امکان‌سنجی ردیابی روند تغییرات محتوی فلزات سنگین در محیط توسط زنبورعسل به‌عنوان گونه زیست‌شناساگر

- **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 سبحان‌اردکانی**: 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 دریافت: خرداد ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

چکیده

از آن‌جاکه زنبورعسل به‌علت ویژگی‌های ذاتی و رفتار تغذیه‌ای خود از قابلیت بالایی در جذب آلاینده‌های محیطی و به‌ویژه فلزات سنگین برخوردار است، این مطالعه با هدف امکان‌سنجی معرفی زنبورعسل به‌عنوان گونه زیست‌شناساگر در ردیابی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در محیط در سال ۱۳۹۶ در کانون‌های عمده زنبورداری و تولید عسل استان مرکزی انجام شد. بدین‌منظور، در مجموع، ۱۸۰ نمونه خاک، گیاه (شامل ریشه و گل گون)، زنبور عسل و عسل از دوازده ایستگاه واقع در شهرستان‌های اراک، خمین و شازند جمع‌آوری شد. پس از هضم اسیدی نمونه‌ها، محتوی عناصر در آن‌ها با استفاده از طیف‌سنج پلاسمای جفت شده القایی تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر (میلی‌گرم در کیلوگرم) آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌های زنبور عسل به‌ترتیب برابر با ۲/۲۹، ۹۹/۹۰، ٤/٤٠ و ۲/۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. این در حالی است که، میانگین غلظت عناصر مذکور در نمونه‌های عسل به‌ترتیب برابر با ۰/۵۵، ۱۱/۸۲، ۰/۳٦ و ۱/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد. از آن‌جاکه مقایسه بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل نمونه‌های گل گون با زنبور عسل بیانگر وجود همبستگی مثبت و از طرفی مقایسه بین محتوی همین عناصر در نمونه‌های گل گون با عسل نشان‌دهنده وجود همبستگی منفی بود، می‌توان نتیجه گرفت که زنبورعسل به‌عنوان یک زیست‌شناساگر بالقوه از قابلیت تشخیص روند تغییرات فلزات‌سنگین درمحیطی که در آن زندگی می‌کنند، برخوردار است.

کلمات کلیدی: زنبور عسل، زیست‌شناساگر، عناصر سمی و ضروری، پایش زیستی، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: cheraghi.mehrdadd@gmail.com

مقدمه

امروزه، ایمنی غذایی در کنار حفظ محیط‌زیست به‌عنوان موضوع مهم جهانی به یک دغدغه ملی و فراملی تبدیل شده است. در این خصوص مشخص شده است که هرساله حدود ۳۰٪ از افراد در کشورهای توسعه یافته به بیماری‌های ناشی از مسمومیت با مواد غذایی مبتلا می‌شوند (کیان‌پور و سبحان‌اردکانی، ۱۳۹۶). از این‌رو، با توجه به این مسأله و نیز اهمیت تأمین غذا برای جمعیت رو به افزایش بشر، در سال‌های اخیر، توجه عموم مردم و ارگان‌های نظارتی به‌خصوص سازمان تجارت جهانی به‌صورت جدی به ایمنی غذا و تضمین کیفیت آن معطوف شده است (هدایتی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). ثابت شده است که عمده‌ترین راه ورود فلزات سنگین به بدن از طریق زنجیر غذایی است. بنابراین سلامتی انسان می‌تواند در اثر مصرف مواد غذایی آلوده به فلزات سنگین در معرض خطر قرار گیرد (Sobhanardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). آلاینده‌های خاک به‌ویژه فلزات سنگین می‌توانند توسط گیاهان جذب شده و به چرخه غذایی وارد شوند. از آن‌جا که، فلزات سنگین از نیم عمر بالا برخوردارند، لذا، احتمال تجمع و انباشت آن‌ها در بافت‌های موجودات زنده محتمل است (عباس‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ Hegazi و El-Kady، ۲۰۱۰؛ Rezaei Raja و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، با توجه به مخاطرات آلاینده‌ها برای حیات موجودات زنده، اطلاع کافی از نوع و میزان هر یک از آن‌ها در محیط از اهمیتی به‌سزا برخوردار است. در این خصوص، زیست‌ردیابی طبیعی به‌عنوان یکی از جدیدترین راه‌های تعیین مقدار و نوع بسیاری از آلاینده‌های محیطی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Soylak و Doghan، ۲۰۰۰). معرفی زنبور عسل (*Apis mellifera* L.) به‌عنوان یک گونه زیست‌شناساگر (Bioindicator) به سال ۱۹۳۵ برمی‌گردد (Crane، ۱۹۸۴). خصوصیات ریخت‌شناختی، رفتاری و زیستی زنبور به‌ویژه رفتار تغذیه‌ای، این گونه ارزشمند را برای پایش آلودگی محیط‌زیست مناسب ساخته است (Celli و Maccagnani، ۲۰۰۳؛ Porrini و همکاران، ۲۰۰۳). در این راستا نتایج مطالعات Conti و Botré (۲۰۰۱)، Jeliazkova و همکاران (۲۰۰۱)، Celli و Maccagnani (۲۰۰۳)، Badiou-Bénéteau و همکاران (۲۰۱۳)، Formicki و همکاران (۲۰۱۳)، Bilandzic و همکاران (۲۰۱۴)، Barganska و همکاران (۲۰۱۶)، Matin و همکاران (۲۰۱۶)، Zaric و همکاران (۲۰۱۷) و do Nascimento و همکاران (۲۰۱۸) بیانگر آن بود که از زنبور عسل و محصولاتش می‌توان به‌عنوان شاخص‌های زیستی به منظور پایش آلودگی محیط‌زیست استفاده کرد. زنبور عسل می‌تواند 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 این‌رو، این گونه قادر است نمونه یکپارچه‌ای از آلودگی محیط‌زیست با شعاع تقریبی هفت کیلومتر از محدوده پرواز خود را ارایه کرده و به منظور ردیابی آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین در محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرد (Bromenshenk و Preston، ۱۹۸۶). ترکیب و ویژگی‌های عسل برحسب منشأ گیاه مورد استفاده توسط زنبورها و همین‌طور شرایط اقلیمی و منطقه‌ای متفاوت است (Ozcan و AL Juhaimi، ۲۰۱۲). با توجه به تخلیه روزافزون آلاینده‌ها به محیط، آلودگی عسل به‌عنوان یکی از فرآورده‌های مهم غذایی دور از انتظار نیست و احتمال آلودگی با فلزات سنگین در آن بالا است (Sobhan ardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). در این‌خصوص، نتایج مطالعات نشان داده است که غلظت فلزات سنگین در نمونه عسل مناطق صنعتی بیش‌تر از مناطق پاکیزه بوده است (Soriano و Fereres، ۲۰۰۳). از این‌رو، احتمال آلودگی عسل به‌طور مستقیم با نوع و کیفیت منابع غذایی که زنبورها مصرف می‌کنند، مرتبط است (Hernandez و همکاران، ۲۰۰۵؛ Silva و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rahman و همکاران، ۲۰۱۲)، و به همین دلیل تعیین محتوی فلزات سنگین در عسل می‌تواند اطلاعاتی با ارزش را درباره آلودگی محیط‌زیستی یک منطقه معین در اختیار قرار دهد (Achudume و Nwofor، ۲۰۱۰). گون پنبه‌ای (*Astragalus gossypinus*) گیاهی علفی چندساله از خانواده لگومینوزه و ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر است که با ۳۰۰۰-۲۰۰۰ گونه در شمار بزرگ‌ترین جنس‌های گیاهان گل‌دار جهان محسوب می‌شود (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 خاک‌های شنی-لومی به‌خوبی رشد می‌کند و از گونه‌های علوفه‌ای است که انتشار گسترده‌ای در کشور و به‌ویژه استان مرکزی دارد (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷). آرسنیک به‌عنوان یک شبه فلز از طریق محلول شدن کانی‌ها و موادمعدنی، فاضلاب صنایع مختلف ازجمله صنایع دباغی و سرامیک سازی، معادن، سموم ضدآفات نباتی، شوینده‌ها، کودهای شیمیایی و انباشت اتمسفری به بوم‌سازگان‌ها وارد می‌شود (Sobhanardakani و همکاران، ۲۰۱۸). آرسنیک، عنصری جهش‌زا و بسیار سمی است و در گروه ۱ ترکیبات سرطان‌زای موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) طبقه‌بندی شده است (عاقلان و سبحان‌اردکانی، ۱۳۹۵). روی در زمره عناصر با اهمیت زیستی بسیار بالا به‌ویژه در عملکرد ریزموجودات زنده است (Sobhanardakani و Kianpour، ۲۰۱۶). البته مقادیر بیش‌تر از حد مجاز این فلز، می‌تواند تهدیدی جدی برای محیط پذیرنده محسوب شود. روی از فلزات مهم محل دفن زباله است که به‌میزان فراوان در خاک لندفیل یافت می‌شود. انتشار روی در خاک اطراف جاده‌ها را می‌توان با سایش تایر خودروها، خوردگی گارد ریل و احتراق سوخت فسیلی مرتبط دانست (کرباسی و

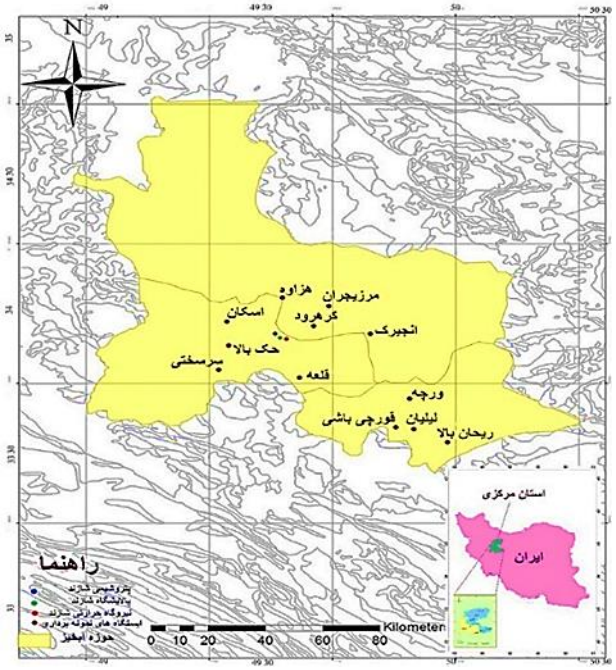
همکاران، ۱۳۸۸). آلودگی روی در محیط‌زیست اغلب با سرب همراه است، زیرا روی از عناصری است که همراه با سرب در معادن یافت شده و به‌همین دلیل بهره‌برداری سرب با رهاسازی روی در طبیعت همراه است (درویش‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴). در مقایسه با سایر فلزات سنگین، روی مسمومیت حاد کم‌تری ایجاد می‌کند. این عنصر در حالت مازاد بر احتیاج باعث افزایش سلول‌های پیشرو مغز استخوان و کاهش تکثیر لنفوسیت‌های B و هم‌چنین کاهش پاسخ آنتی‌بادی‌های سلول‌های T می‌شود (سبحان‌اردکانی و همکاران، الف ۱۳۹۳). سرب ازجمله فلزات سنگین غیرضروری است و از توان ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات زنده برخوردار است. این فلز به‌واسطه ورود به زنجیر غذایی، در بدن انسان‌ها و حیوانات تجمع می‌یابد و سلامتی آن‌ها را نیز به مخاطره می‌اندازد. سرب از طریق ضایعات صنایع باتری‌سازی، 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 2B ترکیبات سرطان‌زا IARC طبقه‌بندی شده است و آثار سمی آن بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد.این آثار را در بدن، به‌خصوص دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خون‌ساز می‌توان یافت (سبحان‌اردکانی و همکاران، ب ۱۳۹۳؛ Muhammad و همکاران، ۲۰۱۱). نیکل یکی از فراوان‌ترین 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). درحالی‌که قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض مقادیر بیش‌تر از حد مجاز این عنصر می تواند به کاهش وزن بدن، مشکلات تنفسی، کبدی و قلبی، آسیب به سیستم عصبی، کاهش رشد سلولی و هم‌چنین سرطان ریه منجر شود (Sobhanardakani، ۲۰۱۸).دراستان مرکزی به‌دلیل وجود اقلیم‌های مختلف، طول دوره زنبورداری در مقایسه با سایر مناطق طولانی‌تر است. هم‌چنین تنوع گونه‌های گیاهی به‌ویژه گون، زمینه‌ای مناسب برای تولید عسل به‌ویژه در شهرستان‌های خمین،شازند و اراک فراهم کرده است. شهرستان اراک به سبب وجود کارخانه‌های صنعتی نظیر ماشین‌سازی، آلومینیوم‌سازی و تعداد زیادی از شرکت‌ها و کارخانه‌های صنعتی و تولیدی در مجاورت خود، یکی از قطب‌های مهم صنعتی کشور محسوب می‌شود. هم‌چنین شهرستان شازند به‌دلیل استقرار پالایشگاه و پتروشیمی شازند و نیروگاه حرارتی شازند از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی وجود معدن سرب و روی عمارت شازند به‌عنوان بزرگ‌ترین معادن سرب و روی منطقه می‌تواند از منابع آلاینده منطقه محسوب شود(ملکی‌راد و همکاران، ۱۳۸۹).

شهرستان خمین نیز به‌سبب وجود معدن سرب و روی روستای لکان و خان‌آباد، کانسار آهن روستای شمس‌آباد و کانسار سرب خوگان دارای اهمیت است (آقانباتی، ۱۳۸۹). با توجه به صنعتی بودن استان مرکزی از طرفی و سطح وسیع زیر کشت محصولات کشاورزی و به‌تبع آن استفاده بیش از اندازه انواع نهاده‌های کشلورزی از طرف دیگر، زمینه انتشار انواع آلاینده‌ها ازجمله فلزات سنگین به محیط را فراهم کرده‌است.لذا،دراین مطالعه برای اولین‌بار نسبت به امکان‌سنجی معرفی زنبورعسل به‌عنوان گونه زیست‌شناساگر در ردیابی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در زنجیر خاک-گیاه-غذا در شهرستان‌های اراک، خمین و شازند به‌عنوان 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 °۳۳ 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 کیلومترمربع (۴/۲۴٪ مساحت استان) به‌عنوان 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 کیلومترمربع (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 کیلومترمربع با مرکزیت شهر شازند در جنوب‌غربی استان مرکزی استقرار یافته است و با مرکز استان ۳۳ کیلومتر فاصله دارد (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: پس از شناسایی کانون‌های عمده زنبورداری و تولیدعسل در شهرستان‌های اراک، شازند و خمین، در هر شهرستان چهار ایستگاه نمونه‌برداری با پراکندگی مناسب انتخاب و نمونه‌برداری از خاک، گیاه، زنبور و عسل به‌طور تصادفی در سه تکرار انجام یافت. بدین‌صورت که از هر ایستگاه تعداد ۴ نمونه خاک، ۴ نمونه گون به‌تفکیک ریشه و گل، ۴ نمونه زنبور و ۴ نمونه عسل برداشت شد(تعداد کل نمونه‌ها ۱۸۰ عدد بود). هم‌چنین مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS براساس سیستم UTM ثبت شد. نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ ارایه شده است.



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 به‌مدت 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 ۰/۰۰۰۱ گرم، توزین و به بشر ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس مقدار ۱۵ میلی‌لیتر تیزاب (ترکیب HCl و HNO3 با نسبت اختلاط حجمی ۳:۱) به هر نمونه افزوده شد تا فرآیند انحلال انجام شود (Sobhanardakani و Ghoochian، 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 اسیدکلریدریک 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 (Sobhanardakani و Jamshidi، ۲۰۱۵). در نهایت پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن طیف‌سنج پلاسمای جفت‌شده‌القایی (ICP-OES) مدل ۷۱۰-ES ساخت کارخانه Varian، غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در هر نمونه به‌ترتیب در طول موج ۱۸۸/۹۸، ۲۰۶/۲۰، ۱۹۶/۰۳ و ۲۳۲/۹۰ نانومتر در ۳ تکرار خوانده‌شد. 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-آلدریچ 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 به‌مدت یک هفته خشک شدند. پس از آن نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه به‌مدت 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 اسیدنیتریک غلیظ مرک آلمان به هر نمونه و بستن درب ظروف، نمونه‌ها طی دو مرحله ۶۰ و ۹۰ دقیقه‌ای در داخل حمام بن ماری به‌ترتیب 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 به‌همین حالت باقی ماندند. پس از آن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف‌شده و با آب دوبار تقطیر در بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند (حاج‌رسولی‌ها و همکاران، ۱۳۸۵). درنهایت 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 شبدر 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، نیم‌گرم از هر نمونه با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی، توزین، و به بوته چینی منتقل شد (Conti و Botré، ۲۰۰۱). سپس در پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک حل و به‌مدت دو ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شد. در مرحله بعد پنج میلی‌لیتر آب اکسیژنه به محلول افزوده شد و نمونه‌ها به‌مدت 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

شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی عناصر از ۹۱/۸٪ تا ۱۰۰/۵٪ متغیر بود. برای آماده‌سازی و هضم نمونه‌های عسل، پنج گرم از هر نمونه به بوته‌چینی منتقل‌شد ودر دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه‌سلسیوس‌برای حداقل ۱۲ ساعت روی هیتر گرم شد. پس از انتقال بوته‌ها به کوره، نمونه‌ها در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شد. سپس خاکستر حاصل توسط اسیدنیتریک ۵٪ به‌حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده‌شد (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 نمونه‌ها از ماده مرجع گواهی‌شده (NIST SRM 1515-apple) استفاده شد. نتایج نشان داد که نرخ بازیابی عناصر از ۹۴/۹٪ تا ۱۰۲/۶٪ متغیر بود.

پردازش آماری داده‌ها: به‌منظور پردازش آماری نتایج از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، به منظور مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد مطالعه بین نمونه‌های خاک، بین نمونه‌های ریشه، بین نمونه‌های گل، بین نمونه‌های زنبور و بین نمونه‌های عسل از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چنددامنه‌ای دانکن) و برای بررسی همبستگی میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر بین نمونه‌های خاک،ریشه، گل، زنبورعسل و عسل از آزمون آماری ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های خاک، ریشه، گل، زنبور و عسل به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جداول ۱ تا ۴ ارایه شده است.

جدول ۱: میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	عنصر (انحراف معیار± میانگین غلظت)*			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۱۳/۵۲±۰/۶۳a	۴۴/۳۲±۲۷/۵۹k	۱۹/۵۷±۱/۱۴g	۴۵/۴۷±۰/۰۸f
اسکان	۱۳/۰۷±۰/۸۶a	۶۰۴/۷۲±۰/۶۲a	۹۰/۷۳±۰/۱۶b	۷۸/۷۰±۰/۳۵a
قلعه	۱۰/۱۲±۰/۵۰c	۱۲۲/۶۷±۲/۵۱d	۲۴/۱۲±۰/۳۶e	۵۱/۷۴±۰/۱۷e
حک بالا	۱۳/۳۷±۰/۵۴a	۳۲۸/۶۳±۳/۰۴c	۶۳/۰۰±۰/۲۶d	۷۱/۷۵±۰/۴۳b
ورچه	۸/۶۰±۰/۲۶d	۶۰/۴۵±۰/۷۴i	۲۲/۹۷±۰/۲۶f	۳۸/۹۲±۰/۲۵i
لیلیان	۹/۱۳±۰/۵۲d	۵۴/۹۸±۰/۳۲j	۱۲/۱۸±۰/۰۳i	۳۶/۱۰±۰/۱۸j
قورچی باشی	۱۳/۴۲±۰/۲۹a	۹۳/۰۷±۰/۶۲e	۲۴/۳۳±۰/۱۶e	۵۵/۲۰±۰/۱۳d
ریحان بالا	۱۱/۷۸±۰/۶۳b	۴۰۸/۶۷±۳/۴۵ b	۷۸/۶۷±۰/۵۳c	۵۷/۱۸±۰/۰۵c
هزاوه	۶/۶۲±۰/۵۵e	۸۷/۱۷±۱/۰۹f	۱۶/۵۷±۰/۱۷h	۴۵/۵۴±۰/۵۸f
انجیرک	۶/۶۵±۰/۳۱e	۶۹/۲۵±۰/۳۶h	۱۱/۰۲±۰/۱۶j	۴۴/۴۹±۰/۲۰g
مرزیجران	۸/۸۵±۰/۶۷d	۷۲/۷۰±۰/۷۳h	۱۷/۶۷±۰/۲۸h	۳۸/۸۴±۰/۳۱i
کرهرود	۵/۹۷±۰/۴۵e	۸۰/۹۹±۰/۷۸g	۱۱۳/۷۵±۱/۸a	۴۱/۹۵±۰/۴۶h
انحراف معیار± میانگین غلظت	۱۰/۰۹±۲/۸۳	۱۶۸/۹۷±۱۷۴/۳۶	۴۱/۲۲±۳۴/۵۰	۵۰/۴۹±۱۲/۹۴

* 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 عناصر در نمونه‌های خاک بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول ۱) نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی،سرب و نیکل به‌ترتیب برابر با ۱۰/۰۹±۲/۸۳، ۱۶۸/۹۷±۱۷۴/۳۶، ۴۱/۲۲±۳۴/۵۰ و ۵۰/۴۹±۱۲/۹۴ بود.

نتایج قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های ریشه (جدول ۲) نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و نیکل به‌ترتیب برابر با ۱/۰۲±۱/۱۲، ۴۷/۸۷±۴۳/۸۹، ۳/۶۳±۵/۷۶ و ۲/۸۳±۱/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در نمونه‌های گل نیز میانگین غلظت این عناصر به‌ترتیب برابر با ۲/۰۲±۲/۱۸، ۲۱/۱۸±۸/۲۰، ۱۰/۸۴±۸/۱۸ و ۴/۰۳±۲/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲).

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

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

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

نتایج قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های زنبور بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری (جدول ۳) نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به‌ترتیب برابر با ۲/۲۹±۴/۶۴، ۹۹/۹۰±۴۱/۱۲، ۴/۴۰±۶/۹۶ و ۲/۷۷±۱/۵۲ بود.

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

ایستگاه	عنصر (انحراف معیار± میانگین غلظت)*			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۰/۰۷±۰/۰۱i	۱۱/۵۴±۰/۰۴f	۰/۵۰±۰/۰۰۷d	۱/۴۳±۰/۴۱e
اسکان	۰/۴۹±۰/۰۰۳g	۱۲/۹۹±۰/۰۰۳d	۰/۰۳±۰/۰۰۳i	۱/۷۸±۰/۰۲d
قلعه	۰/۳۲±۰/۰۰۴k	۱۲/۱۲±۰/۰۰۳e	۰/۰۳±۰/۰۰۲i	۴/۰۹±۰/۰۰۴b
حک بالا	۰/۶۹±۰/۰۰۳c	۳۴/۴۴±۰/۰۴a	۰/۳۹±۰/۰۰۳f	۱/۲۷±۰/۰۰ef
ورچه	۰/۴۰±۰/۰۰۴i	۱۲/۲۸±۰/۳۶e	۰/۰۳±۰/۰۰۲i	۲/۵۱±۰/۰۰۲c
لیلیان	۰/۳۳±۰/۰۰۴j	۳/۴۹±۰/۰۰۳i	۰/۱۶±۰/۰۰۴h	۰/۴۲±۰/۰۰۲i
قورچی باشی	۰/۵۲±۰/۰۰۲f	۱۹/۸۰±۰/۰۰۲b	۰/۴۴±۰/۰۰۲e	۰/۵۵±۰/۰۰۳i
ریحان بالا	۰/۴۳±۰/۰۰۵h	۵/۱۲±۰/۰۰۵h	۰/۰۲±۰/۰۰۳i	۰/۶۴±۰/۰۱hi
هزاوه	۱/۳۰±۰/۰۰۵a	۱۸/۳۰±۰/۰۱۴c	۰/۳۴±۰/۰۰۷g	۱/۰۷±۰/۰۰۴fg
انجیرک	۰/۶۵±۰/۰۰۵d	۷/۰۸±۰/۰۰۲g	۱/۱۵±۰/۰۰۵a	۷/۲۹±۰/۳۶a
مرزیجران	۰/۷۳±۰/۰۰۶b	۱/۷۷±۰/۰۰۹k	۰/۵۴±۰/۰۰۷c	۰/۵۸±۰/۰۰۸i
کرهرود	۰/۶۳±۰/۰۰۷e	۲/۸۹±۰/۰۰۴j	۰/۶۶±۰/۰۰۵b	۰/۸۸±۰/۰۰gh
انحراف معیار± میانگین غلظت	۰/۵۵±۰/۲۹	۱۱/۸۲±۸/۹۶	۰/۳۶±۰/۳۳	۱/۸۸±۱/۹۴

* 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 به‌ترتیب برابر با ۰/۵۵±۰/۲۹، ۱۱/۸۲±۸/۹۶، ۰/۳۶±۰/۳۳ و ۱/۸۸±۱/۹۴ میلی‌گرم 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 به‌منظور بررسی گروه‌بندی آماری محتوی فلزات بین نمونه‌های مورد مطالعه بیانگر آن بود که برای همه عناصر بین واریانس بین گروه‌ها با درجه‌آزادی(df)برابر با ۴ و سطح معنی‌داری(p)برابربا ۰/۰۰۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. بدین‌صورت‌که‌بین‌میانگین‌محتوی عنصر آرسنیک نمونه‌های ریشه گون، گل گون، زنبور عسل و عسل با سطح معنی‌داری (p) برابر با ۰/۰۹۵ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت، ولی‌بین‌میانگین محتوی عنصر آرسنیک‌نمونه‌های‌خاک‌با سایر نمونه‌ها با p=۱/۰۰۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. درحالی‌که بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های ریشه گون،گل گون و عسل با p=۰/۳۳۴، بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های ریشه گون و زنبور عسل با p=۰/۱۳۹ و هم‌چنین بین میانگین محتوی عنصر روی نمونه‌های‌خاک‌و زنبورعسل با p=۰/۰۵۲ اختلاف‌معنی‌دار آماری وجود نداشت. از دیگر سو، بین میانگین محتوی عنصر سرب نمونه‌های ریشه گون،گل‌گون،زنبور عسل و عسل با p=۰/۱۷۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت، ولی بین میانگین محتوی عنصر سرب نمونه‌های خاک با سایر نمونه‌ها با p=۱/۰۰۰ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت. به همین صورت، بین میانگین محتوی عنصر نیکل نمونه‌های ریشه گون، گل‌گون،زنبورعسل و عسل با p=۰/۴۴۶ اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشت، ولی بین میانگین محتوی عنصر نیکل نمونه‌های خاک با سایر نمونه‌ها با p=۱/۰۰۰ 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 به‌عنوان یکی از منابع اصلی تغذیه زنبورها در منطقه مورد مطالعه با محتوی همین عناصر در بدن زنبور عسل همبستگی مثبت (مستقیم) به‌ترتیب با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۲۵۹، ۰/۱۴۹، ۰/۲۲۴ و ۰/۲۳۴ وجود داشت. درحالی‌که بین محتوی عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل گل گون با محتوی همین عناصر در نمونه‌های عسل همبستگی منفی به‌ترتیب با ضریب همبستگی برابر با و 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 ۱۳/۵۲ و ۱۳/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب 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 آفت‌کش و کودشیمیایی استفاده می‌شود، مرتبط دانست. هم‌چنین بیش‌تر بودن میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های اسکان و حک بالا به‌ترتیب با ۶۰۴/۷۲ و ۳۲۸/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم را می‌توان به معادن سنگ روی مستقر در منطقه ازجمله معدن سرب و روی قلعه شهرستان شازند منسوب دانست (ملکی‌راد و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی بالا بودن میانگین غلظت روی در نمونه‌های خاک ایستگاه ریحان بالا (۴۰۸/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) را هم می‌توان به معادن سنگ روی مستقر در منطقه و هم‌چنین مجاورت با محل دفن زباله مرتبط دانست. Ding و همکاران (۲۰۱۶) نیز میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک اطراف معادن را بیش‌تر از سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری گزارش کردند. از طرفی بیش‌تر بودن میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های اسکان و حک بالا به‌ترتیب با ۷۸/۷۰ و ۷۱/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را نیز می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه برق مستقر در منطقه مرتبط دانست. به‌طور مشابه، کرباسی و همکاران (۱۳۸۸) 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 به‌ترتیب با ۷۳/۹۰ و ۶۳/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را نیز می‌توان با دلایل اشاره شده درمورد عنصر نیکل مرتبط دانست. در این‌خصوص، عظیمی و همکاران (۱۳۹۰) تخلیه عنصر سرب به محیط را با فعالیت صنایع پتروشیمی مرتبط دانستند. گیاهان به‌عنوان اجزای مهم هر بوم‌سازگان می‌توانند عناصر را از محیط غیرزنده به محیط زنده انتقال دهند. به بیان دیگر، در مبحث 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، ۲۰۱۳). ازجمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر قابلیت دسترس‌پذیری زیستی عناصر توسط گیاهان می‌توان به نوع خاک، ظرفیت بی‌تحرک‌سازی 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، ۲۰۰۵؛ Blanco Rodriguez و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر آرسنیک، سرب و نیکل در اندام هوایی (گل) گون بیش‌تر از نرخ جذب این عناصر در ریشه بوده است. در سایر مطالعات نیز که جذب بیش‌تر عناصر به‌ویژه سرب توسط اندام‌های هوایی گیاهان در مقایسه با ریشه را با توانایی انتقال گیاه مرتبط دانسته‌اند (خادم‌حقیقت و قدوسی، ۱۳۶۴). هرچند امکان جذب گیاهی سرب به‌دلیل انحلال‌پذیری اندک این عنصر در خاک، معمولاً در مقایسه با سایر عناصر کم‌تر است (دهرآزما و همکاران، ۱۳۹۴)، 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 به‌تبع آن ورود سرب به خاک بر اثر استفاده از سموم دفع آفات مرتبط دانست. این درحالی است که در ایستگاه‌های ورچه و کرهرود به‌جز عوامل فوق‌الذکر عامل مجاورت به جاده نیز ممکن است به تجمع مقادیر بیش‌تر سرب در اندام هوایی گونه گون منجر شده باشد (داودپور و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج مطالعات بیان‌گر آن است که زنبور عسل می‌تواند نشان‌دهنده الگوی زمانی- مکانی روند تغییرات غلظت فلزات حتی در سطوح نسبتاً پایین آلودگی در بوم‌سازگان باشد. از طرفی از آن‌جا 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 به‌ویژه عسل (Formicki و همکاران، ۲۰۱۳؛ Naccari و همکاران، ۲۰۱۴) برای ردیابی مقادیر باقی‌مانده آلاینده‌های محیطی امکان‌پذیر است، لذا، زنبور عسل به‌عنوان یک شناساگر زیستی مناسب و قابل اعتماد برای پایش زیستی کیفیت محیط قابل معرفی است (Conti و Botré، ۲۰۰۱؛ Celli و Maccagnani، ۲۰۰۳؛ Giglio و همکاران، ۲۰۱۷؛ Skorbiłowicz و همکاران، ۲۰۱۸). در این‌خصوص ثابت شده است که عناصر موجود در جو از جمله سرب می‌توانند بر سطح کرک‌دار بدن زنبور رسوب کرده و از طریق گرده‌ها به کندو منتقل شوند. البته باید توجه داشت که آلودگی عسل به فلزات سمی به‌جز مصرف آب آلوده، می‌تواند ناشی از مصرف زنبور از شهد آلوده گیاهان گل‌داری باشد که قادرند عناصر سمی موجود در خاک آلوده را از طریق سیستم ریشه‌ای به اندام هوایی خود منتقل کنند (Bahreyni و همکاران، ۲۰۰۶؛ Pohl، ۲۰۰۹؛ Rashed و همکاران، ۲۰۰۹). البته لازم به‌ذکر است که هنگام استفاده از زنبور عسل و یا محصولات آن برای پایش فلزات سمی در محیط، برخی از متغیرها مانند شرایط آب وهوایی، فصل و منشا گیاهی عسل باید درنظر گرفته شوند (Jeliazkova و همکاران، ۲۰۰۱؛ Zhelyazkova، ۲۰۱۲). نتایج مطالعه‌های مشابه نشان داد از آن‌جا که زنبور عسل به تغییرات محیطی و به‌ویژه افزایش کمی فلزات در خاک، گیاه و هوا واکنش نشان می‌دهد، لذا، می‌توان از این گونه به‌عنوان شاخص قابل اعتماد در پایش زیستی محیط استفاده کرد (Zhelyazkova، ۲۰۱۲). از طرفی Badiou-Bénéteau و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که از نشانگرهای زیستی (Biomarkers) زنبور عسل می‌توان به‌عنوان ابزارهای امیدبخش برای پایش

کیفیت محیط استفاده کرد. از آن‌جا که کاربرد گسترده آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و احتراق سوخت فسیلی منجر به تخلیه آرسنیک درمحیط 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 محیط‌آلوده‌ناشی از کاربرد آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های 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 هیچ‌گونه 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 میلی‌گرم درکیلوگرم 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 این‌رو، اختصاص بیشینه محتوی عنصر روی با ۱۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم به نمونه‌های زنبور عسل ایستگاه سرسختی را می‌توان با احتراق مقادیر قابل توجه سوخت فسیلی توسط پتروشیمی شازند و شرکت پالایش نفت شازند 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 شازند و مجاورت ایستگاه ورچه با معدن سرب و روی مرتبط دانست.ثابت شده است که ترکیب، خصوصیات و کیفیت عسل تولیدی به‌عنوان 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 (Ozcan و Al Juhaimi، ۲۰۱۲؛ Stecka و همکاران، ۲۰۱۴؛ Mohammadi Aghamirlou و همکاران، ۲۰۱۵).دراین‌خصوص، نوع و کیفیت منابع گرده منتقل شده به کندو توسط زنبور به‌طور مستقیم با محتوی عناصر در عسل مرتبط است. از این‌رو، 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 به‌میزان ۱/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به نمونه عسل ایستگاه هزاوه اختصاص داشت. این موضوع را می‌توان به استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های حاوی آرسنیک در باغات و زمین‌های کشاورزی مستقر در این ایستگاه مرتبط دانست. از آن‌جاکه 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 به‌تبع آن عسل به این عنصر تلقی شود. از این‌رو، 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 وهمکاران(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 کارخانهٔ 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 میلی‌گرم 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 (Tuzen و Soylak، ۲۰۰۵؛ Yang و همکاران، ۲۰۱۱). لذا، اختصاص بیشینه محتوی عنصر نیکل به‌عسل ایستگاه انجیرک با ۷/۲۹ میلی‌گرم 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 باساختار زمین‌شناختی،منبع مشترک تخلیه این فلزات ازجمله انتشار آلاینده‌ها از صنایع پتروشیمی، شرکت پالایش، نیروگاه تولید برق و هم‌چنین مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه سموم دفع آفات حاوی فلز مرتبط دانست. همان‌طورکه 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 به‌تبع آن محتوی فلزات در اندام‌های بدن با واکنش زنبورها به تغییرات‌محیطی(خاک، آب، هوا و گیاهان)که در آن زندگی می‌کنند و هم‌چنین ویژگی ذاتی آن‌ها (Inherent property) مرتبط است. از این‌رو زنبورعسل می‌تواند نمونه یکپارچه‌ای ازآلودگی محیطی زیستگاه خود درمحدوده پروازی با شعاع تقریبی هفت کیلومتر را ارایه کند(Zhelyazkova، ۲۰۱۲؛ Formicki و همکاران، ۲۰۱۳؛ Bilandzic و

همکاران، ۲۰۱۴؛ Barganska و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zaric و همکاران، ۲۰۱۷). با استناد به یافته‌ها،محتوی عناصر در بدن زنبورعسل 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 روندانتقال 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. **آقانباتی، 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.؛ سبحان‌اردکانی، 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.؛ ریاحی‌بختیاری، 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، خلیج‌فارس. 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 جنوب‌غرب عباس آباد. مهندسی معدن. دوره ۱۰، شماره ۲۷، صفحات ۸۱ تا ۹۴.

۷. **رحیم‌ملک، م.؛ فضیلتی، م.؛ غریبی، ش. و وهابی، م.، ۱۳۹۰**. بررسی تنوع‌ژنتیکی 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. **سبحان‌اردکانی، س.؛ جمالی، م. و معانی‌جو، م.، الف ۱۳۹۳**. بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۲۵ تا ۳۸.

۹. **سبحان‌اردکانی، س.؛ معانی‌جو، م. و اسدی، ه.، ب۱۳۹۳**. 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 عسکری‌ساری، 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 سبحان‌اردکانی، س.، ۱۳۹۵**. بررسی مخاطره سلامت مصرف چای 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. **عباس‌زاده، ح.؛ محمدی‌روزبهانی، م. و سبحان‌اردکانی، س.، ۱۳۹۸**. امکان‌سنجی استفاده از برگ درختان کنار (*Ziziphus spina-christi*) و کهور (*Prosopis cineraria*) به‌عنوان 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 حسن‌زاده، ص.، ۱۳۸۹**. معرفی گیاهان دارویی شهرستان اراک. یافته‌های نوین کشاورزی. دوره ۵، شماره ۱، صفحات ۳۷ تا ۴۹.

۱۴. **عظیمی، ع.؛ صفاهیه.، ع.؛ علی‌دادالهی، 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 عناصرسنگین در خاک ارتفاعات شمال‌غرب تهران. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۲۹ تا ۴۱.

۱۶. **کیان‌پور، س. و سبحان‌اردکانی، 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. **مشروفه، ا.؛ ریاحی‌بختیاری، 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 اداری و روانی- شناختی کارگران معدن مواجهه یافته با

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.؛ فلاحی، 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.; Géret, 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.; Slebioda, 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 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. Environal 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. **Jeliazkova, 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,

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 Mohemed, 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.

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 phytoremendiation of polluted soil following a toxic flood from a mine spill. Plant and Soil. Vol. 256, pp: 53-64.

۷۰. **Soylak, 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 Soylak, 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.