



Investigation of heavy metal contamination in soils around Yazd Industrial City

Azam Razavi Nasab^{1*}, Abbas Faghih Khorasani²

1. *Corresponding Author, Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Yazd Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran.
E-mail: a.razavinasab@areeo.ac.ir
2. PhD in Sociology, Social Development, University of Tehran and Director of Yazd Water Market. Yazd, Iran.
E-mail: abbas.faghih@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper Article history: Received: Revised: Accepted: Keywords: Hamaneh, Khezrabad, Pollutant, Shehneh, Toxicity.	Background and Objectives: Heavy metals in agricultural soils may be naturally present in the soil under the influence of the soil parent materials (geogenetic) or may be added to the soil as a result of human activities (anthropogenic). Heavy metal pollution not only reduces the physical and chemical quality of the soil, reduces biological activity and biological availability of soil nutrients, but also poses a serious threat to human health and environmental security through entry into the food chain and penetration into groundwater. Industries are one of the main sources of heavy elements production, which lead to the entry of these materials into the soil and its accumulation through irrigation with contaminated water and through atmospheric deposition. The toxic properties and bioaccumulation of heavy metals in soil and plants, as well as their entry into the human food chain, double their risks. Therefore, industries can respond to society's expectations of responsibility and reduce concerns about human health through social and environmental initiatives. Materials and Methods: A completely randomized experimental design was conducted in three replications and three depths (0-20, 20-40, and 40-60 cm) and three areas (clean or control (Hamaneh), semi-polluted (Khazarabad), and polluted (Shahneh)) in the west of Yazd city. The fields in question were planted with pistachio, pomegranate, and walnut, respectively. All fields were irrigated by flooding. About one kilogram of soil samples were collected from each field from three points and at each point of three depths, using an auger, and a total of 27 samples were transferred to the laboratory. After preparing the samples according to the instructions for measuring heavy metals in soil, the total concentrations of heavy metals lead, cadmium, arsenic, nickel, selenium, mercury, beryllium, chromium, and thallium were measured at all three depths with an atomic absorption spectrometer equipped with a furnace, and then the land accumulation indices and enrichment factor were measured, and the data were statistically analyzed. Results: The concentrations of mercury, beryllium, chromium, and thallium were not significant in any sample. In all three areas and at all three depths, lead and selenium contamination was within the permissible

limits. Cadmium contamination was recorded only in the contaminated area of Shahneh, and arsenic and nickel contamination was recorded in the contaminated area of Shahneh and the semi-contaminated area of Khezrabad. The interaction effect of the level of contamination and soil depth was significant, and the 40-60 cm depth of the soil of Shahneh (contaminated) area had the highest concentrations of cadmium, lead, arsenic, nickel and selenium compared to Khezrabad (semi-contaminated) and Hamaneh (clean) areas. The concentrations of mercury, beryllium, chromium and thallium were not significant in any sample. The results showed that heavy metal contamination, especially in flood irrigation, has the ability to move in depth. Thus, in the contaminated area (Shahneh), with increasing depth, the cadmium concentration increased by 92.63% compared to the soil surface, the lead concentration increased by 44.48% compared to the soil surface, the arsenic concentration increased by 97.14% compared to the soil surface, the nickel concentration increased by 71.72% compared to the soil surface, and the selenium concentration increased by 91.75% compared to the soil surface. According to the two measured indicators, the concentrations of cadmium, lead, and selenium were in severe and dangerous conditions in all three regions. Arsenic was in a dangerous state in the Khezrabad and Shahneh areas, and nickel was only in the Shahneh area.

Conclusion: These results could be a warning sign that these pollutants may reach groundwater and canals. Also, following soil contamination, the absorption of these substances by plant roots increases, causing toxicity in the plant and subsequent entry into the food chain, which requires prevention of this process. The social responsibility of industries requires that any pollution they release into nature be minimal or in accordance with international standards and limits.

Cite this article:



© The Author(s).

DOI: -----

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک صنعتی یزد

اعظم رضوی نسب^{۱*}، عباس فقیه خراسانی^۲

۱. نویسنده مسئول، استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. رایانامه: a.razavinasab@areeo.ac.ir

۲. دکترای جامعه‌شناسی، توسعه اجتماعی دانشگاه تهران و مدیر بازار آب یزد، یزد، ایران. رایانامه: abbas.faghih@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی ممکن است تحت تاثیر مواد مادری خاک، به‌طور طبیعی در خاک وجود داشته باشند (زمین زاد) و یا اینکه در اثر فعالیت‌های انسانی به خاک افزوده شوند (بشرزاد). آلودگی فلزات سنگین نه تنها باعث کاهش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت زیستی و دستیابی زیستی مواد مغذی خاک می‌شوند، بلکه تهدیدی جدی برای سلامتی انسان و امنیت زیست محیطی از طریق ورود به زنجیره غذایی و نفوذ به آبهای زیرزمینی به شمار می‌روند. صنایع، یکی از منابع اصلی تولید عناصر سنگین هستند که از دو طریق تولید پساب‌های آلوده و آلاینده‌های ناشی از دودکش کارخانه‌ها، منجر به ورود این مواد به خاک و تجمع آن از طریق آبیاری با آبهای آلوده و طریق فرونشست جوی می‌شوند. خاصیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در خاک و گیاهان و همچنین ورود به زنجیره غذایی انسان، خطرات آن‌ها را دوچندان می‌سازد. از این‌رو، صنایع می‌توانند با ابتکارات اجتماعی و زیست‌محیطی، انتظار جامعه از مسئولیت‌پذیری خود را پاسخ دهند و از دغدغه سلامت بشری بکاهند.
واژه‌های کلیدی: آلاینده، سمیت، خضرآباد، شحنه، هامانه	مواد و روش‌ها: یک طرح آزمایشی کامل تصادفی در قالب فاکتوریل، در سه تکرار و سه عمق (۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتیمتری) و سه منطقه (پاک یا شاهد (هامانه)، نیمه آلوده (خضرآباد) و آلوده (شحنه)) در غرب شهرستان یزد انجام شد. مزارع مورد نظر به ترتیب زیر کشت پسته، انار و گردو بود. آبیاری همه مزارع به صورت غرقابی انجام می‌شد. از هر مزرعه از سه نقطه و در هر نقطه از سه عمق، به کمک اوگر، حدود یک کیلوگرم نمونه خاک برداشت شد و در مجموع ۲۷ نمونه به آزمایشگاه منتقل گردید. غلظت کل فلزات سنگین سرب، کادمیم،

آرسنیک، نیکل، سلنیم، جیوه، برلیم، کروم و تالیم با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره تعیین و آنگاه شاخصهای زمین انباشتگی و فاکتور غنی شدگی اندازه‌گیری شد و داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: غلظت عناصر جیوه، برلیم، کروم و تالیم در هیچ نمونه‌ای معنی‌دار نبود در هر سه منطقه و هر سه عمق، آلودگی سرب و سلنیم در حد غیر مجاز قرار داشت. آلودگی کادمیم فقط در منطقه آلوده شحنة و آلودگی آرسنیک و نیکل در منطقه آلوده شحنة و نیمه آلوده خضرآباد ثبت گردید. اثر متقابل میزان آلودگی و عمق خاک معنی‌دار بوده و عمق ۴۰-۶۰ سانتیمتری خاک منطقه شحنة (آلوده) دارای بیشترین غلظت کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل و سلنیم نسبت به منطقه خضرآباد (نیمه آلوده) و هامانه (پاک) بود. نتایج نشان داد که آلودگی فلزات سنگین به ویژه در آبیاری غرقابی قابلیت حرکت در عمق را دارد. بطوری‌که در منطقه آلوده (شحنة) با افزایش عمق غلظت کادمیم نسبت به سطح خاک $92/63\%$ ، غلظت سرب نسبت به سطح خاک $44/48\%$ ، غلظت آرسنیک $97/14\%$ نسبت به سطح خاک، غلظت نیکل $71/72\%$ نسبت به سطح خاک و غلظت سلنیم $91/75\%$ نسبت به سطح خاک افزایش نشان داد. طبق دو شاخص اندازه‌گیری شده غلظت کادمیم، سرب و سلنیم در هر سه منطقه در وضعیت شدید و خطرناک قرار داشت. آرسنیک در منطقه خضرآباد و شحنة و نیکل تنها در منطقه شحنة در وضعیت خطرناک قرار داشت.

نتیجه‌گیری: این نتایج می‌تواند زنگ خطری مبنی بر احتمال رسیدن این آلودگی‌ها به آبهای زیرزمینی و قنات نیز باشد. همچنین به دنبال آلودگی خاک، جذب این مواد از ریشه گیاهان هم افزایش و باعث ایجاد سمیت در گیاه و به دنبال آن ورود به زنجیره غذایی هم می‌شود که نیازمند جلوگیری از این فرایند است. مسئولیت اجتماعی صنایع ایجاب می‌کند که هرگونه آلودگی از جانب ایشان که به طبیعت وارد می‌شود در حداقل مقدار و یا طبق موازین و مقادیر بین‌المللی باشد.

استناد:

DOI: -----



© نویسندگان.

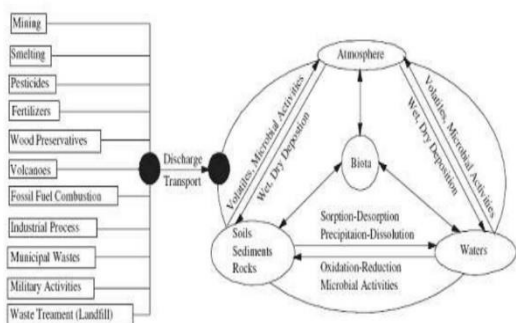
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

خاک به عنوان منبع طبیعی غیر قابل تجدید در حال تخریب بوده که به کاهش تولیدات کشاورزی منجر شده است. آلودگی خاک‌ها و محیط‌های آبی با فلزات سنگین یک مشکل جدی و در حال گسترش است. ورود فلزات سمی از طریق فعالیت‌های انسانی باعث آلودگی بسیاری از خاک‌ها شده است به طوری که شدت آلودگی در این خاک‌ها یا بیش از حد طبیعی است و یا به زودی به آن خواهد رسید (۱ و ۲). فعالیت‌های انسانی مانند صنعتی شدن، شهرنشینی، فعالیت‌های کشاورزی و تغییر در سیستم مدیریت اراضی، اثرات عمیقی بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک دارد که به عنوان تغییرات غیر طبیعی یا به عبارتی آلودگی خاک مطرح می‌گردد (۳).. از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، خاک سومین جز عمده محیط زیست تلقی می‌شود. آلودگی فلزات سنگین در خاک معمولاً نتیجه مصرف بی‌رویه و نا به جای کودهای شیمیایی در کشاورزی و روش‌های غلط دفع مواد زائد جامد و مایع می‌باشد و علاوه بر این ریزش عوامل آلوده کننده هوا در اثر نزولات جوی نیز در ایجاد آلودگی خاک می‌تواند موثر واقع گردد. در گذشته، آلودگی خاک به اندازه آلودگی هوا و آب از اهمیت خاصی برخوردار نبوده است؛ زیرا آلودگی خاک ملموس نیست و کنترل آلودگی خاک از آلودگی هوا و آب دشوارتر است. میزان خطر آلودگی خاک کمتر از دیگر آلودگیها نیست و آلودگی آن کیفیت محیط زیست را کاهش می‌دهد. امروزه حفاظت از خاک یک موضوع مهم جهانی تلقی می‌شود (۴ و ۵) (۴، ۶).

خاک در اثر بی‌مبالاتی‌هایی به شدت به وسیله مواد شیمیایی از جمله فلزات سنگین و فرآورده‌های صنعت نفت آلوده شده و از این طریق وارد زنجیره

غذایی آب‌های سطحی یا زیرزمینی گشته و وارد بدن انسان می‌گردد (۶) که با رسیدن به غلظت‌های بحرانی اثرات سوء متابولیکی و فیزیولوژیکی در موجودات زنده به جای می‌گذارد (شکل ۱). چرخه عناصر سنگین



شکل ۱. چرخه عناصر سنگین (۷)

Figure 1. Heavy element cycle (7).

تأثیرات سوء فلزات سنگین در خاک زمانی آشکار می‌شود که غلظت آن‌ها از میزان معینی افزایش یابد که این افزایش بستگی به نوع فلز، نوع خاک، فعالیت‌های مختلف انسانی و زمان تجمع فلز دارد (۴ و ۸). فلزات سنگین شامل کادمیم، جیوه، سرب، کروم، آرسنیک، روی و مس توانایی تجمع در محیط‌های مختلف را دارند (۹ و ۱۰). با توجه به نبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی، پایداری بسیار بالا، سمیت و توانایی تجمع تدریجی در بافت بدن جانوران و گیاهان از طریق زنجیره غذایی، تأثیرات مخربی بر سلامتی انسان و جانوران دارند (۱۱، ۱۲ و ۱۳). البته فلزات سنگین از اجزای طبیعی خاک هستند و غلظت بالای آنها در خاک می‌تواند منشأ زمین‌شناسی، مواد مادری و فرایندهای مختلف تشکیل خاک داشته یا حاصل فعالیت‌های انسانی مانند صنایع آهن و فولاد، معدن کاری، حمل و نقل جاده‌ای، دفع فاضلاب‌های صنعتی، استفاده از مواد و کودهای شیمیایی و سموم

در کشاورزی و دفن غیربهداشتی زباله ها باشد (۴، ۹، ۱۴ و ۱۵). طالائی (۲۰۰۷) به بررسی نقش مناطق معدنی شمال مشگین شهر بر میزان آلودگی منابع آب و خاک به عنصر آرسنیک پرداخته است. مقایسه مقادیر به دست آمده از آبهای منطقه با استانداردهای جهانی عناصر نشانگر افزایش چند ده برابری این عنصر در آبهای سطحی و زیر سطحی منطقه بود. مقایسه مقادیر این عنصر در نمونه های آب رودخانه ها، چشمه ها و چاه های منطقه نشان داد که تمام نمونه ها دارای غلظت بیش از حد استاندارد بودند. اگر مقادیر استاندارد این عنصر ۰/۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم فرض شود مقدار آرسنیک نمونه ها از ۲۴ تا ۱۱۳۰ برابر افزایش نشان داد.

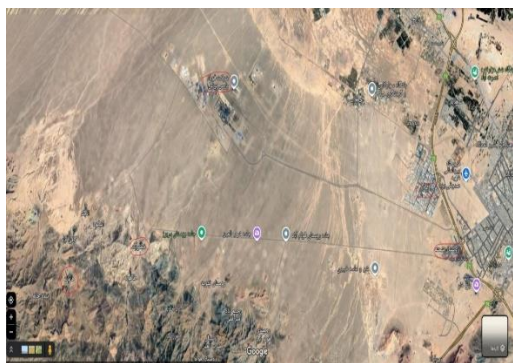
بررسی غلظت عناصر سنگ ها در این منطقه معدنی نشان می دهد که غلظت آرسنیک در اکثر نمونه ها از متوسط آن بالاتر است. با توجه به غلظت زیاد این عنصر در محیط های سنگی و خاکی منطقه میتوان آلوده بودن آنها را به این عنصر بسیار سمی، از منبع مواد معدنی و سنگهای دگرسان شده مورد توجه قرار داده و امکان ورود بیش از حد استاندارد آن را در چرخه زیست محیطی از جمله آبهای سطحی و زیرزمینی توجیه کرد (۱۶).

در پژوهش انجام گرفته توسط الکاتسو و همکاران (۱۹۹۶) بر روی خاک ها و سبزی های اطراف فعالیت های معدن کاری در منطقه ای از کشور رومانی، آلودگی خاک ها و سبزیجات منطقه توسط فلزات سرب، کادمیم، مس و روی مشخص شد و با توجه به مصرف اهالی منطقه از رستنی ها، مخاطراتی پیشگویی شد که با نتایج آزمایش بیماری آن منطقه همخوانی داشت. آزمایش های بعدی وجود ناراحتی های عصبی و کبدی را در بین اهالی اثبات کرد که ناشی از سمیت عناصر سنگین بوده است

(۱۷). ماگالس (۲۰۰۷) در پژوهشی میزان و گسترش آلودگی آرسنیک را در خاک ها و رسوبات حومه فعالیت های صنعتی در برزیل بررسی کرده اند. با توجه به نتایج به دست آمده، این پژوهشگران احتمال دادند که ماهیان رودخانه و چهارپایان منطقه، ممکن است به وسیله آرسنیک آلوده شده و بدین وسیله سلامتی ساکنین منطقه به مخاطره بیفتد (۱۸).

تائو و همکاران (۲۰۰۸) میزان عناصر نادر موجود در خاک های ناحیه ای در چین را بررسی کرده و به روش آنالیز چند متغیره عناصر آلاینده آرسنیک، کادمیم، مس، جیوه، سرب و روی را از عناصر غیرآلاینده منگنز، کبالت، کروم و نیکل جدا کردند. همبستگی قابل توجهی که بین عناصر غیرآلاینده با اکسیدهای آلومینیوم، آهن و سیلیسیم در کل خاکها یافت شد، نشان داد منبع این عناصر توسط فاکتورهای تشکیل خاک کنترل می شوند. از طرفی همبستگی نسبتاً ضعیف عناصر آلوده کننده با یکدیگر و تغییرپذیری فاصله ای بیشتر عناصر آلوده کننده نشان داد که غنی شدگی توسط ورودی های ناشی از فعالیت های انسانی تحت تأثیر قرار گرفته است (۱۹). هنس و همکاران (۲۰۰۷) توزیع و رفتار آرسنیک را در خاک ها و آب های مجاور معدن طلا-آرسنیک مطالعه کردند. نتایج نشان دادند که افزایش غلظت آرسنیک توسط pH قلیایی غالب در آب های سطحی و زیرزمینی و نیز حضور فازهای جامد ثانویه (اکسی هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، رس ها و کانی های کربناته) بوده است. توزیع آرسنیک در خاک ها و رسوبات توسط چرخش آب های کم عمق و سطحی غنی از آرسنیک توسط خزش ثقلی مواد باطله یا انتقال به صورت اجزاء معلق در آب بیشتر تحت تأثیر قرار می گیرد (۲۰).

گام اول در این پروژه یافتن مکان مناسب از لحاظ آلودگی بود که به سه منطقه قابل تقسیم است. این مناطق در غرب شهرستان یزد انتخاب شد. زیرا شهرک صنعتی یزد و مجموعه کارخانجات فولاد در غرب یزد واقع شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت مکانی شهر یزد، روستای شحنه، بخش خضرآباد، روستای هامانه، شهرک صنعتی و کارخانه‌های فولاد.

Figure 2. Location of Yazd city, Shahneh , Khezrabad, Hamaneh, industrial town and steel factories.

منطقه اول منطقه آلوده مجاور شهرک صنعتی که به طبع آلودگی بالایی دارد که پژوهشگران دیگر هم تایید نموده‌اند که این همسایگی باعث ایجاد آلودگی‌های مختلف می‌گردد (۲۱ و ۲۲). برای این منظور روستای شحنه در فاصله ۱۰ کیلومتری از مرکز شهر یزد انتخاب گردید. این روستا علاوه بر مجاورت در شهرک صنعتی در مجاورت صنایع فولاد یزد نیز است. مزرعه انتخابی تحت کشت پسته و آبیاری به صورت غرقابی بود (شکل ۳).



مناطق صنعتی، عامل اصلی آلودگی هوا و سایر ویژگی‌های محیط زیست در هر منطقه هستند. در مناطق صنعتی آلوده مانند برخی نواحی دشت یزد- اردکان که احتمال آلودگی هوا و فاضلاب آلوده به علت تجمع صنایع مختلف بویژه مجموعه‌های تولید کاشی و فولاد بسیار زیاد است، این آلودگی می‌تواند به خاک سرایت کند و در این صورت با آبیاری زمین‌های کشاورزی، احتمال رسیدن آلودگی به ریشه گیاه و به آبهای زیرزمینی هم وجود دارد که مسئولیت اجتماعی صنایع ایجاب می‌کند که علاوه بر حذف زباله و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با فیلتراسیون کارآمد، دودکش‌های قوی، دفع صحیح و بهداشتی نخاله‌های صنعتی در مکان‌های مناسب و استفاده مجدد از فاضلاب در صورت امکان با بازچرخانی مناسب، به حداکثر رساندن بهره‌وری و مصرف بهینه انرژی و به حداقل رساندن شیوه‌هایی که ممکن است بر منابع طبیعی در نسل‌های آینده تأثیر منفی بگذارد، در الویت برنامه‌ها قرار بگیرد. حال این تحقیق به جهت پایش آلودگی فلزات سنگین در پروفیل خاک در سه منطقه مورد آزمایش (روستای کوهستانی هامانه به عنوان نمونه شاهد یا پاک، بخش خضرآباد به عنوان منطقه بین منطقه پاک و آلوده به عنوان منطقه نیمه آلوده و روستای شحنه به عنوان منطقه‌ای درست در مجاورت شهرک صنعتی یزد به عنوان منطقه آلوده در غرب شهرستان یزد که یکی از قطبهای صنعتی کشور، پرداخته است تا هم امکان حرکت آلودگی در طول پروفیل خاک مورد بررسی قرار گیرد و هم خطرات ناشی از این حرکت احتمالی در مناطق صنعتی گوسزد گردد. باشد که به سبب اهمیت بالای سلامت مردم، چاره‌ای اندیشیده شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شکل ۳. فاصله روستای شحنه تا مرکز شهر یزد.

Figure 3. Distance from Shahneh to Yazd center.

منطقه دوم منطقه نیمه آلوده که با توجه به فاصله از شهرک صنعتی و کارخانجات فولاد یزد بخش خضرآباد در ۴۰ کیلومتری شهرستان یزد انتخاب گردید. مزرعه انتخابی تحت کشت انار و آبیاری به صورت سنتی و غرقابی بود (شکل ۴).



شکل ۴. فاصله بخش خضرآباد تا مرکز شهر یزد.

Figure 4. Distance from Khezrabad to Yazd center.

منطقه سوم منطقه پاک یا شاهد بود که روستای هامانه در ۶۰ کیلومتری از شهرستان یزد و در دامنه کوه انتخاب گردید. مزرعه مورد نظر کوهستانی و زیر کشت گردو و آبیاری به صورت غرقابی بود (شکل ۵).



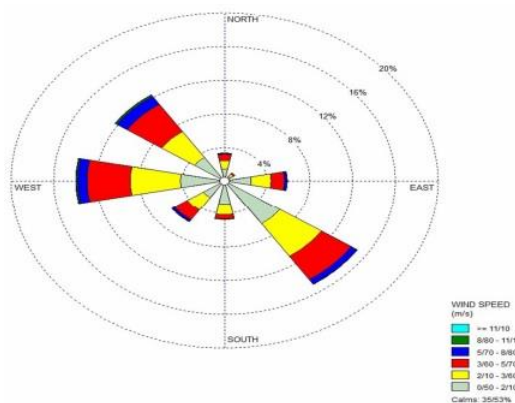
شکل ۵. فاصله روستای هامانه تا مرکز شهر یزد.

Figure 5. Distance from Hamaneh to Yazd center.

طرح آماری

طرح آزمایشی فوق به صورت طرح کامل تصادفی در سه تکرار و سه عمق (۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰

سانتیمتری) و سه منطقه (پاک یا شاهد (هامانه)، نیمه آلوده (خضرآباد) و آلوده (شحنه)) و نهایتاً ۲۷ نمونه در غرب شهرستان یزد (در جهت باد غالب) انجام شد (شکل ۶. گلباد منطقه).



شکل ۶. گلباد غالب شهرستان یزد.

Figure 6. Predominant wind direction in Yazd city.

نمونه برداری و اندازه گیری عناصر سنگین

از هر مزرعه سه نمونه و هر نمونه از سه عمق به کمک اوگر حدود یک کیلوگرم نمونه خاک برداشت و بعد از برچسب گذاری به داخل نایلون پلاستیکی ریخته شد و جمعا ۲۷ نمونه به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه گیری غلظت عناصر سنگین در نمونه های خاک ابتدا نمونه های خاک حاصل از مرحله نمونه برداری بعد از هوادهی به مدت یک هفته، با استفاده از پتک چوبی کوبانده شدند. در مرحله بعد نمونه های کوبانده شده از الک ۲ میلیمتر عبور داده شد. سپس ۲ گرم از نمونه های خاک خشک با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین و در بالن ۵۰ میلی لیتری ریخته شد و ۱۰ میلی لیتر تیزاب که مخلوطی از ۱۰۰ میلی لیتر اسید نیتریک و ۳۰۰ میلی لیتر اسید کلریدریک بود، با نسبت ۳:۱ به آرامی به

جایی که C_n غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در زمینه نمونه خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) و B_n غلظت زمینه‌ای ژئوشیمیایی همان فلز سنگین در پوسته زمین (میلی گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. ضریب $1/5$ برای به حداقل رساندن تاثیر نوسانات احتمالی در مقدار زمینه است. مقادیر شاخص زمین انباشتگی به هفت کلاس آلودگی طبقه بندی می‌شود. طبقات آلودگی فلزات سنگین بر اساس شاخص زمین انباشتگی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقات آلودگی بر حسب شاخص زمین انباشتگی.

Table 1. Classes based geo-accumulation index.

شاخص	مقدار	کلاس
Geo-accumulation index	value	Classes
غیر آلوده Practically unpolluted	$I_{geo} < 0$	1
آلودگی کم Unpolluted to moderately polluted	0-1	2
آلودگی متوسط Moderately polluted	1-2	3
آلودگی نسبتاً شدید Moderately to heavily polluted	2-3	4
آلودگی شدید Heavily polluted	3-4	5
آلودگی بسیار شدید Heavily to extremely polluted	4-5	6
آلودگی فوق العاده شدید Extremely polluted	$I_{geo} > 5$	7

فاکتور غنی شدگی: این فاکتور سطح آلودگی فلزات در خاک را نشان می‌دهد و شاخص مفیدی برای جدا کردن منابع طبیعی و انسانی فلزات از یکدیگر

نمونه‌ها اضافه گردید. در مرحله بعد نمونه‌ها روی دستگاه گرمکن (هیتر) ابتدا به مدت یک ساعت در دمای 90°C درجه سانتیگراد و بعد به مدت یک ساعت در دمای 120°C درجه سانتیگراد گذاشته شد. با احتیاط قبل از به جوش آمدن، نمونه‌ها برداشته و با استفاده از آب مقطر به حجم رسانده شد. در نهایت نمونه‌ها به ظروف مخصوص 80 میلی لیتری انتقال داده شد و جهت تعیین غلظت کل فلزات سنگین سرب، کادمیم، آرسنیک، نیکل، سلنیم، جیوه، برلیم، کروم و تالیم از دستگاه جذب اتمی^۱ پرکین المر مدل 700 استفاده گردید (23) که غلظت فلزات جیوه، برلیم، کروم و تالیم معنی‌دار نبود. بافت خاک نیز در هر سه منطقه نیز اندازه گیری شد که بافت خاک شحنه لوم شنی، بافت خاک خضرآباد شن لومی و بافت خاک هامانه لوم بود. در نهایت داده‌های بدست آمده توسط برنامه آماری SAS آنالیز و سپس جدول تجزیه واریانس میانگین‌ها با آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح معنی‌داری 1% و 5% مقایسه آماری شد و نمودارهای مربوطه در برنامه اکسل رسم گردید.

محاسبه شاخص‌های آلودگی

در این مقاله دو شاخص آلودگی شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی شدگی برای عناصر سنگین آرسنیک، کادمیم، نیکل، سرب و سلنیم در هر سه منطقه آلوده (شحنه)، نیمه آلوده (خضرآباد) و پاک یا شاهد (هامانه) اندازه‌گیری شد.

شاخص زمین انباشتگی: این شاخص برای اولین بار توسط مولر (۱۹۶۹) پیشنهاد شد (24) به طور گسترده ای برای اندازه گیری درجه آلودگی فلزات سنگین در خاک مورد استفاده قرار گرفته است (25 و 26). این شاخص با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / 1.5 B_n]$$

C_n غلظت فلز در نمونه مورد مطالعه و C_{ref} غلظت فلز مرجع در نمونه مورد مطالعه و B_n غلظت زمینه‌ای فلز مورد نظر و B_{ref} غلظت زمینه‌ای فلز مرجع است. مقادیر فاکتور غنی شدگی به ۶ گروه طبقه بندی می‌شود که در جدول ۲ آورده شده است.

در کشور ایران استاندارد خاصی برای غلظت زمینه‌ای فلزات تهیه نشده است. بسیار از پژوهشگران از متوسط مقدار متوسط پوخته زمین به عنوان غلظت زمینه ای استفاده می‌کنند (۲۷ و ۲۸) که در این مقاله هم از همین روش استفاده شد.

می‌باشد. در این شاخص نرمال سازی عنصر مورد نظر در مقابل یک عنصر مرجع صورت می‌گیرد. عنصر مرجع عنصری است که غلظت آن در محیط تغییرپذیری اندکی داشته باشد و تحت تاثیر عوامل انسان زاد نباشد. عناصری از جمله آلومینیوم، آهن، منگنز، تیتانیوم، وانادیوم و سیلیسیوم غالباً به عنوان عنصر مرجع به کار می‌روند. در این مطالعه عنصر آهن به دلیل فراوانی آن در خاک به عنوان عنصر مرجع استفاده شد. غنی شدگی برای عناصر موجود در خاک با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = [(C_n / C_{ref})_{sample} / (B_n / B_{ref})_{background}]$$

جدول ۲- مقادیر آلودگی بر حسب فاکتور غنی شدگی.

Table 2. Pollution levels according to Enrichment Factor.

مقدار value	شاخص EF Index	عامل و منشأ Factor and origin
EF<1	Lack of غنی شدگی enrichment	طبیعی/زمین شناسی Natural/Geological
1<EF<2	Partial غنی شدگی جزئی enrichment	طبیعی/انسانی Natural/Human
2<EF<5	Moderate غنی شدگی متوسط enrichment	انسانی/آلودگی قابل توجه Human/Significant contamination
5<EF<20	Severe غنی شدگی شدید enrichment	صنعتی/شهری (انسان زاد) Industrial/Urban (Man-made)
20<EF<40	Very غنی شدگی بسیار شدید intense enrichment	منابع آلودگی نقطه ایی Point sources of pollution
EF>40	Extraordinary غنی شدگی فوق العاده enrichment	صنعتی/شهری (انسان زاد)/نقطه ایی Industrial/Urban (Man-made)/Point

بشر در سراسر جهان و سلامت محیط زیست تبدیل شده است (۲۱). آلودگی فلزات سنگین از طریق فرآیندهای طبیعی از جمله فوران آتشفشانی، هوازدگی واحدهای سنگی و فعالیتهای مصنوعی از

نتایج و بحث

خاک آلوده به فلزات سنگین ناشی از صنعتی شدن سریع و شهرنشینی به یک تهدید جدی برای سلامت

خاک، گیاه و حتی منابع آب، به دلیل خطر انتقال فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی به انسان می‌تواند منجر به بیماری‌های جهش‌زا و سرطان‌زا شود، در جدول ۳ حدود مجاز عناصر سنگین خاک طبق سه استاندارد بین‌المللی (۲۹) بیان شده است. نشریه فنی سازمان استاندارد نیز برای استاندارد آلودگی منابع خاک (۳۰) حد مجاز تعریف کرده که در جدول ۴ آمده است.

جمله استخراج سنگ معدن، فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه فاضلاب، صنایع مختلف، وجود شهرک‌های صنعتی و استفاده بیش از حد از آفتکش‌ها و کودهای شیمیایی به خاک وارد می‌شوند (۲۲).

از آنجایی که غلظت عناصر سنگین در آب آبیاری و خاک کشاورزی ارتباط مستقیم با غلظت آنها در بافت‌های حیوانی و انسانی دارد و افزون بر آلودگی

جدول ۳- حدود مجاز عناصر سنگین در خاک طبق استانداردهای مختلف.

Table 3. Permissible limits of heavy elements in soil according to various standards.

استاندارد	Pb سرب	سلنیم Se	کادمیم Cd	نیکل Ni	ارسنیک As
EU, 2002	300	3	3	75	25
FAO/WHO 1984	30	5	0.35	-	20
USEPA 1983	10	4	0.06	40	23

جدول ۴- حد مجاز عناصر سنگین در خاک کشاورزی.

Table 4. Permissible limits of heavy elements in agricultural soil.

عناصر	ارسنیک	کادمیم	سرب	نیکل	سلنیم
Elements	As	Cd	Pb	Ni	Se
خاک (Soil) mgkg^{-1}	40	5	75	110	3

فلز سنگین کادمیم آلوده است. در منطقه شحنه بیشترین غلظت کادمیم در عمق سوم مشاهده شد که نسبت به سطح خاک ۹۲/۶۳٪ افزایش نشان داد. اثر نوع منطقه بر میزان آلودگی کادمیم در خاک نشان داد که از لحاظ غلظت کادمیم بین منطقه هامانه و خضرآباد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده ولی غلظت کادمیم در عمق سوم منطقه شحنه نسبت به

با توجه به نتایج بدست آمده و آنالیز آنها، جدول تجزیه واریانس عناصر سنگین خاکهای مورد مطالعه بدست آمد (جدول ۵).

کادمیم: نتایج این طرح نشان داد که با توجه به استاندارد ذکر شده در جدول ۲، خاک منطقه هامانه (شاهد) و خضرآباد (نیمه آلوده) عاری از آلودگی کادمیم و خاک هر سه عمق منطقه شحنه (آلوده) به

عمق سوم منطقه هامانه ۹۴/۷۴٪ (در سطح معنی داری ۱٪) افزایش نشان داد (شکل ۷).

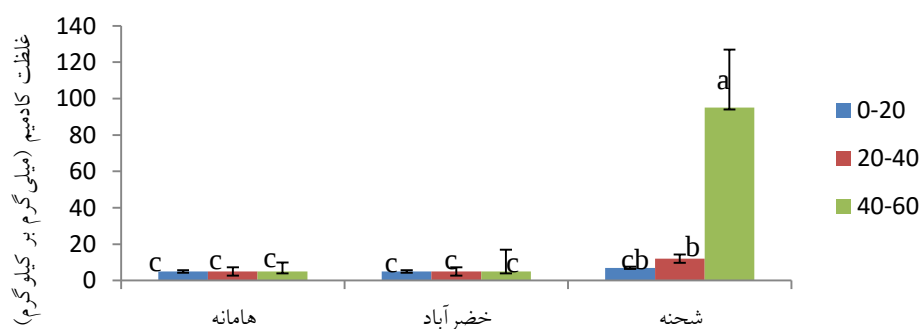
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین در خاک.

Table 5. Results of analysis of variance of heavy elements in soil.

(Mean of Squares) میانگین مربعات						
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کادمیم Cd	سرب Pb	ارسنیک As	نیکل Ni	سلنیم Se
مکان Place	2	3289**	4876558**	21103**	200171**	16680**
عمق Depth	2	2434**	667237**	12240**	43409*	13765**
عمق مکان* place*depth	4	2434**	202627*	6050**	67840*	6825**
خطا error	18	16.93	62007	41.81	11008	158
ضریب تغییرات C. V.		25.65	21.47	15.08	61.85	29.21

** و * به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪ و معنی داری در سطح ۵٪

** and * are significant at the 1% and 5% levels, respectively.



شکل ۷. اثر متقابل منطقه و عمق بر غلظت کادمیم خاک (mg/kg).

Figure 7. Interaction effect of place and depth on soil Cd concentration (mg/kg).

جدول ۶- شاخص زمین انباشتگی و غنی شدگی کادمیم در هر سه منطقه.

Table 6. Geo. A. and EF Index of Cd in all 3 places.

منطقه	عمق	غلظت	شاخص زمین	سطح آلودگی	شاخص	سطح آلودگی
place	depth	کادمیم	انباشتگی	Pollution level of Igeo	غنی شدگی	Pollution level of EF
		Cd Con.	Igeo)		EF)	
		(mg/kg)	(Index		(Index	
Hamaneh	0-20	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
Hamaneh	20-40	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
Hamaneh	40-60	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
khezhAbad	0-20	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
khezhAbad	20-40	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
khezhAbad	40-60	5	4.06	Heavily polluted	25	Very intense
Shehneh	0-20	7	4.54	Heavily polluted	35	Very intense
Shehneh	20-40	12	5.32	Heavily to extremely	60	Extraordinary
Shehneh	40-60	95	8.31	Extremely pollute	475	Extraordinary

نتایج جدول ۶ نیز نشان داد که کل منطقه مورد مطالعه به کادمیم آلوده است. حتی منطقه پاک یا شاهد و منطقه نیمه آلوده هم آلودگی کادمیم را تا سطح شدید نشان دادند و این آلودگی در منطقه شحنه به بسیار شدید و فوق العاده شدید هم در هر دو شاخص زمین انباشتگی و غنی شدگی رسیده است.

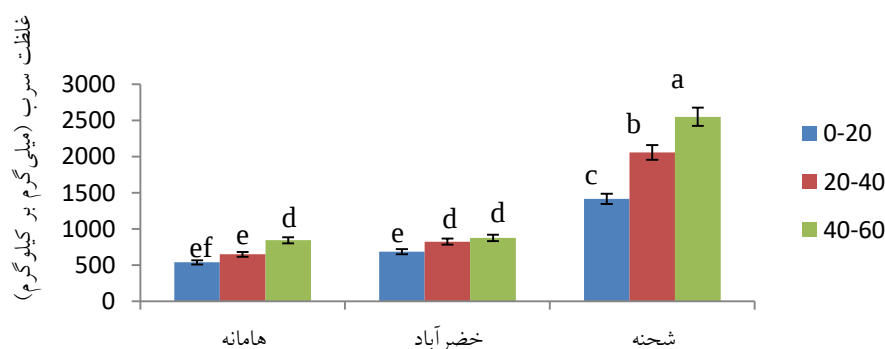
کادمیوم به طور طبیعی در خاک‌ها در غلظت‌های یک دهم تا ۱ میلی گرم بر کیلوگرم وجود دارد. کادمیوم به راحتی برای جذب توسط محصولات غذایی در دسترس است و آلودگی زنجیره غذایی به کادمیوم از خاک‌های آلوده را سبب می‌شود. منابع پراکنده کادمیوم عمدتاً کودهای فسفوری و ریزش‌های اتمسفری غلظت کادمیوم خاک را تا حدود یک دهم تا سه دهم میلی

گرم بر کیلوگرم افزایش داده است. نگهداری کادمیوم در خاک به وسیله واکنش‌های جذب کنترل شده و pH خاک عامل اصلی تعیین کننده است. فراهمی کادمیوم خاک برای جذب شدن توسط محصولات در میان خاک‌ها با ضریب ۱۰ تغییر می‌کند و معمولاً به ازاء هر واحد کاهش pH حدود یک و نیم برابر افزایش می‌یابد (۳۱). احتمال دارد به دلیل سبک بودن بافت کادمیم از لایه‌های سطحی به راحتی آبشویی شده و به اعماق خاک آمده باشد. در پژوهش سلگی و همکاران (۲۰۲۰) در مقایسه آبیاری با فاضلاب شهری در مقایسه با آبیاری با آب چاه مشخص گردید که غلظت کادمیم در عمق خاک در آبهای آبیاری شده با چاه نسبت به خط سطحی بیشتر

ماروگو-نگرته و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که شیوه‌های مدیریت کشاورزی مانند کوددهی و استفاده از سموم دفع آفات منبع اصلی کادمیم، سرب، روی، مس و نیکل در خاکهای کشاورزی است. رسوبات اتمسفری و انتشار از گازهای خروجی از نیروگاه حرارتی موجود در منطقه نیز ممکن است یکی دیگر از عوامل تجمع کادمیم در خاکهای منطقه باشد (۳۵). سرب: با توجه به استاندارد موجود در جدول شماره ۲ خاک هر سه منطقه در هر سه عمق آلوده به سرب است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که هر دو عامل عمق و مکان بر غلظت سرب در سطح ۵٪ خاک معنی‌دار است. با افزایش عمق در منطقه خضرآباد میزان سرب از سطح به عمق ۲۱/۷۱٪ افزایش و در منطقه شحنه با افزایش عمق میزان سرب ۴۴/۴۸٪ افزایش یافت (شکل ۸).

است و آن را به شنی بودن خاک و حرکت آن در عمق نسبت داده‌اند (۳۲). 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 دراگوویچ 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 (۳۳).

با توجه به سطح گسترده زمینهای کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، منشأ کادمیم در منطقه نیز ممکن است ناشی از مصرف کودهای فسفر باشد. کادمیم معمولاً در کودهای فسفره یافت می‌شود زیرا کادمیم معمولاً به عنوان ناخالصی در سنگ‌های فسفاتیک موجود است (۳۱). کادمیم یک عنصر نشانگر در فعالیتهای کشاورزی در نظر گرفته می‌شود که شامل استفاده از کودهای شیمیایی و کودهای دامی است (۳۴).



شکل ۸. اثر متقابل منطقه و عمق بر غلظت سرب خاک (mg/kg).

Figure 8. Interaction effect of place and depth on soil Pb concentration (mg/kg).

جدول ۷- شاخص زمین انباشتگی و غنی‌شدگی سرب در هر سه منطقه.

Table 7. Geo. A. and EF Index of Pb in all 3 places.

منطقه	عمق	غلظت کادمیم	شاخص زمین انباشتگی	سطح آلودگی	شاخص غنی‌شدگی	سطح آلودگی
place	depth	Pb Con. (mg/kg)	Igeo) (Index	Pollution level of Igeo	EF) (Index	Pollution level of EF
Hamaneh	0-20	537	4.49	Heavily to extremely	26.87	Very intense
Hamaneh	20-40	649	4.76	Heavily to extremely	32.44	Very intense
Hamaneh	40-60	844	5.14	Extremely	42.22	Extraordinary
khezhAbad	0-20	686	4.84	Heavily to extremely	34.29	Very intense
khezhAbad	20-40	824	5.10	Extremely	41.22	Extraordinary
khezhAbad	40-60	875	5.20	Extremely	43.77	Extraordinary
Shehneh	0-20	1415	5.90	Extremely	7.75	Extraordinary
Shehneh	20-40	2056	6.10	Extremely	102.8	Extraordinary
Shehneh	40-60	2549	6.75	Extremely	127.45	Extraordinary

شده است، اما در مورد ریزش‌های اتمسفری باید گفت چندین ترکیب سرب نسبتاً قابل تصور هستند و بنابراین به راحتی از فرایندهای با دمای زیاد مانند کوره‌های ذوب سرب، سوختن زغال سنگ و مصرف بنزین سرب‌دار در خودروها منتشر می‌شوند. به این ترتیب در مناطق صنعتی به وفور در سطح خشک زمین تجمع واصل نموده و منجر به آلودگی گسترده خاک‌های سطحی شده است. سرب تمایل دارد روی ذرات ریزتر منتشر شده ناشی از فرایندهای با دمای زیاد متمرکز گردیده و لذا امکان انتقال آن در اتمسفر به نقاط دوردست فراهم می‌گردد. آلودگی گسترده سرب در خاک‌های سطحی بسیاری از قسمت‌های

داده‌های جدول ۷ نشان داد که کل منطقه مورد مطالعه به شدت به سرب آلوده است. حتی منطقه پاک یا شاهد و منطقه نیمه آلوده هم آلودگی سرب را تا سطح بسیار شدید و فوق العاده شدید در هر دو شاخص زمین انباشتگی و غنی‌شدگی نشان داد.

نگرانی‌ها به دلیل تاثیر آلودگی سرب بر سلامتی به ویژه در مناطق شهری و نیز به علت جذب سرب در محصولات کشاورزی منجر به توسعه روش‌های متنوع اصلاح خاک گردیده است. منبع سرب در خاک مواد مادری و در خارج از خاک ریزش‌های اتمسفری است. میانگین مقدار سرب در خاک‌های غیر آلوده جهان در حدود ۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم تخمین زده

جهان شامل مناطق وسیعی آلوده باعث ایجاد نگرانی درباره آلودگی احتمالی منابع آب آشامیدنی در آینده گردیده است (۳۱).

این گونه به نظر می‌رسد که علاوه بر اینکه ضایعات کارخانه و دود ناشی از سوختن زغال سنگ در منطقه شهرک صنعتی یزد باعث افزایش غلظت سرب در منطقه می‌شود، دود ناشی از وسایل نقلیه به علت نزدیکی به جاده اصلی ترانزیتی کشور (جاده بندرعباس - تهران) که از یزد می‌گذرد و تردد زیاد وسایل نقلیه در کنار کارخانه‌ها تأثیر بسزایی در افزایش غلظت سرب در خاک منطقه داشته باشد. گودرزی و همکاران (۲۰۰۲) طی مطالعه‌ای در کانادا بیان کردند عامل اصلی آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه ذوب فلزات، دود خروجی دودکش‌ها و محل تخلیه سرباره‌های صنعتی بدون پوشش می‌باشند. آنها بیان نمودند که باد باعث انتقال سرباره‌های صنعتی به زمین‌های اطراف می‌شود. همچنین بیان نمودند که این سرباره‌های صنعتی حاوی حدود ۷۰ درصد سرب و روی می‌باشند که باعث آلودگی منابع خاک و آب می‌شوند (۳۶). در این تحقیق با توجه به اینکه غلظت سرب در منطقه شحنه نسبت به خضرآباد و هامانه بیشتر است می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این عنصر در بخشی از خاک‌های منطقه به وسیله فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. از سوی دیگر در منطقه شحنه با افزایش عمق غلظت سرب افزایش یافته که نشان دهنده اثر بافت خاک بر حرکت فلزات سنگین به سمت لایه‌های پایین‌تر است. تمایل سرب و فلزات دیگر به جزء رس به صورت رس < سیلت < شن و ماسه است. رس اهمیت زیادی در در غیرمتحرک سازی فلزات در خاک دارد. وجود بافت سبک خاک می‌تواند یکی از دلایل درصد زیاد انتقال زیاد عناصری چون سرب در خاک باشد (۳۷).

طبری و صالحی (۲۰۱۱) در پژوهش خود در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سنگین در خاک در مورد غلظت سرب دریافتند که با توجه به بالا بودن غلظت فلز سنگین سرب در تمام نمونه‌های آب و خاک شاید بتوان پیش بینی کرد که این فلز سنگین علاوه بر فاضلاب شهری از منبع دیگری مثل آلودگی هوا نیز وارد آب و خاک منطقه مورد مطالعه شده است (۳۸).

نادری و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود در مورد آلودگی‌های اطراف معادن گل گهر سیرجان دریافتند که باتوجه به گلباد منطقه و جهت غالب باد که از سمت جنوب غربی است و وجود معادن گل گهر در جنوب غربی منطقه مطالعاتی، احتمال اینکه عناصر سنگین همراه غبار وارد منطقه شده باشند و منشا آلودگی باشد وجود دارد (۳۹).

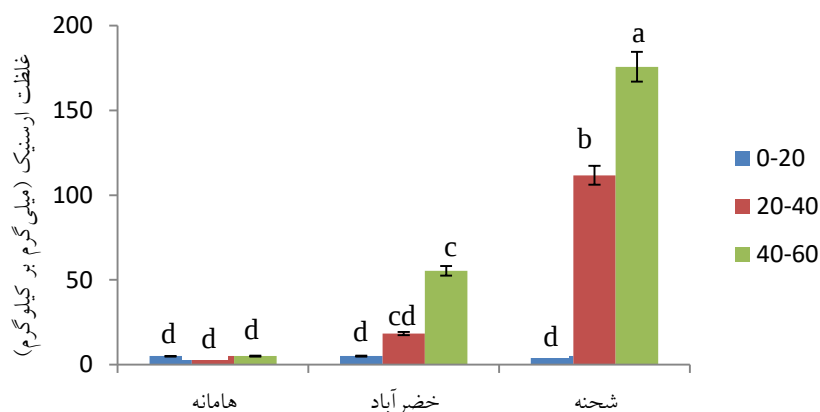
رودرینگز و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که همبستگی معنی دار اجزای بافت خاک با عناصر سنگین نشان دهنده تأثیر فرایندهای پدوژنیک و مواد مادری بر غلظت فلزات سنگین است. بنابراین ورود غبار و بادرفت‌ها به منطقه در دراز مدت امکان دارد عامل آلودگی خاک‌های منطقه به فلزات سنگین آهن و مس باشد (۴۰). دینگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که باد در گسترش عناصر سنگین و آلودگی مناطق اطراف معادن در چین نقش با اهمیتی داشته است (۴۱).

ولی نژاد و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که بطور کلی، به دلیل وجود مناطق آلوده کننده از قبیل کارخانه‌های 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 می‌تواند نشان دهنده نقش

آرسنیک: با توجه به استاندارد ارائه شده در جدول شماره ۲، خاک منطقه هامانه (شاهد) عاری از آلودگی آرسنیک، عمق ۰ تا ۲۰ منطقه خضرآباد (نیمه آلوده) آلوده به آرسنیک و خاک عمق اول و دوم منطقه شحنه (آلوده) به آرسنیک آلوده است. جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر عمق و منطقه و اثر متقابل آنها بر غلظت آرسنیک خاک در سطح ۱٪ معنی‌دار است. به‌طوری که بیشترین آلودگی در منطقه شحنه و سپس خضرآباد دیده شد. نتایج نشان داد که در منطقه شحنه با افزایش عمق خاک غلظت آرسنیک از سطح نسبت به عمق خاک ۹۷/۱۴٪ و در منطقه خضرآباد با حرکت از سطح به عمق با افزایش ۹۰ درصدی غلظت آرسنیک نشان داده شد. در منطقه پاک غلظت آرسنیک معنی‌دار نبود (شکل ۹).

فعالیت‌های انسانی و صنعتی در اضافه شدن این عناصر به خاک باشد (۴۲). در این راستا، یان و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی میزان آلودگی برخی از عناصر سنگین در خاک سطحی شهرک صنعتی سمنان گزارش کردند که فعالیت‌های صنعتی ناشی از این شهرک صنعتی منجر به افزایش معنی‌دار سرب، روی و مس در خاک شده است (۴۳).

نکویی نیا و همکاران (۲۰۱۶) غلظت بالای سرب و روی و مس را در خاکهای اطراف معدن ایرانکوه در غرب ایران گزارش کردند. همچنین آنها گزارش کردند به علت قرارگیری صنایع پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه، انتشار گازهای خروجی از دودکش‌های نیروگاه حرارتی و پالایشگاه و پتروشیمی نیز از طریق رسوبات جوی باعث تجمع سرب در خاک‌های منطقه شده است (۴۴). راستمنش و همکاران (۱۳۹۵) نیز علت بالاتر بودن غلظت سرب در خاک‌های مجتمع پالایشگاه و پتروشیمی را ناشی از فعالیت این صنایع بیان کردند (۴۵).



شکل ۹. اثر متقابل عمق و منطقه بر غلظت آرسنیک خاک (mg/kg).

Figure 9. Interaction effect of place and depth on soil As concentration (mg/kg).

جدول ۸- شاخص زمین انباشتگی و غنی شدگی آرسنیک در هر سه منطقه.

Table 8. Geo. A. and EF Index of As in all 3 places.

منطقه	عمق	آرسنیک	شاخص زمین انباشتگی	سطح آلودگی	شاخص غنی شدگی	سطح آلودگی
place	depth	As Con. (mg/kg)	Igeo) (Index	Pollution level of Igeo	(EF Index)	Pollution level of EF
Hamaneh	0-20	5	-0.58	unpolluted	2.5	Moderate
Hamaneh	20-40	5	-0.58	unpolluted	2.5	Moderate
Hamaneh	40-60	5	-0.58	unpolluted	2.5	Moderate
khezhAbad	0-20	5	-0.58	unpolluted	2.5	Moderate
khezhAbad	20-40	18.33	1.29	Moderately	9.16	Severe
khezhAbad	40-60	55.33	2.88	Moderately to heavily	27.66	Very intense
Shehneh	0-20	5	-0.58	unpolluted	2.5	Moderate
Shehneh	20-40	111.7	3.90	Heavily	55.85	Very intense
Shehneh	40-60	175.7	4.55	Heavily to extremely	87.85	Very intense

طبق شاخص‌های محاسبه شده در جدول ۸، منطقه هامانه (پاک) و خاک سطحی منطقه خضرآباد (نیمه آلوده) و فاقد آلودگی آرسنیک بوده و بیشترین آلودگی سرب در لایه های پایینی خاک خضرآباد و خاک شحنة (آلوده) مشاهده شد. طبق جدول فوق این گونه به نظر می آید که در غلظت‌های پایین تر عناصر سنگین، شاخص فاکتور غنی شدگی حساسیت بیشتری به آلودگی دارد تا شاخص زمین انباشتگی.

آرسنیک عمده‌تاً از جنبه اثرات سمی آن برای محیط زیست معروف است. اگر چه توانایی زیاد سمیت آرسنیک شناخته شده و از زمان‌های گذشته تا کنون از آن استفاده شده است. برآوردهای غلظت میانگین

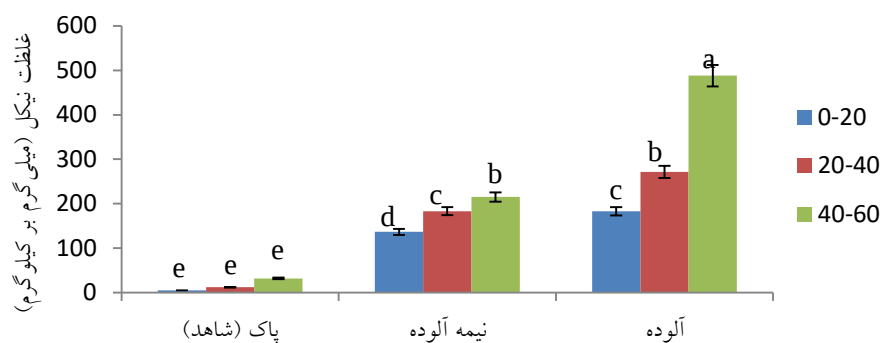
جهانی آرسنیک در خاک‌ها در محدوده حدود ۵ تا ۷ و نیم میلی گرم بر کیلوگرم با گستره معمول بین ۰/۱ و ۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم است. دیگر غلظت‌های بالاتر آرسنیک یافت شده در مناطق خاص به ناهنجاری‌های با منشأ زمین شناختی یا سنگ بستر یا فعالیت های انسان زاد نسبت داده می شود. ریزش‌های اتمسفری منبع مهم دیگری از آرسنیک خاک به ویژه در مجاورت مناطق مربوط به فعالیت های معدنی و کوره‌های ذوب فلزات در مناطق شهری محسوب می گردد. آرسنیک در هوا ناشی از مناطق دور دست خیلی کم و مشخصاً با مقدار میانگین کمتر از یک صدم نانوگرم در متر مکعب است اما در مناطق شهری

و اطراف معادن می‌تواند تا چند ده برابر افزایش پیدا کند. این عنصر از طریق خشک و مرطوب شدن ته نشست می‌کند و تشکیل دهنده پل ورودی آرسنیک اتمسفری است که معمولاً ۵۰ تا ۸۰ درصد آن به صورت محلول است. غلظت آرسنیک در پل ریزش‌های اتمسفری بسیار متغیر و کمترین مقدار آن ۰/۰۰۰۹ دور دست تا ۱۲۳۰۰ گرم در لیتر در محیط زیست‌های شهری است (۳۱). می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های انسان زاد می‌تواند مهمترین دلیل این آلودگی باشد بویژه که منطقه شحنه درست در مجاورت شهرک صنعتی یزد نیز قرار گرفته و بافت سبک خاک نیز به حرکت آلودگی در طول پروفیل کمک کرده است.

آرسنیک ممکن است منشأ متفاوتی از فلزات دیگر داشته باشد. آرسنیک در خاک ممکن است ناشی از فعالیتهای صنعتی باشد. نتایج مطالعات مختلف بیان شده که منابع متعدد آلاینده از جمله بخش حمل و نقل، فعالیتهای صنعتی و استفاده از مواد سوختی در نیروگاهها باعث انتقال فلزات سنگین به اتمسفر شده و متعاقباً به وسیله فرونشست وارد خاک میشوند (۴۶). از سوی دیگر با توجه به سطح زیاد اراضی کشاورزی در منطقه و استفاده از علفکشهایی مانند گلایفوزیت (رانداب) و اکسپرس برای از بین بردن علفهای هرز توسط کشاورزان که حاوی آرسنیک هستند سبب افزایش غلظت آن در خاکهای اراضی کشاورزی شده است (۳۱). نتایج پژوهشها نشان داده است که کودهای مرغی دارای میزان آرسنیک قابل توجهی نسبت به سایر کودها هستند (۳۱).

در مطالعه قدیمی و همکاران (۲۰۱۹) در محل دفن زباله‌های اراک در تمام گمانه‌ها غلظت آرسنیک در نمونه‌های عمقی بیشتر از سطحی بود (۴۷) که ناشی از محصولات مواد افزودنی خوراک دام، مواد نگهدارنده چوب، مواد شیشه‌های ویژه، سرامیک، آفت‌کشها، حشره‌کشها، و علف‌کشها، قارچ‌کشها، قطعات الکترونیکی، مواد نساجی، مواد دبازی، رنگدانه‌ها، ضدروسوب، فیلتر نور، آتشبازی، دامپزشکی حاصل شده باشد (۴۸).. کریمی و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که تغییرات فلز آرسنیک در خاک کمتر از فلز منگنز و منگنز کمتر از فلز روی می‌باشد. این به این معنی است که تحرک و جابه جایی آرسنیک در خاک کمتر از سایر فلزها بوده و بیشترین مقدار آرسنیک در محل آبیاری (نزدیک گیاه) است (۴۹).

نیکل: طبق استاندارد ارائه شده در جدول شماره ۲، خاک هامانه (شاهد) عاری از آلودگی نیکل و خاک هر سه عمق مناطق خضرآباد (نیمه آلوده) و شحنه (آلوده) به فلز سنگین نیکل آلوده هستند و جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر عمق و منطقه و اثر متقابل آنها بر غلظت نیکل خاک در سطح ۵٪ معنی‌دار است. به طوری‌که در منطقه شحنه با حرکت از سطح خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری غلظت نیکل ۷۱/۷۲٪ افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در منطقه خضرآباد با حرکت از سطح خاک تا عمق ۶۰ سانتیمتری غلظت نیکل ۳۶/۴۲٪ به طور معنی‌دار افزایش نشان داد. غلظت نیکل در عمق‌های مختلف خاک در منطقه هامانه در سطح آلوده و معنی‌دار نبود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. اثر متقابل عمق و منطقه بر غلظت نیکل خاک (mg/kg).

Figure 10. Interaction effect of place and depth on soil Ni concentration (mg/kg).

جدول ۹- شاخص زمین انباشتگی و غنی شدگی نیکل در هر سه منطقه.

Table 9. Geo. A. and EF Index of Ni in all 3 places.

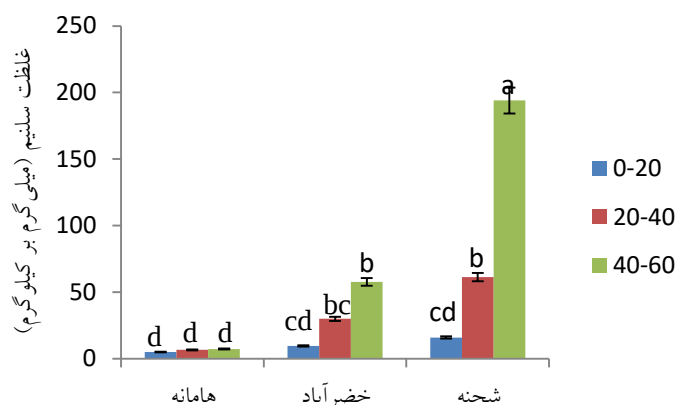
منطقه	عمق	غلظت کادمیم	شاخص زمین انباشتگی	سطح آلودگی	شاخص غنی شدگی	سطح آلودگی
place	depth	Ni Con. (mg/kg)	Igeo) (Index	Pollution level of Igeo	EF) (Index	Pollution level of EF
Hamaneh	0-20	5	-3.91	unpolluted	0.1	Lack
Hamaneh	20-40	12	-2.64	unpolluted	0.24	Lack
Hamaneh	40-60	32	-1.23	Unpolluted to moderately	0.64	Lack
khezhAbad	0-20	136.7	0.87	Moderately	2.73	Moderate
khezhAbad	20-40	183.3	1.29	Moderately	3.67	Moderate
khezhAbad	40-60	215	1.52	Moderately to heavily	4.30	Moderate
Shehneh	0-20	183	1.29	Moderately	3.66	Moderate
Shehneh	20-40	271.7	1.86	Moderately to heavily	5.43	Severe
Shehneh	40-60	488	2.70	Heavily	9.76	Severe

میزان آلودگی به نیکل خاکهای مورد مطالعه در جدول ۹ طبق شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی شدگی نشان داده شده است. طبق این داده ها خاک منطقه هامانه (پاک) عاری از آلودگی نیکل و خاک منطقه خضرآباد (نیمه آلوده) دارای آلودگی متوسط در عمق اول و دوم و خاک منطقه شحه (آلوده) به نیکل آلوده است. در این جدول هر دو شاخص سطوح آلودگی را تقریباً برابر اعلام نموده‌اند. حتی ممکن است این آلودگی منشاء زمین شناسی هم داشته باشد. وو همکاران (۲۰۱۶) مس و نیکل را وابسته به فاکتورهای ساختاری از جمله مواد مادری، هوازدگی و نوع خاک بیان کردند که دارای رابطه مهندسی ژئوشیمی زیست محیطی قوی مشترکی هستند (۵۰).

در دهه‌های اخیر مقادیر زیاد رهاسازی نیکل توسط فعالیت‌های صنعتی عمدتاً ساخت فلزات ضد زنگ و مصرف لجن فاضلاب به عنوان اصلاح کننده در خاک‌های کشاورزی سبب افزایش بسیار زیاد این فلز در خاک و محیط زیست شده است. معمولاً آلودگی‌های موضعی در مکان‌هایی که در آن فعالیت‌های مربوط به کوره‌های ذوب یا آبکاری فلزات صورت می‌گیرد یا با عملیات معدنی همراه است رخ می‌دهد. یک منبع مهم نیکل در خاک می‌تواند مصرف کودهای شیمیایی فسفوری و کودهای مواد پسماندی مانند لجن فاضلاب و خاکستر مواد سوختنی است (۳۱). در واقع فعالیت‌های انسانی در بعضی موارد بیشتر از جنس ماده مادری بر میزان فلز نیکل اثر گذار است. از جمله در مطالعه نعیمی مرندي و همکاران (۲۰۱۳) غلظت نیکل کل تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه قرار نگرفته و بیشتر تحت تأثیر مواد مادری در منطقه مورد بررسی بود. از آنجا که مواد مادری منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر رسوبات آبرفتی بوده و این رسوبات شامل شیل‌های

ژوراسیک و سنگ آهک کرتاسه می‌باشد که اغلب غنی از فلزات سنگینی چون نیکل هستند، این رسوبات می‌تواند عامل کنترل کننده غلظت برخی از فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی باشند (۵۱). افزایش در نیکل در عمق پروژه پیش رو نیز می‌تواند به همین دلیل باشد. در کشور چین نیز زو و همکاران (۲۰۱۹) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک های 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 (۵۲) که همراستا با نتایج بدست آمده در این تحقیق است. بر اساس نتایج بدست آمده، تجمع عناصر سنگین در نواحی شحه و خضرآباد بیشتر بوده و با افزایش فاصله از محل تجمع صنایع، مقادیر این عناصر کاهش می‌یابد.

سلنیم: طبق استاندارد ذکر شده در جدول ۲، همه خاک‌های هر سه عمق در هر سه منطقه به سلنیم آلوده هستند. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اثر عمق، منطقه و همچنین اثر متقابل آنها بر غلظت سلنیم در خاک در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در منطقه هامانه در اعماق مختلف تغییرات غلظت سلنیم معنی‌دار نبود. اما در خاک هر دو منطقه خضرآباد و شحه با افزایش عمق افزایش چشمگیر غلظت سلنیم مشاهده گردید به‌طوری‌که در خضرآباد با حرکت از عمق ۲۰ به ۶۰ سانتی‌متری غلظت سلنیم ۸۳/۲۳٪ افزایش نشان داد و در منطقه شحه با حرکت از عمق دوم به سوم (۲۰ به ۶۰ سانتی متری) ۹۱/۷۵٪ افزایش غلظت سلنیم مشاهده گردید (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. اثر متقابل عمق و منطقه بر غلظت سلنیم خاک (mg/kg).

Figure 11. Interaction effect of place and depth on soil Se concentration (mg/kg).

جدول ۱۰- شاخص زمین انباشتگی و غنی شدگی سلنیم در هر سه منطقه.

Table 9. Geo. A. and EF Index of Se in all 3 places.

منطقه	عمق	غلظت	شاخص زمین	سطح آلودگی	شاخص غنی	سطح آلودگی
place	depth	کادمیم	انباشتگی	Pollution level	شدگی	Pollution level
		Se Con.	Igeo)	of Igeo	(EF Index)	of EF
		(mg/kg)	(Index)			
Hamaneh	0-20	5	3.42	Heavily	10	Severe
Hamaneh	20-40	6.67	3.83	Heavily	13.34	Severe
Hamaneh	40-60	7.33	3.97	Heavily	14.66	Severe
khezerAbad	0-20	9.67	4.43	Heavily to extremely	19.34	Severe
khezerAbad	20-40	30	5.42	Extremely	60	Extraordinary
khezerAbad	40-60	57.67	6.33	Extremely	115.34	Extraordinary
Shehneh	0-20	16	4.83	Heavily to extremely	32	Very intense
Shehneh	20-40	61.33	6.42	Extremely	122.66	Extraordinary
Shehneh	40-60	194	7.72	Extremely	388	Extraordinary

داده‌های جدول ۱۰ نشان داد که هر سه منطقه مورد مطالعه بر طبق شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی دارای آلودگی شدید تا فوق‌العاده شدید است که این آلودگی در عمق‌های پایین‌تر منطقه خضرآباد و شحنه شدت بیشتری پیدا کرده است که می‌تواند زنگ خطری مبنی بر چاره‌اندیشی در این رابطه باشد غلظت سلنیم خاک غالباً اندک و در حدود یک صدم تا دو میلی گرم در کیلوگرم است. مقدار قابل دسترس سلنیم خاک ارتباط ضعیفی با غلظت کل سلنیم خاک داشته و در هر دو مقیاس منطقه‌ای و جهانی بسیار متغیر است. قابلیت فراهمی سلنیم خاک برای گیاه به گونه‌های شیمیایی اصلی سلنیم و ویژگی‌های خاک شامل مقدار مواد جاذب از جمله اکسید و هیدروکسیدهای آلومینیوم و آهن، pH و وضعیت اکسایش کاهش بستگی دارد. علاوه بر این حضور آنیون‌های رقابت کننده برای سطوح جذب مانند سولفات فسفات و آنیون‌های آلی جذب ریشه‌ای و نگهداری سلنیم را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهد و فعالیت میکروبی در برهمکنش سلنیم با مواد آلی مهم است (۳۱). این گونه به نظر می‌آید که سلنیم هم تحت تاثیر بافت سبک خاک و آبشویی به علت غرقاب بودن روش آبیاری به عمق‌های پایین‌تر حرکت کرده است.

در پژوهش طبری و صالحی (۳۸) در بررسی تغییرات عمقی فلزات سنگین در پروفیل خاک در هر یک از دو توده مورد بررسی نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری است به طوری که غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز، کروم و سرب خاک در هر دو توده در لایه سطحی بیشتر از لایه‌های عمقی می‌باشد. با توجه به اینکه بافت خاک هر دو توده لوم رسی است و از طرفی هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد میزان نفوذپذیری فلزات سنگین در خاک کاهش می‌یابد، احتمال انتقال فلزات سنگین به لایه‌های زیرین خاک

کم و این فلزات بیشتر در لایه‌های بالایی خاک انباشت می‌شوند. با وجود این روند معکوسی در مورد برخی فلزات سنگین مانند آهن، منگنز، روی و مس توسط بتی و سینگ (۲۰۰۳) گزارش شده که این روند معکوس می‌تواند به دلیل تفاوت در بافت خاک (بافت شنی) و درصد پایین کربن آلی خاک در مطالعه یاد شده باشد (۵۳). در همین راستا آقابرانی و همکاران (۲۰۰۸) به نتایج مشابهی درست یافتند. غلظت کمتر فلزات سنگین در لایه‌های پایین‌تر خاک به علت پویایی کم این فلزات و در نتیجه حرکت ضعیف آنها به سمت لایه‌های پایینی خاک است (۵۴).

آلاینده‌های محیط شهری مانند فلزات سنگین از منابع مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله صنعت و سوختن سوخت‌های فسیلی در ماشین‌ها است. در این میان این منابع وسایل نقلیه منبع اصلی آلودگی هوا در محیط شهری هستند که سبب تولید آلاینده‌های مهمی از جمله سرب و کادمیوم می‌شوند. آلاینده‌های محیط شهری در اشکال جامد یا مایع در اندازه‌های مختلف حاصل می‌شود که مبدا آنها از سوختن ناقص سوخت‌های فسیلی از وسایل نقلیه دیزلی یا فعالیت‌های صنعتی است (۵۵). لازم به ذکر است مقادیر عناصر جیوه، برلیم، کروم و ناچیز گزارش گردید.

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 معنی‌دار است (۵۶ و ۵۷). کادمیم، کروم و سرب از جمله عناصری هستند که غلظت آنها در

خاک سطحی مناطق صنعتی و شهری در حال افزایش است (۵۸).

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 صنعتی شدن نیز موجب تشدید افزایش تولید آلودگی خواهد شد. به همین دلیل مدیران و تصمیم گیران محلی و منطقه‌ای باید با اتخاذ راهکارهای مناسب از قبیل استفاده از گیاهان دارای قابلیت گیاه پالائی به وسیله گیاهان بومی منطقه و حذف فلزات سنگین در کنار کاهش آلودگی کارخانه‌ها و حذف وسایل نقلیه فرسوده، مانع از افزایش غلظت این فلزات سنگین شوند.

این نتایج، بیان‌کننده‌ی اهمیت مسئولیت‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی صنایع به ویژه در راستای تجربه یک توسعه پایدار در مناطق محلی است. در حقیقت، مطالبه از صنایع برای مسئولانه عمل کردن در قبال جامعه، موضوعی است که با گسترش روز افزون اثرگذاری آنها بر محیط زیست شدت گرفت و منجر به این شد که مفهومی به نام مسئولیت اجتماعی صنایع ظهور پیدا کند. مسئولیت اجتماعی و زیست محیطی صنایع به مجموعه‌ای از انتظارات جامعه محلی و اقدامات متقابل صنایع در برابر این انتظارات اشاره دارد. مسئولیت اجتماعی و زیست‌محیطی صنایع یک مفهوم جامع است که رابطه بین کسب و کار و جامعه را توضیح می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک مسیر یاب به هدف توسعه پایدار خدمت کند. این مفهوم اینک در کشورهای توسعه یافته به شدت از سوی تمامی مشارکت‌کنندگان در فرآیند توسعه پایدار همچون حکومت‌ها، صنایع، جامعه مدنی، سازمان‌های بین المللی و مراکز علمی دنبال می‌شود (۵۹). بر مبنای تایید اثرگذاری صنایع بر آلودگی خاک بر اساس نتایج این مقاله، به نظر می‌رسد که حداقل انتظار

جامعه محلی از صنایع در راستای مسئولیت‌پذیری اجتماعی و زیست محیطی آنان شامل فیلتراسیون به روز، نصب دودکش‌های خروجی موثر و مناسب و دفع صحیح و بهداشتی نخاله های صنعتی و بازچرخانی و تصفیه صحیح فاضلاب ناشی از فرایند تولید باشد. همچنین سرمایه‌گذاری آنان برای تاسیس و توسعه یک سیستم یکپارچه هوشمند به منظور رصد آلاینده‌های جوی و خاک و برقراری ارتباط آن با میزان و نحوه آبیاری به منظور صرفه جویی در میزان مصرف آب و جلوگیری از آلوده شدن گیاهان و آب های زیرزمینی می‌تواند بخشی از مسئولیت‌پذیری اجتماعی و زیست محیطی آنان در این‌باره باشد (۵۹).

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق فوق ثابت شد که فلزات سنگین قابلیت وارد شدن به خاک و حرکت در پروفیل خاک داشته به نحوی که غلظت عناصر کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل و سلنیم با افزایش عمق افزایش یافت و در منطقه شحنة به عنوان منطقه آلوده و مجاور شهرک صنعتی یزد به بیشترین مقدار خود نسبت به منطقه نیمه آلوده خضرآباد و پاک هامانه رسید. آلودگی به کادمیم، سرب و سلنیم در هر سه خاک و در هر سه عمق مشاهده گردید که این نتایج می‌تواند زنگ خطری مبنی بر احتمال رسیدن این آلودگی‌ها به آبهای زیرزمینی و قنوات نیز باشد و در دراز مدت باعث انباشت آلودگی و تخریب خاک گردد. همچنین به دنبال آلودگی خاک، جذب این مواد از ریشه گیاهان هم افزایش و باعث ایجاد سمیت در گیاه و به دنبال آن ورود به زنجیره غذایی هم داشته باشد که نیازمند جلوگیری از این فرایند است که البته با محدودیت‌هایی از قبیل نامشخص بودن دقیق منبع آلودگی و جهت حرکت آنها و سختی‌های اندازه‌گیری عناصر سنگین نیز مواجه هستیم. نتایج این مقاله بیان

متولیان امر است. ضمن اینکه لازم است پژوهش‌های دیگری انجام گیرد تا بین منشا زمین‌زاد و بشرزاد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده این طرح تفکیک صورت گیرد. از این جهت که این موضوع در مواقعی که تصمیم‌گیری روی پاکسازی خاک یا آگاهی از محدودیتهای خاک آلوده مورد نیاز است، اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی خطر این فلزات دارد.

کننده و پیشنهاد دهنده اهمیت لزوم تاسیس و توسعه یک سیستم یکپارچه هوشمند به عنوان مثال در بستر اینترنت اشیا به منظور رصد آلاینده‌های جوی و خاک و برقراری ارتباط آن با میزان و نحوه آبیاری به منظور صرفه‌جویی در میزان مصرف آب و جلوگیری از آلوده شدن گیاهان و آبهای زیرزمینی بوده که قطعا نیازمند اراده قوی و زیرساخت‌های مناسب از سوی

منابع

1. Wilson, T. & Temple, N. (2001). Nutritional health: strategies for disease prevention. *Human Press*; p.16-93.
2. World Health Organization. (2003). Reducing risks, promoting health life: The world health report. Geneva: p.162- 163.
3. Zhao, Y. Wang, Z. Sun, W. Huang, B. Shi, X. & Ji, J. (2010). Spatial interrelations and multi-scale sources of soil heavy metal variability in a typical urban-rural transition area in Yangtze River Delta region of China. *Geoderma*, 156 (3), 216-27.
4. Artiningsih, A., Zubair, H., Imran, A., & Widodo, S. (2019). Contamination and characteristic of Ni and Cr metal on top soil from Antang landfill, Makassar City, South Sulawesi Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175 (1), 012-021
5. Ravankhah, N. & Mirzaei, R. S. M. (2015). Evaluation of Geoaccumulation Index, Contamination Factor, and Principal Component Analysis for Estimating Soil Contamination. *Iranian Journal of Health & Environment*, 8 (3), 345-56 [In Persian].
6. Karabi, S. M., Shahcheraghi, S. M. & Nazari Jaghargh, A. (2013). The importance and necessity of soil pollution management (with emphasis on agricultural pollution). The first national conference on conservation planning, environmental protection and sustainable development .Shahid Mofateh College, Hamadan. [In Persian].
7. Polemio, M. N., (1982). Soil contamination by metals. A survey in industrial and rural areas of Sonthem Italy. *The Science of Total Environment*, 25, 71-79.
8. Hosseinzade, F., Moomeni, A. A. & Bagheri, R. (2018). Assessment of heavy metals pollution in soils around

- Behshahr landfill. *Applied Geology*, 12 (24), 77-88 [In Persian].
9. Saheed, I., Azeez, S., Jimoh, A., Obaro, V. & Adepoju, S. (2020). Assessment of Some Heavy Metals Concentration in Soil and Groundwater Around Refuse Dumpsite in Ibadan Metropolis Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 39 (1), 301-305.
10. Yang, X., Zhou, M., Cang, L., Ji, Q. & Xie, J. (2020) Enhanced Electrokinetic Remediation of Heavy-Metals Contaminated Soil in presence tetrasodium N, N-bis (carboxymethyl) glutamic acid (GLDA) as chelator. *International Journal of Electrochem Science*, 15, 696-709.
11. Boateng, T. K., Opoku, F. & Akoto, O. (2019) Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: A case study of Oti landfill site, Kumasi. *Applied Water Science*, 9 (2), 33-45.
12. Alam, R., Ahmed, Z. & Howladar, M. F. (2020). Evaluation of heavy metal contamination in water, soil and plant around the open landfill site Mogla Bazar in Sylhet, Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, Article100311.
13. Rezaei, A., Hassani, H., Mousavi, S. B. F., Hassani, S. & Jabbari, N. (2019) Assessment of Heavy Metals Contamination in Surface Soils in Meiduk Copper Mine Area, Selenium Iran. *Earth Sciences Malaysia (ESMY)*, 3(2), 01-8 [In Persian].
14. Nezhad, M. T. K., Tabatabaie, S. M. & Gholami, A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 152, 91-109. [In Persian].
15. Zaheri, N., Khosravi, Y., Mokhtari, M. A. A. & Zamani, A. (2019). Distribution pattern of the heavy metals in stream sediments of the Baycheh-Bagh area, northwest of Zanjan. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 35 (2), 135-50 [In Persian].
16. Talaei, E. (2007). Study of role of north Meshkinshahr regions on soil pollution to arsenic. 10th congress of Iranian soil science, Tehran University [In Persian].
17. Lacatusu, R. (1996). "Soil-plant-man relationship in heavy metal polluted areas in Romania", *Application Geochemistry*, 11, 105-107.
18. Magalhaes, V. F. (2007). "As concentration and distribution in Engenho Inlet, Sepetiba Bay, Brazil", *Water, Air and Soil pollution*, 18, 83-91.
19. Tao., C., Xingmei, L., Muzhi, Z., Keli, Z. J. W. J. X. & Panming, H., (2008). "Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China", *Environmental Pollution*, 151, 67-78.
20. Hans-Rudolf, P., Anne Häussermann L. & Werner, H. (2007). "Distribution and behavior of arsenic in soils and waters in the vicinity of the former gold-arsenic mine of Salanfe, Western

- Switzerland", *Journal of Geochemical Exploration*, 93, 121–134.
21. Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X. & Cao, Y. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environmental Pollution*, 278, Article 116911.
22. Irshad, M. K., Ibrahim, M., Noman, A., Shang, J., Mahmood, A., Mubashir, M., Khoom, K. S., Ng, H. S. & Show, P. L. (2022). Elucidating the impact of goethite-modified biochar on arsenic mobility, bioaccumulation in paddy rice (*Oryza sativa* L.) along with soil enzyme activities. *Process Safety and Environmental Protection*, 160, 958-967.
23. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace Element in Soils and Plants, Third edition, CRC Press, 413
24. Müller, G. (1969). Index of geo accumulation in the sediments of the Rhine River. *Geo Journal*, 2 108-118. **doi.10.4236/ampe.2011.12005.**
25. Ghasera, K. M., & Rashid, S. A. (2024). Assessment of Heavy Metal Contamination and Ecological Risk in Soils Developed on Different Rock Types in Southern Bundelkhand Region, Central India. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 1-17. **doi.org/10.1080/15320383.2024.2305414.**
26. Kuang, Y., Chen, X., & Zhu, C. (2024). Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution and Health Risks in Chenzhou City. *Processes*, 12 (3), p. 623. **doi.org/10.3390/pr12030623.**
27. Yildiz, U., & Ozkul, C. (2024). Heavy metals contamination and ecological risks in agricultural soils of Uşak, western Türkiye: a geostatistical and multivariate analysis. *Environmental Geochemistry and Health*, 46 (2), p.58.**doi.org/10.1007/s10653-024-01856-0.**
28. Zou, H., Li, W. Q., Ren, B. Z., Xie, Q., Cai, Z. Q., Chen, L. Y., & Wang, J. (2024). Heavy metal pollution and ecological risk assessment: A study on Linli County soils based on self-organizing map and positive factorization approaches. *Journal of Central South University*, 1-12. **doi.org/10.1007/s11771-024-5624-5**
29. European Union, (2002). Heavy Metals in Wastes, European Commission on Environment.http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavy_metal_sreport.Pdf> (accessed 12.06.12)
30. Deputy for Human Environment. Water and Soil Office. Soil resource pollution standards and its guidelines. 166 pages. [In Persian].
31. Fotovat, A. (2013). Heavy metal in soil (Alloway B. J). Ferdowsi University Press. 704 pages [In Persian].
32. Solgi, A., Shahverdi Nik, M., and Ramezani, M. (2020). The effect of irrigation with untreated urban wastewater on the accumulation of heavy metals in surface and subsurface

- soils. *Environmental Science and Technology*, 22 (3), 317-333 [In Persian].
33. Dragović, R., Gajić, B., Dragović, S., Đorđević, M., Đorđević, M., Mihailović, N. & 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, 550-562.
34. Yang, X., Li, Q., Tang, Z., Zhang, W., Yu, G., Shen, Q., & Zhao, F. J. (2017). Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China. *Waste Management*, 64, 333-339. **doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.015**.
35. Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154, 380-388. **doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021**.
36. Goodarzi, F., Sanei, H., Labonte, L., & Duncan, W. F. (2002). Sources of lead and zinc associated with metal smelting activities in the Trail area, British Columbia, Canada. *Journal of Environmental Monitoring*. 4: 400-407. [In Persian].
37. Rieuwerts, J. S., Thornton, I., Farago, M. E. & Ashmore, M. R. (1998). Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10 (2), 61-75 (15).
38. Tabari, M. & Salehi, A. (2011). Studying the effect of irrigation using urban wastewater on the accumulation of heavy metals in soil. *Environmental Science and Technology* 13(4):49-59 [In Persian].
39. Naderi Khorasgani, M., AzarBeig, T. & Mohamadi, J. (2023). Factors affecting the zoning of soil contamination by heavy metals in the Sirjan Plain - Kerman Province. *Journal of Soil and Water Sciences*, 27 (3), 165-177.
40. Rodrigues, J. A., Nanos, N. Grav, J. M. & Gil, L. (2008). Multiscale analysis of heavy metal content in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere* 70: 1085- 1096.
41. Ding, Q., Cheng, G., Wang, Y. & Zhuang, D. (2017). Effects of natural factors on spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. *Science of The Total Environment*, 578, 577-585.
42. Vali Nejad, F., Arbabi, A. & Borna, R. (2023). Investigation of heavy metal concentrations and soil pollution indices in the western region of Tehran. *Iranian Natural Ecosystems Quarterly Journal* 14 (52): 39-53 [In Persian].
43. Yan, C., Zhuang, T., Bai, J., Wen, X., Lu, Q. & 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, 2799-2809.
44. Nekoeinia, M., Mohajer, R., Salehi, M. H., & Moradlou, O. (2016). Multivariate statistical approach to identify metal contamination sources in agricultural soils around Pb-Zn mining area, Isfahan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75 (9), 1-10. **doi.org/10.1007/s12665-016-5597-2.**
 45. Rastmanesh, F., Safaie, S., Zarasvandi, A. R., & Edraki, M. (2018). Heavy metal enrichment and ecological risk assessment of surface sediments in Khorramabad River, West Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (5), 1-9. **doi.org/10.1007/s10661-018-6650-2.**
 46. Boudia, H., Vassalo, L., Hadjel, M., Prudent, P., & Boudenne, J.L. (2019). Spatial contamination and health risks of heavy metal (loid) s in surface soils from a petrochemical complex in the northeastern region of Algeria. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (8), 4707-4718. **doi.org/10.1007/s13762-018-02195-1.**
 47. Ghadimi, F. & Mirzaie, M. (2019). Study of contamination and depth profile of heavy metals in sediments around the Arak city landfill. *Iranian Quaternary Quarterly*. 5 (4): 541-579 [In Persian].
 48. Kabata- Pendias, A. A. & Pendias, H. (2006). Trace elements in soils and plants. 4nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
 49. Karimi, B., Abdi, Ch., Fathi Tilko, Z., & Goililen, H. (2016). The effect of using treated urban wastewater on the amount and pattern of accumulation of some heavy metals in the soil profile under corn and tomato cultivation. *Journal of Water Research in Agriculture B*, 30 (1), 89-101 [In Persian].
 50. Wu, J., Song, J., Li, W., & Zheng, M. (2016). The accumulation of heavy metals in agricultural land and the associated potential ecological risks in Shenzhen, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (2), 1428-1440. **doi.org/10.1007/s11356-015-5303-z.**
 51. Naimi Marandi, S., Ayoubi, S., & Khademi, H. (2013). Vertical and Horizontal Variability of Lead and Nicel in Zobahan Industrial District, Isfahan. *Journal of Water and Soil* , 27 (2), 394-405 [In Persian].
 52. Zhu, Y., Xu, F., Liu, Q., Chen, M., Liu, X., Wang, Y., Sun, Y. & 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, 414-421.
 53. Bhati, M. & Singh, G., (2003). Growth and mineral accumulation in Eucalyptus camaldulensis seedlings irrigated with mixed industrial effluents. *Bioresource Technology*, 88 (3), 221-228.

54. Aghabarati, A., Hosseini, S. M. & Maralian, H., (2008). Heavy metal contamination of soil and olive trees (*Olea europaea* L.) in suburban areas of Tehran, Iran. *Research Journal of Environmental Science*, 2(5), 323-329.
55. Sillanpaa, M. & H. Janson. (2007). Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plant of thirty countries. *FAO soils Bulletin* 66, Romet, Italy.
56. Antoci, A., Galeotti, M. & Sordi, S. (2018). Environmental pollution as engine of industrialization. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 58, 262-273.
57. Ebenstein, A. (2012). The consequences of industrialization: evidence from water pollution and digestive cancers in China. *Review of Economics and Statistics*, 94(1), 186-201.
58. 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), 173-190.
59. Faghih Khorasani, A. A. (2017). Theoretical Analysis of Cultural Contexts for Realizing Social Responsibility in Iran. Culture, Art and Communication Research Institute, Ministry of Culture and Islamic Guidance. 202 pages.

