

## بررسی میزان آلودگی جیوه در خاک شهرک‌های صنعتی اراک

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

<sup>۱</sup> دکتری آلودگی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس و استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر  
<sup>۲</sup> استاد گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس  
<sup>۳</sup> استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

**زمینه و هدف:** جیوه یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین می‌باشد که توسعه سریع صنعتی و استفاده‌های صنعتی از این فلز سبب تجمع آن در خاک می‌شود. این تحقیق با هدف تعیین مقادیر و درجه آلودگی جیوه در خاک سطحی سه شهرک صنعتی عمده واقع در شهر اراک صورت گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه سه شهرک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک شهرک‌های مورد مطالعه جمع‌آوری شدند. تعداد ۲۲ نمونه مرکب مورد آزمایش قرار گرفت.

میزان جیوه نمونه‌های خاک به کمک دستگاه Advanced Mercury Analyzer (AMA) مدل ۲۵۴ ساخت شرکت LECO آمریکا انجام شد.

**یافته‌ها:** در این مطالعه غلظت جیوه کل در خاک در محدوده ۶۸/۴۳ تا ۱۳۷/۰۳ میکروگرم بر کیلوگرم با میانگین ۱۰۲/۰۷ میکروگرم بر کیلوگرم تعیین شد. مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری بین شهرک ۲ با سایر شهرک‌ها نشان داد. همچنین ارتباط معنی‌داری بین جیوه و pH خاک یافت نشد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های پژوهش نشان داد که مقادیر جیوه کل در خاک در مقایسه با مقادیر پوسته زمین بالاتر بود اما در مقایسه با محدوده آن در خاک‌های جهان مقادیر کمی بالاتر است. هر چند غلظت این آلاینده در منطقه مورد مطالعه حاد نمی‌باشد ولی برنامه ریزی جهت کنترل انتشار این فلز و آلاینده‌های دیگر باید مورد توجه جدی قرار گیرد. همچنین کاربرد فن آوری سبز گیاه پالایی به عنوان روش جدید جهت رفع آلودگی خاک مورد استفاده قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** جیوه، خاک، شهرک صنعتی، شهر اراک

\*آدرس نویسنده مسئول:

ملایر-گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر-نمابر: ۰۸۵۱-۳۳۳۹۸۴۴-تلفن: ۰۸۵۱-۳۳۳۹۸۴۱

Email: e.solgi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۴

## مقدمه:

آلودگی صنعتی از علل عمده تخریب محیط زیست بوده و همچنان ادامه دارد. در حال حاضر مطالعات متعدد نشان می‌دهند که مناطق مجاور با فعالیت‌های صنعتی با آلودگی قابل توجه هوا، خاک و آب مواجه شده‌اند. از این رو، چنین فعالیت‌هایی در هوایی که ما تنفس می‌کنیم، آبی که استفاده می‌کنیم و خاکی که بر روی آن زندگی می‌کنیم تاثیر گذار است و در نهایت می‌تواند منجر به بیماری و یا آسیب به ساکنان منطقه شود [۱].

در میان مواد مختلف سمی منتشره توسط فعالیت‌های صنعتی، فلزات سنگین به عنوان شاخص کلیدی هستند که به طور موثر و مداوم در اکثر ماتریس‌های زیست محیطی تجزیه و تحلیل شده‌اند. بر خلاف آلاینده‌های آلی که ممکن است در نتیجه فرآیندهای بیولوژیکی یا شیمیایی به اجزای کمتر مضر تجزیه شوند، فلزات توسط فرآیندهای طبیعی و زیستی قابل تجزیه نیستند به ویژه هنگامی که فلز به صورت عنصری باشد [۲].

از جمله سمیترین این عناصر جیوه (Hg) است و می‌تواند سبب ایجاد اثرات کلیوی و عصبی در انسان و حیات وحش شود که به عنوان یک ماده سمی با اولویت در بسیاری از کشورها شناخته شده است [۳]. جیوه به اشکال عنصری (0) (Hg)، فلزی (Hg(II)) و آلی (Me Hg) در طبیعت یافت می‌شود. هرسه شکل جیوه سمی می‌باشد، ولی جیوه فلزی و آلی از سمیت بیشتری برای موجودات زنده برخوردار هستند [۴].

مقدار جیوه وارد شده به محیط زیست از زمان آغاز عصر صنعتی افزایش یافته است [۵]. آلودگی جیوه در درجه اول به دلیل فعالیت‌های انسانی است که ۶۰ تا ۹۰ درصد از کل جیوه منتشره ناشی از فعالیت‌های انسانی به دلیل فعالیت‌های صنعتی است [۶]. بین سالهای ۱۹۹۵ و ۱۹۹۹، انتشار جیوه از طریق فعالیت‌های انسانی در آسیا، از حدود ۳۰ درصد از کل انتشار جهانی تا ۵۶ درصد افزایش یافته است [۷]. بسیاری از صنایع در جهان در مناطق شهری واقع شده‌اند و بخش زیادی از جیوه از صنایع به صورت محلی رسوب می‌کند [۸]. بیشترین مقادیر جیوه در خاک مناطق صنعتی مشاهده شده است و حداقل ۲۰ برابر بیشتر از غلظت‌های زمینه بوده است [۹].

منابع انسانی انتشار جیوه به محیط از طریق محصولات فرعی فرآیندهای صنعتی مختلف، از جمله احتراق زغال سنگ، احتراق سوخت‌های فسیلی، لامپ بخار جیوه و تولید کلرآلکالی می‌باشد [۱۰]. منبع اصلی انتشار جیوه به اتمسفر احتراق

سوخت است. در نتیجه این فرایند، ۲۶ تن جیوه به اتمسفر در هر سال منتشر می‌شود. فرآیندهای احتراق زغال سنگ سخت و ذغال سنگ چوب نما مسئول رهاسازی ۴۴ درصد و ۱۸/۳ درصد از کل جیوه منتشر شده به اتمسفر هستند. منابع دیگر جیوه، مانند فرایند تولید سیمان و استفاده از لایمپهای فلورسنت، مسئول رهاسازی ۱۶/۶ و ۶/۴ درصد به ترتیب هستند [۱۱].

جیوه در درجه اول به آب و هوا منتشر می‌شود و در نهایت در خاک تجمع می‌یابد. جیوه به طور طبیعی در غلظت‌های بسیار کم در خاک وجود دارد. غلظت این عنصر در خاک‌های سراسر جهان در محدوده بین ۰/۰۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است [۱۲]. خاک به منزله بزرگترین مخزن جیوه در اکوسیستم‌های زمینی و مسیر اصلی آلودگی برای سیستم‌های آبرزی و زنجیره غذایی است [۱۳]. مطالعه Al-Khashman در سال ۲۰۰۴، به منظور بررسی توزیع فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانها و خاک کارگاه‌های شهرک صنعتی کاراک در اردن نشان داد که غلظت فلزات سنگین در خاک بیشتر در سطوح رویی خاک تجمع یافته و در بخش‌های پایینی خاک، روند کاهشی دارند. فعالیت‌های صنعتی و انسانی در کارگاه‌های شهرک منابع احتمالی تجمع فلزات سنگین (روی، مس، نیکل و سرب) در خاک بودند که سهم قابل توجهی از آن مربوط به منابع صنعتی در این شهرک بود [۱۴].

در تحقیقی که توسط Etim و Onianwa در سال ۲۰۱۳ انجام شد آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی اطراف شهرک صنعتی واقع در جنوب غربی نیجریه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که دفع نامناسب زباله‌های صنعتی منبع احتمالی آلودگی فلزی در این شهرک صنعتی و اطراف آن می‌باشد [۱۵]. احمدی پور و همکاران در سال ۲۰۱۳ مقادیر جیوه را در خاک و گیاه برنج در مزارع اطراف شهرک صنعتی آمل مطالعه کردند که البته با هدف بررسی جذب، تجمع و انتقال این فلز توسط گیاه برنج در شرایط طبیعی انجام شد. در این تحقیق مقادیر جیوه در خاک و این گیاه تعیین شد [۱۶]. Elbagermi و همکاران در سال ۲۰۱۳، پایش محتوای فلزات سنگین در خاک جمع‌آوری شده از مراکز شهر و مناطق صنعتی شهر مصراته در لیبی را انجام دادند. هدف از این مطالعه نشان دادن عوامل مؤثر بر سلامت انسان از طریق تجزیه تحلیل نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از مناطق صنعتی، مناطق غیر صنعتی و مناطق با ترافیک سنگین در مرکز شهر مصراته بود. بالاترین غلظت در نمونه‌های جمع‌آوری شده در جاده‌های شلوغ تشخیص داده شد، و روند کاهشی تدریجی در محتویات

متری خاک از سه شهرک صنعتی عمده و قطب صنعتی اراک جمع‌آوری شد. در هر موقعیت ۹ زیر نمونه جمع‌آوری شده و به طور کامل مخلوط شدند تا یک نمونه مرکب به دست آید. همچنین موقعیت هر نمونه توسط GPS ثبت شد.

### آنالیز خاک

خاکها در یک اتاق تمیز در آزمایشگاه، هوا خشک شده و سپس از یک غربال با مش ۲ میلیمتر رد شدند. نمونه‌های خاک هوا خشک شده، در هاون کاملاً خرد شدند و در مرحله بعدی با الک ۰/۱۴۹ میلی متری الک شدند. میزان جیوه نمونه‌های خاک به کمک دستگاه Analyzer Mercury Advanced AMA مدل ۲۵۴ بر طبق استاندارد ASTM شماره D-6722 انجام شد. این دستگاه ساخت شرکت LECO آمریکا است که به طور خاص برای اندازه‌گیری غلظت جیوه در نمونه‌های جامد و مایع طراحی شده است. در این سیستم نمونه‌ها برای آنالیز به تیمار یا آماده‌سازی خاص یا مواد شیمیایی نیاز ندارند. زمان لازم برای هر اندازه‌گیری تقریباً ۳۰۰ ثانیه (زمان خشک کردن ۶۰ ثانیه، زمان تجزیه ۲۰۰ ثانیه و زمان انتظار ۴۰ ثانیه) است. در مرحله اول تجزیه نمونه در حضور اکسیژن انجام می‌شود و در مرحله جمع‌آوری، جیوه موجود در نمونه در یک آمالگاتور جمع‌آوری و تا ۹۰۰ درجه گرم می‌شود. در مرحله آشکارسازی بخار جیوه در معرض طول موج ۲۵۳/۱ نانومتر قرار گرفته توسط دستگاه Quicksilver به نمایش در می‌آید. حد تشخیص این دستگاه ۱ میکروگرم بر کیلوگرم است. در این دستگاه از استانداردهای b1۶۳۳، ۲۷۰۹ و ۲۷۱۱ استفاده شد که درصد بازیابی بین ۹۴/۴۴ تا ۱۰۴/۲۵ بود. جهت اندازه‌گیری جیوه کل به مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه خاک توسط ترازوی دیجیتالی وزن شده و در ظرف نیکلی دستگاه قرار داده شد و سپس میزان غلظت جیوه توسط دستگاه تعیین شد.

### اندازه‌گیری pH خاک

pH خاک از طریق دستگاه pH متر با الکتروود (مدل Eutech 300) و به کارگیری مخلوط ۱:۵ خاک (۵ گرم خاک) و آب مقطر (۲۵ سی سی) اندازه‌گیری شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار SPSS ویرایش ۱۷/۵ انجام شد. قبل از هر آنالیز آماری ابتدا تابعیت داده‌ها از توزیع نرمال بررسی گردید. با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلکس

فلز با افزایش فاصله از جاده‌ها وجود داشت. همچنین، غلظت فلزات سنگین در منطقه صنعتی در مقایسه با منطقه غیر صنعتی بالاتر بود [۱۷]. در مطالعه Conko و همکاران در سال ۲۰۱۳ آلودگی عناصر آرسنیک و جیوه در خاکهای شهر صنعتی در حوضه دونتس اکرین بررسی شد. همه مقادیر به دست آمده در مقایسه با خاکهای منطقه بالاتر بودند. میانگین غلظت آرسنیک و جیوه در نمونه‌های به دست آمده از زمین بازی و فضاهای عمومی در ۱۲ کیلومتری از مرکز صنعتی به ترتیب  $64 \pm 38$  و  $9/4 \pm 12$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بود [۱۸].

مطالعه Boszke و همکاران در سال ۲۰۰۶ در رسوبات پایینی و خاک شهر پوزنان لهستان به منظور بررسی توزیع مکانی جیوه صورت گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که توزیع جیوه در نمونه‌های آب و رسوبات پایین جمع‌آوری شده از مکانهای مختلف در پوزنان، نسبتاً یکنواخت است. برخلاف رسوبات و آب غلظت جیوه در نمونه‌های خاک تغییرپذیری بیشتری داشت [۱۹].

با توجه به تحرک جیوه در محیط زیست و توانایی تجمع آن در زنجیره غذایی، آگاهی از وقوع جیوه در محیط‌های مختلف زیست محیطی برای درک و پیش بینی در معرض قرارگیری انسانی و ارزیابی خطر اکولوژیکی جیوه کاملاً ضروری است. هدف اصلی از این مطالعه ارزیابی آلودگی شهرک‌های صنعتی به جیوه و تعیین درجه آلودگی این عنصر در خاک شهرک‌های صنعتی بود. از جمله مناطق صنعتی در شهر اراک، شهرک‌های صنعتی سه راهی خمین، ایبک آباد و خیرآباد می‌باشند که به دلیل حضور صنایع و کارخانجات صنعتی مختلف، به عنوان هدف جهت تعیین پتانسیل آلودگی جیوه مورد تحقیق قرار گرفت.

### مواد و روشها:

#### منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه سه شهرک صنعتی عمده اراک به منظور بررسی آلودگی جیوه در خاک شهرک‌های صنعتی انتخاب شدند. این مناطق شامل شهرک صنعتی ۱، ۲ و ۳ بودند که با نامهای شهرک صنعتی سه راهی خمین، ایبک آباد و خیرآباد شناخته می‌شوند. همچنین از شهرک قطب صنعتی اراک هم ۲ نمونه جمع‌آوری شد.

#### نمونه برداری

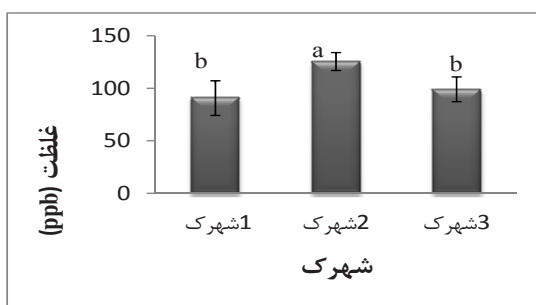
در این پژوهش مجموع ۲۲ نمونه مرکب از عمق ۰-۲۰ سانتی

در این مطالعه غلظت جیوه کل در خاک در محدوده ۶۸/۴۳ تا ۱۳۷/۰۳ میکرو گرم بر کیلوگرم با میانگین ۱۰۲/۰۷ میکرو گرم بر کیلوگرم بود. همچنین مقادیر pH در این خاکها از ۶/۶۵ تا ۹/۰۲ بود که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ - خلاصه نتایج آماری pH خاک در شهرک‌های صنعتی اراک

| تعداد نمونه | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
|-------------|-------|--------|---------|--------------|
| شهرک ۱      | ۶/۶۵  | ۹/۰۲   | ۷/۸۹    | ۰/۷۵         |
| شهرک ۲      | ۷/۷۹  | ۸/۳۱   | ۷/۹۹    | ۰/۲          |
| شهرک ۳      | ۷/۶۲  | ۸/۳۸   | ۸/۰۶    | ۰/۲۳         |
| قطب         | ۶/۹۵  | ۷/۹۷   | ۷/۴۶    | -            |
| مجموع       | ۶/۶۵  | ۹/۰۲   | ۷/۹۴    | ۰/۴۶         |

نتایج همبستگی پیرسون بین غلظت جیوه در خاک و pH هیچ گونه ارتباط معنی داری را نشان نداد. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه برای غلظت جیوه در شهرک‌های مختلف حاکی از اختلاف معنی دار بین شهرک‌های مختلف در سطح ۱٪ بود. همچنین نتایج به دست آمده از آزمون دانت نشان داد که شهرک صنعتی ۲ با دو شهرک دیگر اختلاف معنی داری دارد که این نتایج در شکل ۱ نشان داده شد است.



شکل ۱- مقایسه مقادیر غلظت جیوه در سه شهرک صنعتی

با استفاده از رابطه مذکور شاخص زمین انباشتگی برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۳ ارائه شده است. برای غلظت زمینه از متوسط جهانی پوسته زمین (۸۰ میکروگرم بر کیلوگرم) استفاده شد [۲۱].

جدول ۳ - نتایج مقادیر شاخص زمین انباشتگی در شهرک‌های صنعتی

| شهرک | حداقل | حداکثر | میانگین |
|------|-------|--------|---------|
| ۱    | -۰/۸۱ | -۰/۰۹  | -۰/۴۲   |
| ۲    | -۰/۰۶ | ۰/۱۹   | ۰/۰۶    |
| ۳    | -۰/۵۴ | -۰/۰۲  | -۰/۲۸   |
| کل   | -۰/۸۱ | ۰/۱۹   | -۰/۲۴   |

نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت با توجه به نرمال بودن داده‌ها هیچ گونه عمل تبدیل و تغییر شکل روی داده‌ها صورت نگرفت.

بنابراین از آزمونهای پارامتریک استفاده شد. برای مقایسه کلی غلظت جیوه در شهرکها از آنالیز واریانس (ANOVA) و برای مقایسه غلظت جیوه بین شهرکها با توجه به عدم همگنی واریانسها از آزمون دانت استفاده شد. همچنین برای بررسی همبستگی بین غلظت جیوه در خاک و pH با توجه به نرمال بودن داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل استفاده شد.

### محاسبه شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index) که توسط Muller معرفی شده است [۲۰]، شاخصی است که برای تعیین درجه آلایندگی خاک استفاده می‌شود و توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5B_n)$$

بر اساس این رابطه  $I_{geo}$  شاخص انباشتگی،  $B_n$  غلظت زمینه و  $C_n$  غلظت در رسوب و خاک می باشد.

فاکتور ۱/۵ برای به حداقل رساندن اثر تغییرات احتمالی در مقادیر زمینهای است که ممکن است مرتبط با تغییرات سنگ شناسی و مواد مادری در خاک و رسوبات باشد. این شاخص از کمتر از صفر یعنی غیر آلوده تا بیش از ۵ شدیداً آلوده خاک را به هفت طبقه تقسیم می نماید [۲۰].

### نتایج:

نتایج مربوط به غلظت جیوه در خاک شهرک‌های صنعتی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ - خلاصه نتایج آماری غلظت (میکرو گرم بر کیلوگرم) جیوه کل در خاک شهرکهای صنعتی اراک

| تعداد نمونه | حداقل  | حداکثر | میانگین | میان   | انحراف |
|-------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| شهرک ۱      | ۶۸/۴۳  | ۱۱۲/۴۵ | ۹۰/۶۹   | ۸۶/۳۶  | ۱۶/۴۹  |
| شهرک ۲      | ۱۱۴/۸۰ | ۱۳۷/۰۳ | ۱۲۵/۵۴  | ۱۲۴/۲۸ | ۸/۵۴   |
| شهرک ۳      | ۸۲/۰۱  | ۱۱۷/۹۱ | ۹۹/۰۸   | ۹۳/۲۸  | ۱۱/۷۸  |
| قطب         | ۸۰/۵   | ۸۸/۸۷  | ۸۴/۳۸   | -      | -      |
| مجموع       | ۶۸/۴۳  | ۱۳۷/۰۳ | ۱۰۲/۰۷  | ۱۰۲/۴۲ | ۱۸/۸۷  |

**بحث:**

ایجاد شهرک‌های صنعتی با هدف تقویت بخش‌های صنعتی و استفاده درست از منابع طبیعی و تولید محلی، تمرکز زدایی ناموزون صنایع و تراکم صنعتی در محدوده شهرها و همراهی توسعه صنعتی با حفظ محیط زیست صورت گرفته است. خروج صنایع آلاینده از شهرها و متمرکز شدن آنها در یک محل امکان کنترل بهتر آلودگی صنایع آلاینده را فراهم می‌سازد. از طرفی حضور این صنایع سبب آلودگی مناطق اطراف می‌شود. مقایسه مقادیر این عنصر در منطقه مورد مطالعه با مقادیر آن در پوسته زمین و میانگین جهانی آن در خاک‌ها نشان دهنده آن است که فعالیت‌هایی که تاکنون در این منطقه انجام شده است منجر به آلودگی منطقه نشده‌اند البته بعضی فعالیت‌ها ممکن است هنوز شروع نشده باشند و البته عوامل دیگر مانند خودپالایی خاک ممکن است تاثیرگذار باشند. در بین شهرک‌های مختلف شهرک صنعتی ۲ (ایک آباد) بیشترین مقادیر را داشت و با دو شهرک دیگر تفاوت معنی‌دار داشت که احتمالاً به علت حضور گروه‌های فعال مختلف صنایع شیمیایی، فلزی، کانی غیرفلزی، سلولزی و برق و الکترونیک در این شهرک صنعتی می‌باشد. زباله‌های صنعتی منبع عمده آلودگی خاک هستند و از صنایع معدنی، صنایع شیمیایی، صنایع فلزی و دیگر صنایع سرچشمه می‌گیرند. این زباله‌ها شامل انواعی از مواد شیمیایی مانند فلزات سنگین، فنل و غیره هستند [۲۲]. در تحقیقی که توسط ایتیم و آنینوا در سال ۲۰۱۳ انجام شد آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی مجاور شهرک صنعتی واقع در جنوب غربی نیجریه مورد مطالعه قرار گرفت نتایج حاکی از آن بود که دفع نامناسب زباله‌های صنعتی منبع احتمالی آلودگی فلزی در این شهرک صنعتی می‌باشد بنابراین آلودگی فلزات سنگین در شهرک با دفع سریع و مناسب مواد زائد جامد، و استفاده از اسکرابر ذرات در صنایع به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. مقادیر کم این عنصر می‌تواند نشان دهنده منشاء طبیعی آن باشد یا ناشی از فعالیت‌های صنعتی صنایع باشد. میانه غلظت جیوه در خاک این شهرکها تقریباً ۲/۵ برابر میانه جهانی غلظت جیوه در خاک است که منعکس کننده نقش صنایع در این مناطق است. از طرف دیگر این مقادیر به نسبت پایین جیوه و توزیع جیوه در افق سطحی خاک نشان می‌دهد که رسوب اتمسفری منبع اصلی آلودگی خاک است که حتی در شرایط عدم حضور صنایع سنگین، خاکهای شهرک‌های صنعتی افزایش قابل توجهی در غلظت جیوه را نشان می‌دهد. به طور کلی در این مطالعه محاسبه شاخص زمین انباشتگی

(Igeo) برای هر نمونه مقادیر بسیار کمی بود، که نشان دهنده آن است که خاکهای مورد مطالعه غیرآلوده ( $Igeo < 0$ ) و یا کمی آلوده ( $0 < Igeo < 1$ ) هستند. همچنین نتایج حاصل از شاخص زمین انباشتگی موید نتایج آماری بود و نشان داد که نمونه‌های خاک در شهرک ۱ و ۳ از نظر درجه آلودگی در رده خاکهای غیرآلوده قرار دارند حال آنکه نتایج برای شهرک ۲ بر اساس این شاخص خاکها را رده غیرآلوده تا متوسط نشان داد. در مطالعه حاضر غلظت جیوه کل در خاک در محدوده ۶۳/۶ تا ۱۳۷/۰۳ میکروگرم بر کیلوگرم با میانگین ۱۰۲/۰۷ میکروگرم بر کیلوگرم تعیین شد که در مقایسه با مطالعه احمدی پور و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۶] که متوسط مقادیر غلظت جیوه در خاک مزارع  $12 \pm 31$  میکروگرم گزارش شده، بالاتر بود. همچنین در مقایسه با مطالعه Boszke و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۱۹] در خاک شهر پوزنان لهستان که میانگین غلظت جیوه کل در خاک از مناطق شهری  $130 \pm 146$  نانوگرم بر گرم وزن خشک (محدوده ۱۷-۷۴۶ نانوگرم بر گرم) بود مقادیر مطالعه حاضر پایین‌تر است. مطالعه Conko و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۸] در اکراین نشان داد که میانگین غلظت جیوه در نمونه‌های به دست آمده از زمین بازی و فضاهای عمومی در ۱۲ کیلومتر از مرکز صنعتی  $9/4 \pm 12$  میلی گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با این تحقیق مقادیر به مراتب بالاتر است. در مجموع بررسی‌های شاخص زمین انباشتگی نشان داد که درجه آلودگی خاک توسط این عنصر در همه نمونه‌ها در حد خاکهای غیر آلوده تا متوسط است. در واقع در این موارد، که غلظت جیوه بالاتر از مقادیر پوسته زمین است نشان دهنده شروع خفیف آلودگی به دلیل استفاده از آن در فعالیت‌های مختلف صنعتی است. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند مبنایی برای مقایسه مقادیر غلظت جیوه در مطالعات آینده باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری غلظت این فلز سنگین در خاکهای اطراف منطقه و گیاهان نیز انجام شود زیرا با فعالیت کارگاه‌ها و صنایع مختلف آلودگی افزایش یافته و باعث آلودگی منطقه می‌شود. آلودگی خاک توسط فلزات سنگین قطعاً کیفیت گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد که در این زمینه ورود پسابهای صنعتی به ویژه پساب‌های تصفیه نشده مهم است.

**نتیجه‌گیری و پیشنهادات:**

مطالعه حاضر نشان داد که خاکها در محدوده شهرک‌های صنعتی به جیوه آلوده شده‌اند. بیشترین مقادیر در شهرک

صنعتی صورت می‌گیرد سبب تجمع فلزات سنگین در خاک شهرک صنعتی و مناطق مجاور می‌شود که حتی ممکن است مقادیر این آلاینده از حد مجاز نیز تجاوز کنند. در شهرک‌های صنعتی صنایع مختلفی وجود دارند که پتانسیل آلودگی خاک به فلزات سنگین را در اطراف این شهرک‌ها بالا می‌برند لذا باید با روش‌های مختلف سعی در کاهش فلزات در محیط داشت. روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی جهت رفع آلودگی فلزات سنگین در خاک به کار رفته است که عمدتاً روش‌های هزینه‌بری می‌باشند. اخیراً تکنولوژی سبز گیاه‌پالایی (Phytoremediation) به عنوان روش جدید جهت رفع آلودگی خاک مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش با استفاده از گیاهان طبیعی یا ترانسژنیک برای پالایش آلودگی زیست محیطی آلی و غیرآلی خاک، آب و هوا استفاده می‌شود با توجه به مزایای قابل توجه این تکنولوژی گیاه‌پالایی در یک دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به آلودگی خاک در شهرک‌های صنعتی، این روش برای کاهش آلودگی ناشی از شهرک‌های صنعتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شماره ۲ بود. با توجه به محاسبات انجام شده، مقادیر جیوه، در خاک شهرک صنعتی اراک، از مقدار زمینه و مقادیر میانگین جهانی بالاتر است که تأیید کننده نقش فعالیت‌های انسانی در آلوده ساختن این منطقه می‌باشد. همچنین بررسی‌های شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد که درجه آلودگی خاک توسط این عنصر در همه نمونه‌ها در حد خاک‌های غیر آلوده تا متوسط است. منبع آلودگی جیوه در خاک این منطقه بسیار متنوع است اما عمده‌ترین منبع این آلودگی در این شهرک، حضور صنایع و استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. بهتر است با انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه اطلاعات بیشتری در مورد غلظت این آلاینده در محیط زیست منطقه، منابع تولید کننده و الگوی پراکندگی آنها در اجزای مختلف محیط زیست و به خصوص در افرادی که به طور مستقیم تحت تاثیر قرار دارند را به دست آوریم هر چند غلظت این آلاینده در منطقه مورد مطالعه پایین بوده و در حال حاضر خطر جدی برای ساکنین منطقه ایجاد نمی‌کند. همچنین پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در مورد این آلاینده در هوای محیط کار کارگاه‌ها و خروجی‌های فاضلاب صورت گیرد تا تفاوت محیط زیست‌های گوناگون مورد بررسی قرار گیرد. فعالیت‌های متعددی که در شهرک‌های

## تشکر و قدردانی

نگارندگان این تحقیق از همکاری معاونت پژوهشی و آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## REFERENCES

1. De Bartolomeo A, Poletti L, Sanchini G, Sebastiani B, Morozzi G. Relationship Among Parameters of lake Polluted Sediments Evaluated by Multivariate Statistical Analysis. *Chemosphere* 2004; 55(10): 1323–29.
2. Amiard C, Amiard-Triquet C, M'eyer C. Experimental Study of Bioaccumulation, Toxicity, and Regulation of some Trace metals in Various Estuarine and Coastal Organisms, in Proceedings of the Symposium on Heavy Metals in Water Organisms. J. Salanki, Ed, Akademiai Kiado, Budapest, Hungary 1995: 313–24
3. Gaudet C, Lingard S, Cureton P, Keenleyside K, Smithe S, Raju G. Canadian environmental quality guidelines for mercury. *Water Air and Soil Pollution* 1995; 80: 1149–59.
4. Gochfeld M. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2003; 56: 174–79.
5. Mason RP, Fitzgerald WF, Morel FMM. The biochemical cycling of elementary mercury: Anthropogenic influences. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1994;58: 3191–98.
6. Nriagu JO. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature* 1989; 338: 47–49.
7. Pacyna EG, Pacyna JM. Global emissions of mercury from anthropogenic sources in 1995. *Water Air and Soil Pollution* 2001;137: 149– 65.

8. Landis M, Keeler G, Al-Wali K, Stevens R. Divalent inorganic reactive gaseous mercury emissions from a mercury cell chlor-alkali plant and its impact on near-field atmospheric dry deposition. *Atmospheric Environment* 2004; 38: 613–22.
9. Linde M, Bengtsson H, Öborn I. Concentrations and pools of heavy metals in urban soils in Stockholm, Sweden. *Water Air and Soil Pollution* 2001; 1: 83–101.
10. United Nations Environment Programme (UNEP). Global mercury assessment. United Nations Environment Programme Chemicals. Geneva, Switzerland, 2002; 254p.
11. Mniszek W. Emission of mercury to the atmosphere from industrial sources in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* 1996;41: 291.
12. Adriano DC. Trace Elements in the Terrestrial Environment. New York: Springer-Verlag 1986; 533p.
13. Gil C, Ramos-Miras J, Roca-Pérez L . Boluda R . Determination and assessment of mercury content in calcareous soils *Chemosphere* 2010;78: 409–15.
14. Al-Khashman OA. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment* 2004;38: 6803–12.
15. Etim EU, Onianwa PC .Heavy Metal Pollution of Topsoil in the Vicinity of an Industrial Estate Co-Located with a Housing Estate in Southwestern Nigeria. *Journal of Environmental Protection* 2013; 4: 91-98.
16. Ahmadipour F, Ghasempouri SM, Bahramifar N. Absorption of Mercury from Polluted Soil by Rice Plant (Case Study: Farms of Amol Industrial Suburban Area). *Water and Wastwater* 2013; 24(85):69-74. (In Persian)
17. Elbagermi MA, Edwards HGM, Alajtal AI. Monitoring of Heavy Metals Content in Soil Collected from City Centre and Industrial Areas of Misurata, Libya. *International Journal of Analytical Chemistry* 2013; 312581:1-6 .
18. Conko KM, Landa ER, Kolker A, Kozlov K, Gibb HJ, Centeno JA, et al. Arsenic and Mercury in the Soils of an Industrial City in the Donets Basin, Ukraine. *Soil and Sediment Contamination*, 2013;22:574–93.
19. Boszke L, Kowalski A. Spatial Distribution of Mercury in Bottom Sediments and Soils from Poznań, Poland. *Polish J. Environ. Stud* 2006; 15(2): 211-18.
20. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *J Geol.* 1969; 2: 108-18.
21. Taylor SR, McLennan SM . The geochemical evolution of the continental crust. *Rev Geophys* 1995;33:165–241.
22. Pandey A, Singh A, Garg P, Balaji Raja R. Biodetection of the mercury level in soil using Citrus limonium plant; a novel method to decrease heavy metal industrial contamination. *Annals of Biological Research* 2011; 2 (2):189-93.

## Evaluation of mercury contamination in soils of industrial estates of Arak city

Eisa Solgi<sup>1\*</sup>, Abbas Esmaili-Sari<sup>2</sup>, Alireza Riyahi Bakhtiari<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran

2. Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

**Background and Aims:** Mercury is generally considered one of the most toxic heavy metals that rapid industrial development and industry uses of mercury cause accumulation of mercury in soil. The purpose of this study was to investigate the concentration and degree of mercury pollution in topsoil of three major industrial estates of Arak city.

**Materials and Methods:** In this study three estates was investigated. Soil samples were collected from the depth of 0 to 20 cm . 22 samples were taken and analyzed. Mercury concentrations in soil samples were determined by Advanced Mercury Analyzer (Model; Leco, AMA 254).

**Results:** The mercury concentrations in soil samples range from 68.43 to 137.03  $\mu\text{g}/\text{kg}$  for soils, with a mean value of 102.07  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Means comparison showed significant difference among industrial town 2 with other industrial towns .Also there was no significant correlation between soil pH and Hg concentration.

**Conclusion:** The result of this research showed that: Compared to earth crust, surface soils in industrial towns had higher mercury concentrations, but compared to other soils around the world, it did not show high levels of mercury and it seems that most of the sources of mercury pollution are natural. Despite the concentration of total Hg in soils are not acute, however the planning for emission control of this metal and other pollutants, with application of green plants purification technology should be considered seriously.

**Key words:** Mercury, Soil, Industrial estate, Arak city

### \*Corresponding Author:

Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

**Tel:**+988513339841

**Email:** e.solgi@yahoo.com

**Received:** 21 Jul. 2013

**Accepted:** 15 Sep. 2013