

بررسی غلظت فلزات سنگین و شاخص های آلودگی خاک در منطقه غرب تهران

فتانه ولی نژاد^۱، آزاده اربابی^{۲*}، رضا برنا^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

چکیده

گسترش شهرنشینی و توسعه شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت، توسعه فعالیت های صنعتی و مصرف بی رویه سوخت های فسیلی به شدت آلودگی ها را افزایش داده و این مسئله را به عنوان یکی از مباحث مطرح زیست محیطی، در طی دهه های اخیر تبدیل کرده است. کلان شهر تهران یکی از شهرهای دارای آلودگی هوای بالا است که در درازمدت می تواند در خاک رسوب کرده و مشاهده شود. در این تحقیق، جهت ارزیابی غلظت عناصر سنگین از خاک نواحی سه گانه منطقه ۲۱ شهرداری تهران، ۱۰ نمونه با سه تکرار و در مجموع ۹۰ نمونه تهیه شد. نمونه برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی متری و با سه تکرار انجام شد. برای ارزیابی آلودگی از اندازه گیری سه عنصر سرب، کروم و کادمیوم و همچنین از درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک استفاده شد. مقایسه غلظت عناصر سنگین و روند تغییرات آنها نشان داد که تجمعی از این عناصر در خاک سطحی ایجاد شده است. بر اساس میانگین، میزان غلظت عناصر مورد بررسی در ناحیه دو و سه بیشتر از ناحیه یک بود ($P\text{-value} < 0/05$). همچنین، بالاتر بودن شاخص آلودگی از عدد یک، بیانگر غلظت بالای عناصر سنگین نسبت به غلظت زمینه در منطقه مورد بررسی است. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به توسعه روزافزون مناطق شهری و صنعتی غرب تهران، خاک این منطقه شدیداً در معرض ورود عناصر سنگین قرار دارد. بنابراین پایش منظم خاک منطقه از لحاظ عناصر سنگین و بررسی دقیق منشا آنها ضروری به نظر می رسد.

واژه های کلیدی: تهران، آلودگی هوا، شاخص آلودگی، عناصر سنگین، خاک.

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی و علوم اجتماعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. f_valinejad@pnu.ac.ir

^۲ دانشیار گروه جغرافیا، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. نویسنده مسئول arbabi@iaau.ac.ir

^۳ دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. bornareza@yahoo.com

مقدمه

افزایش جمعیت، بهبود سطح دانش و به موازات آن، گسترش شهرنشینی و توسعه شهرها به همراه توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی به شدت آلودگی‌های منابع آب، خاک و هوا را افزایش داده است (۳۸ و ۲۵). این چالش به یکی از مباحث مهم و اساسی زیست‌محیطی، در طی دهه‌های اخیر تبدیل شده است (۲۶). کلان‌شهر تهران در جدول رده‌بندی شهرهای بزرگ جهان، از نظر آلودگی هوا در رده بالایی قرار گرفته و این امتیاز منفی، دلایل عمده‌ای دارد که یکی از آنها موقعیت جغرافیایی و اقلیمی این کلان‌شهر است (۷ و ۳۵). به نظر می‌رسد حل مشکل آلودگی هوا در شهرهای کشور به‌ویژه تهران بدون عزمی جدی و تلاش بی‌وقفه از سوی سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی و اساتید فن در جهت تدوین راهبردها، قوانین و راهکارهای صحیح برای حل این معضل ملی میسر نخواهد شد (۲۷ و ۴۴).

خاک از مهمترین اجزای اکوسیستم‌های زمینی بوده (۳۳) و نقش مهمی در کارکردهای اکوسیستم از قبیل ترسیب کربن (۳۱ و ۳۲)، چرخه مواد غذایی (۳۰) و کنترل فرسایش خاک (۲۲ و ۳۴) دارد. اما ممکن است به دلیل فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری بیش از حد از طبیعت، مقدمات تخریب و آلودگی خاک ایجاد شود. همچنین کارخانه‌ها، واحدهای صنعتی و تولیدی و همچنین ناوگان حمل و نقل عمومی فرسوده از جمله منابعی می‌باشند که طی فرایند تولید (مواد اولیه مصرفی، سوخت مصرفی و غیره) سهم عمده‌ای در آلودگی را به خود اختصاص می‌دهند (۵). آلاینده‌های عمده در این بخش، گازهای H_2S ، O_3 ، SO_2 ، CO ، NO_2 فلزات سنگین و

ذراتی از قبیل سرب می‌باشند که بر اساس نوع صنعت، ممکن است یک یا تعدادی از این آلودگی‌ها در هوای محیط ایجاد شود. افزایش بیش از حد مجاز هر یک از این آلودگی‌ها موجب بروز اثرات جبران‌ناپذیر بر سلامت انسان و محیط زیست می‌گردد (۸ و ۱۵). این چالش زیست‌محیطی در شهر تهران طی سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی، توسعه صنعتی و افزایش مصرف سوخت، از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده است. بر اساس جدیدترین گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۸، تهران در میان ۶۲ شهر بزرگ جهان با شرایط نسبتاً مشابه، به لحاظ آلاینده PM_{10} در رده دوازدهم قرار دارد که رقم تأمل‌برانگیزی است (۱۸).

از جمله پیامدهای آلودگی هوا، نمود و تجمع آلودگی در خاک است (۲۰). خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، کمابیش در هر کشوری یافت می‌شوند (۱۴). در بین عناصر سنگین که دارای آلودگی‌های به مراتب خطرناک هستند سه عنصر کروم، کادمیم و سرب از سایر عناصر اهمیت بیشتری دارند (۱). کروم یکی از مشکل‌آفرین‌ترین فلزات سنگین به شمار می‌رود زیرا در قالب چندین حالت اکسایشی خودنمایی می‌نمایند که اصلی‌ترین آنها کروم سه و شش ظرفیتی هستند (۱۶). کروم شش ظرفیتی برای همه گیاهان و حیوانات سمی بوده و شدیداً سرطان‌زاست و حلالیت و قابلیت دسترسی بالایی در آب و خاک دارد (۴۲). ترکیب سه ظرفیتی در مقدار کم به صورت ریز مغذی برای متابولیسم گلوکز، چربی و پروتئین پستانداران مورد نیاز است، ولی مقادیر زیاد آن برای جانوران و گیاهان ممکن است مخاطره‌آمیز باشد (۴۹).

کره زمین، شامل استفاده کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب، سوخت های فسیلی و از طرفی فرو نشست های اتمسفری، باعث شده تا غلظت فلزات سنگین در خاک به طور روز افزون افزایش یابد و در نهایت کارکرد خاک در مواردی دچار اختلال شود (۳۹). به دلیل اثرات مخرب فلزات سنگین بر روی انسان و محیط زیست، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا تا کنون تحقیقات زیادی در رابطه با بررسی غلظت و تغییرات این نوع آلودگی در مناطق مختلف صورت گرفته اند. برای مثال، در منطقه کوشک بافق در یزد سهرابی زاده و همکاران (۱۳۹۹)، غلظت فلزات سنگین (کادمیم، مس، آهن، منگنز، سرب و روی) در ۱۰۲ نمونه خاک معدن سرب و روی را با استفاده از شاخص های عامل آلودگی، غنی شدگی و شاخص زمین- انباشتگی را بررسی و گزارش کردند که میانگین مقادیر در بین عناصر مورد بررسی، کادمیم، سرب و روی از حد آستانه ایران و جهان فراتر رفته اند (۴۵).

در تحقیقی دیگر، در استان اصفهان اتابکی و لطفی (۱۳۹۷) نحوه پراکنش و توزیع فلزات سنگین با استفاده از ۳۰ نمونه خاک و بررسی غلظت کل عناصر سرب، کادمیم، روی و مس بررسی شد. یافته ها نشان داد که غلظت فلزات سرب و کادمیم در خاک های منطقه نسبت به میانگین استاندارد جهانی بالاتر و غلظت فلزات روی و مس نسبت به میانگین استاندارد جهانی پایین تر است (۴). همچنین در تحقیقی دیگر در منطقه سبزوار کوثری و همکاران (۱۴۰۱)، شدت آلودگی خاک های اطراف محل دفن زباله سبزوار به فلزات سنگین بررسی گردید. بر اساس نتایج، فلزات سنگین شامل آرسنیک، سرب، روی، کروم

کادمیم از جمله سمی ترین آلاینده های موجود در خاک های پیرامون مناطق صنعتی می باشد که افزون بر فعالیت های صنعتی (مانند ریخته گری، تصفیه و ذوب فلزات، استخراج معادن، صنایع رنگ و پلاستیک)، با کاربرد غیراصولی کودهای شیمیایی کشاورزی به ویژه کودهای فسفره و استفاده از لجن فاضلاب نیز، به محیط زیست و متعاقباً زنجیره غذایی راه می یابد (۶ و ۱۹). کادمیم به دلیل حلالیت بالایی که در آب دارد ممکن است سمیت شدیدی برای گیاهان و حیوانات و یا انسان ها ایجاد کند از این رو آژانس های بین المللی و دولتی در مورد افزایش غلظت کادمیم در محیط زیست ابراز نگرانی کرده اند (۲۸). همچنین کادمیم هفتمین عنصر خطرناک جهان شناخته شده است و همان میزانی که در باتری موبایل وجود دارد، می تواند ۶۰۰ هزار لیتر آب را آلوده کند (۴۸). در نهایت سرب نیز یکی از مهمترین عناصر سنگین آلودکننده هوا و خاک است که عمدتاً از احتراق ناقص در چرخه سوخت وسایل نقلیه ایجاد می شود (۴۷). بطور کلی، بیشترین غلظت سرب در خاک های مجاور جاده های پرتردد از قبیل جاده های برون شهری و اتوبان ها دیده می شود (۲۳ و ۲۷). عمدتاً سرب به صورت ذرات ریز به هوا منتشر می شود و جذب آن از طریق تنفس و انتقال به خون باعث مسمومیت های زمانی و اثرات طولانی مدت بر روی طبقات آسیب پذیر جامعه گشته و بخشی از آن نیز وارد خاک می شود (۴۳). آلودگی خاک به عناصر سنگین به عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی فراروی بشر، در چند دهه گذشته مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است (۱۴). فرآیندهای هوازدگی مواد مادری و خاکسازي و فعالیت های انسان بر روی

و مس در خاک هیچ آلودگی نشان ندادند اما برای جیوه و کادمیوم آلودگی شدید مشاهده شد (۲۴). در حالی که ارزیابی میزان آلودگی با استفاده از شاخص‌های شدت آلودگی از قبیل شاخص ریسک اکولوژیک، درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل، هدف از انجام این تحقیق تعیین

میزان آلودگی فلزات سنگین کادمیم، سرب و کروم در خاک منطقه ۲۱ شهرداری تهران با استفاده از معیارهای درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیک و همچنین ارزیابی وضعیت آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

تحقیق حاضر در محدوده مورد مطالعه شامل نواحی سه گانه (۱، ۲ و ۳) منطقه ۲۱ شهر تهران صورت گرفته است که در موقعیت جغرافیایی 68° تا 35° تا 71° عرض جغرافیایی و 51° تا 31° طول غربی واقع می‌باشد. این منطقه دارای میانگین ارتفاع ۱۲۲۰ متر از سطح دریا است. بر اساس اطلاعات نزدیکترین ایستگاه

هواشناسی در فرودگاه مهرآباد، این منطقه دارای میانگین بارش و دمای سالانه به ترتیب ۲۱۰ میلیمتر و ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین سرعت باد $5/5$ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمالغربی است. نمایی از موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش نقاط نمونه‌برداری خاک در شکل ۱ ارائه شده است.

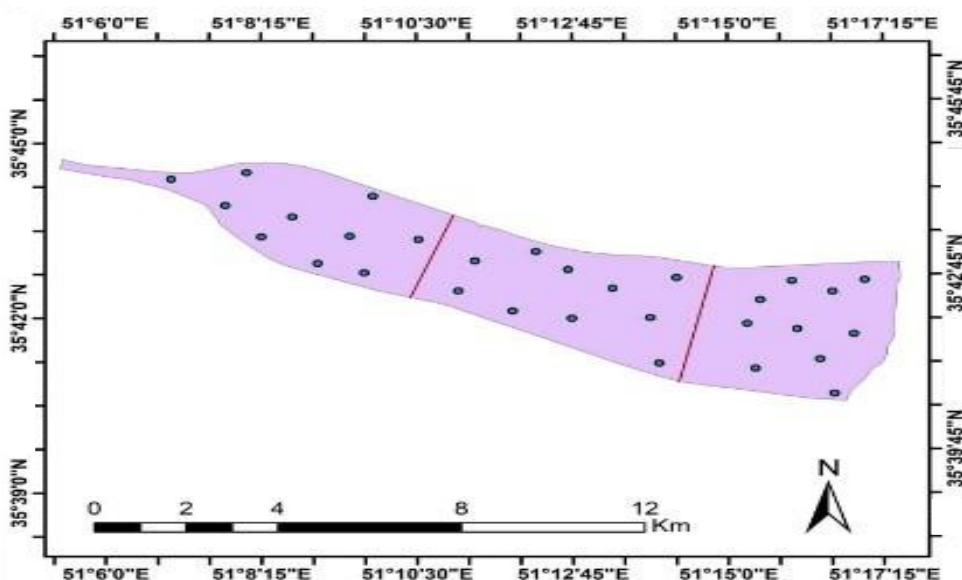


شکل ۱. نمایی از موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منطقه ۲۱) در ایران و استان تهران.

نمونه برداری و آزمایش خاک

جهت تعیین غلظت عناصر سنگین کادمیم، سرب و کروم و شاخص های آلودگی در منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری در ۳۰ نقطه مختلف با سه تکرار به شکل تصادفی صورت گرفت. در هر ناحیه ۱۰ نمونه از عمق ۲۰-۰ سانتی متری به صورت مرکب برداشته شد. برای این کار ابتدا یک نقطه انتخاب و از چهار نقطه در اطراف آن با فواصل ۱۰۰ متری، نمونه خاک جمع آوری شد. در ادامه همه نمونه ها با هم مخلوط و یک نمونه مرکب به دست آمد. برای انجام آزمایش های خاک، ابتدا نمونه های خاک در فضای باز هواخشک شد و

پس از گذراندن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. سپس عصاره خاک با استفاده از اسید غلیظ (تیزاب سلطانی) بدست آمد (۲۱). در پایان، غلظت عناصر سنگین کادمیم، سرب و کروم در عصاره های به دست آمده با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۲۰ اندازه گیری شد (۳۶). جهت کنترل کیفیت آنالیز، تعدادی نمونه استاندارد تهیه و به همراه نمونه های اصلی اندازه گیری شد و میزان بازیابی ۹۶-۱۰۰ درصد به دست آمد. حد تشخیص برای عناصر کادمیم، سرب و کروم به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۵ بود.



شکل ۲. پراکنش نقاط نمونه گیری از خاک در منطقه مورد مطالعه.

شاخص بار آلودگی

$$PLI = \sqrt[3]{CF Cd * CF Cr * CF Pb} \quad \text{رابطه (۱)}$$

شاخص ریسک اکولوژیک

در این پژوهش، جهت محاسبه ریسک اکولوژیک و شاخص پتانسیل خطر زیستی از روابط ۲ و ۳ استفاده شد (۴۶).

$$ER = TR \times CF \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RI = \sum Er \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، CF: فاکتور آلودگی، ER: ریسک اکولوژیک هر عنصر مورد بررسی و RI: ریسک اکولوژیک مجموع عناصر را نشان می‌دهد. مقدار TR، که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می‌باشد، برای کادمیوم ۳۰، برای سرب ۵ و برای کروم ۲ است (۱۷) در نهایت، برای تحلیل مقادیر به دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف شده است (جدول ۱).

شاخص بار آلودگی، معیاری جهت تعیین بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این شاخص بیانگر تعداد دفعاتی که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه افزایش یافته است را نشان می‌دهد. به عبارتی خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات مورد بررسی را نشان می‌دهد. شاخص بار آلودگی از رابطه ۱ به دست می‌آید (۱۷ و ۴۶) که در این رابطه، CF فاکتور آلودگی می‌باشد. در صورتی که کیفیت خاک منطقه خوب باشد شاخص بار آلودگی کمتر از یک، اگر آلودگی نزدیک به غلظت زمینه باشد شاخص بار آلودگی برابر با یک و اگر خاک منطقه دارای کیفیت نامناسب باشد، شاخص بار آلودگی بیشتر از یک خواهد بود.

جدول ۱. کلاس‌های پتانسیل خطر زیستی (ER) و ریسک اکولوژیک (RI) برگرفته از (۱۷)

ER	کلاس خطر زیستی	RI	میزان ریسک اکولوژیک
کمتر از ۴۰	کم	کمتر از ۱۵۰	کم
۴۰-۸۰	متوسط	۱۵۰-۳۰۰	متوسط
۸۰-۱۶۰	بالا	۳۰۰-۶۰۰	شدید
۱۶۰-۳۲۰	شدید	بیشتر از ۶۰۰	خیلی شدید
بیشتر از ۳۲۰	خیلی شدید		

غلظت زمینه

غلظت زمینه، مقدار نرمال یک عنصر در مناطق غیرآلوده را بیان می‌کند. این مقدار شامل یک دامنه از غلظت هر عنصر بوده و برای تعیین آن از رابطه (میانگین انحراف \pm معیار) استفاده می‌شود (۱۲). اما غلظت عناصر سنگینی که فاقد توزیع نرمال هستند بر اساس رابطه (میان $\pm 2MAD$) تعیین می‌گردد که در آن MAD^4 برابر انحراف مطلق از میانه است. در نهایت نمونه‌های دارای

غلظت بیش از این دامنه، دارای آلودگی شناخته می‌شوند (۴۱). حد بالای این محدوده به عنوان غلظت زمینه در نظر گرفته می‌شود. جهت به دست آوردن غلظت زمینه منطقه مورد مطالعه، پانزده نمونه خاک شاهد به صورت تصادفی از عمق ۱۵۰ سانتی‌متری زمین در نقاط مختلف که دارای سازنده‌های زمین شناسی مشابهی با منطقه مورد مطالعه بوده و تحت هیچ گونه فعالیت انسانی قرار نداشته است، برداشت گردید.

⁴ Median Absolute Deviation

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از برداشت نمونه‌های خاک و انجام اندازه-گیری‌های لازم، اطلاعات حاصله جهت تهیه بانک اطلاعاتی در نرم افزار Excel وارد شدند. در اولین مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها، جهت بررسی نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها به ترتیب از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف (۱۰) و لیون (۳۷) استفاده شد. در ادامه جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در این تحقیق، از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (One way ANOVA) و سپس آزمون تکمیلی مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS var. 26 انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر سه عنصر مورد مطالعه در

سه ناحیه ۱، ۲ و ۳ وجود دارد (P -value $0/05$). بر اساس نتایج، مقایسه میانگین داده‌ها در مورد فلز سنگین سرب حاکی از آن بود که مقادیر این فلز در نمونه‌های برداشت شده از ناحیه ۳ و ۲ به صورت معنی‌داری بیشتر از ناحیه یک بود. اگر چه غلظت سرب در خاک‌های ناحیه سه بیشتر از ناحیه دو بود اما این نواحی از نظر محتوای سرب در خاک در یک کلاس آماری قرار داشته و تفاوت معنی‌داری از این نظر با همدیگر نداشتند (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین غلظت سه فلز سرب، کروم و کادمیم در جدول ۲ ارائه شده است. در مورد نتایج مقایسه میانگین دو عنصر کروم و کادمیم نیز نتایج نشان داد که نتایج کاملاً مشابه با تغییرات سرب در سه منطقه مورد بررسی بود بطوریکه کمترین غلظت دو عنصر کروم ($1/7 \pm$) و کادمیم ($0/3 \pm 1/4$) در ناحیه ۱ مشاهده شد و این مقادیر دارای اختلاف معنی‌داری با دو ناحیه ۲ و ۳ بود (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین بر اساس آزمون تجزیه واریانس یکطرفه برای غلظت عناصر در منطقه.

مناطق مورد بررسی	سرب ($mg.kg^{-1}$)	کروم ($mg.kg^{-1}$)	کادمیم ($mg.kg^{-1}$)
ناحیه ۱	34 ± 10 b	$8/7 \pm 1/7$ b	$1/4 \pm 0/3$ b
ناحیه ۲	$47/1 \pm 14/1$ a	$9/8 \pm 1/7$ a	$1/8 \pm 0/4$ a
ناحیه ۳	$48/2 \pm 23/4$ a	$9/9 \pm 2$ a	$1/9 \pm 0/3$ a

* حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌داری در سطح $0/05$ است.

بر اساس نتایج، غلظت زمینه عناصر سرب، کادمیم و کروم به ترتیب ۲۴، $1/6$ و $8/7$ میلی گرم بر کیلوگرم برآورد شد. غلظت زمینه سرب و

کادمیم بیشتر و غلظت زمینه کروم خیلی کمتر از مقادیر آنها در بخش بالایی پوسته قاره‌ای بود (جدول ۳).

جدول ۳. غلظت عناصر سنگین مورد بررسی و محدوده غلظت زمینه آنها در منطقه مورد بررسی

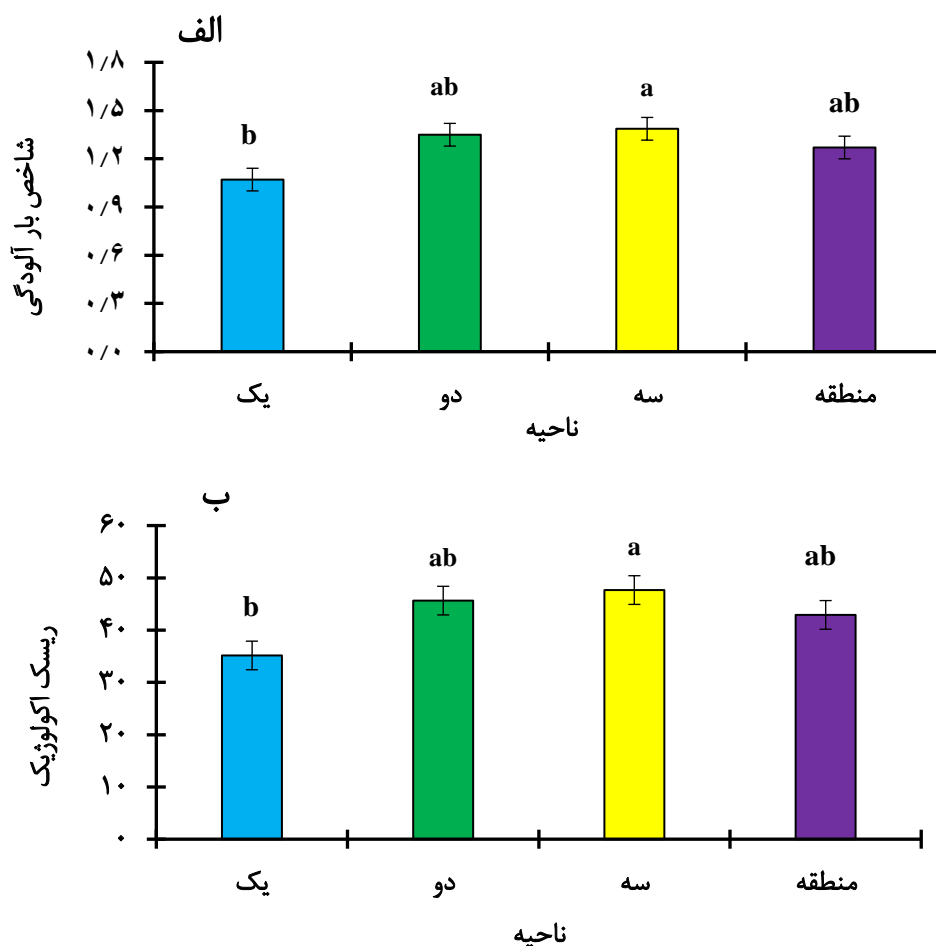
عنصر	سرب ($mg.kg^{-1}$)	کروم ($mg.kg^{-1}$)	کادمیم ($mg.kg^{-1}$)
حداقل	۱۱/۶	۳/۵	۰/۸
حداکثر	۴۴	۷/۹	۱/۶
میانگین	۲۱/۶	۶	۱/۳
میانه	۱۸/۶	۶/۵	۱/۵
انحراف معیار	۷/۸	۱/۵	۰/۳
MAD	۲/۷	۱/۱	۰/۰۷
Median \pm 2MAD	۱۳/۲-۲۴	۴/۳-۸/۷	۱/۴-۱/۶

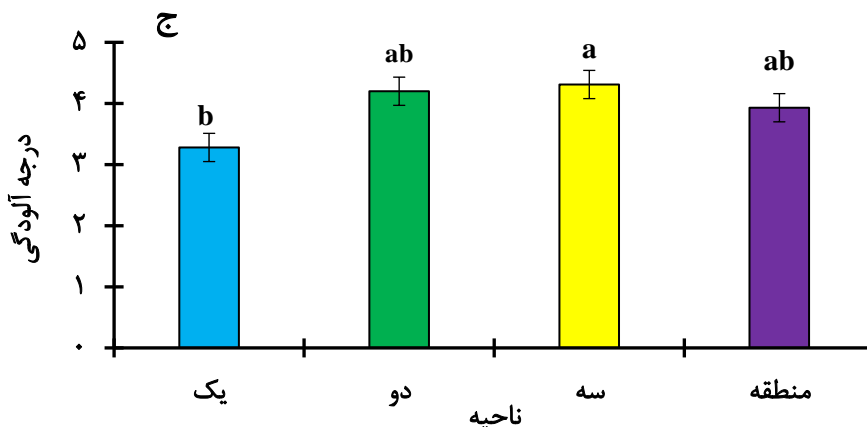
جدول ۴. مقادیر شاخص خطر زیستی عناصر سنگین در نواحی و منطقه مورد بررسی

عنصر	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	منطقه
سرب	۷/۰۵	۹/۸	۱۰	۸/۹۵
کروم	۲	۲/۲۴	۲/۲۶	۲/۱۶
کادمیم	۲۶/۱	۳۳/۶	۳۵/۴	۳۱/۸

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در یک الگوی مشابه، مناطق ۳ و ۲ دارای شاخص‌های بالاتر (آلودگی بیشتر) و کمتر ۱ داری شاخص آلودگی کمتری است.

مقایسه آماری بر اساس آزمون تجزیه واریانس یکطرفه شاخص‌های آلودگی (بار آلودگی، ریسک اکولوژیک و درجه آلودگی) بین شاخص‌های آلودگی مورد بررسی در سه ناحیه مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری ($P\text{-value} < 0/05$) وجود دارد.





شکل ۳. مقایسه میانگین شاخص بار آلودگی (الف)، شاخص ریسک اکولوژیک (ب) و شاخص درجه آلودگی (ج) در نواحی مختلف مورد بررسی.

بحث و نتیجه گیری

فلزات سنگین از مهمترین مشکلات زیست-محیطی در قرن حاضر بوده که با تداوم روند صنعتی شدن در دنیا، بر غلظت آنها افزوده خواهد شد. بر اساس استانداردهای جهانی، بیشترین خطرات ناشی از فلزات سنگین مربوط به عناصر سرب، آرسنیک، کادمیم، مس و روی است که بر اساس مطالعات، غلظت آنها در محدوده مناطق صنعتی دارای روند افزایش معنی دار است (۳ و ۱۱). کادمیم، کروم و سرب از جمله عناصری هستند که غلظت آنها در خاک سطحی مناطق صنعتی و شهری در حال افزایش است (۲ و ۲۹). بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق نیز مشخص گردید که در منطقه مورد مطالعه، غلظت سرب و کادمیم نیز بیش از حد آستانه آن است. نتایج بدست آمده از بررسی شاخص بار آلودگی نیز تاییدی بر این افزایش است. بطور کلی، شاخص بار آلودگی نشان دهنده کیفیت خاک بوده و چنانچه مقادیر آن به عدد یک نزدیک باشد، به معنی حالت نرمال و چنانچه از یک بالاتر به دست آید، آلودگی خاک را نشان می دهد (۱۲). در مورد شاخص بار آلودگی، با توجه به اینکه مقادیر عددی آن برای هر سه ناحیه و

همچنین میانگین منطقه بالاتر از یک به دست آمده می توان گفت که خاک منطقه از نظر این شاخص دارای کیفیت نامناسب می باشد. بطور کلی، به دلیل وجود مناطق آلوده کننده از قبیل کارخانه های تولید خودرو (ایران خودرو و سایپا) و افزایش تدریجی آنها (افزایش صنعتی شدن)، در کل منطقه غلظت عناصر کادمیم، کروم و سرب در حال افزایش است که این امر می تواند نشان دهنده نقش فعالیت های انسانی و صنعتی در اضافه شدن این عناصر به خاک باشد (۱۳). در این راستا، Yan و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی میزان آلودگی برخی از عناصر سنگین در خاک سطحی شهرک صنعتی سمنان گزارش کردند که فعالیت های صنعتی ناشی از این شهرک صنعتی منجر به افزایش معنی دار سرب، روی و مس شده است. این روند افزایش غلظت فلزات سنگین در اثر افزایش فعالیت صنعتی تنها منوط به ایران نبوده و در خارج از کشور نیز گزارش شده است. برای مثال، Dragović و همکاران (۲۰۱۴) در کشور صربستان در خاک های اطراف کارخانه فولادسازی نتایج مشابهی مبنی بر افزایش غلظت عناصر روی، سرب، کادمیم، مس و آرسنیک را گزارش کردند. در کشور چین نیز Zhu و همکاران

فرسوده، مانع از افزایش غلظت این فلزات سنگین شوند.

(۲۰۱۹) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی استان شانگهای مورد بررسی و روند ورود عناصر سنگین سرب، روی و مس به خاک را افزایش و ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی بیان نمودند. به علاوه، وجود زیاد وسایل نقلیه بخصوص وسایل نقلیه شخصی و فرسوده، از عوامل مهم در افزایش غلظت عناصر سنگین گزارش شده است که همراستا با نتایج بدست آمده در این تحقیق است. بر اساس نتایج بدست آمده، تجمع عناصر سنگین در نواحی دو و سه بیشتر بوده و با افزایش فاصله از محل تجمع صنایع، مقادیر این عناصر کاهش می‌یابد. این مهم در مقادیر برآورد شده شاخص‌های آلودگی نیز خود را نشان داده است. بطور واضحی این نتیجه می‌تواند ناشی از نزدیکی به مرکز شهر برای دو ناحیه ۲ و ۳ باشد که دارای غلظت بیشتری در هر سه عنصر سرب، کروم و کادمیم بودند.

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیم در خاک منطقه ۲۱ بیش آستانه استاندارد آن است. با در نظر گرفتن عوامل صنعتی و ترافیک که مهمترین عوامل ایجاد آلودگی هستند و رسوب این فلزات از هوا در خاک، می‌توان استدلال کرد که غلظت آنها در هوا نیز بحرانی است. ادامه روند صنعتی‌شدن نیز موجب تشدید افزایش تولید آلودگی خواهد شد. به همین دلیل مدیران و تصمیم‌گیران محلی و منطقه‌ای باید با اتخاذ راهکارهای مناسب از قبیل استفاده از گیاهان دارای قابلیت گیاه‌پالائی به وسیله گیاهانی از قبیل (بید) (*Salix sp*) و صنوبر تبریزی (*Populus deltoides*) و حذف فلزات سنگین در کنار کاهش آلودگی کارخانه‌ها و حذف وسایل نقلیه

فهرست منابع

1. Abderrahmane, B., Naima, B., Tarek, M. and Abdelghani, M. 2021. Influence of highway traffic on contamination of roadside soil with heavy metals. *Civil Engineering Journal*, 7(8), pp.1459-1471.
2. Adimalla, N. 2020. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review. *Environmental geochemistry and health*, 42(1), pp.173-190.
3. Antoci, A., Galeotti, M. and Sordi, S. 2018. Environmental pollution as engine of industrialization. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 58, pp.262-273.
4. Atabaki, M. R., Lotfi, A. 2018. Investigation of heavy metal soil concentration (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396, *Journal of Research in Environmental Health*, 4(1), pp. 23-35.
5. Bayat, R., Ashrafi, K., Motlagh, M.S., Hassanvand, M.S., Daroudi, R., Fink, G. and Künzli, N. 2019. Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran. *Environmental research*, 176, p.108547.
6. Borggaard, O.K., Holm, P.E. and Strobel, B.W. 2019. Potential of dissolved organic matter (DOM) to extract As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn from polluted soils: a review. *Geoderma*, 343, pp.235-246.
7. Delavar, M.R., Gholami, A., Shiran, G.R., Rashidi, Y., Nakhaeizadeh, G.R., Fedra, K. and Hatefi Afshar, S. 2019. A novel method for improving air pollution prediction based on machine learning approaches: a case study applied to the capital city of Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), p.99.
8. Derikvand, A., Taherkhani, A., Hassanvand, M.S., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Shamsipour, M., Niazi, S., Heidari, M., Mokammel, A. and Faridi, S. 2023. Indoor Air Quality in the Most Crowded Public Places of Tehran: An Inhalation Health Risk Assessment. *Atmosphere*, 14(7), p.1080.
9. Dragović, R., Gajić, B., Dragović, S., Đorđević, M., Đorđević, M., Mihailović, N. and Onjia, A. 2014. Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). *Journal of cleaner production*, 84, pp.550-562.
10. Drezner, Z., Turel, O. and Zerom, D. 2010. A modified Kolmogorov–Smirnov test for normality. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*®, 39(4), pp.693-704.
11. Ebenstein, A. 2012. The consequences of industrialization: evidence from water pollution and digestive cancers in China. *Review of Economics and Statistics*, 94(1), pp.186-201.
12. Esmaeili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N. and Kermani, M. 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *Catena*, 121, pp.88-98.
13. Fazeli, G., Karbassi, A., Khoramnejadian, S. and Nasrabadi, T. 2019. Evaluation of urban soil pollution: a combined approach of toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *International Journal of Environmental Research*, 13, pp.801-811.
14. Gavrilesco, M. 2022. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in biotechnology*, 74, pp.21-31.
15. Gharibvand, L.K., Jamali, A.A. and Amiri, F. 2023. Changes in NO₂ and O₃ levels due to the pandemic lockdown in the industrial cities of Tehran and Arak, Iran using Sentinel 5P images, Google Earth Engine (GEE) and statistical analysis. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(5), pp.2023-2034.

16. Ghosh, M. and Singh, S.P. 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(2), pp.67-79.
17. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), pp.975-1001.
18. Heger, M., Sarraf, M. 2018. Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies. *Environment and Natural Resources Global Practice Discussion Paper*; No. 6. World Bank, Washington, DC. © World Bank.
19. Hou, S., Zheng, N., Tang, L., Ji, X., Li, Y. and Hua, X. 2019. Pollution characteristics, sources, and health risk assessment of human exposure to Cu, Zn, Cd and Pb pollution in urban street dust across China between 2009 and 2018. *Environment international*, 128, pp.430-437.
20. Ibrahim, M., Labaki, M., Giraudon, J.M. and Lamonier, J.F. 2020. Hydroxyapatite, a multifunctional material for air, water and soil pollution control: A review. *Journal of hazardous materials*, 383, p.121139.
21. ISO/CD 11466. 1995. Soil Quality-Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua-Regia. Switzerland. The international organization for standardization, 12 p.
22. Javadi, M.R., Zehtabian, G., Ahmadi, H., Ayoubi, S. and Jafari, M. 2022. Investigation of spatial variability of soil erosion factor using some geostatistical methods (case study: Nomehrood watershed). *Researches in Earth Sciences*, 13(2), pp.42-57.
23. Jeong, H., Choi, J.Y., Lee, J., Lim, J. and Ra, K. 2020. Heavy metal pollution by road-deposited sediments and its contribution to total suspended solids in rainfall runoff from intensive industrial areas. *Environmental Pollution*, 265, p.115028.
24. Kowsari, M. H., Saghi, M., rastegar, A., Sotude, S. 2022. Investigation of Heavy Metals in the Soil around Municipal Waste Landfill, *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, 29(1), pp. 65-76.
25. Li, K., Fang, L. and He, L. 2019. How population and energy price affect China's environmental pollution? *Energy policy*, 129, pp.386-396.
26. Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo, G., Chen, X., Yang, X., Hall, M.H., Guo, R., Wang, H., Cui, J. and He, X. 2013. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*, 192, pp.50-58.
27. Liu, E., Wang, X., Liu, H., Liang, M., Zhu, Y. and Li, Z. 2019. Chemical speciation, pollution and ecological risk of toxic metals in readily washed off road dust in a megacity (Nanjing), China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 173, pp.381-392.
28. Lodeiro, P., Cordero, B., Barriada, J.L., Herrero, R., Sastre de Vicente, M.E. 2005. Biosorption of cadmium by biomass of brown marine macroalgae. *Bioresource Technology*, 96: 1796-1803.
29. Lu, Y., Gong, Z., Zhang, G. and Burghardt, W. 2003. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Nanjing, China. *Geoderma*, 115(1-2), pp.101-111.
30. Mahdavi, S.K., Azaryan, A., Javadi, M.R and Mahmoodi, J. 2016. Effects of flood spreading on some physic-chemical properties and soil fertility (Case study: Band-E Alikhan area, Varamin). *Rangeland*, 10(1), pp.68-81.
31. Mahmoudi, E., Mahdavi, M, and Javadi, M.R. 2013. Increasing the carbon sequestration potential of ecosystem with planting the perennial alfalfa (*Medicago sativa* L.) in low-yield drylands (case study: Maydan watershed of Esfarayen). 8, pp.1-11.
32. Mahmoudi, E., Mahdavi, M., and Javadi, M.R. 2013. Soil carbon sequestration potential of land use types of the ecosystem (case study: Maydan watershed, Esfarayen, northern Khorasan). *Natural Ecosystems of Iran* 3(3), pp.100-113.

33. Mahmoudi, J., Zareian, F., Javadi, M.R., and Khorsandi, N. 2012. Comparing the applicability of some geostatistical methods to predict variability of some soil physical properties. *Journal of water and soil resources Conservation*, 1(4), pp.67-76.
34. Mohammad Ebrahimi, M., Javadi, M.R., and Vafakhah, M. 2016. Investigation of the Role of Soil and Non-Soil Parameters in Development of Linear Gully Erosion in Agh Emam Watershed (2). *Iranian Journal of Soil Research*, 29(4), pp.487-498.
35. Motlagh, S.H.B., Pons, O. and Hosseini, S.A. 2021. Sustainability model to assess the suitability of green roof alternatives for urban air pollution reduction applied in Tehran. *Building and Environment*, 194, p.107683.
36. Nik Ravesh, M., Karimi, A., Esfandyarpur, E. and Fotovat, A. 2017. Assessment of surface soil pollution with selected heavy metals in Semnan industrial complex and surrounding areas. *Journal of Natural Environment*, 70(1), pp.211-226.
37. O'Neill, M.E. and Mathews, K.L. 2002. Levene tests of homogeneity of variance for general block and treatment designs. *Biometrics*, 58(1), pp.216-224.
38. Perez-Venegas, D.J., Valenzuela-Sánchez, A., Montalva, F., Pavés, H., Seguel, M., Wilcox, C. and Galbán-Malagón, C. 2021. Towards understanding the effects of oceanic plastic pollution on population growth for a South American fur seal (*Arctocephalus australis australis*) colony in Chile. *Environmental Pollution*, 279, p.116881.
39. Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., Ma, J. and Xiang, P. 2021. Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. *Chemosphere*, 267, p.129205.
40. Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I. and Ulucak, R. 2022. Sustainable development and pollution: The effects of CO₂ emission on population growth, food production, economic development, and energy consumption in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, pp.1-12.
41. Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the total environment*, 346(1-3), pp.1-16.
42. Sharma, P., Singh, S.P., Parakh, S.K. and Tong, Y.W., 2022. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*, 13(3), pp.4923-4938.
43. Shayler, H., McBride, M., Harrison, E. 2009. Sources and Impacts of Contaminants in Soils. Cornell Waste Management Institute. Department of Crop and Soil Sciences; Cornell University.
44. Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C. and Teng, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 156(2), pp.251-260.
45. Sohrabizadeh, Z., Sodaiezhadeh, H., Hakimizadeh, M. A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Ghanei Bafaqi, M. J. 2020. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Soil Samples around the Lead-Zinc Mine of Kushk, Bafq, using Pollution Indicators and Principal Component Analysis, *Geography and Environmental Planning*, 31(1), pp. 15-34.
46. Wu, Y.G., Xu, Y.N., Zhang, J.H. and Hu, S.H. 2010. Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaoqinling gold mining region, Shaanxi, China. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 20(4), pp.688-694.
47. Yamada, D., Hiwatari, M., Narita, D., Hangoma, P., Chitah, B., Nakata, H., Nakayama, S.M., Yabe, J., Ito, M., Igarashi, T. and Ishizuka, M. 2023. Social cost of mining-related lead (Pb) pollution in Kabwe, Zambia, and potential remediation measures. *Science of the Total Environment*, 865, p.161281.

48. Yan, C., Zhuang, T., Bai, J., Wen, X., Lu, Q. and Zhang, L. 2020. Assessment of as, cd, Zn, Cu and Pb pollution and toxicity in river wetland sediments and artificial wetland soils affected by urbanization in a Chinese delta. *Wetlands*, 40, pp.2799-2809.
49. Zhu, Y., Xu, F., Liu, Q., Chen, M., Liu, X., Wang, Y., Sun, Y. and Zhang, L. 2019. Nanomaterials and plants: Positive effects, toxicity and the remediation of metal and metalloid pollution in soil. *Science of the Total Environment*, 662, pp.414-421.

Investigating the concentration of heavy metals and soil pollution indicators in west of Tehran

Fataneh Valinejad¹, Azade Arbabi^{2*}, Reza Borna³

Abstract

The expansion of urbanization and the development of cities along with the rapid increase in population, the development of industrial activities and the excessive consumption of fossil fuels have greatly increased pollution and have turned this issue into one of the environmental issues in recent decades. Tehran metropolis is one of the cities with high air pollution, which can be deposited in the soil and observed in the long term. In this research, in order to evaluate the concentration of heavy elements from the soil of the three areas of the 21st district of Tehran municipality, 10 samples were prepared with three repetitions and a total of 90 samples. Sampling was performed from a depth of 0-20 cm with three replications. Degree of pollution, pollution load index, and ecological risk index were used to assess pollution. Comparison of the concentrations of heavy elements and the trend of their changes showed that the accumulation of these elements has been created in the soil surface. The mean concentrations of the studied elements in zones 2 and 3 were higher than zone 1 (P -value < 0.05). Based on the results, the concentration of the studied elements in regions of two and three were higher than area one (P -value < 0.05). Also, the pollution index being higher than one, indicates a high concentration of heavy elements compared to the background concentration in the studied area. The results of this research showed that due to the increasing development of urban and industrial areas in west Tehran, the soil of this area is highly exposed to heavy elements. Therefore, it seems necessary to regularly monitoring the soil of the region in terms of heavy elements and to carefully check the origin of these elements.

Keywords: Tehran, Air pollution, Pollution index, Heavy elements, Soil

¹ Ph.D. student of Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature, Humanities and Social Sciences, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Unit, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Department of Geography, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Tehran, Iran.
Corresponding Author . dr.mranjbar@gmail.com

³ Associate Prof. Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.