰ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INFS) است. بدین وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور سپاسگزاری می شود.

References

1. Zhao Q, Wang Y, Cao Y, Chen A, Ren M, Ge Y, et al. Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary liver, lung and gastric cancer, in Anhui province, Eastern China. *Sci Total Environ* 2014; 470-471: 340-347.
2. Nyarko B, Dampare S, Serfor-Armah Y, Osae S, Adotey D, Adomako D. Biomonitoring in the forest zone of Ghana: the primary results obtained using neutron activation analysis and lichens. *Int J Environ Pollut* 2008; 32(4): 467-476.
3. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *J Hazard Mater* 2012; 227-228: 9-17.
4. Solgi E, Esmaili-Sari A, Riyahi-Bakhtiari A, Hadipour M. Soil contamination of metals in the three industrial estates, Arak, Iran. *B Environ Contam Tox* 2012; 88(4): 634-638.
5. Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem J* 2010; 94(2): 99-107.
6. Olawoyin R, Oyewole SA, Grayson RL. Potential risk effect from elevated levels of soil heavy metals on human health in the Niger delta. *Ecotoxicol Environ Saf* 2012; 85: 120-130.
7. Wu S, Peng S, Zhang X, Wu D, Luo W, Zhang T, et al. Levels and health risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. *J Geochem Explor* 2015; 148: 71-78.
8. Li N, Kang Y, Pan W, Zeng L, Zhang Q, Luo J. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Sci Total Environ* 2015; 521-522: 144-151.
9. Li N, Kang Y, Pan W, Zeng L, Zhang Q, Luo J. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Sci Total Environ* 2015; 521-522: 144-151.
10. Zafarzadeh A, Mehdinejad M, Amanidaz N. Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Soil Irrigated by Sewage Sludge and Industrial Effluent (Case Study: Agh ghallah Industrial Estate). *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015; 24(121): 217-226 (Persian).
11. Boudaghi H, Yonesian M, Mahvi AH, Ali Mohammadi M, Dehghani MH, Nazmara S. Cadmium, Lead and Arsenic Concentration in Soil and Underground Water and its Relationship with Chemical Fertilizer in Paddy Soil. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2012; 21(1): 20-28 (Persian).
12. Amouei AI, Mahvi AH, Naddafi K. Comparison of Heavy Metals (Pb, Cd, Zn) Concentrations in the Industrial, Agricultural Areas and Highway Soils of Amol and Babol Towns (Mazandaran, Iran; 2008). *JBUMS* 2011; 14(1): 77-82 (Persian).
13. Zhao H, Xia B, Fan C, Zhao P, Shen S. Human health risk from soil heavy metal contamination under different land uses near Dabaoshan Mine, Southern China. *Sci Total Environ* 2012; 417-418: 45-54.
14. Liu X, Song Q, Tang Y, Li W, Xu J, Wu J, et al. Human health risk assessment of heavy

- metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Sci Total Environ* 2013; 463-464: 530-540.
15. Karim Z, Qureshi BA, Mumtaz M. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan. *Ecological Indicators* 2015; 48: 358-364.
 16. Zhang X, Yang L, Li Y, Li H, Wang W, Ye B. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environ Monit Assess* 2012; 184(4): 2261-2273.
 17. Yan W, Mahmood Q, Peng D, Fu W, Chen T, Wang Y, et al. The spatial distribution pattern of heavy metals and risk assessment of moso bamboo forest soil around lead-zinc mine in Southeastern China. *Soil and Tillage Research* 2015; 153: 120-130.
 18. Xu X, Zhao Y, Zhao X, Wang Y, Deng W. Sources of heavy metal pollution in agricultural soils of a rapidly industrializing area in the Yangtze Delta of China. *Ecotoxicol Environ Saf* 2014; 108: 161-167.
 19. Zhang H, Wang Z, Zhang Y, Ding M, Li L. Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway. *Sci Total Environ* 2015; 521: 160-172.
 20. Lucas E, Bertrand P, Guazzetti S, Donna F, Peli M, Jursa T, et al. Impact of ferromanganese alloy plants on household dust manganese levels: Implications for childhood exposure. *Environ Res* 2015; 138: 279-290.
 21. Cheng WH, Yap CK. Potential human health risks from toxic metals via mangrove snail consumption and their ecological risk assessments in the habitat sediment from Peninsular Malaysia. *Chemosphere* 2015; 135: 156-165.
 22. Solgi E, Solgi M, Katebi MA. Assessment of Copper Pollution in the Surface Layer of Vineyard Soils in Malayer, Iran. *Journal of Health in the Field* 2014; 2(1): 29-34 (Persian).
 23. Wu S, Zhou S, Li X. Determining the anthropogenic contribution of heavy metal accumulations around a typical industrial town: Xushe, China. *J Geochem Explor* 2011; 110(2): 92-97.
 24. Esmaeili A, Moore F, Keshavarzi B, Jaafarzadeh N, Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena* 2014; 121: 88-98.
 25. Karimi Nezhad MT, Tabatabaai SM, Gholami A. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *J Geochem Explor* 2015; 152: 91-109.
 26. Chabukdhara M, Nema AK. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: probabilistic health risk approach. *Ecotoxicol Environ Saf* 2013; 87: 57-64.
 27. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Sci Total Environ* 2015; 512-513: 143-153.
 28. Qing X, Yutong Z, Shenggao L. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicol Environ Saf* 2015; 120: 377-385.
 29. Yeganeh M, Afyuni M, Khoshgoftarmansh AH, Khodakarami L, Amini M, Soffyanian AR, et al. Mapping of human health risks arising from soil nickel and mercury contamination. *J Hazard Mater* 2013; 244-245: 225-239.

-
30. Man YB, Sun XL, Zhao YG, Lopez BN, Chung SS, Wu SC, et al. Health risk assessment of abandoned agricultural soils based on heavy metal contents in Hong Kong, the world's most populated city. *Environ Int* 2010; 36(6): 570-576.
31. Li X, Feng L. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment* 2012; 47: 58-65.
32. Wei X, Gao B, Wang P, Zhou H, Lu J. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2015; 112: 186-192.
33. Li Z, Ma Z, Van der Kuijp TJ, Yuan Z, Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Sci Total Environ* 2014; 468: 843-853.
34. Luo XS, Ding J, Xu B, Wang YJ, Li HB, Yu S. Incorporating bioaccessibility into human health risk assessments of heavy metals in urban park soils. *Sci Total Environ* 2012; 424: 88-96.
35. Wu J, Teng Y, Lu S, Wang Y, Jiao X. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. *PLOS One* 2014; 9(11): E112917.
36. Khodakarami L. Assessment of agricultural non-point pollution sources using RS and GIS. Thesis of Master degree, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology; 2008 (Persian).
37. Lu SG, Bai SQ, Fu LX. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere* 2008; 18(4): 479-485.
38. Tao XQ, Shen DS, Shentu JL, Long YY, Feng YJ, Shen CC. Bioaccessibility and health risk of heavy metals in ash from the incineration of different e-waste residues. *Environ Sci Pollut Res Int* 2015; 22(5): 3558-3569.
39. Hu X, Zhang Y, Ding Z, Wang T, Lian H, Sun Y, et al. Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM_{2.5} in Nanjing, China. *Atmos Environ* 2012; 57: 146-152.