

## امکان سنجی ردیابی روند تغییرات محتوی فلزات سنگین در محیط توسط زنبور عسل به عنوان گونه زیست شناساگر

- رضوان داودپور: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
- مهرداد چراغی\*: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
- سهیل سبحان اردکانی: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
- نوراله عبدی: گروه مرتع و آبخیزداری، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
- بهاره لرستانی: گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۸

### چکیده

از آن جاکه زنبور عسل به علت ویژگی های ذاتی و رفتار تغذیه ای خود از قابلیت بالایی در جذب آلاینده های محیطی و به ویژه فلزات سنگین برخوردار است، این مطالعه با هدف امکان سنجی معرفی زنبور عسل به عنوان گونه زیست شناساگر در ردیابی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در محیط در سال ۱۳۹۶ در کانون های عمده زنبورداری و تولید عسل استان مرکزی انجام شد. بدین منظور، در مجموع، ۱۸۰ نمونه خاک، گیاه (شامل ریشه و گل گون)، زنبور عسل و عسل از دوازده ایستگاه واقع در شهرستان های اراک، خمین و شازند جمع آوری شد. پس از هضم اسیدی نمونه ها، محتوی عناصر در آن ها با استفاده از طیف سنج پلاسمای جفت شده القایی تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر (میلی گرم در کیلو گرم) آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه های زنبور عسل به ترتیب برابر با ۲/۲۹، ۹۹/۹۰، ۴/۴۰ و ۲/۷۷ میلی گرم در کیلو گرم بوده است. این در حالی است که، میانگین غلظت عناصر مذکور در نمونه های عسل به ترتیب برابر با ۰/۵۵، ۱۱/۸۲، ۰/۳۶ و ۱/۸۸ میلی گرم در کیلو گرم تعیین شد. از آن جاکه مقایسه بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل نمونه های گل گون با زنبور عسل بیانگر وجود همبستگی مثبت و از طرفی مقایسه بین محتوی همین عناصر در نمونه های گل گون با عسل نشان دهنده وجود همبستگی منفی بود، می توان نتیجه گرفت که زنبور عسل به عنوان یک زیست شناساگر بالقوه از قابلیت تشخیص روند تغییرات فلزات سنگین در محیطی که در آن زندگی می کنند، برخوردار است.

**کلمات کلیدی:** زنبور عسل، زیست شناساگر، عناصر سمی و ضروری، پایش زیستی، ایران



## مقدمه

امروزه، ایمنی غذایی در کنار حفظ محیط زیست به عنوان موضوع مهم جهانی به یک دغدغه ملی و فراملی تبدیل شده است. در این خصوص مشخص شده است که هر ساله حدود ۳۰٪ از افراد در کشورهای توسعه یافته به بیماری های ناشی از مسمومیت با مواد غذایی مبتلا می شوند (کیان پور و سبحان اردکانی، ۱۳۹۶). از این رو، با توجه به این مسأله و نیز اهمیت تأمین غذا برای جمعیت رو به افزایش بشر، در سال های اخیر، توجه عموم مردم و ارگان های نظارتی به خصوص سازمان تجارت جهانی به صورت جدی به ایمنی غذا و تضمین کیفیت آن معطوف شده است (هدایتی فر و همکاران، ۱۳۸۹). ثابت شده است که عمده ترین راه ورود فلزات سنگین به بدن از طریق زنجیر غذایی است. بنابراین سلامتی انسان می تواند در اثر مصرف مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین در معرض خطر قرار گیرد (Kianpour و Sobhanardakani، ۲۰۱۶). آلاینده های خاک به ویژه فلزات سنگین می توانند توسط گیاهان جذب شده و به چرخه غذایی وارد شوند. از آن جا که، فلزات سنگین از نیم عمر بالا برخوردارند، لذا، احتمال تجمع و انباشت آن ها در بافت های موجودات زنده محتمل است (عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ Hegazi و El-Kady، ۲۰۱۰؛ Rezaei Raja و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، با توجه به مخاطرات آلاینده ها برای حیات موجودات زنده، اطلاع کافی از نوع و میزان هر یک از آن ها در محیط از اهمیتی به سزا برخوردار است. در این خصوص، زیست ردیابی طبیعی به عنوان یکی از جدیدترین راه های تعیین مقدار و نوع بسیاری از آلاینده های محیطی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Daghan و Soyak، ۲۰۰۰). معرفی زنبور عسل (*Apis mellifera* L.) به عنوان یک گونه زیست شناساگر (Bioindicator) به سال ۱۹۳۵ بر می گردد (Crane، ۱۹۸۴). خصوصیات ریخت شناختی، رفتاری و زیستی زنبور به ویژه رفتار تغذیه ای، این گونه ارزشمند را برای پایش آلودگی محیط زیست مناسب ساخته است (Celli و Maccagnani، ۲۰۰۳؛ Porri و همکاران، ۲۰۰۳). در این راستا نتایج مطالعات Conti و Botré (۲۰۰۱)، Jeliaskova و همکاران (۲۰۰۱)، Celli و Maccagnani (۲۰۰۳)، Badiou-Bénéteau و همکاران (۲۰۱۳)، Formicki و همکاران (۲۰۱۳)، Bilandzic و همکاران (۲۰۱۴)، Zaric و همکاران (۲۰۱۶)، Matin و همکاران (۲۰۱۶) و do Nascimento و همکاران (۲۰۱۸) بیانگر آن بود که از زنبور عسل و محصولاتش می توان به عنوان شاخص های زیستی به منظور پایش آلودگی محیط زیست استفاده کرد. زنبور عسل می تواند فلزات سنگین را از طریق مصرف آب آلوده، گرده و شهد، استنشاق ذرات در طول پرواز و چسبندگی ذرات به بدن مودار خود هنگام حرکت بر روی سطوح گیاه و خاک در هنگام جستجوی غذا جذب کند. از

این رو، این گونه قادر است نمونه یکپارچه ای از آلودگی محیط زیست با شعاع تقریبی هفت کیلومتر از محدوده پرواز خود را ارایه کرده و به منظور ردیابی آلاینده ها از جمله فلزات سنگین در محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد (Bromenshenk و Preston، ۱۹۸۶). ترکیب و ویژگی های عسل بر حسب منشأ گیاه مورد استفاده توسط زنبورها و همین طور شرایط اقلیمی و منطقه ای متفاوت است (Ozcan و AL، Juhaimi، ۲۰۱۲). با توجه به تخلیه روزافزون آلاینده ها به محیط، آلودگی عسل به عنوان یکی از فرآورده های مهم غذایی دور از انتظار نیست و احتمال آلودگی با فلزات سنگین در آن بالا است (Sobhan ardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). در این خصوص، نتایج مطالعات نشان داده است که غلظت فلزات سنگین در نمونه عسل مناطق صنعتی بیش تر از مناطق پاکیزه بوده است (Soriano و Fereres، ۲۰۰۳). از این رو، احتمال آلودگی عسل به طور مستقیم با نوع و کیفیت منابع غذایی که زنبورها مصرف می کنند، مرتبط است (Hernandez و همکاران، ۲۰۰۵؛ Silva و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rahman و همکاران، ۲۰۱۲). و به همین دلیل تعیین محتوی فلزات سنگین در عسل می تواند اطلاعاتی با ارزش را درباره آلودگی محیط زیستی یک منطقه معین در اختیار قرار دهد (Achudume و Nwofor، ۲۰۱۰). گون پنبه ای (*Astragalus gossypinus*) گیاهی علفی چندساله از خانواده لگو مینوزه و ارتفاع ۷۵ سانتی متر است که با ۳۰۰۰-۲۰۰۰ گونه در شمار بزرگ ترین جنس های گیاهان گل دار جهان محسوب می شود (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷) در ایران نیز ۸۰۰ گونه از این گیاه شناسایی و ثبت شده است (رحیم ملک و همکاران، ۱۳۹۰). این گیاه در برابر خشکی مقاوم و در خاک های شنی-لومی به خوبی رشد می کند و از گونه های علوفه ای است که انتشار گسترده ای در کشور و به ویژه استان مرکزی دارد (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷). آرسنیک به عنوان یک شبه فلز از طریق محلول شدن کانی ها و موادمعدنی، فاضلاب صنایع مختلف از جمله صنایع دباغی و سرامیک سازی، معادن، سموم ضدافات نباتی، شوینده ها، کودهای شیمیایی و انباشت اتمسفری به بوم سازگان ها وارد می شود (Sobhanardakani و همکاران، ۲۰۱۸). آرسنیک، عنصری جهش زا و بسیار سمی است و در گروه ۱ ترکیبات سرطان زای موسسه بین المللی تحقیقات سرطان (IARC) طبقه بندی شده است (عاقلان و سبحان اردکانی، ۱۳۹۵). روی در زمره عناصر با اهمیت زیستی بسیار بالا به ویژه در عملکرد ریزموجودات زنده است (Sobhanardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). البته مقادیر بیش تر از حد مجاز این فلز، می تواند تهدیدی جدی برای محیط پذیرنده محسوب شود. روی از فلزات مهم محل دفن زباله است که به میزان فراوان در خاک لندفیل یافت می شود. انتشار روی در خاک اطراف جاده ها را می توان با سایش تایر خودروها، خوردگی گارد ریل و احتراق سوخت فسیلی مرتبط دانست (کرباسی و

شهرستان خمین نیز به سبب وجود معدن سرب و روی روستای لکان و خان آباد، کانسار آهن روستای شمس آباد و کانسار سرب خوگان دارای اهمیت است (آقناباتی، ۱۳۸۹). با توجه به صنعتی بودن استان مرکزی از طرفی و سطح وسیع زیر کشت محصولات کشاورزی و به تبع آن استفاده بیش از اندازه انواع نهاده‌های کشاورزی از طرف دیگر، زمینه انتشار انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین به محیط را فراهم کرده است. لذا، در این مطالعه برای اولین بار نسبت به امکان سنجی معرفی زنبور عسل به عنوان گونه زیست شناساگر در ردیابی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در زنجیر خاک-گیاه-غذا در شهرستان‌های اراک، خمین و شازند به عنوان کانون‌های عمده زنبورداری و تولید عسل استان مرکزی در سال ۱۳۹۶ اقدام شد.

## مواد و روش‌ها

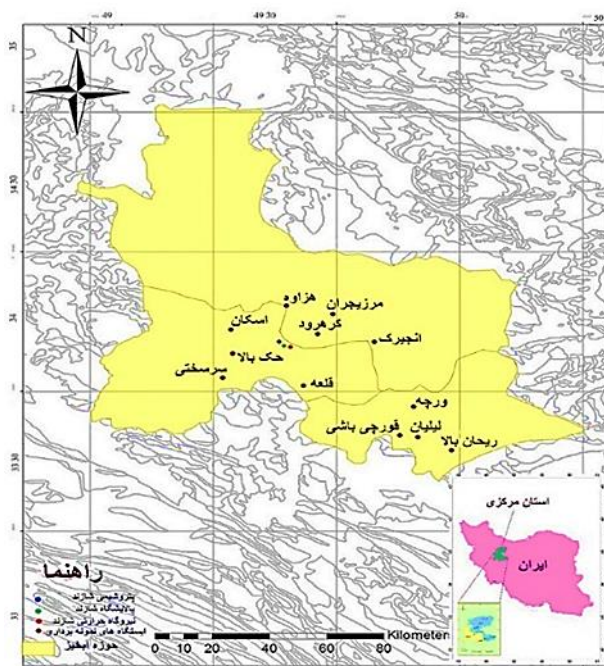
**معرفی منطقه مورد مطالعه:** استان مرکزی با وسعت ۲۹۵۳۰ کیلومتر مربع (معادل ۱/۸٪ از وسعت ایران) بین ۳۰° ۳۵' تا ۳۵° ۳۵' عرض شمالی و ۵۷° ۴۸' تا ۵۱° طول شرقی از نصف النهار مبدأ واقع شده است. شهرستان اراک با وسعت ۹۸/۷۱۷۸ کیلومتر مربع (۴/۲۴٪ مساحت استان) به عنوان بزرگ‌ترین قطب جمعیتی استان در دامنه ارتفاعی ۱۶۵۰ متر از سطح دریا در کویر میقان تا ۳۱۱۸ متر در کوه تخت از قلل سفیدخانی واقع شده است (عبدی و همکاران، ۱۳۸۹). شهرستان خمین با وسعت ۷۳/۲۲۰۸ کیلومتر مربع (۵/۷٪ مساحت استان) جنوبی‌ترین شهرستان استان مرکزی محسوب می‌شود و تقریباً ۶۰ کیلومتر با مرکز استان فاصله دارد. شهرستان شازند با وسعت ۲۹/۵۳۰ کیلومتر مربع با مرکزیت شهر شازند در جنوب غربی استان مرکزی استقرار یافته است و با مرکز استان ۳۳ کیلومتر فاصله دارد (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷).

**نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها:** پس از شناسایی کانون‌های عمده زنبورداری و تولید عسل در شهرستان‌های اراک، شازند و خمین، در هر شهرستان چهار ایستگاه نمونه برداری با پراکندگی مناسب انتخاب و نمونه برداری از خاک، گیاه، زنبور و عسل به طور تصادفی در سه تکرار انجام یافت. بدین صورت که از هر ایستگاه تعداد ۴ نمونه خاک، ۴ نمونه گون به تفکیک ریشه و گل، ۴ نمونه زنبور و ۴ نمونه عسل برداشت شد (تعداد کل نمونه‌ها ۱۸۰ عدد بود). هم چنین مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری توسط دستگاه GPS بر اساس سیستم UTM ثبت شد. نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری در شکل ۱ ارائه شده است.

همکاران، ۱۳۸۸). آلودگی روی در محیط زیست اغلب با سرب همراه است، زیرا روی از عناصری است که همراه با سرب در معادن یافت شده و به همین دلیل بهره برداری سرب با رهاسازی روی در طبیعت همراه است (درویش نیا و همکاران، ۱۳۹۴). در مقایسه با سایر فلزات سنگین، روی مسمومیت حاد کمتری ایجاد می‌کند. این عنصر در حالت مازاد بر احتیاج باعث افزایش سلول‌های پیشرو مغز استخوان و کاهش تکثیر لنفوسیت‌های B و هم چنین کاهش پاسخ آنتی بادی‌های سلول‌های T می‌شود (سبحان اردکانی و همکاران، الف ۱۳۹۳). سرب از جمله فلزات سنگین غیر ضروری است و از توان ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات زنده برخوردار است. این فلز به واسطه ورود به زنجیر غذایی، در بدن انسان‌ها و حیوانات تجمع می‌یابد و سلامتی آن‌ها را نیز به مخاطره می‌اندازد. سرب از طریق ضایعات صنایع باتری سازی، احتراق بنزین، صنایع تولید رنگ و برخی از سموم دفع آفات گیاهی، به خاک و در نهایت به آب، گیاه و بدن انسان منتقل می‌شود (سنجرو همکاران، ۱۳۸۸). سرب در گروه ۲B ترکیبات سرطان زا IARC طبقه بندی شده است و آثار سمی آن بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد. این آثار را در بدن، به خصوص دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خون ساز می‌توان یافت (سبحان اردکانی و همکاران، ب ۱۳۹۳؛ Muhammad و همکاران، ۲۰۱۱). نیکل یکی از فراوان ترین عناصر در طبیعت است. غلظت نیکل تابعی از سوخت‌های فسیلی، استخراج آن از معادن و پالایشگاه‌ها و سوختن مواد زائد است (مشروفه و همکاران، ۱۳۹۲). مقادیر اندک این عنصر نقش مهمی در سنتز گلبول‌های قرمز خون و فعالیت برخی آنزیم‌ها دارد (Hosseini و همکاران، ۲۰۱۵). در حالی که قرار گرفتن طولانی مدت در معرض مقادیر بیش تر از حد مجاز این عنصر می‌تواند به کاهش وزن بدن، مشکلات تنفسی، کبدی و قلبی، آسیب به سیستم عصبی، کاهش رشد سلولی و هم چنین سرطان ریه منجر شود (Sobhanardakani, ۲۰۱۸). در استان مرکزی به دلیل وجود اقلیم‌های مختلف، طول دوره زنبورداری در مقایسه با سایر مناطق طولانی تر است. هم چنین تنوع گونه‌های گیاهی به ویژه گون، زمینه‌ای مناسب برای تولید عسل به ویژه در شهرستان‌های خمین، شازند و اراک فراهم کرده است. شهرستان اراک به سبب وجود کارخانه‌های صنعتی نظیر ماشین سازی، آلومینیوم سازی و تعداد زیادی از شرکت‌ها و کارخانه‌های صنعتی و تولیدی در مجاورت خود، یکی از قطب‌های مهم صنعتی کشور محسوب می‌شود. هم چنین شهرستان شازند به دلیل استقرار پالایشگاه و پتروشیمی شازند و نیروگاه حرارتی شازند از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی وجود معدن سرب و روی عمارت شازند به عنوان بزرگ‌ترین معادن سرب و روی منطقه می‌تواند از منابع آلاینده منطقه محسوب شود (ملکی راد و همکاران، ۱۳۸۹).



در ۳ تکرار خوانده شد. هم‌چنین برای کنترل کیفیت (Quality Control) و بررسی صحت (Precision) تعیین محتوی عناصر در نمونه‌ها از ماده مرجع گواهی شده SQC-001 ساخت شرکت سیگما-آلد ریچ اسپانیا استفاده شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی (Recovery Rate) عناصر از ۹۳/۲٪ تا ۱۰۳/۴٪ متغیر بود. برای آماده‌سازی و هضم نمونه‌های گیاهی، ابتدا نمونه‌های ریشه و گل با آب مقطر شسته شد. سپس نمونه‌ها روی کاغذ تمیز پهن و در هوای آزاد به مدت یک هفته خشک شدند. پس از آن نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس کاملاً خشک شدند. در مرحله بعد نمونه‌ها توسط دستگاه مخلوط‌کن پودر و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند (Akinola و همکاران، ۲۰۱۱). سپس یک گرم از هر نمونه گیاهی با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی، توزین و به ظروف شیشه‌ای درب‌دار استریل منتقل شد. پس از افزودن چهار میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ مرک آلمان به هر نمونه و بستن درب ظروف، نمونه‌ها طی دو مرحله ۶۰ و ۹۰ دقیقه‌ای در داخل حمام بن ماری به ترتیب با درجه حرارت ۶۵ درجه سلسیوس و ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها و رسیدن دمای آن‌ها به دمای محیط، برای هضم مواد آلی، ۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۷٪ به آن‌ها اضافه شد و برای کامل شدن فرآیند، نمونه‌ها نیم ساعت به همین حالت باقی ماندند. پس از آن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دوبار تقطیر در بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند (حاج‌رسولی‌ها و همکاران، ۱۳۸۵). در نهایت پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه ICP، غلظت عناصر در هر نمونه در ۳ تکرار خوانده شد. هم‌چنین برای کنترل کیفیت و بررسی صحت تعیین محتوی عناصر در نمونه‌ها از ماده مرجع گواهی شده سفید (CRM 402) استفاده شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی عناصر از ۹۲/۱٪ تا ۱۰۱٪ متغیر بود. برای آماده‌سازی و هضم نمونه‌های زنبور عسل، پس از خشک کردن نمونه‌ها، نیم گرم از هر نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی، توزین و به بوتله چینی منتقل شد (Botré و Conti، ۲۰۰۱). سپس در پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک حل و به مدت دو ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس نگهداری شد. در مرحله بعد پنج میلی‌لیتر آب اکسیژنه به محلول افزوده شد و به مدت دو ساعت دیگر در دمای ۶۵ درجه سلسیوس باقی ماندند. در ادامه، محلول حاصل پس از عبور از فیلتر، با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد (Al Naggar و همکاران، ۲۰۱۳). در نهایت پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه ICP، غلظت عناصر در ۳ تکرار خوانده شد. در این مطالعه، برای کنترل کیفیت و بررسی صحت تعیین محتوی عناصر در نمونه‌ها از ماده مرجع گواهی شده (DORM-3) استفاده



شکل ۱: نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری از خاک سطحی (عمق ۲۰-۵ سانتی‌متری) توسط بیلچه باغبانی انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت به کیسه پلی‌پروپیلنی منتقل شده و سپس در آزمایشگاه به مدت یک هفته هوا خشک شدند. پس از آن، با هدف جداسازی سنگ‌ها و سنگ‌ریزه‌ها، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و پس از آن توسط هاون عقیق پودر و یکنواخت شدند (Mohammadi Roozbahani و همکاران، ۲۰۱۵). در مرحله بعد، یک گرم از هر نمونه با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، توزین و به بشر ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس مقدار ۱۵ میلی‌لیتر تیزاب (ترکیب HCl و HNO<sub>3</sub> با نسبت اختلاط حجمی ۳:۱) به هر نمونه افزوده شد تا فرآیند انحلال انجام شود (Ghoochian و Sobhanardakani، ۲۰۱۶). در ادامه نمونه‌ها روی هیتر در دمای تقریبی ۲۰۰ درجه سلسیوس تا تکمیل فرآیند واکنش و انحلال قرار داده شدند. در موارد عدم پیشرفت فرآیند، مقدار کمی اسید کلریدریک به نمونه‌ها برای تسریع فرآیند انحلال افزوده شد. پس از آن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دوبار تقطیر در بالن حجمی ۵۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند (Jamshidi و Sobhanardakani، ۲۰۱۵). در نهایت پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن طیف‌سنج پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-OES)، مدل ES-۷۱۰ ساخت کارخانه Varian، غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در هر نمونه به ترتیب در طول موج ۱۸۸/۹۸، ۲۰۶/۲۰، ۱۹۶/۰۳ و ۲۳۲/۹۰ نانومتر

از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، به منظور مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد مطالعه بین نمونه های خاک، بین نمونه های ریشه، بین نمونه های گل، بین نمونه های زنبور و بین نمونه های عسل از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون چنددامنه ای دانکن) و برای بررسی همبستگی میانگین غلظت تجمع یافته عناصر بین نمونه های خاک، ریشه، گل، زنبور عسل و عسل از آزمون آماری ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

## نتایج

نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر در نمونه های خاک، ریشه، گل، زنبور و عسل به تفکیک ایستگاه نمونه برداری در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده است.

شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی عناصر از ۹۱/۸٪ تا ۱۰۰/۵٪ متغیر بود. برای آماده سازی و هضم نمونه های عسل، پنج گرم از هر نمونه به بوتله چینی منتقل شد و در دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس برای حداقل ۱۲ ساعت روی هیتر گرم شد. پس از انتقال بوتله ها به کوره، نمونه ها در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شد. سپس خاکستر حاصل توسط اسید نیتریک ۵٪ به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد (Frias و همکاران، ۲۰۰۸؛ Sobhanardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). در نهایت پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه ICP، غلظت عناصر در ۳ تکرار خوانده شد. از طرفی، برای کنترل کیفیت و بررسی صحت تعیین محتوی عناصر در نمونه ها از ماده مرجع گواهی شده (NIST SRM 1515-apple) استفاده شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی عناصر از ۹۴/۹٪ تا ۱۰۲/۶٪ متغیر بود.

**پردازش آماری داده ها:** به منظور پردازش آماری نتایج از ویرایش ۱۹ نرم افزار آماری SPSS استفاده شد. برای بررسی توزیع نرمال داده ها

جدول ۱: میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم) در نمونه های خاک به تفکیک ایستگاه

| ایستگاه                         | عناصر (انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت)* |                     |                   |                   |
|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
|                                 | آرسنیک                                   | روی                 | سرب               | نیکل              |
| سرسختی                          | ۱۳/۵۲ $\pm$ ۰/۶۳a                        | ۴۴/۳۲ $\pm$ ۲۷/۵۹k  | ۱۹/۵۷ $\pm$ ۱/۱۴g | ۴۵/۴۷ $\pm$ ۰/۰۸f |
| اسکان                           | ۱۳/۰۷ $\pm$ ۰/۸۶a                        | ۶۰/۴۷ $\pm$ ۰/۶۲a   | ۹۰/۷۳ $\pm$ ۰/۱۶b | ۷۸/۷۰ $\pm$ ۰/۳۵a |
| قلعه                            | ۱۰/۱۲ $\pm$ ۰/۵۰c                        | ۱۲۲/۶۷ $\pm$ ۲/۵۱d  | ۲۴/۱۲ $\pm$ ۰/۳۶e | ۵۱/۷۴ $\pm$ ۰/۱۷e |
| حک بالا                         | ۱۳/۳۷ $\pm$ ۰/۵۴a                        | ۳۲۸/۶۳ $\pm$ ۳/۰۴c  | ۶۳/۰۰ $\pm$ ۰/۲۶d | ۷۱/۷۵ $\pm$ ۰/۴۳b |
| ورچه                            | ۸/۶۰ $\pm$ ۰/۲۶d                         | ۶۰/۴۵ $\pm$ ۰/۷۴i   | ۲۲/۹۷ $\pm$ ۰/۲۶f | ۳۸/۹۲ $\pm$ ۰/۲۵i |
| لیلان                           | ۹/۱۳ $\pm$ ۰/۵۲d                         | ۵۴/۹۸ $\pm$ ۰/۳۲j   | ۱۲/۱۸ $\pm$ ۰/۰۳i | ۳۶/۱۰ $\pm$ ۰/۱۸j |
| قورچی باشی                      | ۱۳/۴۲ $\pm$ ۰/۲۹a                        | ۹۳/۰۷ $\pm$ ۰/۶۲e   | ۲۴/۳۳ $\pm$ ۰/۱۶e | ۵۵/۲۰ $\pm$ ۰/۱۳d |
| ریحان بالا                      | ۱۱/۷۸ $\pm$ ۰/۶۳b                        | ۴۰۸/۶۷ $\pm$ ۳/۴۵b  | ۷۸/۶۷ $\pm$ ۰/۵۳c | ۵۷/۱۸ $\pm$ ۰/۰۵c |
| هزاوه                           | ۶/۶۲ $\pm$ ۰/۵۵e                         | ۸۷/۱۷ $\pm$ ۱/۰۹f   | ۱۶/۵۷ $\pm$ ۰/۱۷h | ۴۵/۵۴ $\pm$ ۰/۵۸f |
| انجیرک                          | ۶/۶۵ $\pm$ ۰/۳۱e                         | ۶۹/۲۵ $\pm$ ۰/۳۶h   | ۱۱/۰۲ $\pm$ ۰/۱۶j | ۴۴/۴۹ $\pm$ ۰/۲۰g |
| مرزبجران                        | ۸/۸۵ $\pm$ ۰/۶۷d                         | ۷۲/۷۰ $\pm$ ۰/۷۳h   | ۱۷/۶۷ $\pm$ ۰/۲۸h | ۳۸/۸۴ $\pm$ ۰/۳۱i |
| کرهرود                          | ۵/۹۷ $\pm$ ۰/۴۵e                         | ۸۰/۹۹ $\pm$ ۰/۷۸g   | ۱۱۳/۷۵ $\pm$ ۱/۸a | ۴۱/۹۵ $\pm$ ۰/۴۶h |
| انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت | ۱۰/۰۹ $\pm$ ۲/۸۳                         | ۱۶۸/۹۷ $\pm$ ۱۷۴/۳۶ | ۴۱/۲۲ $\pm$ ۳۴/۵۰ | ۵۰/۴۹ $\pm$ ۱۲/۹۴ |

\* اعداد مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است. حروف مشابه (a, b, c و ...) نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین ایستگاه ها از نظر صفات مورد بررسی بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک عامله است.

۱/۰۲ $\pm$ ۱/۱۲، ۴۷/۸۷ $\pm$ ۴۳/۸۹، ۳/۶۳ $\pm$ ۵/۷۶ و ۲/۸۳ $\pm$ ۱/۶۴ میلی گرم در کیلوگرم بود. در نمونه های گل نیز میانگین غلظت این عناصر به ترتیب برابر با ۲/۰۲ $\pm$ ۲/۱۸، ۲۱/۱۸ $\pm$ ۸/۲۰، ۲۱/۸۴ $\pm$ ۸/۱۸ و ۴/۰۳ $\pm$ ۲/۴۳ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲).

نتایج قرائت غلظت عناصر در نمونه های خاک بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (جدول ۱) نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل به ترتیب برابر با ۱۰/۰۹ $\pm$ ۲/۸۳، ۱۶۸/۹۷ $\pm$ ۱۷۴/۳۶، ۴۱/۲۲ $\pm$ ۳۴/۵۰ و ۵۰/۴۹ $\pm$ ۱۲/۹۴ بود.

نتایج قرائت غلظت عناصر در نمونه های ریشه (جدول ۲) نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و نیکل به ترتیب برابر با



جدول ۲: میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های ریشه و گل به تفکیک ایستگاه

| ایستگاه                         | نمونه‌های ریشه عنصر (انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت)* |                    |                   |                  | نمونه‌های گل عنصر (انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت)* |                    |                    |                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                 | آرسنیک                                                 | روی                | سرب               | نیکل             | آرسنیک                                               | روی                | سرب                | نیکل               |
| سرسختی                          | ۴/۴۴ $\pm$ ۱/۰۰a                                       | ۳۷/۷۸ $\pm$ ۱/۲۸f  | ۲۱/۶۹ $\pm$ ۱/۸۱a | ۶/۵۹ $\pm$ ۰/۳۹a | ۷/۲۴ $\pm$ ۱/۵۷a                                     | ۲۳/۳۸ $\pm$ ۳/۵۶d  | ۱۳/۲۸ $\pm$ ۳/۶۸c  | ۹/۲۲ $\pm$ ۹/۰۸a   |
| اسکان                           | ۱/۱۱ $\pm$ ۰/۳۰b                                       | ۴۶/۷۴ $\pm$ ۰/۳۶d  | ۳/۲۷ $\pm$ ۰/۷۸cd | ۲/۸۰ $\pm$ ۰/۲۰e | ۵/۴۲ $\pm$ ۲/۰۱b                                     | ۱۴/۲۲ $\pm$ ۱/۳۷h  | ۳۰/۲۴ $\pm$ ۲/۲۷a  | ۵/۷۲ $\pm$ ۱/۲۴bc  |
| قلعه                            | ۱/۰۶ $\pm$ ۰/۲۶b                                       | ۱۸۲/۱۸ $\pm$ ۱/۶۳a | ۳/۷۷ $\pm$ ۰/۰۴c  | ۳/۳۳ $\pm$ ۰/۰۲d | ۲/۴۰ $\pm$ ۱/۱۳c                                     | ۴۱/۶۰ $\pm$ ۱/۴۱a  | ۱۱/۳۹ $\pm$ ۳/۶۱cd | ۳/۰۸ $\pm$ ۰/۱۹def |
| حک بالا                         | ۰/۸۱ $\pm$ ۰/۲۲b                                       | ۱۴/۴۳ $\pm$ ۱/۶۵h  | ۰/۹۰ $\pm$ ۰/۰۳fg | ۱/۸۹ $\pm$ ۰/۰۳g | ۰/۹۹ $\pm$ ۰/۳۲cde                                   | ۱۴/۰۱ $\pm$ ۰/۳۴h  | ۸/۸۳ $\pm$ ۰/۲۶de  | ۴/۰۰ $\pm$ ۰/۳۹cde |
| ورچه                            | ۰/۷۰ $\pm$ ۰/۱۳b                                       | ۴۷/۷۵ $\pm$ ۰/۳۱d  | ۱/۶۶ $\pm$ ۰/۰۳ef | ۲/۱۲ $\pm$ ۰/۰۴f | ۰/۸۳ $\pm$ ۰/۱۷cde                                   | ۱۹/۴۴ $\pm$ ۰/۰۴f  | ۱۷/۴۱ $\pm$ ۰/۳۳b  | ۱/۸۷ $\pm$ ۱/۴۰fg  |
| لیلان                           | ۰/۷۴ $\pm$ ۰/۱۰b                                       | ۵۰/۷۶ $\pm$ ۰/۲۶c  | ۴/۸۳ $\pm$ ۰/۱۳b  | ۲/۵۹ $\pm$ ۰/۰۴e | ۱/۰۵ $\pm$ ۰/۲۲cde                                   | ۲۹/۱۲ $\pm$ ۰/۲۴b  | ۷/۵۴ $\pm$ ۰/۱۵ef  | ۳/۰۰ $\pm$ ۰/۰۴def |
| قورچی باشی                      | ۰/۶۸ $\pm$ ۰/۱۳b                                       | ۴۳/۴۲ $\pm$ ۰/۲۰e  | ۳/۷۲ $\pm$ ۰/۰۸c  | ۳/۹۴ $\pm$ ۰/۰۸c | ۰/۸۱ $\pm$ ۰/۱۲cde                                   | ۲۰/۵۷ $\pm$ ۰/۲۱ef | ۲/۷۱ $\pm$ ۰/۲۳gh  | ۶/۸۴ $\pm$ ۰/۰۵b   |
| ریحان بالا                      | ۰/۸۴ $\pm$ ۰/۱۵b                                       | ۲۴/۸۵ $\pm$ ۰/۴۴g  | ۲/۴۸ $\pm$ ۰/۱۱de | ۳/۱۵ $\pm$ ۰/۰۲d | ۱/۳۱ $\pm$ ۰/۳۲cde                                   | ۱۶/۶۸ $\pm$ ۰/۰۴g  | ۴/۷۹ $\pm$ ۰/۱۷fg  | ۳/۷۲ $\pm$ ۰/۰۱def |
| هزاوه                           | ۰/۸۷ $\pm$ ۰/۱۸b                                       | ۱۴/۷۷ $\pm$ ۰/۱۰h  | ۰/۷۶ $\pm$ ۰/۰۱fg | ۴/۶۷ $\pm$ ۰/۰۵b | ۲/۲۷ $\pm$ ۰/۱۴cd                                    | ۱۱/۶۳ $\pm$ ۰/۳۹i  | ۶/۸۴ $\pm$ ۰/۰۵ef  | ۴/۹۵ $\pm$ ۰/۳۳cd  |
| انجیرک                          | ۰/۰۳ $\pm$ ۰/۰۱c                                       | ۸/۸۶ $\pm$ ۰/۳۰i   | ۰/۰۲ $\pm$ ۰/۰۰g  | ۰/۵۸ $\pm$ ۰/۰۲i | ۰/۴۲ $\pm$ ۰/۱۲e                                     | ۲۷/۰۰ $\pm$ ۰/۰۸c  | ۱/۰۱ $\pm$ ۰/۰۲h   | ۰/۷۸ $\pm$ ۰/۰۶g   |
| مرزیجران                        | ۰/۴۶ $\pm$ ۰/۲۷bc                                      | ۴۹/۵۲ $\pm$ ۰/۴۷c  | ۰/۱۵ $\pm$ ۰/۱۱g  | ۰/۱۷ $\pm$ ۰/۰۴h | ۰/۸۲ $\pm$ ۰/۰۷cde                                   | ۲۱/۵۷ $\pm$ ۰/۲۹de | ۶/۰۸ $\pm$ ۰/۱۲ef  | ۲/۶۳ $\pm$ ۰/۰۷efg |
| کرهرود                          | ۰/۵۲ $\pm$ ۰/۰۵bc                                      | ۵۳/۳۴ $\pm$ ۰/۴۲b  | ۰/۲۹ $\pm$ ۰/۰۴g  | ۱/۱۳ $\pm$ ۰/۰۱h | ۰/۷۱ $\pm$ ۰/۰۸de                                    | ۱۴/۹۲ $\pm$ ۰/۱۱gh | ۱۹/۸۹ $\pm$ ۰/۰۵b  | ۲/۵۲ $\pm$ ۰/۰۵efg |
| انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت | ۱/۰۲ $\pm$ ۱/۱۲                                        | ۴۷/۸۷ $\pm$ ۴۳/۸۹  | ۳/۶۳ $\pm$ ۵/۷۶   | ۲/۸۳ $\pm$ ۱/۶۴  | ۲/۰۲ $\pm$ ۲/۱۸                                      | ۲۱/۱۸ $\pm$ ۸/۲۰   | ۱۰/۸۴ $\pm$ ۸/۱۸   | ۴/۰۳ $\pm$ ۲/۴۳    |

\* اعداد مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است. حروف مشابه (a, b, c و ...) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها از نظر صفات مورد بررسی براساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌عامله است.

جدول ۳: میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های زنبور به تفکیک ایستگاه

| ایستگاه                         | عنصر (انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت)* |                     |                   |                  |
|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
|                                 | آرسنیک                                  | روی                 | سرب               | نیکل             |
| سرسختی                          | ۶/۷۲ $\pm$ ۵/۶۶ab                       | ۱۶۸/۰۰ $\pm$ ۱۵/۰۴a | ۶/۵۹ $\pm$ ۴/۵۹b  | ۳/۲۵ $\pm$ ۰/۵۵c |
| اسکان                           | ۱/۷۰ $\pm$ ۰/۲۲b                        | ۱۶۳/۶۵ $\pm$ ۵/۳۳ab | ۳/۲۰ $\pm$ ۰/۵۲bc | ۳/۱۵ $\pm$ ۰/۱۷c |
| قلعه                            | ۱/۵۵ $\pm$ ۰/۲۰b                        | ۱۲۱/۴۳ $\pm$ ۲/۶۰c  | ۲/۷۹ $\pm$ ۰/۴۹bc | ۲/۷۲ $\pm$ ۰/۲۹c |
| حک بالا                         | ۱/۴۰ $\pm$ ۰/۴۷b                        | ۸۵/۰۲ $\pm$ ۱/۰۴d   | ۱۹/۹۲ $\pm$ ۰/۶۳a | ۴/۵۵ $\pm$ ۰/۱۸b |
| ورچه                            | ۱۱/۹۵ $\pm$ ۱۱/۸۵a                      | ۱۴۹/۴۲ $\pm$ ۳۰/۱۷b | ۱۷/۳۴ $\pm$ ۵/۷۷a | ۵/۷۴ $\pm$ ۰/۹۰a |
| لیلان                           | ۰/۳۰ $\pm$ ۰/۰۹b                        | ۷۷/۷۵ $\pm$ ۱/۱۸de  | ۰/۹۰ $\pm$ ۰/۱۸c  | ۱/۰۲ $\pm$ ۰/۰۶e |
| قورچی باشی                      | ۰/۵۸ $\pm$ ۰/۱۶b                        | ۹۴/۴۹ $\pm$ ۱/۴۵d   | ۰/۶۵ $\pm$ ۰/۲۶c  | ۱/۱۰ $\pm$ ۰/۰۵e |
| ریحان بالا                      | ۰/۸۲ $\pm$ ۰/۱۹b                        | ۶۲/۱۵ $\pm$ ۰/۵۶e   | ۰/۱۰ $\pm$ ۰/۰۵c  | ۳/۲۵ $\pm$ ۰/۰۵c |
| هزاوه                           | ۰/۴۵ $\pm$ ۰/۲۰b                        | ۶۳/۳۲ $\pm$ ۲/۸۴e   | ۰/۳۷ $\pm$ ۰/۱۸c  | ۰/۹۷ $\pm$ ۰/۰۷e |
| انجیرک                          | ۰/۷۶ $\pm$ ۰/۰۲b                        | ۹۱/۸۳ $\pm$ ۰/۷۷d   | ۰/۴۷ $\pm$ ۰/۰۱c  | ۴/۱۳ $\pm$ ۰/۱۰b |
| مرزیجران                        | ۰/۰۳ $\pm$ ۰/۰۰b                        | ۴۲/۳۲ $\pm$ ۴/۴۹f   | ۰/۱۰ $\pm$ ۰/۰۱c  | ۲/۰۸ $\pm$ ۰/۲۶d |
| کرهرود                          | ۱/۲۵ $\pm$ ۰/۱۸b                        | ۷۹/۴۳ $\pm$ ۰/۲۵de  | ۰/۴۱ $\pm$ ۰/۰۰c  | ۱/۳۳ $\pm$ ۰/۱۰e |
| انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت | ۲/۲۹ $\pm$ ۴/۶۴                         | ۹۹/۹۰ $\pm$ ۴۱/۱۲   | ۴/۴۰ $\pm$ ۶/۹۶   | ۲/۷۷ $\pm$ ۱/۵۲  |

\* اعداد مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است. حروف مشابه (a, b, c و ...) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها از نظر صفات مورد بررسی براساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌عامله است.

میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به‌ترتیب برابر با ۲/۲۹ $\pm$ ۴/۶۴، ۹۹/۹۰ $\pm$ ۴۱/۱۲، ۴/۴۰ $\pm$ ۶/۹۶ و ۲/۷۷ $\pm$ ۱/۵۲ بود.

نتایج قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های زنبور بر حسب میلی گرم در کیلوگرم به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری (جدول ۳) نشان داد که



جدول ۴: میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های عسل به تفکیک ایستگاه

| ایستگاه                         | عنصر (انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت)* |                   |                  |                   |
|---------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                                 | آرسنیک                                  | روی               | سرب              | نیکل              |
| سرسختی                          | $0.07 \pm 0.11$                         | $11.54 \pm 0.4f$  | $0.50 \pm 0.07d$ | $1.43 \pm 0.41e$  |
| اسکان                           | $0.49 \pm 0.03g$                        | $12.99 \pm 0.03d$ | $0.3 \pm 0.03i$  | $1.78 \pm 0.02d$  |
| قلعه                            | $0.32 \pm 0.04k$                        | $12.12 \pm 0.03e$ | $0.3 \pm 0.02i$  | $4.09 \pm 0.04b$  |
| حک بالا                         | $0.69 \pm 0.03c$                        | $34.44 \pm 0.4a$  | $0.39 \pm 0.03f$ | $1.27 \pm 0.00ef$ |
| ورچه                            | $0.40 \pm 0.04i$                        | $12.28 \pm 0.36e$ | $0.3 \pm 0.02i$  | $2.51 \pm 0.02c$  |
| لیلان                           | $0.33 \pm 0.04j$                        | $3.49 \pm 0.03i$  | $0.16 \pm 0.04h$ | $0.42 \pm 0.02i$  |
| قورچی باشی                      | $0.52 \pm 0.02f$                        | $19.80 \pm 0.02b$ | $0.44 \pm 0.02e$ | $0.55 \pm 0.03i$  |
| ریحان بالا                      | $0.43 \pm 0.05h$                        | $5.12 \pm 0.05h$  | $0.2 \pm 0.03i$  | $0.64 \pm 0.01hi$ |
| هزاوه                           | $1.30 \pm 0.05a$                        | $18.30 \pm 0.14c$ | $0.34 \pm 0.07g$ | $1.07 \pm 0.04fg$ |
| انجیرک                          | $0.65 \pm 0.05d$                        | $7.08 \pm 0.02g$  | $1.15 \pm 0.05a$ | $7.29 \pm 0.36a$  |
| مرزيجران                        | $0.73 \pm 0.06b$                        | $1.77 \pm 0.09k$  | $0.54 \pm 0.07c$ | $0.58 \pm 0.008i$ |
| کرهرود                          | $0.63 \pm 0.07e$                        | $2.89 \pm 0.04j$  | $0.66 \pm 0.05b$ | $0.88 \pm 0.00gh$ |
| انحراف معیار $\pm$ میانگین غلظت | $0.55 \pm 0.29$                         | $11.82 \pm 8.96$  | $0.36 \pm 0.33$  | $1.88 \pm 1.94$   |

\* اعداد مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است. حروف مشابه (a, b, c و ...) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌ها از نظر صفات مورد بررسی بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌عامله است.

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های عسل (جدول ۴)

نیز نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به ترتیب برابر با  $0.55 \pm 0.29$ ،  $11.82 \pm 8.96$ ،  $0.36 \pm 0.33$  و  $1.88 \pm 1.94$  میلی گرم در کیلوگرم بود.

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که غلظت همه عناصر در نمونه‌های خاک، ریشه، گل، زنبور و عسل از توزیع نرمال برخوردار بوده است. همچنین نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌عامله به منظور بررسی گروه‌بندی آماری محتوی فلزات بین نمونه‌های مورد مطالعه بیانگر آن بود که برای همه عناصر بین واریانس بین گروه‌ها با درجه آزادی (df) برابر با ۴ و سطح معنی‌داری (p) برابر با ۰/۰۰۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. بدین صورت که بین میانگین محتوی عنصر آرسنیک نمونه‌های ریشه گون، گل گون، زنبور عسل و عسل با سطح معنی‌داری (p) برابر با ۰/۰۹۵ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت، ولی بین میانگین محتوی عنصر آرسنیک نمونه‌های خاک با سایر نمونه‌ها با  $p=1/000$  اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. درحالی که بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های ریشه گون، گل گون و عسل با  $p=0/334$ ، بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های ریشه گون و زنبور عسل با  $p=0/139$  و همچنین بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های خاک و زنبور عسل با  $p=0/052$  اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت. از دیگر سو، بین میانگین محتوی عنصر سرب نمونه‌های ریشه گون، گل گون، زنبور عسل و عسل با  $p=0/170$  اختلاف معنی‌دار آماری

وجود نداشت، ولی بین میانگین محتوی عنصر سرب نمونه‌های خاک با سایر نمونه‌ها با  $p=1/000$  اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. به همین صورت، بین میانگین محتوی عنصر نیکل نمونه‌های ریشه گون، گل گون، زنبور عسل و عسل با  $p=0/446$  اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت، ولی بین میانگین محتوی عنصر نیکل نمونه‌های خاک با سایر نمونه‌ها با  $p=1/000$  اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. از طرفی، نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل نمونه‌های گل گون به عنوان یکی از منابع اصلی تغذیه زنبورها در منطقه مورد مطالعه با محتوی همین عناصر در بدن زنبور عسل همبستگی مثبت (مستقیم) به ترتیب با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۲۵۹، ۰/۱۴۹، ۰/۲۲۴ و ۰/۲۳۴ وجود داشت. درحالی که بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل گل گون با محتوی همین عناصر در نمونه‌های عسل همبستگی منفی به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۸۴، ۰/۲۸۷، ۰/۴۰۷ و ۰/۴۴۴ وجود داشت.

## بحث

ویژگی‌های خاک از جمله pH، محتوی مواد آلی و رطوبت خاک بر قابلیت دسترسی فلزات در خاک تاثیر گذارند (Wang و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عنصر



آرسنیک در نمونه‌های خاک با  $13/52$  و  $13/42$  میلی گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سرسختی و قورچی باشی بود. این موضوع را می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به باغات و اراضی کشاورزی که در آن‌ها از انواع آفت کش و کودشیمیایی استفاده می‌شود، مرتبط دانست. همچنین بیش تر بودن میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های اسکان و حک بالا به ترتیب با  $604/72$  و  $328/63$  میلی گرم در کیلوگرم را می‌توان به معادن سنگ روی مستقر در منطقه از جمله معدن سرب و روی قلعه شهرستان شازند منسوب دانست (ملکی راد و همکاران،  $1389$ ). از طرفی بالا بودن میانگین غلظت روی در نمونه‌های خاک ایستگاه ریحان بالا ( $408/67$  میلی گرم در کیلوگرم) را هم می‌توان به معادن سنگ روی مستقر در منطقه و همچنین مجاورت با محل دفن زباله مرتبط دانست. Ding و همکاران ( $2016$ ) نیز میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک اطراف معادن را بیش تر از سایر ایستگاه‌های نمونه برداری گزارش کردند. از طرفی بیش تر بودن میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های اسکان و حک بالا به ترتیب با  $78/70$  و  $71/75$  میلی گرم در کیلوگرم را نیز می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه برق مستقر در منطقه مرتبط دانست. به طور مشابه، کرباسی و همکاران ( $1388$ ) عامل اصلی آلودگی خاک به عنصر نیکل را با فعالیت‌های انسانی مرتبط دانسته‌اند. همچنین، مقادیر قابل توجه سرب در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های اسکان و حک بالا به ترتیب با  $73/90$  و  $63/70$  میلی گرم در کیلوگرم را نیز می‌توان با دلایل اشاره شده در مورد عنصر نیکل مرتبط دانست. در این خصوص، عظیمی و همکاران ( $1390$ ) تخلیه عنصر سرب به محیط را با فعالیت صنایع پتروشیمی مرتبط دانستند. گیاهان به عنوان اجزای مهم هر بوم‌سازگان می‌توانند عناصر را از محیط غیرزنده به محیط زنده انتقال دهند. به بیان دیگر، در بحث ارزیابی تاثیر آلاینده‌های محیطی، جذب گیاه اولین گام از مسیری است که آلاینده‌ها از طریق زنجیر غذایی به انسان منتقل می‌شوند (Nahar Jolly و همکاران،  $2013$ ). از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر قابلیت دسترسی پذیری زیستی عناصر توسط گیاهان می‌توان به نوع خاک، ظرفیت بی‌تحرك سازی جذب خاک، نوع پیوند شیمیایی فلز، حلالیت، تجمع و محتوی فلز، فرآیندهای انتقال فعال/ غیرفعال، شرایط آب و هوایی، نوع سیستم ریشه گیاه، حالت رداکس سلولی، گونه‌زایی، ژن مایه گیاهی (Plant Genotype)، پاسخ گیاه به عناصر در ارتباط با چرخه فصول و مدیریت زراعی اشاره کرد (Chojnacka و همکاران،  $2005$ ; Blanco Rodriguez و همکاران،  $2006$ ). نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آرسنیک، سرب و نیکل در اندام هوایی (گل) گون بیش تر از نرخ جذب این عناصر در ریشه بوده است. در سایر مطالعات نیز که جذب بیش تر عناصر

به ویژه سرب توسط اندام‌های هوایی گیاهان در مقایسه با ریشه را با توانایی انتقال گیاه مرتبط دانسته‌اند (خادم حقیقت و قدوسی،  $1364$ ). هرچند امکان جذب گیاهی سرب به دلیل انحلال پذیری اندک این عنصر در خاک، معمولاً در مقایسه با سایر عناصر کم تر است (دهرآزما و همکاران،  $1394$ )، بالا بودن میانگین غلظت سرب در نمونه‌های گل ایستگاه‌های سرسختی، اسکان و ورچه را می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به باغات و زمین‌های کشاورزی و به تبع آن ورود سرب به خاک بر اثر استفاده از سموم دفع آفات مرتبط دانست. این درحالی است که در ایستگاه‌های ورچه و کرهرود به جز عوامل فوق‌الذکر عامل مجاورت به جاده نیز ممکن است به تجمع مقادیر بیش تر سرب در اندام هوایی گونه گون منجر شده باشد (داودپور و همکاران،  $1397$ ). نتایج مطالعات بیان گر آن است که زنبور عسل می‌تواند نشان دهنده الگوی زمانی- مکانی روند تغییرات غلظت فلزات حتی در سطوح نسبتاً پایین آلودگی در بوم‌سازگان باشد. از طرفی از آن جا که اختلالات شیمیایی محیط منجر به افزایش نرخ مرگ و میر زنبور عسل می‌شود و همچنین امکان استفاده از اندام‌های بدن و یا فرآورده‌های تولیدی این گونه به ویژه عسل (Formicki و همکاران،  $2013$ ; Naccari و همکاران،  $2014$ ) برای ردیابی مقادیر باقی مانده آلاینده‌های محیطی امکان پذیر است، لذا، زنبور عسل به عنوان یک شناساگر زیستی مناسب و قابل اعتماد برای پایش زیستی کیفیت محیط قابل معرفی است (Conti و Botré،  $2001$ ; Celli و Maccagnani،  $2003$ ; Giglio و همکاران،  $2017$ ; Skorbiłowicz و همکاران،  $2018$ ). در این خصوص ثابت شده است که عناصر موجود در جو از جمله سرب می‌توانند بر سطح کرک دار بدن زنبور رسوب کرده و از طریق گرده‌ها به کندو منتقل شوند. البته باید توجه داشت که آلودگی عسل به فلزات سمی به جز مصرف آب آلوده، می‌تواند ناشی از مصرف زنبور از شهد آلوده گیاهان گل داری باشد که قادرند عناصر سمی موجود در خاک آلوده را از طریق سیستم ریشه‌ای به اندام هوایی خود منتقل کنند (Bahreyni و همکاران،  $2006$ ; Pohl،  $2009$ ; Rashed و همکاران،  $2009$ ). البته لازم به ذکر است که هنگام استفاده از زنبور عسل و یا محصولات آن برای پایش فلزات سمی در محیط، برخی از متغیرها مانند شرایط آب و هوایی، فصل و منشأ گیاهی عسل باید در نظر گرفته شوند (Jeliazkova و همکاران،  $2001$ ; Zhelyazkova،  $2012$ ). نتایج مطالعه‌های مشابه نشان داد از آن جا که زنبور عسل به تغییرات محیطی و به ویژه افزایش کمی فلزات در خاک، گیاه و هوا واکنش نشان می‌دهد، لذا، می‌توان از این گونه به عنوان شاخص قابل اعتماد در پایش زیستی محیط استفاده کرد (Zhelyazkova،  $2012$ ). از طرفی Badiou-Bénéteau و همکاران ( $2013$ ) گزارش کردند که از نشانگرهای زیستی (Biomarkers) زنبور عسل می‌توان به عنوان ابزارهای امیدبخش برای پایش

کیفیت محیط استفاده کرد. از آنجا که کاربرد گسترده آفت کش‌ها، کودهای شیمیایی و احتراق سوخت فسیلی منجر به تخلیه آرسنیک در محیط می‌شود (Chirenje و همکاران، ۲۰۰۳)، لذا، بالا بودن محتوی عنصر آرسنیک در نمونه‌های بدن زنبور ایستگاه‌های سرسختی و ورچه ممکن است به آلودگی گیاهان مورد تغذیه و یا تماس بدنی زنبور با محیط آلوده ناشی از کاربرد آفت کش‌ها و علف کش‌های حاوی آرسنیک در زمین‌های کشاورزی و باغات منطقه مرتبط باشد. ثابت شده است که زنبور می‌تواند فلزاتی مانند مس و روی را در غلظت‌هایی بسیار بالا بدون بروز هیچ گونه اثرات زیان‌آور در بدن خود انباشت کند (Chen و Chen، ۲۰۰۳). نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که عنصر روی با میانگین غلظت برابر با ۹۹/۹۰ میلی گرم در کیلوگرم در مقایسه با سایر عناصر از بیشترین نرخ تجمع در بدن زنبور عسل برخوردار بوده است. Bogdanov و همکاران (۱۹۸۵) محتوی روی در بدن زنبور را با احتراق سوخت فسیلی مرتبط دانستند. از این رو، اختصاص بیشینه محتوی عنصر روی با ۱۶۸ میلی گرم در کیلوگرم به نمونه‌های زنبور عسل ایستگاه سرسختی را می‌توان با احتراق مقادیر قابل توجه سوخت فسیلی توسط پتروشیمی سازند و شرکت پالایش نفت سازند مرتبط دانست. از آنجا که احتمال آلودگی به فلزات سنگین در زنبور با فاصله منطقه پرورش زنبور به مناطق صنعتی رابطه مستقیم دارد (Porrini و همکاران، ۲۰۰۳؛ Rashed و همکاران، ۲۰۰۹)، لذا، تجمع مقادیر قابل توجه عناصر سرب و نیکل در نمونه‌های زنبور ایستگاه‌های حک بالا و ورچه را احتمالاً بتوان به مجاورت ایستگاه حک بالا با پتروشیمی و شرکت پالایش نفت سازند و مجاورت ایستگاه ورچه با معدن سرب و روی مرتبط دانست. ثابت شده است که ترکیب، خصوصیات و کیفیت عسل تولیدی به عنوان یک محصول غذایی طبیعی و پرمصرف در سرتاسر جهان به منبع گیاهان گل‌دار مورد استفاده توسط زنبور عسل، شرایط و موقعیت منطقه‌ای و آب و هوایی، پارامترهای زمین‌شناختی و ژئوشیمیایی و همچنین انتقال آلاینده‌ها توسط زنبور از محیط به کندو بستگی دارد (Al Juhaimi و Ozcan، ۲۰۱۲؛ Stecka و همکاران، ۲۰۱۴؛ Mohammadi Aghamirlou و همکاران، ۲۰۱۵). در این خصوص، نوع و کیفیت منابع گرده منتقل شده به کندو توسط زنبور به طور مستقیم با محتوی عناصر در عسل مرتبط است. از این رو، بدیهی است در صورت آلودگی مناطق مورد تغذیه زنبور، عسل تولیدی می‌تواند از طریق شهد و گرده گیاهان انگبینی (Melliferous plants) که در خاک آلوده رشد یافته‌اند و همچنین آب آلوده را جذب کرده‌اند، دارای انواع آلاینده‌ها باشد (Perugini و همکاران، ۲۰۱۱؛ do Nascimento و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج نشان داد که بیشینه محتوی عنصر آرسنیک به میزان ۱/۳۰ میلی گرم در کیلوگرم به نمونه عسل ایستگاه هزاره اختصاص داشت. این موضوع را می‌توان به استفاده

از آفت کش‌ها و علف کش‌های حاوی آرسنیک در باغات و زمین‌های کشاورزی مستقر در این ایستگاه مرتبط دانست. از آنجا که یون سرب از تحرک اندک در خاک برخوردار بوده و از قابلیت انتقال مناسب از ریشه به سایر قسمت‌های گیاه برخوردار نیست، لذا، انتقال سرب از خاک به ریشه گیاهان و سپس به اندام‌های هوایی گیاهان نمی‌تواند دلیل مهمی برای آلودگی شهد گل و به تبع آن عسل به این عنصر تلقی شود. از این رو، محتوی سرب در عسل ممکن است با موقعیت کندوها و نزدیک بودن آن‌ها به بزرگراه و مناطق شهری و یا مناطقی با فعالیت‌های صنعتی مرتبط باشد (Yoon و همکاران، ۲۰۰۶). Bibi و همکاران (۲۰۰۸) محتوی قابل توجه سرب در عسل تولیدی عربستان سعودی را ناشی از وجود سرب در فرونشست جوی دانستند. از طرفی نبی‌لو و همکاران (۱۳۹۶) مجاورت کندوها با کارخانه سرب و روی زنجان را مهم‌ترین دلیل آلودگی عسل به فلز سرب معرفی کردند. در این پژوهش نیز اختصاص بیشینه محتوی عنصر سرب به نمونه عسل ایستگاه انجیرک با ۱/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم را می‌توان به نزدیکی این ایستگاه به راه مواصلاتی و همچنین شهرک صنعتی شماره یک اراک مرتبط دانست. نتایج پژوهش‌های مشابه، محتوی نیکل در عسل را با تخلیه آلاینده‌های صنعتی به محیط و ترسیب اتمسفری مرتبط دانسته است (Soylak و Tuzen، ۲۰۰۵؛ Yang و همکاران، ۲۰۱۱). لذا، اختصاص بیشینه محتوی عنصر نیکل به عسل ایستگاه انجیرک با ۷/۲۹ میلی گرم در کیلوگرم می‌تواند با مجاورت این ایستگاه به قطب صنعتی و ترسیب نیکل ناشی از آن مرتبط باشد. همبستگی مثبت بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر به محیط از طریق منابع مشترک اعم از طبیعی و یا انسان‌ساخت بوده و یا به رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر مرتبط باشد (Facchinelli و همکاران، ۲۰۰۱). در مطالعه حاضر دلیل همبستگی مثبت بین محتوی عناصر را می‌توان با ساختار زمین‌شناختی، منبع مشترک تخلیه این فلزات از جمله انتشار آلاینده‌ها از صنایع پتروشیمی، شرکت پالایش، نیروگاه تولید برق و همچنین مصرف نهاده‌های کشاورزی به ویژه سموم دفع آفات حاوی فلز مرتبط دانست. همان‌طور که اشاره شد زنبور عسل فلزات سنگین را توسط مصرف آب سطحی آلوده، گرده و شهد آلوده، استنشاق ذرات در طول پرواز و چسبندگی ذرات به بدن کرک‌دار خود هنگام حرکت بر روی سطوح گیاه و خاک در طول جستجوی غذا جذب می‌کند. همچنین تجمع و به تبع آن محتوی فلزات در اندام‌های بدن با واکنش زنبورها به تغییرات محیطی (خاک، آب، هوا و گیاهان) که در آن زندگی می‌کنند و همچنین ویژگی ذاتی آن‌ها (Inherent property) مرتبط است. از این رو زنبور عسل می‌تواند نمونه یکپارچه‌ای از آلودگی محیطی زیستگاه خود در محدوده پروازی با شعاع تقریبی هفت کیلومتر را ارائه کند (Zhelyazkova، ۲۰۱۲؛ Formicki و همکاران، ۲۰۱۳؛ Bilandzic و



دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۳۵ تا ۳۸.

۹. سبحان اردکانی، س.؛ معانی جو، م. و اسدی، ه.، ب ۱۳۹۳. بررسی غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن. مجله پزشکی بالینی ابن سینا، دوره ۲۱، شماره ۴، صفحات ۳۱۹ تا ۳۲۹.

۱۰. سنجر، ف.؛ جواهری، م. و عسکری ساری، ا.، ۱۳۸۸. اندازه‌گیری و مقایسه فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در عضله و پوست ماهی زمین کن دم نواری (*Platycephalus indicus*) منطقه صیادی بندر ماهشهر. بیولوژی دریا. دوره ۱، شماره ۴، صفحات ۳۵ تا ۴۶.

۱۱. عاقلان، ن. و سبحان اردکانی، س.، ۱۳۹۵. بررسی مخاطره سلامت مصرف جای عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان (مطالعه پتانسیل خطر آرسنیک، سرب، کادمیوم و کروم). مجله پزشکی بالینی ابن سینا، دوره ۲۳، شماره ۱، صفحات ۶۵ تا ۷۴.

۱۲. عباس زاده، ح.؛ محمدی روزبهانی، م. و سبحان اردکانی، س.، ۱۳۹۸. امکان سنجی استفاده از برگ درختان کنار (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis cineraria*) به عنوان زیست‌شناساگر آلودگی فلزات سنگین منتشرشده از مناطق صنعتی. سلامت و محیط زیست. دوره ۱۲، شماره ۱، صفحات ۸۷ تا ۱۰۰.

۱۳. عبدی، ن.؛ عبدی، م. و حسن زاده، ص.، ۱۳۸۹. معرفی گیاهان دارویی شهرستان اراک. یافته‌های نوین کشاورزی. دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۳۷ تا ۴۹.

۱۴. عظیمی، ع.؛ صفاهیه، ع.؛ علی داداللهی، س.؛ ذوالقرنین، ح. و سواری، ا.، ۱۳۹۰. تجمع زیستی فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در دوکفه‌ای در منطقه بندر امام خمینی (ره). علوم و فنون دریایی. دوره ۱۰، شماره ۳، صفحات ۲۳ تا ۳۲.

۱۵. کرباسی، ع.؛ نبی‌بیدهندی، غ.؛ معطر، ف. و برزگری، ز.، ۱۳۸۸. بررسی و منشأ و دسترسی بیولوژیکی عناصر سنگین در خاک ارتفاعات شمال غرب تهران. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۲۹ تا ۴۱.

۱۶. کیانپور، س. و سبحان اردکانی، س.، ۱۳۹۶. بررسی محتوی عناصر روی، سرب، کادمیوم و مس در محصول گندم و نان مصرفی برخی از مزارع و نانوایی‌های شهر همدان. بهداشت مواد غذایی. دوره ۷، شماره ۴، صفحات ۸۳ تا ۹۳.

۱۷. مشروقه، ا.؛ ریاحی بختیاری، ع. و پورکاظمی، م.، ۱۳۹۲. غلظت کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در عضله و خاویار تاسماهی ایرانی با تاکید بر ارزیابی ریسک ناشی از مصرف عضله *Acipenser persicus*. سلامت و محیط. دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۴۰۷ تا ۴۱۶.

۱۸. ملکی‌راد، ع. ا.؛ فانی، ع.؛ عبداللهی، م.؛ عریان، ش.؛ باباپور، و.؛ شریعت‌زاده، س. م. ع. و داودی، م.، ۱۳۸۹. پارامترهای خونی ادراری و روانی-شناختی کارگران معدن مواجهه یافته با

همکاران، ۲۰۱۴؛ Barganska و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zaric و همکاران، ۲۰۱۷. با استناد به یافته‌ها، محتوی عناصر در بدن زنبور عسل از روند نزولی روی < سرب < نیکل < آرسنیک پیروی کرد. از طرفی مقادیر ضریب همبستگی مثبت بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل نمونه‌های گل گون با زنبور عسل در مقایسه با نمونه‌های گل گون با عسل می‌تواند بیان‌گر آن باشد که زنبور به‌عنوان گونه حلقه واسط در بوم‌سازگان از قابلیت معرفی به‌عنوان شناساگر بالقوه برای ردیابی روند انتقال فلزات سنگین در زنجیر خاک، گیاه و غذا (Alimentary chain) و ارزیابی کیفیت محیط در مقایسه با سایر فرآورده‌های این گونه هم‌چون عسل برخوردار است.

## منابع

۱. آقائباتی، ع.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی و توان معدنی استان مرکزی. زمین‌شناسی رشد. دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۴ تا ۱۵.
۲. حاج‌رسولی‌ها، ش.؛ امینی، ح.؛ هودجی، م. و نجفی، پ.، ۱۳۸۵. زیست ردیابی آلودگی هوا و خاک در منطقه اصفهان. پژوهش در علوم کشاورزی. دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۳۹ تا ۵۴.
۳. خادم‌حقیقت، م. و قدوسی، ج.، ۱۳۶۴. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران. انتشارات جهاد دانشگاهی تهران. ۱۰۱ صفحه.
۴. داودپور، ر.؛ سبحان اردکانی، س.؛ چراغی، م.؛ عبدی، ن. و لرستانی، ب.، ۱۳۹۷. بررسی قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت آرسنیک و برخی فلزات سنگین توسط گونه گون پنبه‌ای (*Astragalus gossypinus*). پژوهش‌های گیاهی. پذیرفته شده برای انتشار.
۵. درویش‌نیا، ز.؛ ریاحی بختیاری، ع.؛ کامرانی، ا. و سجادی، م.، ۱۳۹۴. تجمع زیستی فلزات سنگین (سرب، آهن و روی) در بافت اسکلتی مرجان خانواده Faviidae و رسوبات پیرامونی آن در جنوب جزیره قشم، خلیج فارس. بوم‌شناسی آبزیان. دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۷۷ تا ۸۷.
۶. دهرآزما، ب.؛ رحمتی، ش.؛ اصغری، ح. و صادقیان، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر معدن متروکه مس چغندر سر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه جنوب غرب عباس آباد. مهندسی معدن. دوره ۱۰، شماره ۲۷، صفحات ۸۱ تا ۹۴.
۷. رحیم‌ملک، م.؛ فضیلتی، م.؛ غریبی، ش. و وهابی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تنوع ژنتیکی جمعیت‌های گون‌های زرد و سفید در مناطق حفاظت‌شده استان اصفهان با استفاده از نشانگر ISSR. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. دوره ۱، شماره ۱، صفحات ۲۵ تا ۳۴.
۸. سبحان اردکانی، س.؛ جمالی، م. و معانی جو، م.، الف ۱۳۹۳. بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی



- Tapeng Bay, Southwestern Taiwan. Journal of Food and Drug Analysis. Vol. 11, pp: 32-38.
۳۴. Chirenje, T.; Ma, L.Q.; Chen, M. and Zillioux, E.J., 2003. Comparison between background concentrations of arsenic in urban and non-urban areas of Florida. Advances in Environmental Research. Vol. 8, pp: 137-146.
۳۵. Chojnacka, K.; Chojnacki, A.; Gorecka, H. and Gorecki, H., 2005. Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. Science of the Total Environment. Vol. 337, pp: 175-182.
۳۶. Conti, M.E. and Botré, F., 2001. Honeybees and their products as potential bio-indicators of heavy metal contamination. Environol Monitoring and Assessment. Vol. 69, pp: 267-282.
۳۷. Crane, E., 1984. Bees, honey and pollen as indicators of metals in the environment. Bee World. Vol. 65, pp: 47-49.
۳۸. Ding, Q.; Cheng, G.; Wang, Y. and Zhuang, D., 2016. Effect of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. Science of the Total Environment. Vol. 578, pp: 577-585.
۳۹. do Nascimento, A.S.; Dechechi Chambo, E.; de Jesus Oliveira, D.; Ramos Andrade, B.; Santana Bonsucesso, J. and de Carvalho, C.A.L., 2018. Honey from stingless bee as indicator of contamination with metals. Sociobiology. Vol. 65, pp: 727-736.
۴۰. Facchinelli, A.; Sacchi, E. and Mallen, L., 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environmental Pollution. Vol. 114, pp: 313-324.
۴۱. Formicki, G.; Gren1, A.; Stawarz, R.; Zyśk, B. and Gal1, A., 2013. Metal Content in Honey, Propolis, Wax, and Bee Pollen and Implications for Metal Pollution Monitoring. Polish J of Environmental Studies. Vol. 22, pp: 99-106.
۴۲. Frias, I.; Rubio, C.; Gonzalez-Iglesias, T.; Gutierrez, A.; Gutierrez, D. and Hardisson, A., 2008. Metals in fresh honeys from Tenerife Island, Spain. Bulletin of environmental Contamination and Toxicology. Vol. 80, pp: 30-33.
۴۳. Giglio, A.; Ammendola, A.; Battistella, S.; Naccarato, A.; Pallavicini, A.; Simeon, E.; Tagarelli, A. and Giulianini, P.G., 2017. *Apis mellifera ligustica*, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: a preliminary study of heavy metal pollution in Trieste, Italy. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 24, pp: 659-665.
۴۴. Hegazi, A.A. and El-Kady, A., 2010. Effect of road dust on vegetative characters and leaves heavy metal contents of *Zizyphus spina-christi* (L.) willd, *Syzygium cuimini* (L.) skeels and *Olea europea* (L.) seedlings. Horticultural Science and Ornamental Plants. Vol. 2, pp: 98-107.
۴۵. Hernandez, O.M.; Fraga, J.M.G.; Jimenez, A.I.; Jimenez, F. and Arias, J.J., 2005. Characterization of honey from the Canary Islands: determination of the mineral content by atomic absorption spectrophotometry. Food Chemistry. Vol. 93, pp: 449-458.
۴۶. Hosseini, S.V.; Aflaki, F.; Sobhanardakani, S. and Bandehkhoda Langaroudi, S., 2015. Selected metals in canned fish consumed in Iran. Iranian Journal of Toxicology. Vol. 8, pp: 1182-1187.
۴۷. Jeliaskova, I.; Marinova, M. and Peneva, V., 2001. Honey bee and their products as bioindicators for environmental pollution. I. Study on mineral content of body of bee-workers received different doses of microelements with their food. Journal of Animal Science. Vol. 38, pp: 37-40.
۴۸. Matin, G.; Kargar, K. and Baha Buyukisik, H., 2016. Bio monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, سرب و روی. مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک. دوره ۱۳، شماره ۴، صفحات ۱۰۶ تا ۱۱۴.
۱۹. نبی‌لو، س.؛ مطلبی، ع. و شیخ‌لویی، ح.، ۱۳۹۶. میزان فلزات سنگین سرب و قلع در عسل‌های تصفیه شده (صنعتی)، تصفیه نشده (سنتی) و موم‌دار در استان زنجان. بهداشت مواد غذایی. دوره ۷، شماره ۴، صفحات ۶۸ تا ۷۱.
۲۰. هدایتی‌فر، ر.؛ فلاحي، ا. و بیرجندی، م.، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری مقدار فلزات سرب و کادمیوم نمونه‌های برنج پر مصرف استان لرستان و مقایسه آن با استانداردهای ملی. یافته. دوره ۱۲، شماره ۴، صفحات ۱۵ تا ۲۳.
۲۱. Achudume, A.C. and Nwafor, B.N., 2010. The ecological assessment of metals in local brands of honey in southwest Nigeria. African Journal of Agricultural Research. Vol. 5, pp: 2608-2610.
۲۲. Akinola, M.O.; Njoku, K.L. and Ifitezue, N.V., 2011. Assessment of heavy metals (lead and cadmium) concentration in *Paspalum orbiculare* near municipal refuse dumpsites in Lagos State, Nigeria. Journal of Ecology and the Natural Environment. Vol. 3, pp: 509-514.
۲۳. Al Naggar, A.; El-Saied, A.; Naiem Amal, I.; Seif Mohamed, I.H. and Mona, H., 2013. Honey bees and their products as a bio-indicator of environmental pollution with heavy metals. Mellifera. Vol. 13, pp: 10-20.
۲۴. Badiou-Bénéteau, A.; Benneveau, A.; Gélet, F.; Delatte, H.; Becker, N.; Brunet, J.L.; Reynaud, B. and Belzunces, L.P., 2013. Honeybee biomarkers as promising tools to monitor environmental quality. Environment International. Vol. 60, pp: 31-41.
۲۵. Bahreyni, R.; Mirhadi, S.; Javaheri, S. and Talebi, M., 2006. The survey on situation of heavy metals in honey, pollen and adult bees of Tehran Province. Apiaries. Vol. 15, pp: 247-252.
۲۶. Barganska, Z.; Slebiada, M. and Namieśnik, J., 2016. Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. Critical reviews in environmental science and technology. Vol. 46, pp: 235-248.
۲۷. Bibi, S.; Husain, S.Z. and Malik, R., 2008. Pollen analysis and heavy metals detection in Honey samples from seven selected countries. Pakistan J of Botany. Vol. 40, pp: 507-516.
۲۸. Bilandzic, N.; Gacic, M.; Dokic, M.; Sedak, M.; Sipusic, D.I.; Koncurat, A. and Gajger, I.T., 2014. Major and trace elements levels in multiflora and uniflora honeys in Croatia. J of Food Composition and Analysis. Vol. 33, pp: 132-138.
۲۹. Blanco Rodriguez, P.; Vera Tomé, F., Pérez Fernandez, M. and Lozano, J.C., 2006. Linearity assumption in soil to plant transfer factors of natural uranium and radium in *Helianthus annuus* L. Science of the Total Environment. Vol. 361, pp: 1-7.
۳۰. Bogdanov, S.B.; Zimerli, M. and Erard, M., 1985. Heavy metals in honey. Lebensmitteluntersuchung und Hygiene. Vol. 77, pp: 153-158 (In German).
۳۱. Bromenshenk, J. and Preston, E.M., 1986. Public participation in environmental monitoring; a means of attaining network capability. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 6, pp: 35-47.
۳۲. Celli, G. and Maccagnani, B., 2003. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. Bulletin of Insectology. Vol. 56, pp: 137-139.
۳۳. Chen, C.Y. and Chen, M.H., 2003. Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg concentration in the oyster of Chi-ku, Taishi and



۶۳. Sobhanardakani, S., 2018. Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals through exposure to the household dust (Case study: City of Khorramabad, Iran). *Annals of Military and Health Sciences Research*. Vol. 16, No. 4, e86594.
۶۴. Sobhanardakani, S. and Ghoochian, M., 2016. Analysis of heavy metals in surface sediments from Agh Gel Wetland, Iran. *Iranian Journal of Toxicology*. Vol. 34, pp: 41-46.
۶۵. Sobhanardakani, S. and Jafari, S.M., 2014. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *J of Chemical Health Risks*. Vol. 4, pp: 47-54.
۶۶. Sobhanardakani, S. and Jamshidi, K., 2015. Assessment of metals (Co, Ni and Zn) content in the sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index. *Iranian Journal of Toxicology*. Vol. 30, pp: 1386-1390.
۶۷. Sobhanardakani, S. and Kianpour, M., 2016. Heavy metal levels and potential health risk assessment in honey consumed in west of Iran. *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*. Vol. 3, e7795.
۶۸. Sobhanardakani, S.; Tayebi, L. and Hosseini, S.V., 2018. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 25, pp: 2664-2671.
۶۹. Soriano, M.A. and Fereres, E., 2003. Use of crops for in situ phytoremediation of polluted soil following a toxic flood from a mine spill. *Plant and Soil*. Vol. 256, pp: 53-64.
۷۰. Soy lak, M. and Doghan, M., 2000. Lead concentration of dust sample from Nigde city Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol. 9, pp: 36-40.
۷۱. Stecka, H.; Jedryczko, D.; Welna, M. and Pohl, P., 2014. Determination of traces of copper and zinc in honeys by the solid phase extraction pre-concentration followed by the flame atomic absorption spectrometry detection. *Environmental monitoring & assessment*. Vol. 186, pp: 6145-6155.
۷۲. Tuzen, M. and Soy lak, M., 2005. Trace heavy metal levels in microwave digested honey samples from MiddleAnatolia, Turkey. *J of Food and Drug Analysis*. Vol. 13, pp: 343-347.
۷۳. Wang, A.S.; Angle, J.S.; Chaney, R.L.; Delorme, T.A. and Reeves, R.D., 2006. Soil pH effects on uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens*. *Plant & soil*. Vol. 281, pp: 325-337.
۷۴. Yang, ZH.; Lu, W.; Long, Y.; Bao, X. and Yang, Q., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 108, pp: 27-38.
۷۵. Yoon, J.; Cao, X.; Zhou, Q. and Ma, L.Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*. Vol. 368, pp: 456-464.
۷۶. Zaric, N.M.; Ilijevic, K.; Stanisavljevic, L. and Grzetic, I., 2017. Use of honeybees (*Apis mellifera* L.) as bioindicators for assessment and source appointment of metal pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 24, pp: 25828-25838.
۷۷. Zhelyazkova, I., 2012. Honeybees bioindicators for environmental quality. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Vol. 18, pp: 435-442.
- propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*. Vol. 90, pp: 331-335.
۴۹. Mohammadi Aghamirlou, H.; Khadem, M.; Rahmani, A.; Sadeghian, M.; Mahvi, A.H.; Akbarzadeh, A. and Nazmara, Sh., 2015. Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. Vol. 13, pp: 2-8.
۵۰. Mohammadi Roozbahani, M.; Sobhanardakani, S.; Karimi, H. and Sorooshnia, R., 2015. Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. *Iranian Journal of Toxicology*. Vol. 9, pp: 1336-1341.
۵۱. Muhammad, S.; Tahir Shah, M. and Khan, S., 2011. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal*. Vol. 98, pp: 334-43.
۵۲. Naccari, C.; Macaluso, A.; Giangrosso, G.; Naccari, F. and Ferrantelli, V., 2014. Risk assessment of heavy metals and pesticides in honey from Sicily (Italy). *Journal of Food Research*. Vol. 3, pp: 107-117.
۵۳. Nahar Jolly, Y.; Islam, A. and Akbar, S., 2013. Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment. *Springerplus*. Vol. 2, No. 1, 385 p.
۵۴. Ozcan, M.M. and AL Juhaimi, F.Y., 2012. Determination of heavy metals in bee honey with connected and not connected metal wires using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 184, pp: 2373-2375.
۵۵. Perugini, M.; Manera, M.; Grotta, L.; Abete, M.C.; Tarasco, R. and Amorena, M., 2011. Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: Honeybees as bioindicators. *Biological Trace Element Research*. Vol. 140, pp: 170-176.
۵۶. Pohl, P., 2009. Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries. *Trends in Analytical Chemistry*. Vol. 28, pp: 117-128.
۵۷. Porrini, C.; Sabatini, A.G.; Girotti, S.; Ghini, S.; Medrzycki, P.; Grillenzoni, F.; Bortolotti, L.; Gattavecchia, E. and Celli, G., 2003. Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. *Apiacta*. Vol. 38, pp: 63-70.
۵۸. Rahman, S.H.; Khanam, D.; Adyel, T.; Shahidul Islam, M.; Ahsan, M.A. and Ahedul Akbor, M., 2012. Assessment of Heavy Metal Contamination of Agricultural Soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of Seasonal Variation and Indices. *Applied Sciences*. Vol. 2, pp: 584-601.
۵۹. Rashed, M.; El Haty, M.T. and Mohamed, S.M., 2009. Bee honey as environmental indicator for pollution with heavy metals. *Toxicological & Environmental Chemistry*. Vol. 91, pp: 389-403.
۶۰. Rezaei Raja, O.; Sobhanardakani, S. and Cheraghi, M., 2016. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. Vol. 3, pp: 131-135.
۶۱. Silva, L.; Sichul, R.; Videira, R.; Monteiro, A.P.; Valentao, P. and Andrade, P.B., 2009. Honey from Luso region (Portugal): physicochemical characteristics and mineral contents. *Microchemical Journal*. Vol. 93, pp: 73-77.
۶۲. Skorbiłowicz, M.; Skorbiłowicz, E. and Cieśluk, I., 2018. Bees as bioindicators of environmental pollution with metals in an urban area. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 19, pp: 229-234.

