Journal of Research in Environmental Health

Volume 5, Issue 1, Spring 2019

Investigation of Bioaccumulation of Heavy Metals Concentrations in Arak Metropolitan

Mina Taghizadeh
* Assistant Professor of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran. (Corresponding author): E-mail: m-taghizadeh@araku.ac.ir

Azadeh Kazemi
Assistant Professor of Environmental Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

Received: 2019/01/19
Accepted: 2019/06/09

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Using plants to monitor contamination is a suitable method. In this regard, biomonitoring is one of the inexpensive and easy ways to evaluate the quality of air and soil. Considering the problem of contamination of metals such as chromium, cadmium, nickel and lead in the industrial city of Arak, which is reported by researchers, it is likely that these pollutants will be highly absorbed by existing green space plants. Therefore in this study, the amount of heavy metals contamination in mulberry trees (Morus alba) was investigated in different site of Arak city during the months of May to June 2012.

Materials and Methods: The amount of 13 elements was measured in the fruit and leaf organs of the Morus alba var. pendula and Morus alba with three replications in the landscapes of Arak city. The map of distribution of heavy metals concentration in fruit and leaf separately in each individual case was carried out using Inverse Distance Weighted method in GIS environment.

Results: Based on the comparison of the limitations of metals in food products and the amount of metals found in fruits of berry trees in Arak areas, the berries were high and unauthorized due to contamination of aluminum (29 mg /l), cadmium (0.66 mg/l) and lead (1.3 mg/l). Metal pollution contamination mapping showed that the distribution of most metal contaminants is outside the industrial zone and there is more accumulation in the central regions. Probably, the dispersion of heavy metal particles from industrial sites has led to an increase in the concentration of metals in these areas.

Conclusion: Therefore, due to the contamination of the mulberry fruits to the heavy metals, there is a serious warning about the consumption of this fruit, especially in the city of Arak.

Keywords: Accumulation, Edible Fruit, Metal pollution, Mulberry.

▶ **Citation:** Taghizadeh M, Kazemi A. Investigation of Bioaccumulation of Heavy Metals Concentration in Arak Metropolitan. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2019;5 (1): 31-42.

بررسی پایش بیولوژیکی غلظت فلزات سنگین در کلان شهر اراک

مینا تقی‌زاده
* استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. (نویسنده مسئول):
پست الکترونیک:
m-taghizadeh@araku.ac.ir

آزاده کاظمی
استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از گیاهان جهت پایش آلودگی‌ها، روشی مناسب است و در همین راستا زیست‌ردیابی، یکی از راه‌های ارزان و ساده بررسی کیفیت هوا و خاک است. با توجه به مشکل آلودگی فلزاتی مانند کروم، کادمیم، نیکل و سرب در شهر صنعتی اراک که توسط محققان گزارش شده است، به احتمال زیاد جذب بالای این آلاینده‌ها توسط گیاهان فضای سبز موجود وجود خواهد داشت، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در اندام‌های درختان توت در مناطق مختلف شهر اراک انجام گرفت.
مواد و روش‌ها: میزان ۱۳ عنصر در اندام‌های میوه و برگ گونه‌های درختان توت مجنون و توت سفید کشت شده در فضاهای سبز سطح شهر اراک با سه تکرار اندازه‌گیری شد. نقشه توزیع میزان غلظت فلزات سنگین به تفکیک میوه و برگ در هر گونه جداگانه و با استفاده از روش درون‌یابی عکس فاصله در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دست آمد.
یافته‌ها: بر اساس مقایسه حد مجاز فلزات در محصولات خوراکی و میزان فلزات موجود در میوه درختان توت مناطق اراک مشاهده شد، میوه توت از جنبه آلودگی به فلزات آلومینیوم (۲۹ میلی‌گرم در لیتر)، کادمیوم (۰/۶۶ میلی‌گرم در لیتر) و سرب (۱/۳ میلی‌گرم در لیتر) بالا و در حد غیرمجاز بود. نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی‌های فلزی نشان داد که توزیع اغلب آلودگی‌های فلزی در خارج از محدوده مناطق صنعتی عمده است و تجمع بیشتر در مناطق مرکزی وجود داشت. احتمالاً پراکندگی ذرات دارای فلزات سنگین از طریق باد از محل کارخانجات صنعتی، دلیل افزایش غلظت فلزات در این مناطق بوده است.
نتیجه‌گیری: با توجه به آلودگی میوه‌های درختان توت به فلزات سنگین، هشدار جدی نسبت به مصرف خوراکی این میوه به‌ویژه در شهر اراک وجود دارد.

کلید واژه‌ها: آلودگی فلزی، انباشت، توت، میوه خوراکی

◀ **استناد:** تقی‌زاده م، کاظمی الف. بررسی پایش بیولوژیکی غلظت فلزات سنگین در کلان شهر اراک. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۸؛۵ (۱): ۳۱-۴۲

مقدمه

یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی، ماهیت داده‌های آنها است. اغلب ویژگی‌های محیطی دارای پراکنشی پیوسته در مکان بوده و از سوی دیگر نمونه‌برداری و اندازه‌گیری آنها در تمامی نقاط واقع در محدوده مطالعاتی غیرممکن است؛ بدین‌ترتیب جهت توصیف و نمایش تغییرات مکانی متغیرهای مورد نظر، مقادیر آنها را می‌توان در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند، با در نظر گرفتن اطلاعات موجود از محل‌های نمونه‌برداری شده برآورد نمود (۱). استفاده از گیاهان جهت پایش آلودگی‌ها، روشی مناسب و مؤثر می‌باشد (۲). در همین راستا زیست‌ردیابی، یکی از راه‌های ارزان و ساده بررسی کیفیت هوا است و به روندی گفته می‌شود که در آن از طریق موجودات زنده، یا اجزای تشکیل‌دهنده آنها می‌توان به اطلاعاتی کمی پیرامون کیفیت محیط دست یافت. فعالیت‌های صنعتی باعث ورود مقادیر فراوانی از عناصر سنگین به اتمسفر می‌شود و استفاده از پتانسیل زیست‌ردیابی گیاهان می‌تواند در ارزیابی آلودگی هوا با این فلزات راه‌گشا باشد (۳). گیاهان از راه‌های مختلف قادر به جذب انواع آلودگی‌های شناخته شده موجود در اتمسفر هستند (۴)؛ بدین‌صورت که این مواد هم می‌توانند به‌طور مستقیم از سطوح برگی و هم از طریق خاک جذب شوند. در واقع درختان موجود در شهرها در جذب آلودگی‌های هوا نقش یک فیلتر زیستی[1] را بازی می‌کنند. پایش بیولوژیکی به عنوان یکی از روش‌های راحت و ساده جهت بررسی میزان غلظت فلزات نادر موجود در اتمسفر شناخته شده است (۵). برگ‌های درختان دارای سطوح زیادی در واحد وزن بوده و لایه مومی سطح برگ، قابلیت جذب و نگهداری گردوغبار و ذرات معلق و ترکیبات آلی غیرفرار را دارد. همچنین برگ‌ها می‌توانند ذراتی با قطر کمتر از ۱۰ میکرون را جذب نموده و سپس به لایه اپیدرمی نفوذ داده و در مرحله بعد به ریشه‌ها انتقال بدهند. علاوه بر این درختان دارای پراکنش بالایی بوده و دسترسی به برگ‌های آنها راحت می‌باشد؛ از این رو نمونه‌گیری از برگ‌ها برای این کار مناسب به نظر می‌رسد، زیرا قادرند نقشه‌هایی با دقت بالا در زمینه آلودگی هوا ایجاد کنند (۲). انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای تمام اطلاعات وجود ندارد، اما همگی بر این باورند که وضعیت مکانی و زمانی، موقعیت جغرافیایی، طبیعت داده‌ها و همچنین دقت مورد نیاز پروژه، در انتخاب روش درون‌یابی نقش اساسی را ایفا می‌کند (۶). امروزه به‌منظور بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین از تکنیک‌های زمین آماری استفاده می‌شود (۷). سامانی مجد و همکاران به بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم پرداختند و دریافتند که بین میانگین سرب و کادمیوم در فاصله ۵۰ متری خیابان‌ها و مقادیر زمینه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و این اختلاف مربوط به تأثیر عوامل ترافیکی و حمل‌ونقل بر آلودگی خاک حاشیه خیابان‌هاست (۸). نتایج مطالعه شیخ مقدسی که به ارزیابی ژئواستاتیستیکی کادمیوم، نیکل و سرب در خاک‌های استان گیلان پرداخت، آلودگی نسبت به این عناصر در خاک‌های استان را نشان نداد (۹). در مطالعه خادم حقیقت که توزیع سرب در برگ‌های چنار مناطق مختلف تهران نسبت به مراکز تردد خودروها بررسی شد، نمونه‌برداری از میدان‌ها، خیابان‌های پر رفت‌وآمد و بزرگراه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد با افزایش ترافیک، مقدار سرب در برگ افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی غلظت سرب در برگ درخت چنار، در ارتفاعات مختلف از سطح خیابان با ترافیک‌های مختلف نشان داد که با زیاد شدن ارتفاع، مقدار سرب در تمام نمونه‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین گیاهانی که در ارتفاع کمتر از سطح زمین قرار دارند، در معرض آلودگی بیشتر به سرب هستند (۱۰). در پژوهشی دیگر نقشه آلودگی در ۱۷ ناحیه شهر تهران با کمک دو گونه چنار و توت کاکوزا انجام گرفت. این تحقیق بر روی نمونه‌های برگ دو گونه فوق جهت اندازه‌گیری دو فلز سنگین سرب و کادمیم متمرکز بود. از نظر جذب آلودگی سرب، نقشه‌های درختان چنار (ارتفاعات بالا)، مناطق نارمک و خاوران و در درختان توت (ارتفاعات پایین)، مناطق مصلی و خاوران، آلوده‌ترین مناطق و خاوران در هر دو ارتفاع از نظر سرب دارای آلودگی بالایی بود. از نظر جذب کادمیم، آلودگی مناطق ترمینال جنوب و خاوران بیشتر از سایر مناطق مطالعاتی شهر تهران بود. برحسب نتایج، میزان آلودگی

1. Biofilter

در ارتفاعات بالا و پایین مناطق مطالعاتی یکسان نبود (۵). مطالعه عطاآبادی و نجفی نشان داد که از گونه‌های سرو، زبان گنجشک و توت به‌عنوان شاخص زیستی مناسب فلزات سنگین هوازاد در نواحی خشک می‌توان استفاده نمود (۳). در مطالعه امینی و فرقانی که با هدف تعیین وضعیت آلودگی خاک و برگ درختان چنار به عنصر نیکل، تخمین و پهنه‌بندی نیکل در سطح شهر رشت با استفاده از روش زمین آمار انجام شد، ۳۳/۳٪ از داده‌های سرب خاک بالاتر از حد سمیت و در مورد سرب گیاه نیز اکثر داده‌ها به‌جز دو مورد، از حد سمیت تجاوز کرده بودند و همچنین مقادیر کادمیوم خاک پایین‌تر از حد سمیت بود. میانگین غلظت نیکل خاک و نیکل گیاه به ترتیب ۳۵/۵۹ و ۲/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نیکل خاک در تمام منطقه پایین‌تر از آستانه هشدار و سمیت نیکل بود و در مورد نیکل، اکثر گیاهان منطقه آلوده به نیکل نبوده و پایین‌تر از حد مجاز سمیت بودند. آلودگی سرب در بخش غربی منطقه بالاتر بود که می‌تواند از طریق آلودگی ناشی از ترافیک و منابعی که در مورد سرب خاک ذکر شد، جذب برگ‌ها شده باشد (۷). در مطالعه ملاشاهی و حسینی که جهت بررسی میزان آلودگی فلزات آلومینیوم، آرسنیک، آهن، کبالت، کروم و مس و پراکنش همگنی در سطح شهر تهران در گونه توت انجام شد، مقدار فلزات سنگین در هر یک از مناطق ۲۲گانه شهر تهران مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت نتایج نشان داد که بیشترین تمرکز انواع فلزات در قسمت‌های مرکزی، جنوب و جنوب شرق تهران است. همچنین در بین عناصر مختلف، آلومینیوم و آهن، بیشترین آلودگی را داشتند. عواملی همچون وضعیت توپوگرافی شهر تهران، عوامل اقلیمی مانند باد، افزایش جمعیت و خودروهای مورد استفاده و تمرکز زیاد مراکز صنعتی، همگی باعث تشدید وضعیت آلودگی در شهر تهران شده‌اند. همچنین بیشتر عناصر ذکر شده در وضعیت شدید آلودگی قرار دارند و غلظت‌های اندازه‌گیری در بیشتر موارد بالاتر از حد استاندارد بوده که می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت ساکنین شهر باشد (۱۱).

با توجه به مشکل آلودگی فلزاتی مانند کروم، کادمیم، نیکل و سرب در شهر صنعتی اراک که توسط محققان گزارش شده است، به احتمال زیاد جذب بالای این آلاینده‌ها توسط گیاهان فضای سبز موجود وجود خواهد داشت. باید توجه داشت گیاهانی که در معرض دود و گردوغبار قرار دارند، چنانچه در دسته درختان مثمر نیز باشند، میوه آنها در جذب رسوبات و ریزگردها نقش مهمی دارد. مصرف غذا به‌عنوان مهم‌ترین مسیر قرارگیری انسان در معرض فلزات سنگین شناخته شده است که از این طریق می‌تواند سلامت انسان را مورد تهدید قرار دهد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در اندام‌های برگ و میوه انواع درختان توت در مناطق مختلف شهر اراک با استفاده از آلودگی‌های نشست کرده انجام گرفت.

روش کار

شهر اراک بر روی مدار ۳۴ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه در نیم‌کره شمالی از خط استوا و روی نصف‌النهار ۴۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. میزان بارندگی در سال‌های مختلف متفاوت است و میان ۲۳۰–۶۳۸ میلی‌متر در سال می‌باشد که متوسط بارندگی حدود ۳۴۱ میلی‌متر بوده است. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دمارتین، نیمه‌خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌خشک و سرد بوده و میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مساحت اراک ۷۱۷۸/۹۸ کیلومتر مربع و هجدهمین شهر پرجمعیت ایران می‌باشد (۱۲).

جامعه آماری در این پژوهش، گونه‌های درخت توت مجنون[1] و توت سفید[2] کشت شده در فضاهای سبز سطح شهر اراک بودند. در این تحقیق ۱۳ منطقه بر اساس شبکه‌بندی شهر اراک انتخاب شد. در هر نقطه، نمونه‌گیری ابتدا با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)[3]، مختصات جغرافیایی نقطه مورد نظر ثبت شده (جدول ۱) و سپس اقدام به نمونه‌گیری در طی ماه‌های اردیبهشت تا خرداد سال ۱۳۹۶ گردید. از هر ژنوتیپ سه تکرار در هر منطقه انتخاب و از هر تکرار ۱۰ برگ و ۱۰ عدد میوه از درختان تقریباً هم‌سن و هم‌اندازه و از

1. Morus alba var. pendula
2. Morus alba
3. Global Positioning System

تمام قسمت‌های تاج پوشش برداشت شد. جهت اطمینان از هم‌سن بودن برگ‌ها، برگ‌هایی با طول ۱۰-۱۵ سانتی‌متر جمع‌آوری می‌شد. تمامی برگ‌های برداشت شده جداگانه در ظرف‌های نمونه‌گیری با حداقل دست زدن نگهداری شده و به آزمایشگاه منتقل شد. در شکل ۱-a موقعیت نقاط نمونه‌برداری نشان داده شده است.

تمام نمونه اندام‌ها با قرارگیری در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و آسیاب شدند و پس از هضم تر نمونه‌ها با استفاده از اسیدنیتریک غلیظ و آب اکسیژنه (۱۳، ۱۴)، میزان ۱۳ عنصر آلومینیوم، کروم، کبالت، نیکل، مس، روی، آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، وانادیوم، منگنز و مولیبدن در اندام‌های میوه و برگ درخت توت مجنون و سفید توسط دستگاه جذب اسپکترومتری نشری پلاسمای جفت‌شونده القایی[1] با طول موج ۲۲۸/۸۰۲ نانومتر اندازه‌گیری و غلظت آنها بر حسب قسمت در میلیون محاسبه و ثبت گردید. در نهایت اعداد به‌دست آمده با توجه به میزان فلزات سنگین بر مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در سطح شهر اراک در نرم‌افزار اکسل جدول‌بندی شدند، سپس نقشه توزیع میزان غلظت فلزات سنگین به تفکیک میوه و برگ در هر گونه جداگانه و پس از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی، با استفاده از روش درون‌یابی عکس فاصله (IDW)[2] در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[3] بر اساس فرمول ۱ به‌دست آمد. در این روش به نقاط دارای داده، وزن داده می‌شود که این وزن بر اساس فاصله بین نقاط می‌باشد. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود؛ به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر، اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر، وزن‌ها را به‌طور یکنواخی بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. به نقاط دارای فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین، وزن یکسان داده می‌شود و موقعیت و آرایش آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود.

$$\lambda_1 = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-a}} \qquad \text{فرمول (۱)}$$

(λ_1= وزن‌های روش IDW، DI= فاصله بین نقاط، A= توان وزن‌دهی، N= تعداد نقاط همسایگی)

با استفاده از نقشه مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و نرم‌افزارهای گوگل ارس[4] و آرک جیس[5]، نقشه مناطق صنعتی شهر اراک، ترسیم گردید (شکل ۱-b). نقشه گلباد نیز با استفاده از داده‌های باد مستخرج شده از اداره کل هواشناسی استان بر اساس فراوانی و سرعت باد در جهت‌های مختلف هشت گانه از یکدیگر تفکیک و در مرحله بعد، مقادیر فراوانی به درصد وقوع تبدیل و بر مبنای آن با استفاده از نرم‌افزار ورپلات[6] (نسخه ۳/۵) ترسیم گردید (شکل ۱-c). این پژوهش در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی و پس از اطمینان صحت از توزیع نرمال داده‌ها، داده‌های به‌دست آمده از میزان عناصر تجمع یافته به ازای گرم ماده خشک با استفاده از نرم‌افزار سس[7] و آزمون دانکن به منظور بررسی مقایسه میانگین‌ها، مورد آنالیز قرار گرفت.

جدول ۱. محل‌های نمونه‌برداری و موقعیت جغرافیایی آنها در سطح شهر اراک

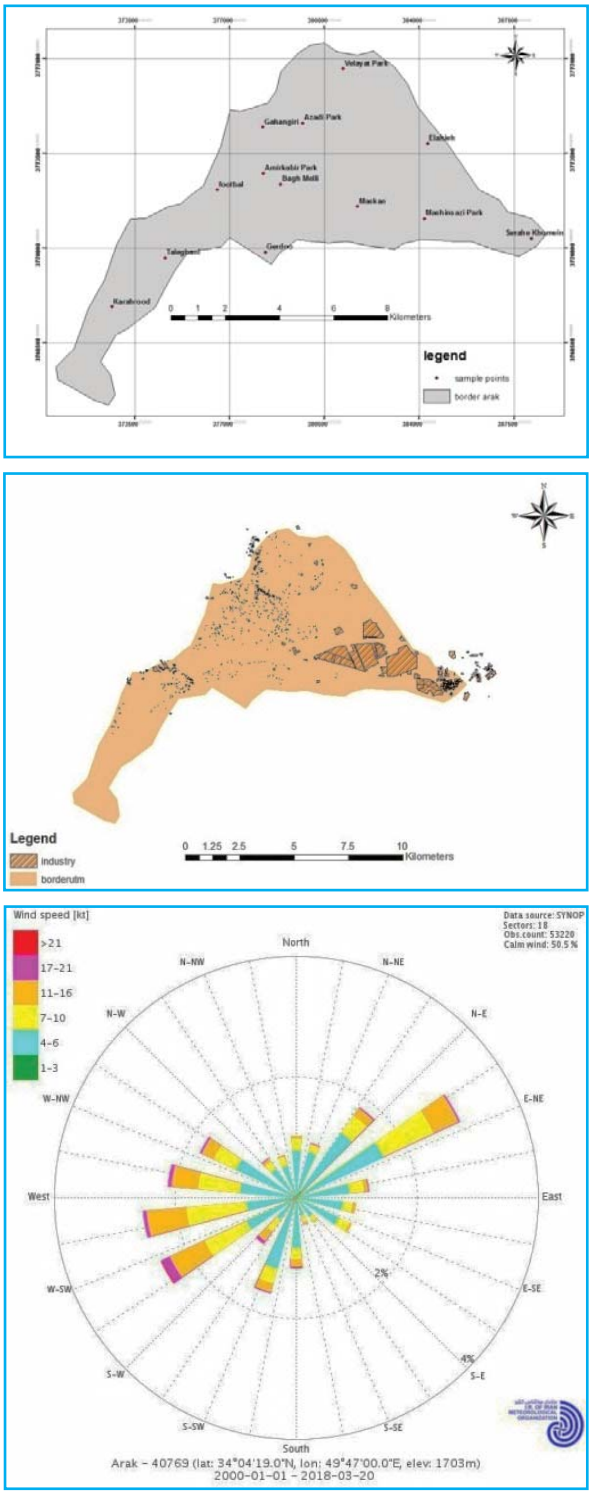
شماره مناطق	نام محل نمونه‌برداری*	x	y
۱	پارک امیرکبیر	۳۷۸۲۴۳/۹	۳۷۷۲۷۵۶
۲	گردو	۳۷۷۸۲۱	۳۷۷۰۹۱۰
۳	فوتبال	۳۷۷۰۵۹/۸	۳۷۷۲۷۴۵
۴	طالقانی	۳۷۵۰۴۵/۷	۳۷۷۱۴۴۳
۵	کرهرود	۳۷۳۴۸۷/۳	۳۷۶۹۲۴۲
۶	جهانگیری	۳۷۸۲۲۶/۸	۳۷۷۴۴۵۳
۷	پارک ولایت	۳۸۰۴۱۶/۴	۳۷۷۶۵۰۶
۸	پارک آزادی	۳۷۹۶۹۴/۸	۳۷۷۴۶۰۴
۹	الهیه	۳۸۲۷۷۶/۹	۳۷۷۳۲۹۴
۱۰	باغ ملی	۳۷۸۸۶۷/۱	۳۷۷۲۳۴۵
۱۱	مسکن	۳۸۱۷۲/۳	۳۷۷۱۵۲۷
۱۲	پارک ماشین‌سازی	۳۸۴۱۸۳/۴	۳۷۷۱۰۹۲
۱۳	سه راه خمین	۳۸۷۱۲۳/۳	۳۷۷۰۷۵۷

* مناطق ۱۱، ۱۲ و ۱۳ را می‌توان جزء منطقه صنعتی محسوب کرد.

1. ICP-MS
2. Inverse Distance Weighted
3. Geographic Information System
4. Google earth
5. Arcgis
6. WrPlot
7. SAS

یافته‌ها

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تفاوت معنی‌داری بین گونه توت سفید و توت مجنون از نظر انباشت فلزات آلومینیوم، کروم، روی، جیوه و سرب وجود داشت. همچنین اندام برگ و میوه نیز در این درختان فقط در انباشت فلزات آلومینیوم، آرسنیک و کادمیوم تفاوت معنی‌داری نداشتند و در سایر فلزات تفاوت معنی‌دار بود. تنوع زیادی بر اساس منطقه در میزان انباشت فلزات مشاهده شد و اثر مناطق مورد مطالعه در میزان انباشت فلزات، تفاوت معنی‌داری را در سطح ۱٪ در همه فلزات نشان داد (جدول ۲). رتبه انباشت فلزات در درختان توت مناطق مختلف بر اساس ترتیب Al>Mn>Zn>Cu>Pb>Ni>As>Cd>Mo>Co>Cr>V>Hg بود. میانگین غلظت این فلزات در کل مناطق و در اندام‌های درختان توت شامل؛ آلومینیوم (۱۱±۲۹ میلی‌گرم در لیتر)، کروم (۰/۰۳±۰/۰۴ میلی‌گرم در لیتر)، کبالت (۰/۰۱±۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر)، نیکل (۰/۳ ±۰/۶ میلی‌گرم در لیتر)، مس (۰/۹±۱/۸ میلی‌گرم در لیتر)، روی (۳/۵±۷/۲ میلی‌گرم در لیتر)، آرسنیک (۰/۰۷±۰/۷۱ میلی‌گرم در لیتر)، کادمیوم (۰/۱±۰/۶۶ میلی‌گرم در لیتر)، جیوه (۰/۰۱±۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر)، سرب (۰/۲±۱/۳ میلی‌گرم در لیتر)، وانادیوم (۰/۰۱±۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر)، منگنز (۵/۴±۶/۲ میلی‌گرم در لیتر) و مولیبدن (۰/۱±۰/۱۲ میلی‌گرم در لیتر) بود (شکل ۲). بر اساس شکل ۲، از جنبه کل آلودگی‌های فلزی، مناطق را به چهار دسته می‌توان تقسیم نمود: ۱- مناطق شدیداً آلوده (پارک امیرکبیر و گردو) ۲- مناطق نسبتاً آلوده (مسکن) ۳- مناطق آلوده (جهانگیری، طالقانی، پارک ولایت، باغ ملی و پارک ماشین‌سازی) و ۴- مناطق نسبتاً پاک (فوتبال، کرهرود، پارک آزادی، الهیه و سه راه خمین). میزان انباشت فلز آلومینیوم در اندام‌های درختان توت، ۴/۷ برابر بیشتر از روی، ۵ برابر بیشتر از منگنز، ۱۸/۲ برابر بیشتر از مس، ۲۳/۱۴ برابر بیشتر از سرب و ۴۰-۲۸۱ برابر بیشتر از سایر فلزات برآورد شد (شکل ۲). نتایج حاصل از آنالیز آزمایشگاهی فلزات سنگین در میوه و برگ دو گونه توت سفید و



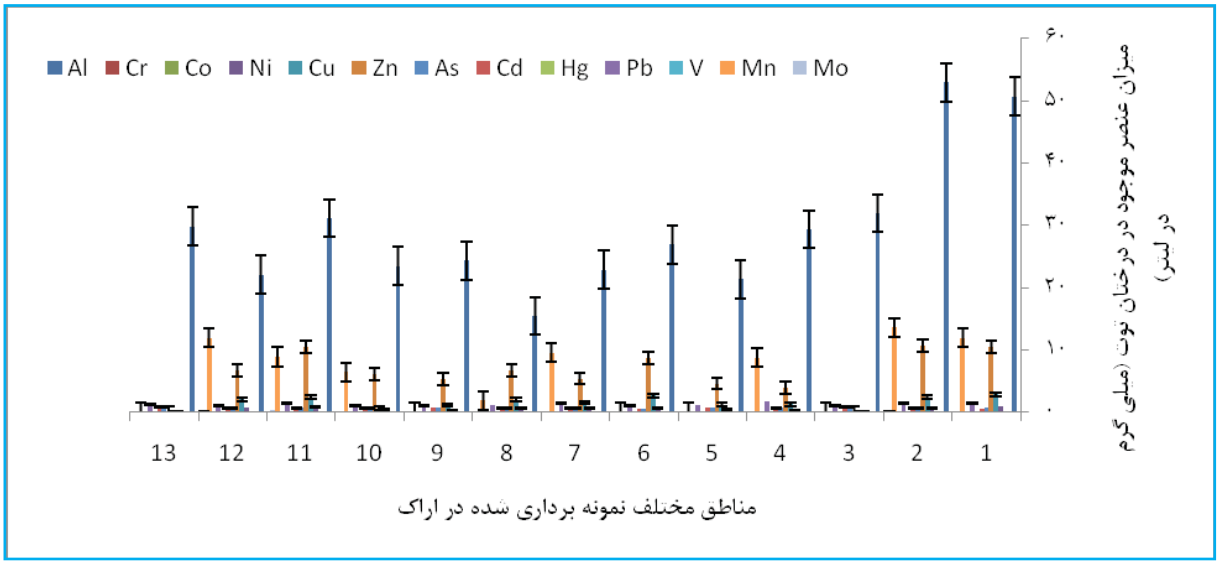
شکل ۱. نمونه‌گیری نقاط به روش سیستماتیک تصادفی (a)، پراکنش مناطق صنعتی در سطح شهر اراک (b) و نقشه گلباد در منطقه مورد بررسی شهر اراک (c)

توت مجنون پس از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی، برای هر عنصر در نمونه برگ و میوه توت سفید و توت مجنون بررسی شد. با توجه به تعدد نقشه‌های پهنه‌بندی در مورد ۱۳ عنصر با دو گونه و دو نوع اندام، تنها به چگونگی پراکنش آلودگی فلزهای آلومینیوم، کادمیوم و سرب (به‌دلیل میزان بیش از حد مجاز) در شهر اراک بر اساس تجمع در اندام‌های توت سفید و مجنون پرداخته می‌شود. میزان انباشت فلز آلومینیوم در ۱۳ منطقه مختلف اراک در اندام‌های دو گونه توت سفید و مجنون تقریباً مشابه بود و درختان مناطق مرکزی و غربی آلودگی بیشتری داشتند (شکل ۳). در مناطق مختلف در دو گونه درخت توت، فقط از جنبه برگ میزان انباشت سرب هم‌پوشانی داشتند و در میوه، میزان انباشت متنوعی نشان داد. درختان توت مناطق شمال، مرکزی و غربی از جنبه فلز سرب آلودگی سرب بیشتری نسبت به سایر مناطق داشتند (شکل ۴). از نظر فلز کادمیوم، اکثر درختان توت مناطق مختلف اراک به‌ویژه در گونه توت سفید آلوده بودند. درختان توت مناطق محدودی از شرق شهر اراک نسبت به این فلز پاک محسوب شدند (شکل ۵).

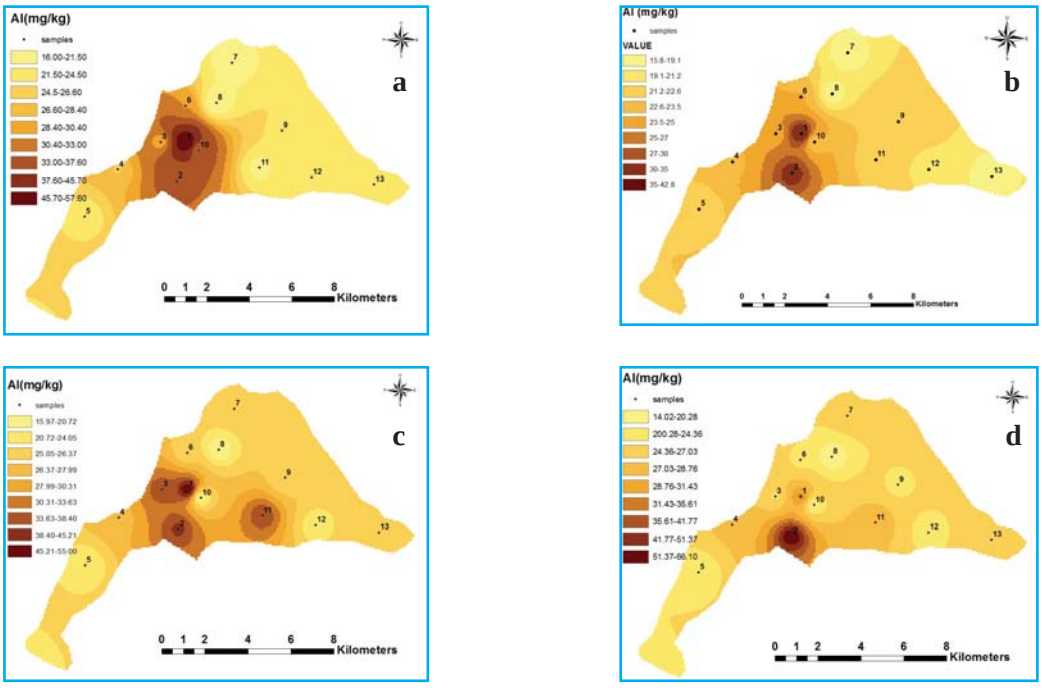
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر جنس توت، نوع اندام و منطقه بر میزان انباشت فلزات

		میانگین مربعات (MS)												
منابع تغییرات	درجه آزادی	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb	V	Mn	Mo
منطقه	۱۳	۱۲۶۷/۲**	۰/۰۲**	۰/۰۰۵**	۱/۲۵**	۱۹/۶**	۳۲۴/۴**	۰/۲۳**	۰/۴۲**	۰/۰۰۱**	۰/۶۱*	۰/۰۰۴**	۳۸۴/۲۸**	۰/۱۶**
جنس	۱	۷۸۸/۸**	۰/۰۰۴**	۰ ns	۰/۲۵ ns	۰/۰۰۲ ns	۵۱/۴*	۰/۱۹ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۰۲*	۱۱/۲۲**	۰ ns	۲۷/۴۲ ns	۰/۰۰۳ ns
اندام	۱	۰/۲۸ ns	۰/۰۳**	۰/۰۰۴**	۳/۳۳**	۸/۰۳ **	۱۲۷/۸**	۰/۰۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱**	۱/۵۱*	۰/۰۰۲**	۲۰۷/۶۷**	۰/۰۷**
جنس × منطقه	۱۳	۳۱۴/۷**	۰/۰۳**	۰/۰۰۱**	۰/۷۹**	۵/۶۶**	۱۱۳/۱**	۰/۱۳**	۰/۱۴**	۰/۰۰۰۳**	۱/۱۴**	۰/۰۱**	۵۲۴/۱۳**	۰/۲۹**
منطقه × اندام	۱۳	۴۸/۹ ns	۰/۰۲**	۰/۰۰۷**	۲/۸**	۲۸/۲**	۴۵۱/۳**	۰/۳۱**	۰/۴۲**	۰/۰۰۱**	۰/۴ ns	۰/۰۱۴**	۷۷۲/۷۶**	۰/۳۴**
اندام × جنس	۱	۲۷۵/۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۷ ns	۲/۴۵*	۳۳/۲ ns	۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۹۹ ns	۰/۰۱۷**	۵۸۲/۳۸**	۰/۱۸**
جنس × اندام × منطقه	۱۳	۴۱/۵ **	۰/۰۳**	۰/۰۰۸**	۲/۲**	۱۸/۳**	۲۹۴/۴**	۰/۱۶**	۰/۲۸**	۰/۰۰۱**	۰/۶ ns	۰/۰۰۹**	۴۸۱/۵۸**	۰/۲۸**
خطا	۱۰۸	۳۹۰۱/۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶	۶۱/۲	۱۰/۷	۰/۰۳	۰/۰۵	۰	۰/۳۳	۰	۱۹/۹	۰/۰۰۷

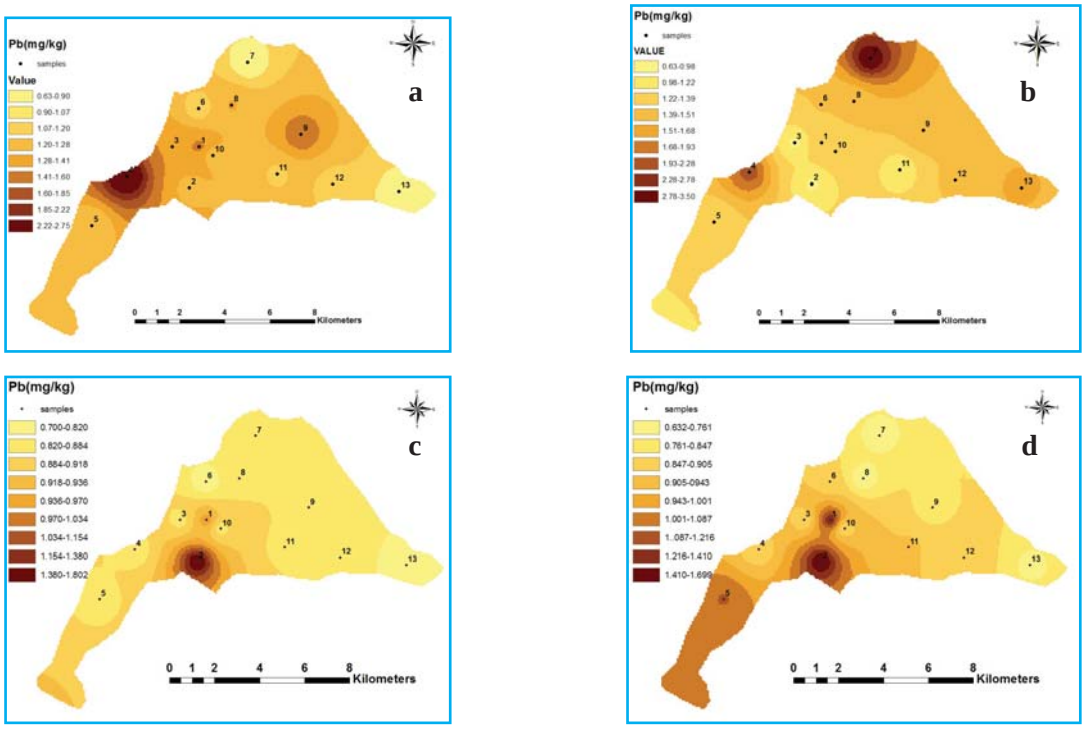
** معنی‌داری در سطح ۱٪ *معنی‌داری در سطح ۵٪، ns: عدم معنی‌داری در سطح آماری ۱٪ و ۵٪.



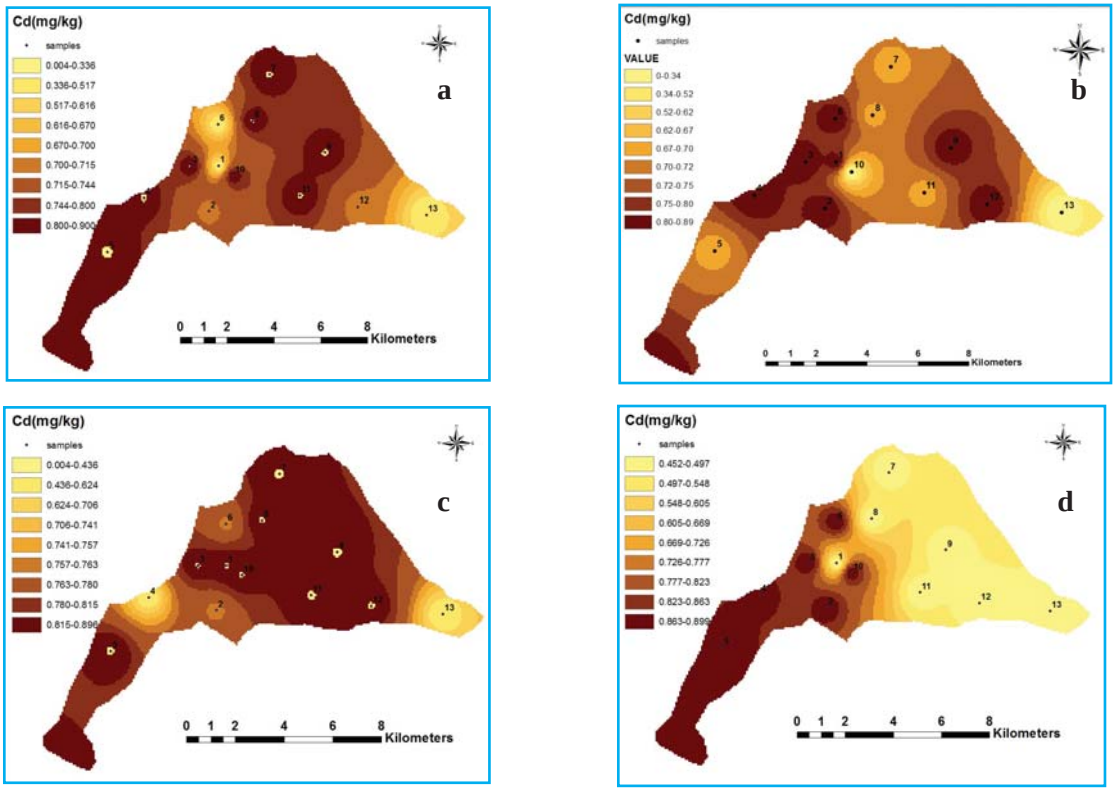
شکل ۲. میزان انباشت ۱۳ عنصر در درختان توت در مناطق مختلف شهر اراک



شکل۳. نقشه پهنه‌بندی انباشت آلومینیوم درنمونه برگ (a) و میوه (b) گونه توت سفید و برگ (c) و میوه (d) گونه توت مجنون



شکل۴. نقشه پهنه‌بندی انباشت سرب در نمونه برگ (a) و میوه (b) گونه توت سفید و برگ (c) و میوه (d) گونه توت مجنون



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی انباشت کادمیوم درنمونه برگ (a) و میوه (b) گونه توت سفید و برگ (c) و میوه (d) گونه توت مجنون

بحث

بر اساس مقایسه حد مجاز فلزات در محصولات خوراکی‌هایی مانند میوه‌ها و سبزیجات و میزان فلزات موجود در میوه درختان توت مناطق شهر اراک، می‌توان اظهار نظر کرد که میوه توت از جنبه فلزات کروم، مس، روی و جیوه دارای حد مجاز بودند، ولی آلودگی این میوه خوراکی به فلزات کبالت، نیکل و آرسنیک در حد کم و آلودگی به فلزات آلومینیوم، کادمیوم و سرب بالا و در حد غیرمجاز بود. بر اساس نتایج این پژوهش، آلودگی آلومینیوم در درختان توت تمامی مناطق اراک وجود داشت. عامل مهم آلایندگی اراک به آلومینیوم، کارخانه آلومینیم ایران (ایرالکو) در شمال شرق اراک می‌باشد. هرچند پژوهش‌های بسیار معدودی در زمینه آلایندگی آلومینیوم در اراک و سایر شهرها انجام گرفته است، ولی امینی و همکاران، اثر نامطلوب آلودگی آلومینیوم را بر صفات آناتومی درختان در محدوده منطقه کارخانه ایرالکو اراک گزارش کردند (۱۵). همچنین سالاری و همکاران، میزان آلومینیوم گیاهان منطقه صنعتی شهر کرمان را بیشتر از شاهد و حد مجاز گزارش کردند (۱۶). پهنه‌بندی آلودگی مناطق ۲۲گانه تهران با استفاده از درخت توت نیز آلودگی زیاد آلومینیم را در مناطق مرکزی و شرقی تهران نشان داد (۱۷). مسیر انباشت آلودگی‌های فلزی از طریق آب و خاک و یا از طریق اتمسفر است. با توجه به غالب بودن پدیده ریزگردها در سال مورد مطالعه در شهر اراک، ممکن است یکی از منابع آلاینده‌های فلزی، نشر و رسوب ریزگردها بر میوه‌های درختان توت بوده است. با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی‌های فلزی با استفاده از اندام‌های برگ و میوه درختان توت (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و نقشه کارخانه‌های صنعتی در سطح شهر اراک (شکل ۱- b)، آشکار می‌شود که توزیع اغلب آلودگی‌های فلزی در خارج از محدوده مناطق صنعتی عمده است و تجمع بیشتر در مناطق مرکزی شهر مانند گردو، پارک امیرکبیر و باغ ملی وجود دارد. بر اساس جهت باد غالب (شکل ۱-c) در شهر اراک (شمال

شرقی، غرب و شمال غربی)، احتمالاً پراکندگی ذرات دارای فلزات سنگین از طریق باد از محل کارخانجات صنعتی اراک، دلیل افزایش غلظت فلزات در مناطق گردو، پارک امیرکبیر و باغ ملی بوده است. این فلزات ممکن است از طریق جذب ذرات غبار، به‌راحتی از طریق جریان هوا جابجا و در سطح شهر پراکنده شوند و پیامد آن، آلودگی شهرها به این عناصر خطرناک است؛ به‌گونه‌ای مشابه فصیحی و همکاران، انتشار آلاینده‌هایی مانند هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین را به‌وسیله باد غالب از مجتمع‌های پالایش نفت به باقرشهر تهران گزارش کردند (۱۸). درختان توت در مناطق پارک امیرکبیر، گردو، مسکن و سه‌راه خمین، بیشترین تجمع فلزات را داشتند، ولی برعکس منطقه فوتبال در دسته مناطق پاک از جنبه انباشت فلزات قرار گرفت. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش، اختلافی بین مناطق مختلف از نظر تجمع آلودگی‌های فلزی در میوه و برگ درختان توت سفید و توت مجنون وجود داشت، ولی می‌توان اظهار نظر کرد که در کانون‌هایی در غرب، شرق و مرکز شهر اراک (باغ ملی، گردو و رودکی)، بیشترین تجمع فلزی (به‌ویژه فلزات آلومینیوم، سرب، جیوه، کادمیوم، آرسنیک، نیکل و روی) در درختان توت وجود داشت. برعکس مناطق قرار گرفته در شمال و شمال شرق نسبتاً از جنبه تجمع آلودگی‌های فلزی در درختات توت پاک بودند. با وجود دور بودن منابع عمده انتشار دهنده آلاینده مانند کارخانجات صنعتی از کانون‌های آلاینده، احتمالاً وزش باد غالب به این سمت، موجب تجمع در این مناطق شده است. همچنین وجود کوه‌های احاطه کننده در مناطق رودکی و گردو، این امر را تشدید نموده است. مناطق باغ ملی و رودکی، جزء مکان‌های پرتردد و پرجمعیت شهر اراک است و این دلیل می‌تواند آلودگی‌های فلزی را در این محله‌ها تشدید نماید؛ به‌گونه‌ای مشابه با نتایج این آزمایش، سایر محققان وجود مناطق صنعتی در اطراف شهرها و وزش باد را عاملی برای تجمع آلودگی‌های فلزی در گیاهان و درختان سطح شهر گزارش کردند (۲۲-۱۶). البته باید متذکر شد این نتیجه صرفاً بر اساس بررسی انباشت آلودگی‌های فلزی در درختان توت سطح شهر اراک بوده است، بنابراین امکان وجود سایر فلزات آلاینده در منابع خاکی، آبی و یا اتمسفری وجود دارد که درختان توت سفید و مجنون قادر به جذب و یا پایش آنها نبوده است، حتی احتمال این وجود دارد عناصری که در میوه توت در حد سمی نبودند، درخت توت بر اساس یک‌سری سازوکارهای زیستی از انباشت آنها اجتناب کرده است.

نتیجه‌گیری

هرچند گونه‌های درختی سریع‌الرشد می‌توانند برای تیمار آلودگی‌های فلزات سنگین مناسب باشند و در این بین درختانی مانند توت به دلیل داشتن پهنک وسیع، قادر به جذب گردوغبار می‌باشند، ولی به‌واسطه اینکه میوه توت بدون پوست می‌باشد، نسبت به جذب رسوبات و ریزگردها مستعدتر است و با مصرف آن توسط همشهریان به‌ویژه کودکان، احتمال مسمومیت و خطر برای سلامتی وجود خواهد داشت. با مقایسه میانگین میزان انباشت فلزات مورد مطالعه در این پژوهش با حد مجاز استاندارد ملی ایران، استاندارد جهانی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)[1]، سازمان جهانی بهداشت (WHO)[2] و سایر استانداردهای سازمان‌های غذا و بهداشت کشورها (۲۷-۲۳)، میوه‌های درختان توت شهر اراک آلودگی به فلزات نیکل، آرسنیک (تا حدودی)، آلومینیوم، کادمیوم و سرب داشتند. این میزان آلودگی در مورد فلز آلومینیوم ۳-۶ برابر، کادمیوم ۳-۶ برابر و سرب ۴ برابر حد مجاز بود (جدول ۳). با توجه به آلودگی میوه‌های درختان توت به این فلزات سنگین، هشدار جدی نسبت به مصرف خوراکی این میوه به‌ویژه در سطح شهر اراک وجود دارد.

جدول ۳. مقایسه غلظت فلزات (میلی‌گرم در لیتر) در درخت توت و حد مجاز فلزات بر اساس استانداردهای جهانی

منبع	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb	V	Mn	Mo
نمونه‌های پژوهش حاضر	۲۹	۰/۰۴۶	۰/۰۳	۰/۷	۲	۸/۲	۰/۷	۰/۶	۰/۰۰۸	۱/۲	۰/۰۳۹	۴/۷	۰/۰۷۸
استانداردهای جهانی (۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵)	۵-۱۰	۲/۳	۰/۰۱	۰/۶-۰/۲	۲۰	۱۰۰	۰/۷-۰/۱	۰/۲-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۲	۰/۳	۰/۱	۵۰۰	۴۰

1. Food and Agriculture Organization
2. World Health Organization

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۹۶/۲۳۵۵ مصوب در تاریخ ۹۶/۳/۳۱ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه اراک انجام گرفت. بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه اراک تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Wilding L, Bouma J, Goss DW. Impact of spatial variability on interpretive modeling. Quantitative modeling of soil forming processes. 1994 (quantitativemod):61-75.
2. Hu S, Duan X, Shen M, Blaha U, Roesler W, Yan H, et al. Magnetic response to atmospheric heavy metal pollution recorded by dust-loaded leaves in Shougang industrial area, western Beijing. Chinese Science Bulletin. 2008;53(10):1555-64.
3. Ata Abadi M HM, Najafi P. Biomonitoring of Heavy Metals by Growth Plants in Mobarakeh Steel Industrial Zone, Isfahan.. Journal of Environmental Studies thirty-fifth year. 2009;35(52):83-92(in Persian)
4. Goodman GT, Roberts T. Plants and soils as indicators of metals in the air. Nature. 1971;231(5301):287.
5. Korori SAA VK, Shabestani S, Shirvany A, Matinizadeh M. A 25-year Monitoring of the Air Pollution Depicted by Plane Tree Species in Tehran. Engineering and Technology. 2010;69:186-89.
6. Asakare H. Application of Kriging Method in Precipitation Intervention, Case Study: Interpretation of Precipitation, 26/12/1376 in Iran. Earth. Geography and Development Journal. 1999;12: 24-42 (in Persian).
7. Amini M, Forghani A. Short technical report; evaluation of ni pollution in leaf of plantain (Platanus orientalis) and soil in rasht city area. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 2015;5(1):(in Persian).
8. Samani Majd S TA, Afioni M. Contamination of Urban Riverside to Lead and Cadmium. Journal of Environmental Studies. 2007;10(3):1-10(in Persian).
9. Sheikh Mmoghadasi Z. Geostatistic assessment of cadmium, nickel and lead in soils of Guilan province. 2008. A thesis submitted for the degree of Ms.c. in Faculty of Agriculture, Guilan University; Iran (in Persian)
10. Khadem Haghighat M GJ. Distribution of lead in Plane leaves relative to the centers of traffic in different parts of Tehran. Jahad University Press. 1985;101 (in Persian).
11. Mullah Shahi M AMH, Hosseini S M, et al. The zoning of Tehran's air pollution to heavy metals using berry leaves. Geography and environmental hazards. 2013{persian};7:69-84.
12. Arak. Available at: URL: https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B1%D8%A7%DA%A9. 25 May, 2019.
13. Brainina K SZ, Yu N, Belysheva GM, Inzhevatova OV, Kolyadina LI et al. Determination of heavy metals in wines by anodic stripping voltametery with thick-film modified electrode. Analytica Chemical Acta. 2004;514:227-34.
14. Chaoyang W, Cheng W, Linsheng Y. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China. Journal of Environmental Sciences. 2009;21(9):1230-36.
15. Amini F, Fatah Ravandi N, Askari M. Anatomical Study of the Air Pollution Effect on Robinia pseudoacacia and Ailanthus altisima leaves near to Iran Aluminum Co. (IRALCO). Journal of Cell & Tissue, 2016; 6(4): 501-511.
16. Salari H, Mozafai H, Manoocheri Kalantari K, Torkzadeh M, Naseri F. The Environmental Evaluation of Toxic Metal of Al content changing in Industrial Zones (Case Study: some of industrial zones in Kerman province). Journal of Environmental Science and Technology. 2011;13(1), 21-38.
17. Molla Shahi M, Ali Mohhamadian H, Hosseini S M, , Feizi V, Riahi Bakhtiari A. Mapping heavy metal pollution in Tehran air using Morus alba tree leaves. Geography and Environmental Hazards, 2014; 2(3).
18. Fassihi H, Hamidi M, Ostad Faraj S. Determination of environmental pollution in terms of oil and heavy metals in Baghereshahr, Tehran. 2017;6(12):125-40(in Persian).
19. Rafati M, Khorasani N, Moattar F, et al. Phytoremediation potential of Populus alba and Morus alba for cadmium, chromuim and nickel absorption from polluted soil. International Journal of Environmental Research. 2011;5(4):961-70.
20. Nikolova T. Absorption oF Pb, Cu, Zn And Cd type Morus alba cultivated on soils contaminated with heavy metals. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2015;21(4):747-50.
21. Zarasoundi A RMF, Pourkassab H. Effect of dust phenomenon on the adsorption of heavy metals in three selected plant species and their soil in Ahvaz. Advanced Applied Geology Journal. 2011;2(1):(in Persian).

22. Sardabi H, Salehe Shooshtari MH, Banej Shafei Sh. et al. Investigating the ability of several species of eucalyptus to absorb heavy elements and store them in leaves. Scientific and Research Journal of Iranian Forest and Poplar Research. 2013;21(2):375-72
23. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Human-animal feed-maximum tolerance of heavy metals 2010. 1st:[Available from: http://horticulture.maj.ir/dorsapax/userfiles/file/q105.pdf.
24. Trumbo P, Yates AA, Schlicker S, Poos M. Dietary reference intakes: vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2001;101(3):294.
25. SEPA. The limits of pollutants in food. Beijing, China 2005. Available from: http://www.oalib.com/references/8522539.
26. Evaluation of certain food additives. Seventy-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organ Tech Rep Ser. 2010 (956):1-80, back cover.
27. Nations FaAOotU. Codex Alimentations Commission: Procedural Manual. 19th ed. Rome. 2010.