

## آلودگی خاک به آرسنیک در مناطق شهری: مطالعه موردی شهر اراک

عیسی سلگی\*<sup>۱</sup>، عباس اسماعیلی ساری<sup>۲</sup>، علیرضا ریاحی بختیاری<sup>۳</sup>، مهرداد هادی پور<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی آرسنیک به علت اثرات سمی آن به عنوان ماده سرطان‌زا، از نگرانی‌های بزرگ محیط زیستی است. در این تحقیق به منظور ارزیابی آلودگی آرسنیک به خاک و تعیین الگوی توزیع مکانی آن، نمونه‌های خاک سطحی از مناطق شهری اراک جمع‌آوری و آنالیز شدند. روش بررسی: در مجموع ۶۲ نمونه خاک سطحی از عمق ۰-۲۰ cm از پارک‌ها، فضای سبز، زمین‌های باز و کشاورزی، اطراف جاده و میدان‌ها در شهر اراک جمع‌آوری شدند. در این تحقیق نقشه توزیع مکانی آرسنیک در خاک توسط GIS و روش درون‌یابی کریجینگ تولید شد. یافته‌ها: غلظت آرسنیک در خاک‌های سطحی شهر اراک بین ۲/۲ تا ۱۰/۸ mg/kg بود (میانگین: ۵/۷۸ mg/kg). نتایج آنالیز مکانی آرسنیک نشان داد که آلودگی آرسنیک در مرکز شهر افزایش می‌یابد و از جنوب به شمال نیز روند افزایشی مشهود بود. همچنین غلظت آرسنیک در خاک شهری اراک در مقایسه با بسیاری از شهرهای دنیا مقادیر کمتری داشت. نتیجه‌گیری: در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آرسنیک توسط هر دو فاکتور انسانی و طبیعی کنترل می‌شود. بیشترین مقادیر آرسنیک در مرکز شهر و شمال بود که بیانگر اثر فعالیت‌های انسانی مانند صنایع و حمل و نقل است.

واژگان کلیدی: آرسنیک، مناطق شهری، خاک سطحی، اراک

۱- (نویسنده مسئول): دکتری آلودگی محیط زیست، استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر  
e.solgi@malayeru.ac.ir, e.solgi@yahoo.com

۲- دکتری آلودگی محیط زیست، استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دکتری آلودگی محیط زیست، استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۴- دکتری سیستم اطلاعات جغرافیایی، استادیار گروه محیط زیست دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اراک

## مقدمه

تعداد مردمی که در شهرهای سراسر جهان زندگی می کنند به طور چشم گیری در اواخر قرن بیستم افزایش یافته است. این روند افزایش با آهنگ بی سابقه ای ادامه دارد. به هر حال این سرعت شهرنشینی هزینه هایی نیز در پی خواهد داشت. یکی از بزرگترین چالش های موجود در نواحی بزرگ شهری جهان، آلودگی عناصر کمیاب، به علت اثرات مضر بر سلامتی انسان است (۱). با توجه به نگرانی های مرتبط با محیط زیست و سلامت انسان، عناصر کمیاب در خاک های شهری تعدادی از شهرهای بزرگ دنیا از قبیل فلوریدا، هونگ کونگ، نیوارلن، اسلو، بیرمنگام و برلین مطالعه شده اند (۲). در این میان آلودگی آرسنیک (As) در محیط زیست به دلیل تهدیداتش برای سلامت انسان و اثرات سوء بر رشد گیاهان و حیوانات در سال های اخیر توجه زیادی به خود جلب کرده است (۳). آرسنیک به طور گسترده ای در مقادیر بسیار کم در سنگ ها و خاک ها، آب های طبیعی و جانداران توزیع شده است. این عنصر می تواند توسط فرایندهای طبیعی، عمدتاً از طریق هوازدگی و فعالیت میکروبی متحرک شود (۴).

هر چند غلظت آرسنیک به طور متوسط در پوسته زمین تنها  $2 \text{ mg/kg}$  است، پراکندگی ژئوشیمیایی آن در محیط زیست به طور طبیعی از طریق فرایندهای هوازدگی اتفاق می افتد و توسط فعالیت های معدنی افزایش می یابد که ممکن است منجر به آلوده کردن خاک و آب در مقیاس محلی و منطقه ای شود (۴). برخلاف نواحی دست نخورده، غلظت آرسنیک در نواحی شهری به تنهایی مرتبط با فاکتورهای زمین شناسی نیست. اگرچه آرسنیک به طور طبیعی در دامنه وسیعی از مواد معدنی رخ می دهد، توزیع آن توسط استفاده گسترده در رنگدانه ها، حشره کش ها، علف کش ها، چوب تیمار شده با فشار، محرک رشد ماکیان و خوک، انتشار از احتراق سوخت فسیلی و به علاوه دیگر فعالیت های صنعتی و انسانی تحت تاثیر قرار می گیرد. بنابراین تشخیص و تعیین تماس انسان با آرسنیک در محیط های شهری مهم است زیرا به عنوان ماده سرطان زا شناخته شده است (۱). بسیاری از مطالعات همه گیرشناسی تایید کرده اند که قرار

گرفتن در معرض آرسنیک و ترکیبات آن می تواند اثرات سوء بر سلامت انسان داشته باشند. استنشاق آرسنیک می تواند به طور خاص سبب سرطان ریه شود، در حالی که بلع به شکل داروها و یا در آب و غذا، نه تنها پوست، دستگاه تنفس، کبد و تومورهای مثانه بلکه عاملی برای تحریک بیماری های دیابت، قلبی-عروقی و عصبی است. آکادمی ملی علوم برآورد کرده است که سالانه حدود  $75000 - 100000 \text{ ton}$  آرسنیک در مقیاس جهانی تولید می شود (۵). غلظت آرسنیک در خاک های دست نخورده دامنه بین  $1$  تا  $40 \text{ mg/kg}$  در سراسر جهان دارد که میانگین حسابی آن  $5$  تا  $6 \text{ mg/kg}$  است. بر خلاف نواحی طبیعی، غلظت آرسنیک در نواحی شهری در فواصل کوتاه به طور قابل ملاحظه ای تغییر می کند. خاک های شهری به طور معنی داری از خاک های دست نخورده ناهمگن تر هستند و فعالیت های انسانی نقش غالبی در توسعه و تغییر این خاک ها بازی می کنند (۱). لذا مطالعه الگوهای مکانی این عنصر مهم است در این راستا می توان به مطالعه Sadr و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که به بررسی تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربری های مختلف در استان اصفهان می پردازد که با هدف ارزیابی تغییرات مکانی آرسنیک و تهیه نقشه آلودگی در خاک های این منطقه صورت گرفت (۶).

زوال خاک توسط آلودگی آرسنیک به علت فعالیت های صنعتی انسان در گذشته و حال ممکن است منتج به تماس بیشتر شود زیرا آرسنیک در خاک غنی شده و در نهایت از طریق بلع خاک و زنجیره غذایی وارد بدن انسان می شود. ۱۹ حادثه بزرگ مسمومیت آرسنیک، که مرتبط با فعالیت صنعتی بوده اند در سراسر جهان گزارش شده اند. Diaz-barriga و همکاران (۱۹۹۳) نتیجه گرفتند که آرسنیک خاک می تواند ۳۰ تا ۸۸ درصد از مقدار کل آرسنیک بلع شده توسط انسان را شامل شود (۷). بنابراین از آنجایی که آلودگی خاک ممکن است سلامت انسان را به طور مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر قرار دهد برآورد خطر بالقوه آلوده لازم است (۸). با توجه به خطرات بهداشتی آرسنیک که در حال حاضر توسط بسیاری از نویسندگان گزارش شده است و نظر به اینکه

در حد فاصل عرض‌های  $34^{\circ}35'35''$  تا  $34^{\circ}50'27''$  و طول‌های جغرافیایی  $49^{\circ}39'12''$  تا  $49^{\circ}46'35''$  قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه اراک  $320$  mm است.

میانگین دمای متوسط سالیانه اراک  $13/8^{\circ}\text{C}$  است که مرداد ماه با میانگین  $27^{\circ}\text{C}$  گرم‌ترین ماه و بهمن ماه با میانگین  $0/3^{\circ}\text{C}$  سردترین ماه است. میانگین رطوبت سالیانه اراک  $46\%$  است که ماه دی با میانگین  $68\%$  مرطوب‌ترین ماه و ماه شهریور با  $26\%$  خشک‌ترین ماه است. باد غالب اراک  $240$  درجه غربی است. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دمارتن نیمه خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبروزه نیمه خشک و سرد است. جمعیت شهر اراک بر اساس سرشماری  $1385$  توسط مرکز آمار ایران،  $438338$  نفر برآورد شده است.

#### ۲- نمونه برداری:

در مجموع  $62$  نمونه خاک از مناطق شهری اراک جمع‌آوری شد.  $28$  نمونه از پارک‌ها (جدول ۱)،  $12$  نمونه از فضای سبز،  $13$  نمونه از زمین‌های باز و کشاورزی،  $6$  نمونه از خاک اطراف جاده و  $3$  نمونه از میدان‌ها در مناطق شهری اراک در اردیبهشت و خرداد  $1390$  جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک از عمق  $0-20$  cm جمع‌آوری شدند. هر نمونه خاک حدود  $1$  kg بود که متشکل از  $5-9$  زیر نمونه بود. موقعیت جغرافیایی هر یک از نمونه‌ها توسط GPS ثبت شد. در شکل ۱ توزیع نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.

جدول ۱: اسامی پارک‌ها و تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده

| نام پارک                       | تعداد نمونه | نام پارک    | تعداد نمونه | نام پارک   | تعداد نمونه |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| امیرکبیر                       | ۲           | پارک شهر    | ۱           | شقایق      | ۲           |
| آزادی                          | ۲           | پونه        | ۱           | فرش        | ۱           |
| الغدیر ۱                       | ۱           | پیروزی      | ۱           | کشتارگاه   | ۱           |
| الغدیر ۲                       | ۱           | خیبر        | ۱           | لاله       | ۱           |
| باغبان                         | ۱           | دانشجو      | ۱           | ماشین‌سازی | ۱           |
| بوستان بهاران                  | ۱           | رودکی       | ۱           | معلم       | ۱           |
| پارک دانشگاه علوم پزشکی        | ۱           | شهدای گمنام | ۱           | نیلوفر     | ۱           |
| پارک معلم در فاز یک شهید بهشتی | ۱           | شهید محمدی  | ۱           |            |             |
| پارک کوی قائم                  | ۱           | شهید باهنر  | ۱           |            |             |

آرسنیک توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) به عنوان ماده سرطان‌زای گروه A طبقه‌بندی شده است که سبب تولید سرطان در انسان می‌شود، در این تحقیق آلودگی خاک به آرسنیک در منطقه شهری اراک مورد مطالعه قرار گرفته است. از طرف دیگر خاک به عنوان یک مخزن یا منبع، شاخص خوبی از سطح و میزان آرسنیک در محیط شهری است. آرسنیک در خاک تهدیدی جدی برای سلامت اکوسیستم شهری و سلامت انسان به خصوص کودکان است که نه تنها با ورود به طور مستقیم به بدن انسان، بلکه به طور غیر مستقیم به محیط زیست شهری اطراف انسان صدمه می‌زند. در نتیجه، تحقیق روی آلودگی خاک شهری به آرسنیک برای ارزیابی کیفیت محیط زیست شهری، بسیار مهم است (۹) با توجه به مطالب عنوان شده در مورد اهمیت آلودگی آرسنیک در خاک‌های شهری و نبود هیچ گونه اطلاعاتی در شهر اراک، این مطالعه با اهداف تعیین غلظت آرسنیک در خاک‌های شهری، توزیع مکانی آرسنیک در این خاک‌ها و تعیین نواحی با غلظت بالای آرسنیک طراحی شد.

#### مواد و روش‌ها

##### ۱- منطقه مورد مطالعه:

در این تحقیق منطقه مورد مطالعه مناطق شهری شهر اراک بود که مساحتی حدود  $67$  km<sup>2</sup> دارد. متوسط ارتفاع از سطح دریا  $1708$  m است. منطقه شهری اراک از لحاظ موقعیت جغرافیایی

شدند. به نمونه های هضم شده  $160^{\circ}\text{C}$  گرم داده شد تا زمانی که رنگ آنها شفاف شد سپس با آب مقطر رقیق شدند و به حجم 50 mL رسیدند (10). غلظت آرسنیک کل در محلول هضم شده توسط جذب اتمی به روش کوره گرافیتی اندازه گیری شد.

#### ۴- آنالیز آماری

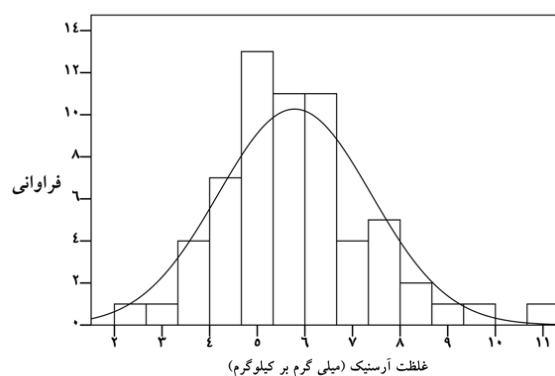
برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده ها در سطح اطمینان 95 درصد، از آماره کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. این آزمون نشان داد که آرسنیک در خاک شهری از توزیع نرمال برخوردار است. پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، واریانس، ماکزیمم، مینیمم، کشیدگی و چولگی غلظت آرسنیک کل توسط نرم افزار SPSS 17 به دست آمد. اطلاعات آمار توصیفی در جدول 2 آورده شده است. همچنین نقشه توزیع مکانی آرسنیک توسط Arc GIS 9.3 به روش کریجینگ معمولی تولید شد. مقادیر آرسنیک در 6 گروه طبقه بندی شدند.

#### یافته ها

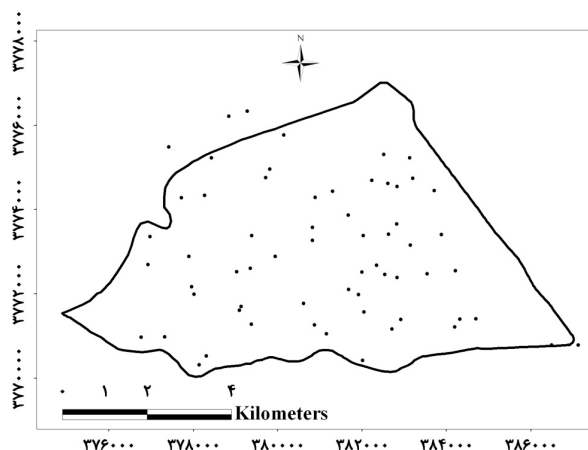
بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل آماری میانگین غلظت آرسنیک در خاک های سطحی شهر اراک  $5.78 \text{ mg/kg}$  و دامنه تغییرات آن  $0.6$  تا  $2.2 \text{ mg/kg}$  با حداکثر  $10.8 \text{ mg/kg}$  بود (جدول 2).

جدول 2: خلاصه آماری غلظت آرسنیک ( $\text{mg/kg}$ ) در خاک های شهر اراک

| حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف استاندارد | ضریب تغییرات | چولگی | کشیدگی |
|-------|--------|---------|------------------|--------------|-------|--------|
| 2/2   | 10/8   | 5/78    | 1/6              | 27/68        | 0/67  | 0/599  |



شکل 2. فراوانی غلظت آرسنیک در خاک های شهری اراک



شکل 1. موقعیت نقاط نمونه برداری در مناطق شهری شهر اراک

#### ۳- آماده سازی و آنالیز نمونه ها:

نمونه های خاک جمع آوری شده در دمای اتاق ( $25^{\circ}\text{C}$ ) به مدت چندین روز در هوا خشک شدند. سپس سنگ ها، مواد آلی خشن یا بقایای ریشه گیاهان و سایر نخاله ها حذف شدند. بعد از این مرحله نمونه ها توسط الک با مش  $2 \text{ mm}$  الک شدند. قسمتی از خاک (حدود  $50 \text{ g}$ ) آسیاب شده و سپس با مش  $0.149 \text{ mm}$  الک شد. pH نمونه های خاک در سوسپانسیون 1:5 خاک به آب بعد از 2 h چرخش توسط شیکر، با استفاده از pH متر اندازه گیری شدند. برای تعیین غلظت آرسنیک در نمونه ها، ابتدا نمونه های خاک (حدود  $1 \text{ g}$ ) توسط  $15 \text{ mL}$  مخلوط اسیدی ( $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4/\text{HF}$ , 3:2:1) هضم

توزیع آرسنیک در منطقه طبق نتایج آزمون Kolmogorov-Smirnov از توزیع نرمال با چولگی 0/67 و کشیدگی 0/599 تبعیت می نمود. باتوجه به این که دامنه طبیعی آرسنیک در خاک های جهان 1 تا  $5 \text{ mg/kg}$  است حدود 66 درصد مکان ها غلظت بیش از  $5 \text{ mg/kg}$  داشتند (شکل 2).

در کاربری های مختلف به صورت میدان < اطراف جاده > پارک شهری < فضای سبز > زمین بایر و کشاورزی است البته با توجه به نتایج مقایسات میانگین بر اساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه ( $P \text{ value} = 0/49$ ) بین مکان های مختلف اختلاف معنی داری نشان داده نشد.

مقادیر pH در خاک های شهری بین 6/35 تا 9/02 بود که میانگین 7/98 داشت. همچنین با استفاده از همبستگی پیرسون هیچ گونه ارتباط معنی داری بین غلظت آرسنیک در خاک و pH پیدا نشد ( $P \text{ value} = 0/66$ ). مقادیر غلظت آرسنیک در مکان های مختلف در جدول 3 خلاصه شده است. همچنان که در این جدول مشاهده می شود ترتیب میانگین مقادیر آرسنیک

جدول 3: خلاصه آماری مقادیر آرسنیک (mg/kg) در مکان های مختلف شهری در اراک

| مکان                    | آماره | تعداد | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | اشتباه معیار |
|-------------------------|-------|-------|---------|-------|--------|--------------|--------------|
| پارک شهری               | 28    | 28    | 5/72    | 2/2   | 10/8   | 1/91         | 0/36         |
| فضای سبز                | 12    | 12    | 5/55    | 3/7   | 8/52   | 1/43         | 0/41         |
| زمین های بایر و کشاورزی | 13    | 13    | 5/52    | 4/07  | 7/02   | 0/79         | 0/22         |
| اطراف جاده              | 6     | 6     | 6/6     | 5/01  | 8/28   | 1/29         | 0/52         |
| میدان                   | 3     | 3     | 6/84    | 5/15  | 9/42   | 2/2          | 1/3          |

محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) برای آرسنیک کل  $20 \text{ mg/kg}$  است (8) که غلظت آرسنیک در خاک های سطحی شهر اراک از این معیار کمتر بودند. غلظت آرسنیک در خاک های شهری اراک با سایر شهرهای دیگر در سراسر جهان مقایسه شد و مقدار جهانی زمینه آرسنیک که  $6 \text{ mg/kg}$  در خاک است به عنوان مقدار مرجع استفاده شد (جدول 4). غلظت آرسنیک در خاک شهر اراک در مقایسه با بسیاری از شهرهای دنیا که در این جدول ذکر شده اند مقادیر کمتری دارد. محدوده طبیعی آرسنیک در خاک کشورهای مختلف از  $0/1$  تا  $40 \text{ mg/kg}$  (متوسط  $6 \text{ mg/kg}$ ) است.

## بحث

مقایسه حداکثر غلظت آرسنیک در خاک شهری اراک با استانداردهای سایر کشورهای مختلف نشان داد که هیچ مکانی دارای غلظت بیش از حدمجاز نیست. نتایج تجزیه و تحلیل و ارزیابی خطر غلظت آرسنیک در خاک در مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که غلظت آرسنیک تا  $40 \text{ mg/kg}$  برای موجودات زنده در معرض قرار گرفته می تواند بدون خطر باشد. اگر غلظت آرسنیک در خاک به بیش از  $100 \text{ mg/kg}$  برسد احتمال خطر برای زنان باردار و فرزندان آنها وجود دارد (11). همچنین معیار کیفیت خاک توسط سازمان حفاظت

جدول 4: مقایسه غلظت آرسنیک در خاک های شهری شهرهای مختلف دنیا

| مرجع       | آرسنیک (mg/kg) | شهر، کشور          | مرجع | آرسنیک (میلی گرم/کیلوگرم) (mg/kg) | شهر، کشور         |
|------------|----------------|--------------------|------|-----------------------------------|-------------------|
| [15]       | 8/96           | Shenzhen, China    | [12] | 12/5                              | Changchun, China  |
| [16]       | 13/2           | Chengdu            | [2]  | 8/6                               | Galway, Ireland   |
| [17]       | 3/11-3/4       | Uppsala            | [13] | 20/9                              | Avellino (Italy)  |
| [18]       | 7/7            | Beijing, China     | [13] | 8/3                               | Benevento (Italy) |
| [19]       | 11/90          | Pforzheim, Germany | [13] | 15/8                              | Caserta (Italy)   |
| [20]       | 3/7-1/6        | Madrid, Spain      | [13] | 10/5                              | Salerno (Italy)   |
| این مطالعه | 2/2-10/8       | Arak               | [14] | 4                                 | Miami             |

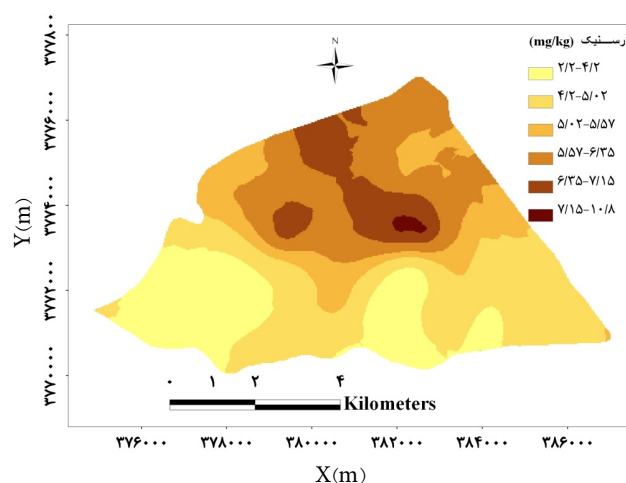
مشاهده می شود کمترین آلودگی مربوط به حاشیه شهر و جنوب آن است. منبع اصلی آرسنیک در خاک مواد مادری است اما تجمع آن در محیط های شهری اغلب به علت احتراق سوخت های فسیلی به ویژه زغال سنگ، فرایندهای مربوط به صنایع فلزی و فعالیت های استخراج معادن است.

بیشترین مقادیر آلودگی آرسنیک در خاک در نواحی مرکزی شهر و شمال شهر به وقوع پیوسته است. با توجه به وجود صنایع زیاد در این شهر از جمله تولید آلومینیوم ثانویه در شرکت آلومینیوم صنعتی ایران و نیز دیگ های بخار صنعتی از که منابع انتشار آرسنیک و سایر فلزات هستند به نظر می رسد که بر افزایش مقادیر آرسنیک در نواحی مرکزی شهر موثر بوده است. بنابراین، یکی از منابع احتمالی آرسنیک رسوب اتمسفری ذرات ناشی از انتشار صنعتی می تواند باشد. با توجه به نقشه توزیع مکانی، در مجموع آلودگی آرسنیک از جنوب به شمال روند افزایشی دارد. از طرفی توجه به این مسئله که توپوگرافی منطقه مرفولوژی کوهپایه ای به وجود آورده است حائز اهمیت است. قسمت های مرتفع شهر اراک در قسمت جنوبی آن واقع است و شیب زمین از جنوب به شمال به طور یکنواخت کاهش می یابد که احتمالاً به دلیل به دام افتادن آلودگی های منتشره از صنایع و سرازیر شدن آنها در قسمت شمال شهر شاهد افزایش آلودگی هستیم.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت آرسنیک در موقعیت های نمونه برداری شده در شهر اراک کمتر از حد رهنمودی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ( $20 \text{ mg/kg}$ ) است. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن است که آرسنیک توسط هر دو فاکتور انسانی و طبیعی کنترل می شود البته مطالعات بیشتر و جزئی تر برای الگوی توزیع مکانی و نیز منابع آلودگی آرسنیک باید در منطقه شهری اراک صورت گیرد. نتایج آنالیز مکانی آرسنیک نشان داد که آلودگی آرسنیک در مرکز شهر و شمال افزایش می یابد. از نظر محیط زیستی غلظت آرسنیک در منطقه مورد مطالعه در دامنه غلظت

علاوه بر این در مطالعه Sirbu-Radaşanu و همکاران (۲۰۱۱) که به بررسی آرسنیک در خاک های سطحی شهر Iasi در شمال غربی رمانی پرداخته شد مقادیر غلظت آرسنیک ۲ تا  $30/7$  با میانگین  $9/18 \text{ mg/kg}$  به دست آمد که در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده در مطالعه حاضر مقادیر بالاتری است (۲۱). در مطالعه دیگری که توسط Sadr و همکاران (۲۰۱۱) در شهر اصفهان انجام شد (۶) میانگین غلظت آرسنیک در اراضی شهری  $11/3 \text{ mg/kg}$  بود که از مقادیر به دست آمده در مطالعه حاضر بالاتر است. توزیع مکانی غلظت آرسنیک، ابزار بصری مفیدی است که به بررسی منابع احتمالی و شناسایی نقاط داغ با غلظت بالا کمک می کند. در این مطالعه توزیع مکانی آرسنیک در خاک با استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنان که بیان شد غلظت آرسنیک با استفاده از روش کریجینگ درون یابی شد و نهایتاً نقشه توزیع مکانی آرسنیک تولید شد. شکل ۴ اطلاعات جزئی تر در مورد وضعیت آلودگی آرسنیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه و تحلیل مکانی را نشان می دهد.



شکل ۴. نقشه توزیع مکانی آرسنیک در خاک های شهری اراک

همان طور که از نقشه توزیع مکانی پیداست کل خاک منطقه شهری اراک توسط آرسنیک آلوده شده است. بیش از ۵۰٪ منطقه براساس تخمین بالاتر از دامنه طبیعی آرسنیک در خاک است. از طرف دیگر همچنان که از نقشه توزیع مکانی آرسنیک

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان الگوی توزیع مکانی و تعیین منشأ عناصر بالقوه سمی در خاک‌های سطحی شهر اراک با استفاده از GIS، ژئواستاتیسیتیک و تحلیل چند متغیره در مقطع دکتری است که در سال ۱۳۹۱ با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.

معمولاً ۱/۰ تا ۴۰ mg/kg قرارداد لیکن با توجه به این‌که قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آرسنیک سبب انواع مختلفی از سرطان می‌شود لذا آلودگی آرسنیک از نظر اثر بر سلامت عمومی نگران‌کننده و حائز اهمیت است. با توجه به این‌که قابلیت بعضی از گیاهان در جذب آرسنیک از خاک به اثبات رسیده است به کارگیری روش‌های جدید همچون روش‌های گیاه‌پالایی می‌تواند راه حلی مناسب برای حذف آرسنیک از خاک در نقاط با مقادیر بالا باشد.

## منابع

- 1- Chirenje T, Ma LQ, Chen M, Zillioux EJ. Comparison between background concentrations of arsenic in urban and non-urban areas of Florida. *Advances in Environmental Research*. 2003;8(1):137-46.
- 2- Chirenje T, Ma L, Szulczewski M, Littell R, Portier K, Zillioux E. Arsenic distribution in Florida urban soils. *Journal of Environmental Quality*. 2003;32(1):109-19.
- 3- Cicchella D, De Vivo B, Lima A, Albanese S, McGill R, Parrish RR. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2008;8(1):103-12.
- 4- Garcia-Sanchez A, Alvarez-Ayuso E. Arsenic in soils and waters and its relation to geology and mining activities (Salamanca Province, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*. 2003;80(1):69-79.
- 5- Tchounwou PB, Centeno JA, Patlolla AK. Arsenic toxicity, mutagenesis, and carcinogenesis – A health risk assessment and management approach. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 2004;255(1-2):47-55.
- 6- Sadr S, Afyuni M, Fathian Por N. Spatial variability of arsenic under different land use in Isfahan region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*. 2010;13(50):65-75 (in Persian).
- 7- Diazbarriga F, Santos MA, Mejia J, Batres L, Yanez L, Carrizales L, et al. Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosi, Mexico. *Environmental Research*. 1993;62(2):242-50.
- 8- Liao X-Y, Chen T-B, Xie H, Liu Y-R. Soil as contamination and its risk assessment in areas near the industrial districts of Chenzhou City, Southern China. *Environment International*. 2005;31(6):791-98.
- 9- Zhu J, Fang L, Nie Z, Gao X, editors. Ecological risk assessment of heavy metal in urban area soil. *Proceedings of the 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*; 2010 Jun 18-20; Chengdu, China.
- 10- Solgi E, Esmaili-Sari A, Riyahi-Bakhtiari A, Hadi-pour M. Soil contamination of metals in the three industrial estates, Arak, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012;88(4):634-38.
- 11- DeSesso J, Jacobson C, Scialli A, Farr C, Holson J. An assessment of the developmental toxicity of inorganic arsenic. *Reproductive Toxicology*. 1998;12(4):385-433.
- 12- Yang Z, Lu W, Long Y, Bao X, Yang Q. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2011;108(1):27-38.
- 13- Liu C-p, Luo C-l, Gao Y, Li F-b, Lin L-w, Wu C-a, et al. Arsenic contamination and potential health risk implications at an abandoned tungsten mine, southern China. *Environmental Pollution*. 2010;158(3):820-26.
- 14- Zhang C. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environmental Pollution*. 2006;142(3):501-11.
- 15- Tao S, Cao J, Li B, Xu F, Chen W. Distribution pattern of trace elements in soil from Shenzhen area. *Acta Pedologica Sinica*. 2001;38(2):248-55 (in Chinese).
- 16- Yang Z, Lu W, Long Y, Bao X, Yang Q. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2011;108(1):27-38.
- 17- Ljung K, Selinus O, Otabbong E. Metals in soils of children's urban environments in the small northern European city of Uppsala. *Science of the Total Environment*. 2006;366(2):749-59.
- 18- Ke-Lin H, Zhang F-R, Hong L, Huang F, Bao-Guo L. Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. *Pedosphere*. 2006;16(6):690-98.
- 19- Norra S, Lanka-Panditha M, Kramar U, Stüben D. Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany. *Applied Geochemistry*. 2006;21(12):2064-81.
- 20- De Miguel E, Iribarren I, Chacon E, Ordonez A, Charlesworth S. Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain). *Chemosphere*. 2007;66(3):505-13.
- 21- Sirbu-Radaşanu DS, Buzgar N, Kasper HU, Ionesi

V. Arsenic in topsoil of the city of Iasi (NE Romania). In: Lekkas TD, editors. Environmental science and technology. CEST 2011: Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology; 2011 Sep 8-10; Rhodes, Greece. New York: Curran Associates, Inc.; 2011. p. 1768-76.

## **Soil Contamination by Arsenic in Urban Areas: A case study of Arak City**

E. Solgi<sup>1\*</sup>, A. Esmaili-Sari<sup>2</sup>, A. Riyahi Bakhtiari<sup>2</sup>, M. Hadipour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

<sup>3</sup>Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Iran

Received: 13 July 2013; Accepted: 7 October 2013

### **ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Arsenic contamination is of great environmental concern due to its toxic effects as a carcinogen. In order to assess soil arsenic contamination and its distribution patterns, surface soil samples collected from the urban areas of Arak were analyzed.

**Materials and Methods:** Totally, 62 surface soil samples were collected from depth of 0–20 cm of different locations including parks, green spaces, agricultural, roadsides, and squares of Arak City. The spatial distribution of arsenic in soil was mapped using GIS and kriging method.

**Results:** The concentration of arsenic in the surface soil of Arak City was between 2.2- 10.8 mg/kg (average: 5.78 mg/kg). Spatial analysis showed that arsenic contamination enhances in the city center and there was an increasing trend from south to north. In addition, the mean arsenic concentration in the urban topsoil samples from Arak was lower compared with mean concentration for other cities around the world.

**Conclusion:** It seems that arsenic in soil is controlled by natural and anthropogenic factors. The highest concentrations of arsenic in center and the north areas reflected arsenic loading is originated from anthropogenic sources such as vehicles and industrial processes.

**Key Words:** Arsenic, Surface Soils, Urban Areas, Arak

---

\*Corresponding Author: [e.solgi@yahoo.com](mailto:e.solgi@yahoo.com), [e.solgi@yahoo.com](mailto:e.solgi@yahoo.com)  
Tel: +98 918 1500644, Fax: +98 851 3339844