

آلودگی، منشأ و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و پارک لاله، شهر تهران

سمانه داوطلب نظام، عطا شاکری، محسن رضایی؛

دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین
دریافت ۹۵/۰۷/۲۵ پذیرش ۹۵/۱۱/۳۰

چکیده

کیفیت خاک پارک‌های شهری اهمیت زیادی دارد، زیرا کودکان در حال بازی در پارک آلودگی را به راحتی دریافت می‌کنند. این پژوهش به منظور بررسی غلظت، منابع، آلودگی و ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک دو پارک شهری در تهران انجام شده است. برای این منظور نمونه‌های خاک ($n=26$) از پارک‌های لاله و شهر، نمونه برداری شدند و برای تعیین غلظت کل عناصر بالقوه سمناک (آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، وانادیم، سرب، نیکل و روی) با استفاده از دستگاه ICP-MS & OES تجزیه شدند. درجه آلودگی و منشأ عناصر بالقوه سمناک با توجه به غلظت زمینه با ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یک پارچه محاسبه شد. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز ارتباط و منشأ مشخص شد. نتایج حاصل از EF و I_{geo} نشان داد که حدود ۵۰ درصد از نمونه‌ها نسبت به عناصر کادمیم، کروم، مس، سرب و روی غنی شده‌اند، که نشان می‌دهد آلودگی فلزات سنگین در خاک دو پارک شهر و لاله منشأ انسان‌زاد دارند. بر اساس مقادیر PI، کادمیم، کروم، مس، سرب و روی در خاک دو پارک در گروه نسبتاً آلوده قرار دارند. IPI به ترتیب در پارک شهر و لاله کاهش یافته است. شاخص‌های ژئوشیمیایی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی تأیید کردند که منشأ آلودگی خاک در این دو پارک ترافیک، کود، زباله، خوردگی سطوح فلزی خودروها، مواد افزودنی به سوخت خودروها و خوردگی مصالح ساختمانی است. ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که آلودگی عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و لاله زیر آستانه قابل قبول برای خطرات سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا است. باین حال، ریسک سرطان‌زایی کروم از طریق بلع بیش‌تر از 1×10^{-6} در هر دو پارک است. این نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض خاک آلوده به کروم ممکن است اثرات سوء بر سلامت به خصوص برای کودکان داشته باشد. ضریب خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) برای فلزات از طریق بلع، تنفس و پوست کم‌تر از یک است که نشان می‌دهد در شرایط کنونی خطر سلامت وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، پارک، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ارزیابی ریسک سلامت، تهران

مقدمه

خاک از مهم‌ترین ترکیبات محیط زیست است و علاوه بر این که تأمین‌کننده مواد غذایی است، خاصیت تصفیه‌کنندگی نیز دارد [۱]، [۲]. آلودگی خاک از عوامل مهم در به هم زدن تعادل و توازن طبیعت است. مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شهری عبارتند از فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی، که از میان آن‌ها، فلزات سنگین و برخی شبه‌فلزات مانند آرسنیک به دلیل خصوصیات غیرقابل تجزیه بودن، سمی بودن، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی مورد توجه هستند [۳]. غلظت زیاد فلزات سنگین و شبه‌فلزات در خاک شهری نه تنها تخریب کیفیت خاک را به همراه دارد، بلکه در رشد گیاهان

سبز شهری و کاهش عملکرد زیست‌محیطی خاک نیز تأثیرگذار است. هم‌چنین فلزات سنگین و شبه‌فلزات کیفیت آب-وهوا را در محیط‌های شهری به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند [۴]. ورود عناصر بالقوه سمناک به خاک شهری در نتیجه ترافیک، فعالیت‌های صنعتی (انتشار داخلی و هوازدگی ساختمان‌ها و سطح پیاده‌روها، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، فرسودگی قطعات یدکی و نشت روغن‌های موتور حاوی فلزات سنگین، رهاسازی پساب‌های شهری (سوزاندن و دفن بهداشتی) است [۲]، [۵]، [۶].

پارک‌ها به‌عنوان فضاهای سبز و عمومی در شهرها ارزش اقتصادی و اجتماعی زیادی دارند و محلی بسیار مهم برای سرگرمی و مسافرت با سلامت و زندگی روزمره انسان‌ها ارتباط دارند [۷]. از طرفی به دلیل وجود آلودگی عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهرهای صنعتی، خطر سلامت برای کودکان به دلیل مصرف ناخواسته مقادیر چشم‌گیری از فلزات و تحمل کم آن‌ها نسبت به آلاینده‌ها، زیاد است [۸]. در تضاد با خاک‌های کشاورزی، خاک‌های شهری به‌ویژه خاک پارک‌ها که برای محصولات غذایی استفاده نمی‌شوند ممکن است تأثیر مستقیم بر سلامت عمومی داشته باشند و به راحتی آلودگی را به انسان انتقال دهند [۹].

فلزات سنگین در خاک از طریق طریق بلع^۱، تماس با پوست^۲ و استنشاق ذرات گرد و غبار^۳ به انسان منتقل می‌شوند [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]. با توجه به زیست‌تخریب‌ناپذیری فلزات سنگین و نیمه‌عمر طولانی آن‌ها برای حذف، تجمع آن‌ها در زنجیره غذایی اثرات چشم‌گیری بر سلامت انسان در دراز مدت دارد. قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین به‌عنوان خطرات مطرح بهداشتی به سیستم عصبی و آنزیم‌ها می‌تواند باعث بیماری‌های قلبی و اختلالات بارداری و سرطان شود [۲]، [۱۰]، [۱۴]. به‌عنوان مثال سرب از طریق بلع و تماس با پوست باعث کم‌خونی، اختلالات مختلف عصبی و بیش‌فعالی می‌شود. فلزات سمی (کادمیم، نیکل، کروم، مس و روی) باعث زخم معده، حالت تهوع، آسیب به سیستم عصبی مرکزی و سیستم ایمنی بدن، سرطان، ناباروری، اصلاح مواد ژنتیکی، ملانوم، مشکلات پوستی، کرک استخوان، بیماری‌های قلبی و عروقی و تنفسی، سرطان ریه، تخریب کبد و اختلال کلیوی می‌شوند [۲]. در این پژوهش، خاک پارک لاله و پارک شهر در تهران، با توجه به سن و قرارگرفتن در مناطق با حجم ترافیک زیاد و دیگر منابع آلوده‌کننده خاک برای تعیین غلظت، منشأ و ریسک سلامت عناصر سنگین و شبه‌فلزات بررسی شده است.

منطقه بررسی شده

شهر تهران، یکی از متراکم‌ترین شهرهای ایران است. هم‌چنین مرکز سیاست، اقتصاد، با جمعیت زیاد و بارسنگین فعالیت‌های انسانی است. استان تهران وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع و جمعیتی حدود ۱۲۴۲۵۰۰۰ نفر دارد (شکل ۱). تهران از نظر آب‌وهوایی، بجز در نواحی کوهستانی شمالی که اندکی مرطوب و معتدل است، اقلیم گرم و خشک دارد. در یک دوره ۴۵ ساله بیش‌ترین دمای تهران ۴۳ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین دمای آن ۱۵- درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی هوا ۴۰٪ گزارش شده است [۱۵].

پارک شهر واقع در منطقه ۱۳ در مرکز تهران قرار دارد، که در سال ۱۳۲۸ با مساحت ۲۵ هکتار تاسیس شده است. این پارک از جنوب به خیابان بهشت، از شمال به خیابان فیاض بخش، از شرق به خیابان خیام، و از غرب به خیابان

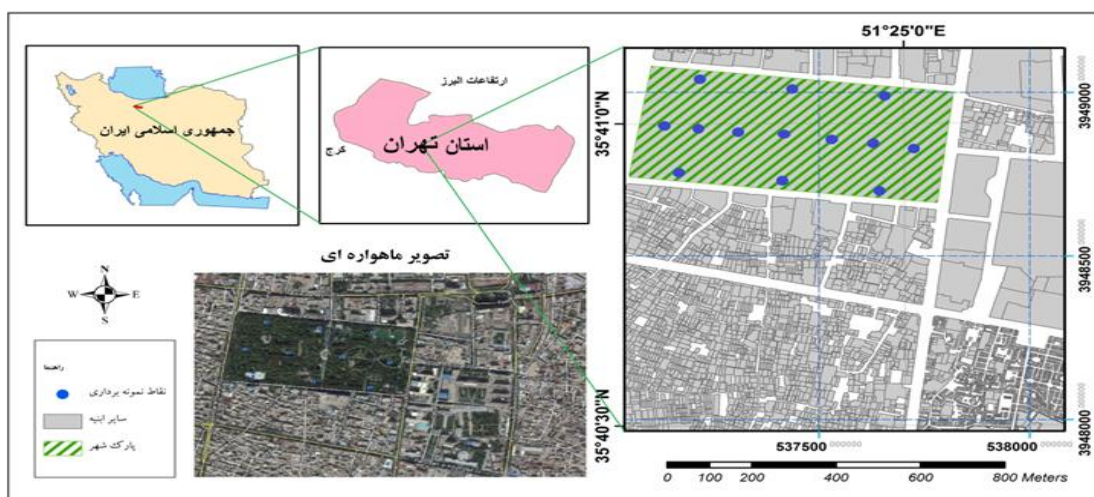
1. Ingestion
2. Dermal
3. Inhalation

وحدت اسلامی (شاپور) محدود می‌شود و جزء پارک‌های قدیمی و توریستی تهران محسوب می‌شود (شکل ۱). پارک لاله در منطقه ۶ تهران که بخش عظیمی از فعالیت‌های تجاری و اداری را دربر می‌گیرد، واقع شده است. این پارک از شمال به خیابان فاطمی، از جنوب به بلوار کشاور و از شرق به خیابان ولیعصر منتهی می‌شود (شکل ۲). موقعیت مرکزی و نقش گذرگاهی آن باعث افزایش تجمع و عملکردهای تجاری و خدماتی در این منطقه و افزایش آلودگی شده است. این پارک جزء بوستان‌های بزرگ تهران محسوب می‌شود که با مساحت ۲۸ هکتار در سال ۱۳۴۵ تأسیس شده است [۱۶].

مواد و روش‌ها

۱. نمونه برداری و روش‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش دو پارک بزرگ، اصلی و پررفت و آمد لاله و پارک شهر در بخش مرکزی تهران، برای نمونه‌برداری از خاک انتخاب شدند. با توجه به مساحت محدوده بررسی شده در مجموع ۲۶ ایستگاه انتخاب و نمونه‌برداری خاک به صورت مرکب و از عمق ۰ الی ۱۰ سانتی‌متری صورت گرفت (شکل ۱ و ۲). نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شده و برای آنالیز آماده شدند. بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس)، به روش هیدرومتری و درصد مواد آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فرسولفات آمونیوم و دی‌کرومات پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ اندازه‌گیری شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین و شبه فلزات با استفاده از HCl و HNO_3 صورت گرفت. غلظت کل عناصر انتخابی آلومینیم، آهن، منگنز، آرسنیک، مس، سرب، روی، نیکل، کادمیم، کروم، کبالت، وانادیم و اسکاندیم (جدول ۳) با استفاده از دستگاه ICP-MS & OES در شرکت زرآما اندازه‌گیری شدند.

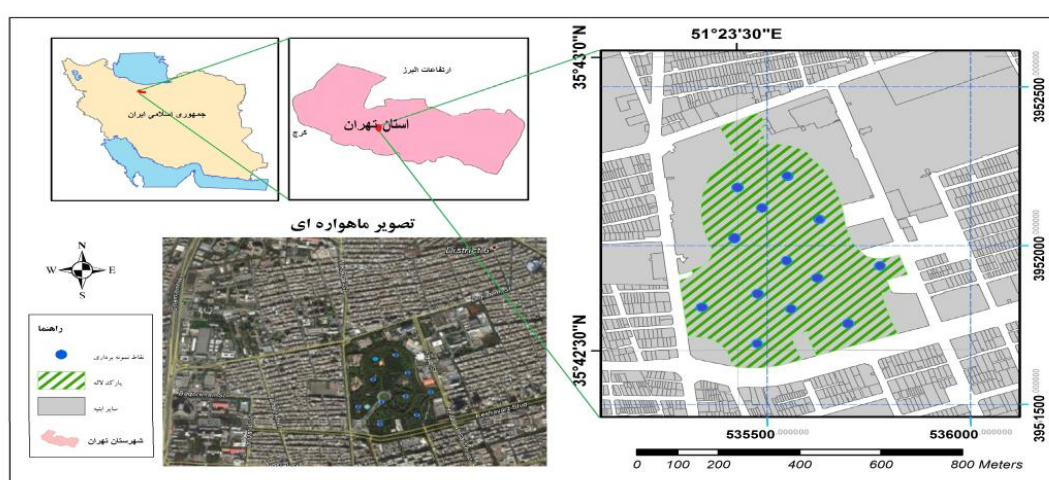


شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی پارک شهر و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

تحلیل داده‌ها

۱. روش‌های آماری

مهم‌ترین روش آماری استفاده شده در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) است که با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 انجام شده است. تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) یکی از انواع آنالیزهای چند متغیره است که به‌طور وسیعی در بررسی‌های آلودگی خاک، رسوب آب استفاده شده است. رایج‌ترین نوع PCA برای تفسیر نتایج و مؤلفه‌های آلودگی، روش چرخش وری ماکس بر اساس معیار کیسر با مقادیر مناسب ویژه مقدار بیش‌تر از یک است [۱۷]. در روش چرخش وری ماکس مقادیر عامل‌های با فاکتور وزنی بیش‌تر از ۰/۷۱ قابل توجه و مقادیر کم‌تر از ۰/۳۱ ضعیف در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین در این روش مقادیر واریانس تجمعی بیش‌تر از ۸۰ درصد در تفسیر داده‌ها قابل اعتمادترند [۱۸].



شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی پارک لاله و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

۲. شاخص‌های ژئوشیمیایی آلودگی خاک

برای ارزیابی کمی و کیفی آلودگی خاک و تعیین منشأ عناصر بالقوه سمناک و اثرهای انسان‌زاد در این پژوهش از فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص زمین انباشت (I_{geo})، شاخص آلودگی (PI) و شاخص آلودگی یک‌پارچه (IPI) استفاده شده است.

فاکتور غنی‌شدگی به‌هنگار شده (EF) برای غلظت‌های بیش‌تر از حد زمینه فلزات، از روش‌های رایج برای ارزیابی اثرهای انسان‌زاد روی خاک‌ها و رسوبات است. روش EF مقدار فلز اندازه‌گیری شده را با توجه به فلز مرجع به‌هنگار می‌کند. پژوهش‌گران مختلف از عناصر مرجع متفاوتی مانند آهن، آلومینیم، اسکاندیم، کبالت و تیتان برای تعیین میزان غنی‌شدگی عناصر استفاده کرده‌اند [۱۹]، [۲۰]. در این پژوهش عنصر اسکاندیم به‌عنوان عنصر مرجع استفاده شد، زیرا برای ترکیب شیمیایی به‌صورت خنثی‌کننده عمل می‌کند. عامل غنی‌شدگی برای عناصر مرجع مختلف بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{Enrichment Factor} = \frac{(M/Sc)_{\text{sample}}}{(M/Sc)_{\text{Background}}} \quad (1)$$

در این رابطه نمونه M : غلظت فلز هدف در نمونه خاک و زمینه M : غلظت فلز هدف در ترکیب زمینه است بر اساس نظر هرناند و همکاران [۲۱] مقدار عامل غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ به‌عنوان زمین‌زاد و مقدار بیش از ۲ به‌عنوان تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد است. ساترلند [۲۲]، لوسکا و همکاران [۲۳]، بر پایه عامل غنی‌شدگی، درجه آلودگی فلزات سنگین با فعالیت‌های انسان‌زاد را در پنج رده از رده بدون غنی‌شدگی ($EF < 2$) تا غنی‌شدگی بسیار شدید ($EF > 40$) تقسیم‌بندی کردند.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی آلودگی خاک استفاده از شاخص زمین انباشت است. شاخص Igeo از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی مولر C غلظت کل هر فلز در خاک و B_n غلظت پس‌زمینه برای هر فلز است. ضریب ۱/۵ به‌منظور کاهش تغییرات احتمالی در مقدار زمینه ناشی از ناپایداری‌های لیتولوژیک رسوبات خاک اعمال شده است. براساس شاخص زمین انباشت سطح آلودگی به ۷ دسته شامل غیرآلوده ($I_{geo} < 1$)، غیرآلوده تا آلودگی متوسط ($0 < I_{geo} < 1$)، آلودگی متوسط ($1 < I_{geo} < 2$)، آلودگی متوسط تا شدید ($2 < I_{geo} < 3$)، آلودگی شدید ($3 < I_{geo} < 4$)، آلودگی شدید تا بسیار شدید ($4 < I_{geo} < 5$) و آلودگی شدید ($I_{geo} > 5$) طبقه‌بندی می‌شود [۶]، [۲۵]، [۲۶].

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C^n}{1.5B_n} \right) \quad (2)$$

روش دیگر ارزیابی آلودگی خاک، استفاده از شاخص آلودگی (PI) است. PI هر فلز به‌عنوان نسبت غلظت آن فلز به مقدار زمینه فلز مربوط تعریف شده است و طبق معادله (۳) محاسبه می‌شود. C_i غلظت فلزات بررسی شده در خاک، و S_i غلظت فلزات زمینه است. در توصیف شاخص آلودگی سه رده آلودگی اندک ($PI < 1$)، متوسط ($1 < PI < 3$) و آلودگی زیاد ($PI > 3$) وجود دارد [۶]، [۲۶].

$$PI = C_i / S_i \quad (3)$$

شاخص آلودگی یکپارچه (IPI) به‌عنوان مجموعه‌ای از مقادیر میانگین PI برای تمام فلزات تعریف شده است. شاخص آلودگی یک‌پارچه به ۴ رده آلودگی کم ($IPI < 1$)، متوسط ($1 < IPI < 2$)، شدید ($2 < IPI < 5$) و بسیار شدید ($IPI > 5$) طبقه‌بندی می‌شود [۶]، [۱۴].

۳. ارزیابی ریسک سلامت

ارزیابی ریسک سلامت خاک سطحی مناطق شهری و صنعتی به‌طور گسترده برای تعیین کمیت خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی عناصر بالقوه سمناک برای انسان از سه طریق مسیر بلع، تماس پوستی و استنشاق استفاده می‌شود. اگرچه غلظت کل فلزات در خاک به‌عنوان شاخص کیفیت محیط زیست شهری است، شدت آلودگی نه‌تنها به غلظت کل فلزات بلکه به تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری آن‌ها نیز بستگی دارد [۲۷]. خطرات واقعی فلزات سنگین و شبه فلزات از طریق بلع بستگی به‌بخش محلول در دستگاه گوارش برای جذب دارد، این بدان معناست که تنها یک بخش از کل محتوای فلز ممکن است قابلیت دسترس‌پذیری زیستی داشته باشد [۱۱]. با استفاده از تعیین غلظت جزء زیست‌دسترس‌پذیر فلزات سنگین و شبه‌فلزات در شرایط آزمایشگاهی، در معرض قرار گرفتن واقع بینانه‌تر و ارزیابی ریسک‌های بهداشتی فراهم می‌شود.

به‌طور کلی ارزیابی ریسک سلامت یک مدل توسعه یافته به‌منظور برآورد خطر احتمالی سلامت به انسان ناشی از آلاینده‌ها است. ارزیابی ریسک سلامت شامل چهار جزء اصلی: ۱. شناسایی خطر، ۲. ارزیابی در معرض قرار گرفتن، ۳. ارزیابی دوز-پاسخ و ۴. مشخصات احتمال خطر است [۸]، [۱۰]، [۱۱].

به‌منظور تخمین خطر سلامتی غیرسرطان‌زا و سرطان‌زا از طریق مصرف، جذب پوستی و تنفس ذرات خاک، از ضریب خطر (HQ) استفاده می‌شود. ضریب خطر از تقسیم میانگین دوز مصرف روزانه (CDI) (رابطه ۴ الی ۹) بر دوز مرجع (RfD) محاسبه می‌شود (رابطه ۱۰). اگر دوز مصرف روزانه، کم‌تر از دوز مرجع باشد، نشان‌دهنده وجود نداشتن اثر سوء بهداشتی است. اگر دوز مصرف روزانه، بیش‌تر از دوز مرجع باشد، می‌تواند نشان‌دهنده احتمال وجود پتانسیل خطر باشد [۲۸].

خطر غیرسرطان‌زا (کودکان)

$$CDI_{ing-nc} = \frac{C \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (۴)$$

$$CDI_{inh-nc} = \frac{C \times EF \times ET \times ED \times InR}{PEF \times BW \times AT_{nc}} \quad (۵)$$

$$CDI_{dermal-nc} = \frac{C \times SA \times AF \times ABS_d \times EF \times ED}{BW \times AT_{nc}} \times 10^{-6} \quad (۶)$$

خطر سرطان‌زا (بزرگسالان)

$$CDI_{ing-ca} = \frac{C \times IngR_{adj} \times EF}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (۷)$$

$$CDI_{inh-ca} = \frac{C \times EF \times ET \times ED \times InR}{PEF \times BW \times AT_{ca}} \times 10^3 \quad (۸)$$

$$CDI_{dermal-ca} = \frac{C \times ABS_d \times EF \times DFS_{adj}}{AT_{ca}} \times 10^{-6} \quad (۹)$$

$$HQ = \frac{CDI_{nc}}{RfD} \quad (۱۰)$$

$$HI = \sum HQ = HQ_{ing} + HQ_{inh} + HQ_{dermal} \quad (۱۱)$$

$$Risk = CDI_{ca} \times CFS \quad (۱۲)$$

$$Total Risk = \sum Risk = Risk_{ing} + Risk_{inh} + Risk_{dermal}$$

$$= CDI_{ing-ca} \times CFS_{ing} + CDI_{inh-ca} \times IU + \frac{CDI_{dermal-ca} \times CFS_{ing}}{ABS_{GI}}$$

مقادیر این متغیرها در جدول ۱ آورده شده است.

برای تعیین شاخص خطر از پارامتر HI^1 براساس رابطه (۱۱) استفاده می‌شود. HI به مجموع چند مسیر برای در معرض قرار گرفتن، اشاره دارد. اگر $HI < 1$ باشد، نشان‌دهنده وجود خطر سرطان‌زا است. $HI > 1$ نشان‌دهنده شانس خطرات بزرگ است [۶]، [۸]، [۲۸].

خطر سرطان‌زایی به‌عنوان احتمال پیشرفت یک فرد در هر نوع سرطان در تمام طول عمر به‌علت در معرض قرار گرفتن انواع آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین ریسک سرطان‌زایی^۲ از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود. اگر مقدار $CR < 1 \times 10^{-6}$ باشد خطر سرطان‌زایی برای سلامت از خاک می‌تواند قابل چشم‌پوشی و در صورتی که مقدار

1. Hazard Index

2. Cancer Risk

$CR < 1 \times 10^{-4}$ باشد نشان‌دهنده احتمال خطر زیاد و پیشرفت در ابتلا به سرطان در انسان است. مقادیر CR در محدوده $1 \times 10^{-6} < CR < 1 \times 10^{-4}$ ریسک قابل قبول و یا قابل تحمل و سلامت انسان را نشان می‌دهد. مقادیر متغیرهای استفاده شده در معادلات مذکور در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر متغیرهای مختلف برای ارزیابی میزان قرارگیری در معرض خاک پارک شهر و لاله [۲]

Variables	Unit	Details	Values	
			Child	Adult
ABSd		Dermal absorption factor	0.001	0.001
AF	(mg cm ⁻²)	Soil to skin adherence factor	0.07	0.7
Atca	(d)	Averaging time for carcinogenic effects		LT × 365
Atnc	(d)	Averaging time for non-carcinogenic effects	ED × 365	
BW	(kg)	Average body weight	16.2	61.8
C	(mg kg ⁻¹)	Concentration of metal in soil	Quantified in this study	
DFSadj	(mg yr kg ⁻¹ d ⁻¹)	Soil dermal contact factor-age-adjusted		362
ED	(yr)	Exposure duration	6	30
EF	(d yr ⁻¹)	Exposure frequency	75	75
ET	(hd ⁻¹)	Exposure time	1	1
IngR	(mg d ⁻¹)	Soil ingestion rate and inhalation rate for receptor	200	100
InR	(m ³ d ⁻¹)	Soil ingestion rate and inhalation rate for receptor	7.6	20
IngRadj	(mg yr kg ⁻¹ d ⁻¹)	Soil ingestion rate		113
LT	(yr)	Life time		71.15
PEF	(m ³ kg ⁻¹)	Soil to air particulate emission factor	1.36E+9	1.36E+9
SA	(cm ² event ⁻¹)	Skin surface area available for exposure	2800	5700

جدول ۲. برخی ویژگی‌های سم شناسی فلزات سنگین برای ارزیابی ریسک سلامت [۲]، [۲۸]

Metal	ABSGI	CSFing (mg kg ⁻¹ d ⁻¹) ⁻¹	IUR(μg m ⁻³)	RfDing(mg kg ⁻¹ d ⁻¹)	RfDinh(mg m ⁻³)	RfDdermal
As	1			3.00E-04	3.00E-04	1.23E-04
Cd	0.025	6.3	1.80E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-05
Co	1		9.00E-03	3.00E-04	6.00E-06	
Cr	0.013	0.5	1.2E-2	3.00E-03	2.86E-05	6.00E-05
Cu	1			4.00E-02	4.02E-02	1.20E-02
Mn	1			1.40E-01	5.00E-05	
Pb	1	0.0085	1.20E-05	3.50E-03	3.25E-03	5.25E-04
Zn	1			3.00E-01	3.00E-01	6.00E-02
Ni	1			2.00E-02	2.00E-02	5.40E-03

بحث و نتایج

۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و غلظت‌های عناصر بالقوه سمناک نمونه‌های خاک

غلظت همه عناصر انتخابی همراه با درصد کربن آلی و بافت نمونه‌های خاک پارک‌های شهر و لاله در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. بررسی نتایج بافت خاک پارک شهر و لاله نشان می‌دهد که بافت غالب خاک، لومی و ماسه‌ای-لومی است.

مقادیر بیشینه و کمینه کربن آلی (OC) در نمونه‌های خاک پارک شهر به ترتیب ۲/۷۵ و ۰/۲۷ و متوسط آن ۱/۸۱ درصد است. مقادیر بیشینه و کمینه کربن آلی (OC) در نمونه‌های خاک پارک لاله به ترتیب ۲/۹۲ و ۱/۲۹ با متوسط ۲/۰۳ درصد است. میانگین غلظت عناصر بالقوه سمناک نمونه‌های خاک پارک شهر به صورت روی < وانادیم < کروم <

سرب < مس < نیکل < آرسنیک < کبالت < کادمیم است. ترتیب میانگین غلظت عناصر بالقوه سمناک نمونه‌های خاک پارک، به غیر از کبالت که میانگین غلظت بیش‌تری از آرسنیک دارد، مشابه است. کمینه و بیشینه میانگین غلظت عناصر در خاک شهر و لاله به ترتیب مربوط به کادمیم و روی با مقادیر ۰/۳۴، ۴۵۰ و ۰/۳۴، ۳۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

با توجه به شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که میانگین غلظت عناصر روی، سرب، مس و کادمیم در نمونه‌های خاک پارک لاله در مقایسه با غلظت میانگین خاک جهانی، میانگین شیل و زمینه، و عناصر آرسنیک، کروم و نیکل در مقایسه با میانگین خاک جهانی و زمینه غلظت بیشتری را نشان می‌دهند. و در پارک شهر عناصر روی، سرب، مس، کروم و کادمیم در مقایسه با غلظت میانگین خاک جهانی، میانگین شیل و زمینه، و عناصر نیکل و آرسنیک در مقایسه با میانگین خاک جهانی و زمینه غلظت بیش‌تری را نشان می‌دهند.

جدول ۳. توصیف آماری غلظت عناصر انتخابی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک پارک شهر

Sampe	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Sc	Soil particle size (%)				Soil Type
														%OC	%Clay	%Silt	%Sand	
SH1	69767.00	10.40	0.48	11.70	112.00	71.00	31216.00	1010.00	42.00	96.00	105.00	216.00	14.60	1.53	10.00	33.00	57.00	sandy loam
SH2	65844.00	11.00	0.55	12.10	90.00	120.00	31273.00	963.00	44.00	133.00	99.00	450.00	13.80	2.75	6.40	36.60	57.00	sandy loam
SH3	68801.00	11.30	0.48	11.20	104.00	71.00	31283.00	954.00	40.00	121.00	111.00	229.00	15.00	0.98	8.00	62.00	30.00	silt loam
SH4	68402.80	11.06	0.50	11.48	102.80	80.80	31267.60	967.00	41.20	118.40	107.40	270.60	14.68	1.70	8.60	43.55	47.85	loam
SH5	67594.00	13.20	0.55	12.20	166.00	79.00	30718.00	1047.00	42.00	65.00	101.00	162.00	13.70	1.55	10.00	42.60	47.40	loam
SH6	45760.00	8.30	0.34	8.20	57.00	34.00	22697.00	713.00	30.00	36.00	70.00	124.00	9.40	2.29	13.60	48.60	37.80	loam
SH7	62456.00	12.00	0.48	11.30	77.00	58.00	29993.00	977.00	38.00	77.00	98.00	175.00	13.20	1.33	10.00	25.60	64.40	sandy loam
SH8	58603.30	11.16	0.45	10.56	100.00	57.00	27802.70	912.30	36.60	59.30	89.60	153.60	12.10	1.72	11.20	38.94	49.86	loam
SH9	71544.00	12.30	0.48	13.30	84.00	50.00	32229.00	1069.00	44.00	38.00	110.00	142.00	14.70	2.21	21.20	37.00	41.80	loam
SH10	54318.00	11.40	0.41	9.90	66.00	41.00	26912.00	843.00	36.00	40.00	83.00	160.00	11.00	2.20	15.60	44.60	39.80	loam
SH11	56619.00	13.30	0.48	9.90	76.00	47.00	28188.00	849.00	36.00	49.00	85.00	243.00	11.30	2.71	12.00	29.00	59.00	sandy loam
SH12	60827.00	12.30	0.45	11.03	75.30	46.00	29109.67	920.30	38.60	42.30	92.60	181.60	12.30	2.37	16.27	36.87	46.86	loam
SH13	72357.00	13.40	0.41	13.90	90.00	47.00	33283.00	1205.00	52.00	55.00	109.00	145.00	15.10	0.27	32.00	37.80	30.20	clay loam
Mean	63299.47	11.62	0.47	11.29	92.31	61.67	29690.15	956.12	40.03	71.53	96.97	203.98	13.14	1.81	13.45	39.70	46.84	*
Max	72357.00	13.40	0.55	13.90	166.00	120.00	33283.00	1205.00	52.00	133.00	111.00	450.00	15.10	2.75	32.00	62.00	64.40	*
Min	45760.00	8.30	0.34	8.20	57.00	34.00	22697.00	713.00	30.00	36.00	70.00	124.00	9.40	0.27	6.40	25.60	30.00	*
Average Shale	80000.00	13.00	0.30	19.00	90.00	45.00	47200.00	*	68.00	20.00	130.00	95.00	13.00	*	*	*	*	*
Background	63700.00	9.00	0.23	15.00	40.00	36.00	37500.00	866.00	34.00	18.00	110.00	76.00	13.00	*	*	*	*	*
W.M.S	*	4.70	1.10	6.90	42.00	14.00	35000.00	18.00	18.00	25.00	60.00	62.00	9.50	*	*	*	*	*

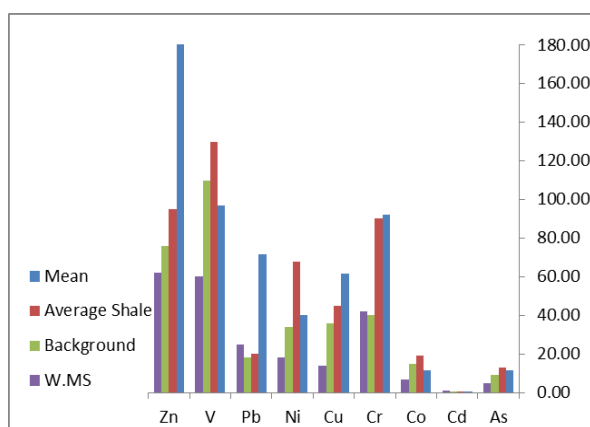
جدول ۴. توصیف آماری غلظت عناصر انتخابی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک پارک لاله

Sampe	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Sc	Soil particle size (%)				Soil Type
														%OC	%Clay	%Silt	%Sand	
L1	65031.00	12.40	0.41	12.30	96.00	43.00	31514.00	911.00	45.00	48.00	100.00	140.00	13.20	1.29	13.60	41.00	45.40	loam
L2	60347.00	10.90	0.41	11.10	94.00	47.00	29206.00	852.00	43.00	37.00	93.00	139.00	12.40	2.92	13.60	48.60	37.80	loam
L3	63643.00	11.50	0.48	11.70	97.00	40.00	30235.00	818.00	45.00	27.00	98.00	112.00	13.00	2.44	17.20	41.00	41.80	loam
L4	63007.00	11.60	0.43	11.70	95.60	43.30	30318.30	860.30	44.30	37.30	97.00	130.30	12.86	2.22	14.80	43.53	41.67	loam
L5	57351.00	11.60	0.48	10.20	111.00	57.00	27104.00	867.00	38.00	57.00	88.00	149.00	11.70	2.27	12.00	42.60	45.40	loam
L6	63153.00	10.60	0.48	10.60	76.00	48.00	29041.00	932.00	39.00	47.00	93.00	157.00	12.80	2.18	15.60	29.40	55.00	sandy loam
L7	59041.00	11.10	0.48	10.80	79.00	49.00	28369.00	851.00	40.00	40.00	93.00	133.00	12.10	2.06	17.60	37.00	45.40	loam
L8	59848.30	11.10	0.48	10.53	88.60	51.30	28171.30	883.30	39.00	48.00	91.33	146.30	12.20	2.17	15.07	36.33	48.60	loam
L9	60652.00	10.70	0.41	11.60	75.00	36.00	29386.00	858.00	44.00	30.00	93.00	112.00	12.60	1.61	24.80	41.40	33.80	loam
L10	59605.00	9.20	0.83	10.70	79.00	86.00	29258.00	923.00	39.00	57.00	91.00	371.00	12.10	2.29	14.00	31.00	55.00	sandy loam
L11	63295.00	9.10	0.34	9.50	81.00	42.00	28367.00	949.00	32.00	51.00	101.00	134.00	13.00	1.29	8.40	9.00	82.60	loamy sand
L12	6118.00	9.66	0.52	10.60	78.30	54.66	29003.60	910.00	38.30	46.00	95.00	205.60	12.56	1.73	15.73	27.13	57.13	sandy loam
L13	59510.00	11.90	0.41	11.00	86.00	36.00	28787.00	868.00	45.00	37.00	93.00	114.00	12.50	1.87	17.60	42.60	39.80	loam
Mean	56969.33	10.87	0.47	10.94	87.42	48.71	29135.40	883.28	40.89	43.25	94.30	157.16	12.54	2.03	15.38	36.20	48.42	*
Max	65031.00	12.40	0.83	12.30	111.00	86.00	31514.00	949.00	45.00	57.00	101.00	371.00	13.20	2.92	24.80	48.60	82.60	*
Min	6118.00	9.10	0.34	9.50	75.00	36.00	27104.00	818.00	32.00	27.00	88.00	112.00	11.70	1.29	8.40	9.00	33.80	*
Average Shale	80000.00	13.00	0.30	19.00	90.00	45.00	47200.00	*	68.00	20.00	130.00	95.00	13.00	*	*	*	*	*
Background	63700.00	9.00	0.23	15.00	40.00	36.00	37500.00	866.00	34.00	18.00	110.00	76.00	13.00	*	*	*	*	*
W.M.S	*	4.70	1.10	6.90	42.00	14.00	35000.00	18.00	18.00	25.00	60.00	62.00	9.50	*	*	*	*	*

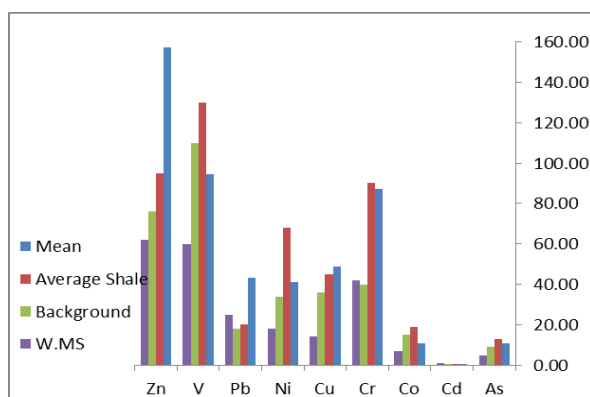
۲. فاکتور غنی‌شدگی

محاسبه عامل غنی‌شدگی نمونه‌های خاک پارک شهر (جدول ۵) نشان می‌دهد که: عناصر کادمیم، کروم، مس، سرب و روی به ترتیب برای ۶۱/۵۳، ۸۴/۶۱، ۱۵/۳۸، ۹۲/۳ و ۸۴/۶۱ درصد نمونه‌ها بر اساس مقدار زمینه مقدار غنی‌شدگی بیش‌تر از ۲ دارند که نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد است. بررسی نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که عنصر سرب در ایستگاه SH2، با مقدار ۶/۶۹ بیش‌ترین غنی‌شدگی را دارد که براساس تقسیم‌بندی لوسکا و همکاران [۲۳] در گروه غنی‌شدگی بالا قرار می‌گیرد.

محاسبه عامل غنی‌شدگی نمونه‌های خاک پارک لاله (جدول ۵) نشان می‌دهد که عناصر کادمیم، کروم، سرب، روی و مس به ترتیب برای ۸۴/۶۱، ۷/۶۹، ۸۴/۶۱ و ۳۸/۴۶ درصد نمونه‌ها بر اساس مقدار زمینه مقدار غنی‌شدگی بیش‌تر از ۲ دارند که نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد است. بررسی نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که عنصر کادمیم در ایستگاه L10، با مقدار ۳/۸۸ بیش‌ترین غنی‌شدگی را دارد که در گروه غنی‌شدگی متوسط قرار می‌گیرد.



شکل ۳. مقایسه میانگین غلظت عناصر در خاک پارک شهر با مقادیر میانگین خاک جهانی، میانگین شیل و زمینه



شکل ۴. مقایسه میانگین غلظت عناصر در خاک پارک لاله با مقادیر میانگین خاک جهانی، میانگین شیل و زمینه

۳. شاخص زمین انباشت

محاسبه شاخص زمین انباشت نمونه‌های خاک پارک شهر (جدول ۶) نشان می‌دهد که نمونه‌های خاک نسبت به عناصر آلومینیم، کبالت، آهن، منگنز، نیکل و وانادیم غیر آلوده است. عناصر آرسنیک (۸۴/۶۱٪)، کادمیم (۹۲/۳٪)، کروم (۸۴/۶۱٪)، مس (۶۴/۱۵٪)، سرب (۳۸/۴۶٪)

و روی (۶۱/۵۳٪) غیرآلوده تا نسبتاً آلوده هستند. عناصر سرب (۳۸/۴۶٪) و روی (۳۰/۴۶٪) نسبتاً آلوده و در نهایت ۲۳/۰۷ درصد عنصر سرب در رده آلودگی متوسط تا شدید قرار دارند.

نمونه‌های خاک پارک لاله نسبت به عناصر آلومینیم، آرسنیک، کبالت، آهن، منگنز، نیکل و وانادیم غیرآلوده، نسبت به عناصر کادمیم (۸۴/۶۱٪)، مس (۱۵/۳۸٪)، سرب (۸۴/۶۱٪)، روی (۳۰/۴۶٪) و کروم غیر آلوده تا نسبتاً آلوده، نسبت به ۷/۶۹٪ عناصر روی و کادمیم و ۱۵/۳۸٪ عنصر سرب نسبتاً آلوده است.

جدول ۵. مقادیر عامل غنی‌شدگی برای نمونه‌های خاک پارک‌های شهر و لاله نسبت به مقدار زمینه

Sample	Enrichment Factor											
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
SH1	0.98	1.03	1.86	0.69	2.49	1.76	0.74	1.04	1.10	4.75	0.85	2.53
SH2	0.97	1.15	2.25	0.76	2.12	3.14	0.79	1.05	1.22	6.96	0.85	5.58
SH3	0.94	1.09	1.81	0.65	2.25	1.71	0.72	0.95	1.02	5.83	0.87	2.61
SH4	0.95	1.09	1.94	0.68	2.28	1.99	0.74	0.99	1.07	5.83	0.86	3.15
SH5	1.01	1.39	2.27	0.77	3.94	2.08	0.78	1.15	1.17	3.43	0.87	2.02
SH6	0.99	1.28	2.04	0.76	1.97	1.31	0.84	1.14	1.22	2.77	0.88	2.26
SH7	0.97	1.31	2.06	0.74	1.90	1.59	0.79	1.11	1.10	4.21	0.88	2.27
SH8	0.99	1.33	2.10	0.76	2.69	1.70	0.80	1.13	1.16	3.54	0.88	2.17
SH9	0.99	1.21	1.85	0.78	1.86	1.23	0.76	1.09	1.14	1.87	0.88	1.65
SH10	1.01	1.50	2.11	0.78	1.95	1.35	0.85	1.15	1.25	2.63	0.89	2.49
SH11	1.02	1.70	2.40	0.76	2.19	1.50	0.86	1.13	1.22	3.13	0.89	3.68
SH12	1.01	1.44	2.07	0.78	1.99	1.35	0.82	1.12	1.20	2.48	0.89	2.53
SH13	0.98	1.28	1.53	0.80	1.94	1.12	0.76	1.20	1.32	2.63	0.85	1.64
L1	1.01	1.36	1.76	0.81	2.36	1.18	0.83	1.04	1.30	2.63	0.90	1.81
L2	0.99	1.27	1.87	0.78	2.46	1.37	0.82	1.03	1.33	2.16	0.89	1.92
L3	1.00	1.28	2.09	0.78	2.43	1.11	0.81	0.94	1.32	1.50	0.89	1.47
L4	1.00	1.30	1.90	0.79	2.42	1.22	0.82	1.00	1.32	2.09	0.89	1.73
L5	1.00	1.43	2.32	0.76	3.08	1.76	0.80	1.11	1.24	3.52	0.89	2.18
L6	1.01	1.20	2.12	0.72	1.93	1.35	0.79	1.09	1.16	2.65	0.86	2.10
L7	1.00	1.33	2.24	0.77	2.12	1.46	0.81	1.06	1.26	2.39	0.91	1.88
L8	1.00	1.31	2.22	0.75	2.36	1.52	0.80	1.09	1.22	2.84	0.88	2.05
L9	0.98	1.23	1.84	0.80	1.93	1.03	0.81	1.02	1.34	1.72	0.87	1.52
L10	1.01	1.10	3.88	0.77	2.12	2.57	0.84	1.15	1.23	3.40	0.89	5.24
L11	0.99	1.01	1.48	0.63	2.03	1.17	0.76	1.10	0.94	2.83	0.92	1.76
L12	0.99	1.11	2.34	0.73	2.03	1.57	0.80	1.09	1.17	2.65	0.89	2.80
L13	0.97	1.38	1.85	0.76	2.24	1.04	0.80	1.04	1.38	2.14	0.88	1.56

۴. شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکپارچه

محاسبه شاخص آلودگی نمونه‌های خاک پارک‌های شهر و لاله (جدول ۷) نشان می‌دهد که نمونه‌های خاک نسبت به عناصر کادمیم (ایستگاه‌های SH1-5, SH7, SH9, SH11, L3, L5-8 و L12)، کروم (ایستگاه‌های SH1-3, SH8, SH9, SH13, L1-5, L8, L11 و L13)، مس (ایستگاه‌های SH4, SH5, SH10 و L10)، سرب (ایستگاه‌های SH6, SH9-13, L1, L2, L4, L6-8 و L11-13) و روی (ایستگاه‌های SH1, SH5, SH7, SH8) ، (SH10, SH12, L6 و L12) نسبتاً آلوده، نسبت به عناصر کادمیم (ایستگاه L10)، کروم (ایستگاه SH5)، مس (ایستگاه SH2)، سرب (ایستگاه SH1-5, SH7, SH8, SH13, L5 و L10) و روی (ایستگاه SH2-4, SH11) و L10 بشدت آلوده است. میزان PI بالا برای سرب در پارک شهر را می‌توان به تولید گازهای گلخانه‌ای توسط خودرو نسبت داد [۱۴].

با توجه به شکل ۵ شاخص آلودگی یک‌پارچه در دو پارک شهر و لاله در محدوده آلودگی متوسط قرار دارد.

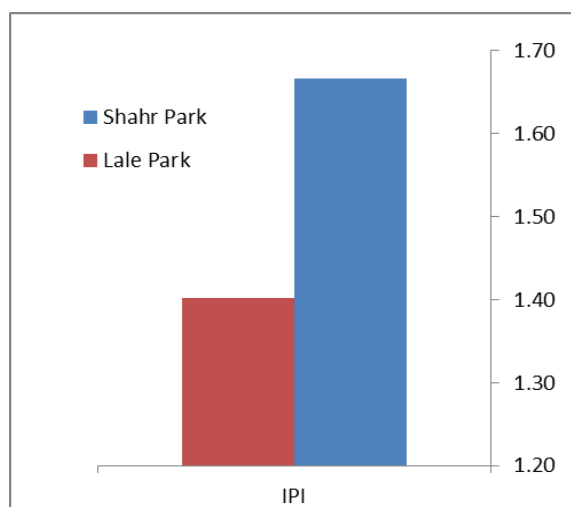
۵. تحلیل مؤلفه اصلی

تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) از روش‌های دیگر آماری چندمتغیره است که در بررسی‌های زیست‌محیطی استفاده شده است و در تفسیر نتایج آلودگی خاک به‌کار گرفته شده است. نتایج تحلیل مؤلفه اصلی برای عناصر انتخابی در پارک شهر (جدول ۸) بدین شرح است: مؤلفه اول با ۴۳/۶۶ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت بالای عناصر آلومینیم، آهن، نیکل، منگنز، وانادیم، کبالت و اسکاندیم و متوسط آرسنیک و رس است. که نشان‌دهنده منشأ مشترک

و زمینزاد این عناصر است. مؤلفه دوم با ۲۵/۶۵ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت زیاد مس، سرب و روی و متوسط کادمیم است و نشان‌دهنده نقش بیش‌تر فعالیت‌های انسانزاد در منشأ و رهاسازی عناصر نامبرده در نمونه‌های خاک است. مؤلفه سوم با ۱۱/۳۴ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت بالای کروم و متوسط کادمیم است. که نشان‌دهنده منشأ مشترک انسانزاد این دو عنصر در خاک است. مؤلفه چهارم با ۹/۴۵ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت بالای آهن و متوسط آرسنیک و کربن آلی است که نشان‌دهنده نقش آهن و کربن آلی در کنترل غلظت آرسنیک با منشأ انسانزاد است.

جدول ۶. مقادیر شاخص زمین انباشت برای نمونه‌های خاک پارک‌های شهر و لاله نسبت به مقدار زمینه

Sample	Geoaccumulation Index											
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
SH1	-0.45	-0.38	0.48	-0.94	0.90	0.39	-0.85	-0.36	-0.28	1.83	-0.65	0.92
SH2	-0.54	-0.30	0.67	-0.89	0.58	1.15	-0.85	-0.43	-0.21	2.30	-0.74	1.98
SH3	-0.47	-0.26	0.48	-1.01	0.79	0.39	-0.85	-0.45	-0.35	2.16	-0.57	1.01
SH4	-0.48	-0.29	0.54	-0.97	0.78	0.58	-0.85	-0.43	-0.31	2.13	-0.62	1.25
SH5	-0.50	-0.03	0.67	-0.88	1.47	0.55	-0.87	-0.31	-0.28	1.27	-0.71	0.51
SH6	-1.06	-0.70	-0.02	-1.46	-0.07	-0.67	-1.31	-0.87	-0.77	0.42	-1.24	0.12
SH7	-0.61	-0.17	0.48	-0.99	0.36	0.10	-0.91	-0.41	-0.42	1.51	-0.75	0.62
SH8	-0.71	-0.27	0.38	-1.09	0.74	0.08	-1.02	-0.51	-0.48	1.14	-0.88	0.43
SH9	-0.42	-0.13	0.48	-0.76	0.49	-0.11	-0.80	-0.28	-0.21	0.49	-0.58	0.32
SH10	-0.81	-0.24	0.25	-1.18	0.14	-0.40	-1.06	-0.62	-0.50	0.57	-0.99	0.49
SH11	-0.75	-0.02	0.48	-1.18	0.34	-0.20	-1.00	-0.61	-0.50	0.86	-0.96	1.09
SH12	-0.65	-0.13	0.38	-1.03	0.33	-0.23	-0.95	-0.50	-0.40	0.65	-0.83	0.67
SH13	-0.40	-0.01	0.25	-0.69	0.58	-0.20	-0.76	-0.11	0.03	1.03	-0.60	0.35
L1	-0.56	-0.12	0.25	-0.87	0.68	-0.33	-0.84	-0.51	-0.18	0.83	-0.77	0.30
L2	-0.66	-0.31	0.25	-1.02	0.65	-0.20	-0.95	-0.61	-0.25	0.45	-0.83	0.29
L3	-0.59	-0.23	0.48	-0.94	0.69	-0.43	-0.90	-0.67	-0.18	0.00	-0.75	-0.03
L4	-0.60	-0.22	0.33	-0.94	0.67	-0.32	-0.89	-0.59	-0.20	0.47	-0.77	0.19
L5	-0.74	-0.22	0.48	-1.14	0.89	0.08	-1.05	-0.58	-0.42	1.08	-0.91	0.39
L6	-0.60	-0.35	0.48	-1.09	0.34	-0.17	-0.95	-0.48	-0.39	0.80	-0.83	0.46
L7	-0.69	-0.28	0.48	-1.06	0.40	-0.14	-0.99	-0.61	-0.35	0.57	-0.83	0.22
L8	-0.67	-0.28	0.48	-1.10	0.56	-0.07	-1.00	-0.56	-0.39	0.83	-0.85	0.36
L9	-0.66	-0.34	0.25	-0.96	0.32	-0.58	-0.94	-0.60	-0.21	0.15	-0.83	-0.03
L10	-0.68	-0.55	1.27	-1.07	0.40	0.67	-0.94	-0.49	-0.39	1.08	-0.86	1.70
L11	-0.59	-0.57	-0.02	-1.24	0.43	-0.36	-0.99	-0.45	-0.67	0.92	-0.71	0.23
L12	-0.64	-0.48	0.59	-1.09	0.38	0.02	-0.96	-0.51	-0.41	0.77	-0.80	0.85
L13	-0.68	-0.18	0.25	-1.03	0.52	-0.58	-0.97	-0.58	-0.18	0.45	-0.83	0.00



شکل ۵. مقادیر شاخص آلودگی یک پارچه در خاک پارک شهر و لاله

جدول ۷. مقادیر شاخص آلودگی برای نمونه‌های خاک پارک‌های شهر و لاله نسبت به مقدار زمینه

Sample	Pollution index											
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
SH1	1.10	1.16	2.09	0.78	2.80	1.97	0.83	1.17	1.24	5.33	0.95	2.84
SH2	1.03	1.22	2.39	0.81	2.25	3.33	0.83	1.11	1.29	7.39	0.90	5.92
SH3	1.08	1.26	2.09	0.75	2.60	1.97	0.83	1.10	1.18	6.72	1.01	3.01
SH4	1.07	1.23	2.19	0.77	2.57	2.24	0.83	1.12	1.21	6.58	0.98	3.56
SH5	1.06	1.47	2.39	0.81	4.15	2.19	0.82	1.21	1.24	3.61	0.92	2.13
SH6	0.72	0.92	1.48	0.55	1.43	0.94	0.61	0.82	0.88	2.00	0.64	1.63
SH7	0.98	1.33	2.09	0.75	1.93	1.61	0.80	1.13	1.12	4.28	0.89	2.30
SH8	0.92	1.24	1.96	0.70	2.50	1.58	0.74	1.05	1.08	3.29	0.81	2.02
SH9	1.12	1.37	2.09	0.89	2.10	1.39	0.86	1.23	1.29	2.11	1.00	1.87
SH10	0.85	1.27	1.78	0.66	1.65	1.14	0.72	0.97	1.06	2.22	0.75	2.11
SH11	0.89	1.48	2.09	0.66	1.90	1.31	0.75	0.98	1.06	2.72	0.77	3.20
SH12	0.95	1.37	1.96	0.74	1.88	1.28	0.78	1.06	1.14	2.35	0.84	2.39
SH13	1.14	1.49	1.78	0.93	2.25	1.31	0.89	1.39	1.53	3.06	0.99	1.91
L1	1.02	1.38	1.78	0.82	2.40	1.19	0.84	1.05	1.32	2.67	0.91	1.84
L2	0.95	1.21	1.78	0.74	2.35	1.31	0.78	0.98	1.26	2.06	0.85	1.83
L3	1.00	1.28	2.09	0.78	2.43	1.11	0.81	0.94	1.32	1.50	0.89	1.47
L4	0.99	1.29	1.88	0.78	2.39	1.20	0.81	0.99	1.30	2.07	0.88	1.71
L5	0.90	1.29	2.09	0.68	2.78	1.58	0.72	1.00	1.12	3.17	0.80	1.96
L6	0.99	1.18	2.09	0.71	1.90	1.33	0.77	1.08	1.15	2.61	0.85	2.07
L7	0.93	1.23	2.09	0.72	1.98	1.36	0.76	0.98	1.18	2.22	0.85	1.75
L8	0.94	1.23	2.09	0.70	2.22	1.43	0.75	1.02	1.15	2.67	0.83	1.93
L9	0.95	1.19	1.78	0.77	1.88	1.00	0.78	0.99	1.29	1.67	0.85	1.47
L10	0.94	1.02	3.61	0.71	1.98	2.39	0.78	1.07	1.15	3.17	0.83	4.88
L11	0.99	1.01	1.48	0.63	2.03	1.17	0.76	1.10	0.94	2.83	0.92	1.76
L12	0.96	1.07	2.26	0.71	1.96	1.52	0.77	1.05	1.13	2.56	0.86	2.71
L13	0.93	1.32	1.78	0.73	2.15	1.00	0.77	1.00	1.32	2.06	0.85	1.50

در پارک لاله (جدول ۹) مؤلفه اول با ۲۷/۵۱ درصد از واریانس کل، عامل وزنی مثبت بالای نیکل، کبالت، رس و متوسط آهن را نشان می‌دهد، که نشان‌دهنده منشأ مشترک و زمین‌زاد این عناصر است. مؤلفه دوم با ۲۷/۰۶ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت بالای آلومینیم، اسکاندیم، وانادیم و آهن است. مؤلفه سوم با ۲۲/۶۳ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی بالای روی، کادمیم، مس و متوسط سرب است. که نشان‌دهنده منشأ مشترک انسان‌زاد این عناصر است. مؤلفه چهارم با ۱۳/۵۳ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی بالای کروم و متوسط آرسنیک است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که اصلی‌ترین منبع انتشار سرب، مواد افزودنی به سوخت خودروهاست. اگر چه سوخت‌های سرب‌دار در ایران ممنوع شده، با این حال غلظت زیاد سرب می‌تواند به دلیل استفاده طولانی مدت از سوخت‌های سرب‌دار باشد [۵]، [۹]. کروم، مس و روی از تراکم ترافیک، احتراق داخلی، نشت روغن و فرسایش و خوردگی آلیاژهای استفاده شده در لاستیک وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی ناشی می‌شوند [۵]، [۱۰]، [۲۹]. ممکن است فعالیت‌های صنعتی نیز منابعی برای انتشار این عناصر در خاک پارک باشند، اما با توجه به این که نمونه‌برداری از مناطق داخل شهری انجام شد و کارخانه یا کارگاه صنعتی در محدوده بررسی شده مشاهده نشد، می‌توان منبع اصلی را فرسایش قطعات استفاده شده در وسایل نقلیه دانست. کادمیم در ساخت باتری، پلاستیک و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود. در این پژوهش ساختمان‌های اداری و مسکونی به‌وفور در اطراف خیابان وجود داشت. بنابراین فرسایش لاستیک و باتری خودروها و مواد ساختمانی منشأ اصلی انتشار کادمیم است [۵]. هم‌چنین تولید ضایعات و زباله می‌تواند منشأ دیگر کادمیم و کروم باشد [۱۰].

۶. ریسک سلامت

متوسط دوز مصرف روزانه (CDI)، میانگین مقادیر ضریب خطر HQ و شاخص خطر HI برای عناصر انتخابی در دو پارک شهر و پارک لاله از سه طریق مصرف، تنفس و جذب پوستی محاسبه شد (جدول‌های ۱۰ و ۱۱). نتایج نشان

می‌دهد که مقدار ضریب خطر از سه طریق برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، نیکل، روی و سرب در هر دو پارک کم تر از یک است، که نشان‌دهنده وجود نداشتن پتانسیل خطر است.

جدول ۸. تحلیل مؤلفه اصلی برای عناصر انتخابی نمونه‌های خاک پارک شهر

Rotated Component Matrixa				
Component	PC1	PC2	PC3	PC4
Mn	0.97	-0.05	0.20	0.00
Ni	0.97	0.10	0.02	0.06
Co	0.96	0.08	0.15	0.10
Al	0.92	0.25	0.24	-0.05
Sc	0.89	0.31	0.18	-0.16
V	0.89	0.27	0.20	-0.12
OC	-0.64	0.33	-0.08	0.55
As	0.55	-0.23	0.46	0.48
Zn	0.06	0.95	-0.10	0.16
Cu	0.25	0.90	0.24	-0.08
Pb	0.26	0.87	0.04	-0.34
Clay	0.52	-0.70	-0.36	0.19
Cd	0.33	0.67	0.62	0.17
Cr	0.34	0.18	0.83	-0.23
Fe	-0.01	-0.09	-0.09	0.75
% of Variance	43.66	25.65	11.34	9.46
Cumulative %	43.66	69.32	80.66	90.11

جدول ۹. تحلیل مؤلفه اصلی برای عناصر انتخابی نمونه‌های خاک پارک لاله

Rotated Component Matrixa				
Component	PC1	PC2	PC3	PC4
Ni	0.92	0.17	-0.06	0.28
Co	0.83	0.44	0.04	0.25
Clay	0.82	-0.19	-0.13	-0.47
Pb	-0.78	-0.12	0.47	0.14
Mn	-0.73	0.36	0.30	-0.34
Al	0.04	0.95	-0.12	0.00
Sc	0.12	0.93	-0.27	-0.10
V	-0.09	0.90	-0.28	-0.04
Fe	0.52	0.83	0.16	0.12
OC	0.30	-0.50	0.27	0.40
Zn	-0.21	-0.08	0.95	-0.17
Cd	0.03	-0.22	0.95	-0.11
Cu	-0.29	-0.27	0.91	0.01
Cr	0.01	-0.09	-0.13	0.96
As	0.52	0.04	-0.38	0.63
% of Variance	27.51	27.06	22.63	13.53
Cumulative %	27.51	54.57	77.20	90.73

میانگین مقادیر ضریب خطر (HQ) نمونه‌های خاک پارک شهر و لاله به ترتیب از طریق (0.34) $< \text{ingestion}$ و (6.51E-4) $< \text{dermal}$ و (3.33E-5) $< \text{inhalation}$ و (0.029) $< \text{ingestion}$ و (6E-4) $< \text{dermal}$ و (3.14E-5) $< \text{inhalation}$ کاهش یافته است.

محاسبه شاخص خطر نشان می‌دهد که در دو پارک شهر و لاله عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، نیکل، روی و سرب مقدار $HI < 1$ دارند، که نشان‌دهنده وجود داشتن خطرات سرطان‌زا است. مقادیر شاخص خطر در دو پارک شهر و لاله به ترتیب در محدوده $0.013 - 0.098$ و $0.0132 - 0.0921$ قرار دارند. میانگین HI در این دو پارک به ترتیب

۰/۰۳ و ۰/۰۳۴ است. شاخص خطر برای فلزات در پارک شهر و لاله به ترتیب $Cr < As < Pb < Ni < Cu < Zn < Cd < Cr$ و $Cr < As < Pb < Ni < Cu < Zn < Cd < Cr$ است. در معرض قرار گرفتن به آرسنیک و سرب از طریق مسیرهای بلع و تماس پوستی از مسیرهای کمک کننده به خطرات غیرسرطانزا هستند. با توجه به وجود نداشتن فاکتور شیب سرطان‌زایی برای عناصر مختلف در این پژوهش مقدار ریسک سرطان‌زایی (CR) فقط برای عناصر کادمیم، کروم و سرب محاسبه شد (جدول ۱۱). ریسک سرطان‌زایی در دو پارک شهر و لاله در محدوده 10^{-5} تا 10^{-4} قرار دارد. میانگین مقادیر CR عناصر کادمیم و سرب در دو پارک شهر و لاله از طریق مصرف، تنفس و جذب پوستی در محدوده $10^{-6} < CR < 10^{-5}$ قرار می‌گیرند که قابل چشم‌پوشی است. میانگین مقادیر CR عنصر کروم از طریق تنفس و جذب پوستی در هر دو پارک در محدوده $10^{-6} < CR < 10^{-4}$ قرار می‌گیرد که ریسک قابل قبول و یا قابل تحمل برای سلامت انسان را نشان می‌دهد. مقدار مجموع ریسک سرطان‌زایی^۱ برای پارک شهر و لاله به ترتیب 5×10^{-9} و $1/9 \times 10^{-5}$ به دست آمد که در محدوده ریسک قابل تحمل برای انسان قرار دارد.

جدول ۱۰. دوز مصرف روزانه در پارک شهر و لاله

	Metal	CDI (child)			CDI (adult)		
		Ingestion	Inhalation	Dermal	Ingestion	Inhalation	Dermal
Shahr Park	Al	0.16057704	4.48671E-06	0.000157365	0.020657226	1.30502E-06	6.61762E-05
Lale Park		0.155264274	4.33827E-06	0.000152159	0.019973772	1.26184E-06	6.39868E-05
Shahr Park	As	2.94891E-05	8.23961E-10	2.88993E-08	3.79359E-06	2.3966E-10	1.21529E-08
Lale Park		2.75846E-05	7.70746E-10	2.70329E-08	3.54858E-06	2.24182E-10	1.1368E-08
Shahr Park	Cd	1.21961E-06	3.40773E-11	1.19522E-09	1.56895E-07	9.91183E-12	5.02619E-10
Lale Park		1.20263E-06	3.36029E-11	1.17858E-09	1.54711E-07	9.77386E-12	4.95622E-10
Shahr Park	Cr	0.000234184	6.54338E-09	2.295E-07	3.01263E-05	1.90323E-09	9.65109E-08
Lale Park		0.000221773	6.19661E-09	2.17338E-07	2.85298E-05	1.80237E-09	9.13962E-08
Shahr Park	Cu	0.000156461	4.3717E-09	1.5332E-07	2.01277E-05	1.27157E-09	6.448E-08
Lale Park		0.000123573	3.45276E-09	1.21101E-07	1.58968E-05	1.00428E-09	5.09261E-08
Shahr Park	Fe	0.126440756	3.5329E-06	0.000123912	0.016265808	1.02759E-06	5.21082E-05
Lale Park		0.073910198	2.06514E-06	7.2432E-05	0.009508082	6.00673E-07	3.04595E-05
Shahr Park	Ni	0.000101549	2.83741E-09	9.95184E-08	1.30637E-05	8.25299E-10	4.18501E-08
Lale Park		0.000103735	2.89848E-09	1.0166E-07	1.33448E-05	8.43061E-10	4.27507E-08
Shahr Park	Pb	0.000181478	5.0707E-09	1.77848E-07	2.33459E-05	1.47488E-09	7.47897E-08
Lale Park		0.000109726	3.06586E-09	1.07531E-07	1.41155E-05	8.91748E-10	4.52196E-08
Shahr Park	V	0.00024599	6.87325E-09	2.4107E-07	3.16451E-05	1.99918E-09	1.01376E-07
Lale Park		0.000239303	6.6864E-09	2.34517E-07	3.07848E-05	1.94483E-09	9.86202E-08
Shahr Park	Zn	0.000485572	1.35674E-08	4.7586E-07	6.24657E-05	3.94627E-09	2.00111E-07
Lale Park		0.000398704	1.11403E-08	3.9073E-07	5.12908E-05	3.2403E-09	1.64312E-07
Shahr Park	Co	2.86403E-05	8.00243E-10	2.80675E-08	3.68439E-06	2.32762E-10	1.18031E-08
Lale Park		2.77739E-05	7.76035E-10	2.72184E-08	3.57293E-06	2.2572E-10	1.1446E-08
Shahr Park	Mn	0.002406159	6.72309E-08	2.35804E-06	0.000310557	1.96195E-08	9.94882E-07
Lale Park		0.002240682	6.26073E-08	2.19587E-06	0.00028825	1.82102E-08	9.23419E-07

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش گویای این مسئله است که پارک‌های شهر و لاله غلظت‌های بالاتری از برخی عناصر بالقوه سمناک را نسبت به مقادیر میانگین خاک‌های جهانی، شیل و زمینه به‌همراه دارند. نتایج محاسبات ضریب زمین‌انباشتی، عامل غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یک‌پارچه نشان می‌دهد که آلودگی خاک پارک شهر و

1 Total Risk

لاله نسبت به عناصر کادمیم، کروم، مس، سرب و روی در سطح متوسط تا قوی قرار دارد. این نتایج نشان می‌دهد که پنج عنصر نامبرده بیش‌تر در نتیجه فعالیت‌های انسان به محیط وارد شده‌اند و کم‌تر منشأ طبیعی دارند. میانگین غلظت روی در هر دو پارک بیش از سایر عناصر بود که میزان روی با حجم ترافیک مرتبط است.

جدول ۱۱. ریسک سلامت فلزات سنگین در پارک شهر و لاله

Metal	HQ			HI		CR		
	Ingestion	Inhalation	Dermal			Ingestion	Inhalation	Dermal
Shahr Park	As	0.098297103	2.74654E-06	0.000234954	0.098534803			
Lale Park		0.09194864	2.56915E-06	0.00021978	0.092170989			
Shahr Park	Cd	0.001219607	3.40773E-08	0.000119522	0.001339163	9.88437E-07	1.78413E-14	1.2666E-07
Lale Park		0.00120263	3.36029E-08	0.000117858	0.001320522	9.74678E-07	1.7593E-14	1.24897E-07
Shahr Park	Cr	0.078061377	0.00022879	0.003825007	0.082115174	1.50632E-05	2.28388E-11	3.71196E-06
Lale Park		0.073924469	0.000216665	0.003622299	0.077763433	1.42649E-05	2.16284E-11	3.51524E-06
Shahr Park	Cu	0.003911525	1.08749E-07	1.27776E-05	0.003924411			
Lale Park		0.003089314	8.58896E-08	1.00918E-05	0.003099492			
Shahr Park	Ni	0.005077469	1.4187E-07	1.84293E-05	0.005096041			
Lale Park		0.005186746	1.44924E-07	1.8826E-05	0.005205717			
Shahr Park	Pb	0.051410079	1.56021E-06	0.000338758	0.051750397	1.98441E-07	1.8436E-14	6.35712E-10
Lale Park		0.03108375	9.43343E-07	0.000204821	0.031289514	1.19982E-07	1.11468E-14	3.84367E-10
Shahr Park	Zn	0.001618572	4.52248E-08	7.931E-06	0.001626548			
Lale Park		0.001329014	3.71342E-08	6.51217E-06	0.001335564			
Shahr Park						Total Risk = 2.00893E-05		
Lale Park						Total Risk = 1.90001E-05		

ضریب خطر (HQ) و شاخص خطر (HI) برای عناصر کادمیم، کروم، مس، نیکل و سرب کم‌تر از یک و نشان‌دهنده عدم اثر سوء بر سلامت است. بررسی نتایج ریسک سرطان‌زایی (CR) و مجموع ریسک سرطان‌زایی برای عناصر کادمیم و سرب نشان داد که مقدار ریسک در محدوده قابل چشم‌پوشی برای انسان است. ریسک سرطان‌زایی کروم بیش‌تر 1×10^{-6} است که ریسک قابل قبول برای سلامت انسان نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان داد که سطوح ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی عناصر انتخابی محدوده بررسی شده در محدوده قابل قبول یا نزدیک به آن قرار دارد، اما هنوز نیاز است تا برخی اندازه‌گیری‌های ویژه برای کاهش ریسک در معرض قرارگیری عناصر بالقوه سمناک خاک برای حفظ سلامت، به‌ویژه جمعیت آسیب‌پذیر مانند کودکان صورت گیرد.

منابع

- Dang. Z., Liu. C., Haigh. M.J., 2002. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine soils. Environ, Pollution.p: 118
- Khan. S., Munir. S., Sajjad. M., Li. G., 2016. Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, p: 102. 104. 105
- Mico. C. L., Recatala. M., Peris, J., 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis, p: 65

4. Lu. Y., Zhu. F., Chen. J., Gan. H., Guo. Y., 2007. Chemical fractionation of heavy metals in urban soils of Guangzhou, China, p: 430
5. Wei. B., Jiang. F., Li. X., Mu. S., 2010, Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NWChina, p: 41- 43
6. Benhaddya. M. L., Boukhelkhal. A., Halis. Y., Hadje. M., 2015. Human Health Risks Associated with Metals from Urban Soil and Road Dust in an Oilfield Area of Southeastern Algeria, p: 1. 2. 4-6
7. صالحی. ا، رضانی مهریان. م، داوودی. م، بصیری مژدهی. ر. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مکانی پارک‌های شهری با استفاده از تحلیل شبکه (مطالعه موردی: شهر تهران). فصلنامه مدیریت شهری. شماره ۳۲ پاییز ۹۲. ۱۸۴ ص
8. Praveena. S.M., Yuswir. N.S., Aris. A.Z., Hashim. Z., 2014. Contamination assessment and potential human health risks of heavy metals in Klang urban soils: a preliminary study, p: 1.5. 6
9. Chen.T., Zheng. Y., Lei. M., Huang. Z., Huang. H., Chen. H., Fan. K., Yu. K., Wu. X; Tian, Q., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China, p: 543.549
10. Yuswir. N.S., Praveena. S.M., Aris. A.Z., Syed Ismail. S.H.N., Hashim, Z., 2015, Health Risk Assessment of Heavy Metal in Urban Surface Soil (Klang District, Malaysia), p: 1,2. 7
11. Luo. X.S., Ding. J., Xu. B., Wang. Y.J., Li. H.B., Yu. S.H., 2012. Incorporating bioaccessibility into human health risk assessments of heavy metals in urban park soils, p: 88. 90
12. Wang. X. S., Qin. Y., Sang.S. X., 2005, Accumulation and sources of heavy metals in urban topsoils, a case study from the city of Xuzhou, China, p: 104. 105
13. Du. Y., Gao. B., Zhou. H., Ju. X., Hao. H., Yin. S., 2013. Health risk assessment of heavy metals in road dusts in urban parks of Beijing, China, p: 300.
14. Kamani. H., Ashrafi. S.D., Isazadeh. S., Jaafari. J., Hoseini. M., Kord Mostafapour. F., Bazrafshan. E., Nazmara. S.H., Mahvi. A.H., 2015. Heavy Metal Contamination in Street Dusts with Various Land Uses in Zahedan, Iran, p: 1.2

15. مرکز آمار ایران . ۱۳۸۹

www.amar.org.ir/Upload/Modules/Contents/asset0/jamiat89/jameiat_tehran89.pdf

16. روشن. ا. ۱۳۸۹. گزارش توصیفی محله پارک لاله. معاونت اجتماعی منطقه ۶ شهرداری تهران. ۳، ۵ ص

17. Kaiser. H. F., 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Edu. Psychol, Meas*, p: 20 141-151
18. Yinxian. S., Junfeng. J., Zhongfang. Y., Xuyin. Y., Changping. M., Ray. F., Godwin. Ayoko., 2011, Geochemical behavior assessment and apportionment of heavy metal contaminants in the bottom sediments of lower reach of Changjiang River, *Catena*, p: 85 .73-81.
19. Shakeri, A., Shakeri, F., Mehrabi, B., 2016, Contamination, toxicity and risk assessment of heavy metals and metalloids in sediments of Shahid Rajaie Dam, Sefidrood and Shirinrood Rivers, Iran. *Environ Earth Sci (2016) 75:679* DOI 10.1007/s12665-016-5461-4
20. Li. F., Zhang. J., Huang. J., Huang. D., Yang. J., Song. Y., Zeng. G., 2016. Heavy metals in road dust from Xiandao District, Changsha City, China: characteristics, health risk assessment, and integrated source identification, p: 3
21. Hernandez. L., Probst. A., Probst. J. L., 2003. Heavy metal distribution in some French forest soil: evidence for atmospheric contamination, *The Science of the Total Environment*, p: 195-219
22. Sutherland. R. A., 2000, Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, p: 39 611-27
23. Loska. K., Wiechuya. D., 2003. Application of principle component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir, p : 723-33.
24. Muller. G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins–Veränderungen seitt 1971. *Umschan.V.79*, p:778–783.
25. Seijo. A. R; Andrade., M. L., Flora, A., 2015. Origin and spatial distribution of metals in urban soils, p: 3. 4
26. Lu. S.G., Bai. S. Q., 2010. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses, p:1483. 1484
27. Bai. S. G., Lu. S. Q., 2009. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses, p: 1482.

28. Wei. X., Gao. B., Wang. P., Zhou. H., Lu.j., 2015, Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China, p: 190. 191
29. Arslan. H., and Gizir. A. M., Heavymetal content of roadside soil in Mersin, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 1 (2006) 15-20.