بررسی توزیع عناصر بالقوه سمی و اهمیت زیست‌محیطی آنها در خاک‌های گلخانه‌ای شهرستان جیرفت، استان کرمان

مهدی خراسانی‌پور[1]* و افسانه برور[2]

[1]دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

[2]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۰۶/ ۰۹/ ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۲۶/ ۰۱/ ۱۳۹۷

چکیده

انباشت عناصر بالقوه سمی در خاک‌های کشاورزی با کشت‌های گلخانه‌ای یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی جدی است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی زیست‌محیطی عناصر بالقوه سمی V، Pb، Se، Sn، Sb، Ni، Mo، Mn، Fe، Cu، Cr، Co، Cd، Bi، As، Ag و Zn در خاک‌های با کشت گلخانه‌ای منطقه باقرآباد جیرفت، استان کرمان است. پس از مطالعات اولیه و بازدیدهای میدانی، ۲۰ نمونه از خاک گلخانه‌ها به روش مرکب نمونه‌برداری و بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، اندازه‌گیری عناصر در آزمایشگاه «لب‌وست» کشور استرالیا به روش ICP-MS انجام شد. نتایج به دست آمده از طریق شاخص‌های زیست‌محیطی و با در نظر گرفتن مقادیر زمینه طبیعی عناصر و میانه غلظت این عناصر در خاک‌های دنیا ارزیابی شدند. نتایج نشان می‌دهد که عناصر As، Mo، Cd، Zn و در مواردی Sb نسبت به نمونه‌های زمینه طبیعی منطقه در برخی از نمونه‌های خاک دارای غنی‌شدگی متوسط هستند. پتانسیل زیست‌دسترس‌پذیری عناصر مورد نظر با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA تعیین شد. در بین عناصر بررسی شده Cd و Zn درصد فاز متحرک بالایی، متناسب با کدهای ارزیابی خطر متوسط تا زیاد نشان دادند. تجزیه منابع آب مورد استفاده در گلخانه‌های مورد نظر، تنها غنی‌شدگی ضعیفی از عنصر آنتیموان (متوسط غلظت ۳۹/۳ µg/L) نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: عناصر بالقوه سمی، خاک، کشت گلخانه‌ای، روش استخراج گزینشی یک مرحله‌ای DTPA.

***نویسنده مسئول:** مهدی خراسانی‌پور

E-mail: khorasani@uk.ac.ir

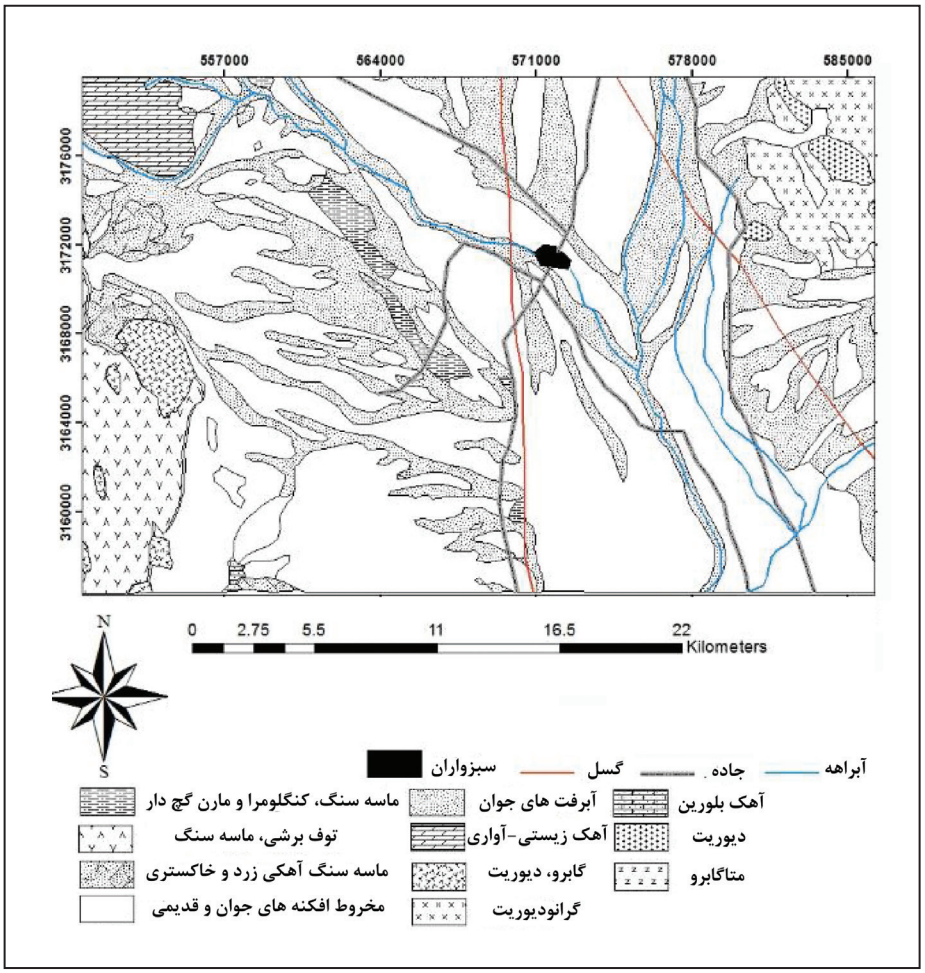
۱- پیش‌نوشتار

خاک به عنوان جزیی از بیوسفر، نقش مهمی درتولید غذا و پایداری محیط زیست دارد. افزایش جمعیت و به همراه آن افزایش دانش علمی و فنی و توسعه فرایندهای مرتبط با کشاورزی بدون رعایت مسائل و استانداردهای زیست‌محیطی سبب آلودگی محیط و به‌هم خوردن تعادل اکوسیستم خاک می‌شود. در این بین آگاهی در مورد آلاینده‌های خاک ضرورتی انکارناپذیر است. در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین درخاک است. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی باعث ایجاد خطرات جدی بر روی سلامتی بشر می‌شود (Müller and Anke, 1994)؛ زیرا نه تنها به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دست‌یابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارند، بلکه خطری جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی نیز محسوب می‌شوند (Boisson et al., 1999). رشد روزافزون نیازهای بشر به محصولات کشاورزی سبب توسعه فراوان کشت‌های گلخانه‌ای شده است. از همین رو این نوع کشت‌ها تأمین کننده بخش مهمی از محصولات کشاورزی مورد نیاز بشر هستند. در کنار این موضوع نگرانی‌های جدی در مورد ورود آلاینده‌های خطرناک به چرخه‌های زیستی از طریق این محصولات نیز مطرح است. این موضوع به دلیل استفاده زیاد از انواع سموم و کودهای شیمیایی در کشت گلخانه‌ای است. روند انباشت فلزات سنگین در خاک بسیار کند بوده و اثرات آن پس از چندین سال قابل تشخیص است. انباشت عناصر در خاک تقریباً یک فرایند برگشت‌ناپذیر است که در درازمدت موجب کاهش کیفیت خاک و در نهایت تخریب اراضی کشاورزی می‌شود (امینی و همکاران، ۱۳۸۵). در سطح دنیا موارد متعددی از آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی گزارش شده است. برای مثال Ping and Zhang (2011) در بررسی منابع آلودگی فلزات سنگین در خاک گیاهان منطقه Shandong چین نشان داده‌اند که از ۱۴۹ نمونه خاک بررسی شده، ۲۲ نمونه آلوده به Cu، Ni، Cd و Hg بودند. همچنین مطالعه انجام شده توسط Zhang et al. (2011) تجمع مشخصی از مس و کادمیم را در خاک گلخانه‌ای در شهر Tongzhou ناحیه Beijing نشان داد. با توجه به اهمیت موضوع تجمع فلزات بالقوه سنگین در خاک‌های کشاورزی با کشت گلخانه‌ای، در این پژوهش غلظت فلزات سنگین در خاک گلخانه‌های منطقه باقرآباد جیرفت با استفاده از روابط ژئوشیمیایی و مقایسه با استانداردهای معتبر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش مطالعه

۲- ۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت جیرفت با سطح زیر کشت حدود ۲۴۲ هزار هکتاری حدود ۲۹ درصد از سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در استان کرمان را به خود اختصاص داده است. این مقدار سطح زیر کشت حدود ۶۷ درصد از کل تولیدات کشاورزی و دامی استان کرمان و حدود ۴ درصد از تولید کشور را به خود اختصاص داده است و به تنهایی در ۱۰ محصول کشاورزی رتبه اول تا سوم تولید و سطح زیر کشت را در کشور شامل می‌شود (سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان، ۱۳۹۳). بخش مهمی از گلخانه‌های دشت جیرفت و شاید بتوان گفت قدیمی‌ترین آنها در منطقه باقرآباد این شهرستان واقع شده‌اند. در این منطقه امکان نمونه‌برداری از گلخانه‌ها با دوره کشت‌های متفاوت نیز وجود دارد؛ زیرا گلخانه‌هایی با سن بالغ بر ۱۸ سال تا گلخانه‌هایی با سن کشت ۲ سال، در این منطقه وجود دارند. در این منطقه انواع مختلفی ازمحصولات گلخانه‌ای مانند خیار، گوجه‌فرنگی، بادمجان و انواع فلفل گلخانه‌ای کشت می‌شوند. این شرایط امکان مناسبی را فراهم می‌آورد که بتوان تأثیر فرایند کشت گلخانه‌ای انواع محصولات را در غلظت فلزات سنگین موجود در خاک مورد بررسی قرار داد. از آنجا که منطقه مورد نظر در حاشیه دشت جیرفت واقع شده است، امکان تهیه نمونه زمینه طبیعی منطقه برای مقایسه با خاک گلخانه‌ای نیز فراهم است. در حال حاضر از رسوبات ریز جمع شده در پشت بندهای سیلابی که از مناطق کوهستانی و بکر منطقه تغذیه می‌شوند، برای تهیه خاک گلخانه‌های جدید استفاده می‌شود. شکل ۱ موقعیت و ساختار زمین‌شناسی دشت جیرفت و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی دشت جیرفت و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

۲- ۲. نمونه‌برداری، آماده‌سازی وتجزیه شیمیایی نمونه‌ها

جهت دستیابی به الگوی مشخصی از پتانسیل آلودگی عناصر و منابع آلاینده و همچنین پی‌جویی فرضیه‌های پژوهش در ابتدا مشاهدات میدانی انجام شد. برای انتخاب محل مناسب با توجه به کشت عظیم محصولات گلخانه‌ای در دشت جیرفت، نکات زیر مورد توجه قرار گرفت:

۱) منطقه مورد نظر سطح زیر کشت بالایی از نظر محصولات گلخانه‌ای داشته باشد؛

۲) گلخانه‌های منطقه دارای سن کشت متفاوت باشند؛ تا امکان مقایسه نتایج با یکدیگر فراهم شود؛

۳) به منظور تسهیل مقایسه با نمونه زمینه طبیعی منطقه، گلخانه‌ها در حاشیه دشت قرار بگیرند؛

۴) امکان نمونه‌برداری از منابع آب مورد استفاده در گلخانه‌ها وجود داشته باشد؛

بر اساس شاخص‌های فوق، منطقه باقرآباد و «طوهان» در حوضه رضوان برای انجام این پژوهش انتخاب شدند. در این مناطق سابقه کشت گلخانه‌ای بالایی وجود دارد و جزو اولین مناطقی هستند که در دشت جیرفت کشت گلخانه ای در آنها صورت گرفته است (شکل ۲). نمونه‌برداری از گلخانه‌های قدیمی با سن حدود ۱۸ سال تا گلخانه‌های جدید و نمونه زمینه طبیعی منطقه (خاک طبیعی در مسیر آبراهه‌های منطقه) انجام شد. در این حالت امکان مقایسه خاک گلخانه‌های با سابقه کشت متفاوت وجود دارد و از طرف دیگر ماهیت خاک‌های گلخانه‌ای با شرایط طبیعی منطقه نیز مقایسه خواهد شد. شیوه نمونه‌برداری تهیه یک نمونه مرکب (Composite) از هر گلخانه بود. در این شیوه هر گلخانه به عنوان یک محیط نمونه‌برداری مستقل در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن نوع کشت ردیفی امکان نمونه‌برداری بر اساس فاصله مشخصی وجود دارد. برای هر گلخانه به‌طور متوسط بین ۴۰ تا ۵۰ نقطه نمونه خاک سطحی (۰ تا ۱۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری و در نهایت یک نمونه مرکب از این تعداد برای هر گلخانه تهیه شد. گلخانه‌های مورد نظر در دشت جیرفت واقع شده‌اند که خاک آن از رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و آبرفت‌های جوان تشکیل شده است (شکل ۱). در مجموع ۱۸ نمونه از گلخانه‌های با سن کشت متفاوت و دو نمونه زمینه طبیعی منطقه نمونه‌برداری شدند. نمونه زمینه طبیعی منطقه مربوط به رسوبات دانه‌ریز جمع‌آوری شده از پشت سیل‌بندهای خاکی حاشیه دشت جیرفت بودند که گلخانه‌های مورد نظر در مجاورت آن قرار دارند. این رسوبات در حد سیلت و رس هستند که توسط رواناب‌های فصلی از ارتفاعات منطقه منشأ می‌گیرند. این رسوبات به عنوان خاک‌های نابرجا به دلیل بافت مناسب در گلخانه‌های حاشیه دشت به عنوان خاک کشاورزی استفاده می‌شوند. در بالادست آبراهه‌های مورد نظر نیز هیچ منشأ غیر طبیعی مانند روستا، شهر و یا مزارع کشاورزی وجود نداشت. نمونه‌های جمع‌آوری شده در محفظه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلن قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت ۱ هفته در محیط اتاق و شرایط عادی خشک و سپس تمام آنها توسط الک استاندارد (۸۰ مش) الک شدند. تجزیه نمونه‌های خاک توسط دستگاه ICP-MS درآزمایشگاه Labwest کشور استرالیا انجام شد. دقت نتایج از طریق تکرار نمونه‌های مشابه و محاسبه انحراف معیار نسبی داده‌های تکراری (Relative Standard Deviation, RSD) مورد ارزیابی قرار گرفت (Khorasanipour and Jafari, 2018). در رابطه ۱، δ انحراف معیار و $\bar{x}$ میانگین در داده تکرار شده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص RSD برای نمونه‌های تکراری در جدول ۱ نشان داده شده است.

$$RSD= \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100 \quad (۱$$

شکل ۲- تصاویری از کشت ردیفی در گلخانه‌های نمونه برداری شده.

جدول ۱- محاسبه دقت داده‌ها براساس شاخص انحراف معیار نسبی (RSD) برای نمونه‌های تکرار شده.

عناصر	واحد	نمونه ۱	تکرار	RSD	نمونه ۲	تکرار	RSD	میانگین RSD
As	mg/kg	۷/۲	۷/۶	۳/۸	۸/۷	۸/۵	۱/۶	۲/۷۳
Pb	mg/kg	۲۱/۲	۲۱/۶	۱/۳	۲۲/۲	۲۱/۸	۱/۲	۱/۳۰
Ni	mg/kg	۱۶	۱۷	۴/۲	۱۸	۱۷	۴/۰۴	۴/۱۶
Se	mg/kg	۰/۸۵	۰/۴۳	۴۶/۴	۰/۴۳	۰/۵۷	۱۹/۷	۳۳/۰۹
Ag	mg/kg	۰/۲۹	۰/۱۸	۳۳/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۶	۴/۲	۱۸/۶۹
V	mg/kg	۵۶	۶۱	۶/۰۴	۶۵	۶۱	۴/۴	۴/۴۸
Co	mg/kg	۱۰/۱	۱۰/۳	۱/۳۸	۱۱/۳	۱۰/۸	۳/۱	۲/۲۹
Cr	mg/kg	۱۷	۲۰	۱۱/۴	۲۳	۲۱	۶/۴	۸/۹۴
Cd	mg/kg	۰/۲۲	۰/۲۵	۹/۰۲	۰/۴	۰/۳۹	۱/۷	۵/۴۰
Cu	mg/kg	۴۹/۵	۴۷/۵	۲/۹۱	۵۰/۱	۵۱/۷	۲/۲	۲/۵۶
Fe	درصد	۲/۹۵	۳/۰۳	۱۹/۶	۳/۱۷	۳/۱۰	۱/۵	۱۰/۶۲
Mo	mg/kg	۱/۹	۲	۳/۶۲	۲/۷	۲/۶	۲/۶	۳/۱۴
Mn	mg/kg	۸۵۶	۸۶۴	۰/۶۵	۹۶۹	۹۴۹	۱/۴	۱/۰۶
Sn	mg/kg	۲/۱	۲/۱	۰	۴/۰۵	۳/۷۹	۴/۶	۲/۳۴
Sb	mg/kg	۰/۸	۰/۷	۹/۴	۴	۱/۴	۶۸/۰۹	۳۸/۷۵
Zn	mg/kg	۸۳	۸۱/۱	۱/۶۳	۱۵۷	۱۵۳	۱/۸۲	۱/۷۳
Bi	mg/kg	۰/۴	۰/۴	۰	۰/۴	۰/۴	۰	۰

علاوه بر دقت، صحت داده‌ها نیز در آزمایشگاه مورد نظر از طریق آنالیز نمونه‌های مرجع چند عنصری مورد ارزیابی قرار گرفت. در بین عناصر بررسی شده Ag، Se و Sb دارای RSDهای بالایی هستند. به عبارت دیگر دقت در نتایج تکرار شده برای این عناصر پایین است. این موضوع به دلیل پایین بودن غلظت این عناصر در نمونه‌های مورد نظر است که به رغم پایین بودن هر دو عدد اختلاف آنها زیاد است. برای مثال برای نمونه شماره ۲ که تکرار شده، مقادیر دو داده تکرار شده به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. تفاوت بین این دو عدد ۳۲/۰۹ درصد است؛ در حالی که هر دو، مقدار پایینی هستند. نمونه‌های خاک تهیه شده تا زمان انجام آنالیزهای تفکیک شیمیایی در محفظه‌های پلی‌اتیلن و در دمای محیط نگهداری شدند. علاوه بر نمونه‌های خاک از آب چاه‌های مورد استفاده برای آبیاری گلخانه‌ها نیز نمونه‌برداری و غلظت عناصر بالقوه سمی در آنها به روش ICP-MS اندازه‌گیری شد.

۲- ۳. ویژگی‌های عمومی خاک‌های نمونه‌برداری شده

در این پژوهش دو شاخص pH و EC به عنوان ویژگی‌های عمومی خاک اندازه‌گیری شدند. در تمامی نمونه‌های خاک بررسی شده شاخص pH در محدوده خنثی تا اندکی قلیایی (۶/۹۶-۷/۸۵) قرار داشت. بهترین حالت برای رشد گیاه در pH بین ۶ و ۸/۲ اتفاق می‌افتد (www.ir.library.oregonstate.edu). مقادیر ECهای اندازه‌گیری شده برای هر یک از نمونه‌ها در محدوده خیلی شور قرار دارند. مقدار متوسط EC خاک‌های مورد بررسی ۲۶/۰۹ ds/m است. از نظر شاخص‌های کیفیت خاک نمونه‌های بررسی شده با محدوده غلظت حداقل ۰/۵۰ تا حداکثر ۵۱/۷ در گروه خاک‌های خیلی شور طبقه‌بندی می‌شوند

(www.ir.library.oregonstate.edu). علت شور بودن خاک‌های بررسی شده، ماهیت نمونه برداشت شده از محیط گلخانه است. با در نظر گرفتن کل خاک گلخانه به عنوان محیط مورد نظر نمونه‌برداری، از هر گلخانه از خاک بین ردیف‌های کشت و از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. از طرفی محیط گرم و مرطوب گلخانه شرایط مناسبی را برای راه یافتن املاح موجود در خاک به سطح آن از طریق فرایند مویینگی فراهم می‌آورد. این عوامل سبب شور شدن خاک‌های سطحی بین ردیف‌های کشت می‌شوند.

۲– ۴. تفکیک شیمیایی عناصر بر اساس روش های استخراج گزینشی یک مرحله ای

در این پژوهش از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA (Diethylentriamine pentaacetic acid) برای شناسایی جزو زیست‌دسترس‌پذیری عناصر Pb، Cu، Zn، Mn، Fe و Cd استفاده شد. این محلول توانایی تشکیل کمپلکس‌های کیلاتی باثباتی را با عناصر موجود در فاز محلول دارد و امکان اندازه‌گیری جزو زیست‌دسترس‌پذیر آنها را در عصاره استخراج شده فراهم می‌آورد. مراحل انجام استخراج گزینشی به شرح زیر هستند (Lindsay and Norvell, 1978; Dean, 2007):

۱) قرار دادن ۱۰ گرم نمونه خاک در ارلن ۱۲۵میلی‌لیتری؛

۲) اضافه کردن ۲۰ میلی‌لیتر محلول DTPA ۰/۰۰۵مولار؛

۳) هم زدن نمونه با دستگاه شیکر دورانی به مدت ۲ساعت؛

۴) فیلتر کردن نمونه و گرفتن عصاره حاوی جزو محلول عناصر؛

۵) اندازه‌گیری غلظت زیست‌دسترس‌پذیری عناصر Fe، Cu، Cd، Ni و Zn توسط دستگاه جذب اتمی (AAS).

در ارزیابی نتایج حاصل از استخراج گزینشی، از معیارهایی مانند درصد انحلال‌پذیری یا شاخص تحرک استفاده شد. این شاخص بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Perin et al., 1985).

$$MF=DTPA/TC\times100 \quad (۲$$

در رابطه فوق M.F شاخص تحرک نسبی (Mobility Factor)، DTPA غلظت عنصر مورد نظر در فاز محلول و TC غلظت کل (Total concentration) همان عنصر است.

۳– نتایج و بحث

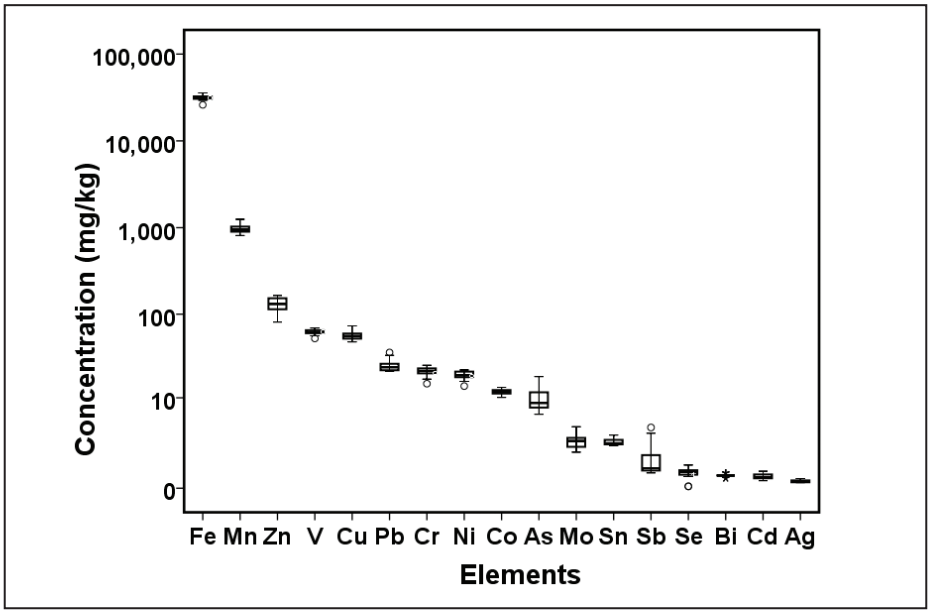
۳– ۱. غلظت کل (Total concentration)

مقایسه غلظت کل عناصر مختلف نشان می‌دهد که در بین عناصر مورد نظر V، Cu، Zn، Mn، Fe و Pb در مقایسه با سایر عناصر غلظت بالاتری دارند. از این نظر عناصر Cd، Bi، Se و Ag کمترین غلظت را در نمونه‌های خاک به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۳ روند تغییرات غلظت عناصر مورد نظر را در نمونه‌های خاک نشان می‌دهد.

جدول ۲ خلاصه آماری نتایج به دست آمده برای غلظت کل عناصر مورد نظر را نشان می‌دهد. دراین جدول میانگین، انحراف معیار، میانه، حداکثر و حداقل، میانگین پوسته‌ای، میانه غلظت جهانی گزارش شده برای خاک (Sparks, 2003) و متوسط زمینه طبیعی عناصر مورد نظر ذکر شده است. میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک بررسی شده ۱۰/۱۱ mg/kg، حداقل آن ۶/۱ و حداکثر آن ۱۸/۳ mg/kg است. این مقادیر نشان می‌دهد که در برخی از نمونه‌های خاک اندکی افزایش نسبت به مقادیر میانه خاک‌های دنیا (۶ mg/kg) مشاهده می‌شود. عناصر V، Ni و Cr در تمام نمونه‌های خاک غلظتی به مراتب پایین‌تری از میانه غلظت جهانی خاک (Sparks, 2003) دارند. چنین شرایطی با توجه به ماهیت سنگ‌های حوضه بالادست منطقه کاملاً طبیعی است؛ زیرا ساختارهای زمین‌شناسی تأمین کننده رسوبات دشت جیرفت در منطقه مورد نظر اغلب سنگ‌های آذرین حدواسط و اسیدی مانند گرانودیوریت هستند که بر طبق تفریق ژئوشیمیایی، عناصر V، Ni و Cr در این سنگ‌ها غلظت پایینی دارند.

در مقابل این عناصر، عناصری مانند Pb، Cd و Co تقریباً دارای بیشینه غلظتی معادل با غلظت مجاز این عناصر در خاک‌های طبیعی دنیا هستند. با توجه به نتایج به دست آمده در مقایسه با میانه غلظت عناصر در خاک‌های دنیا تنها در مورد عناصر Mo، Se، Cu، As و Ag اندکی افزایش در برخی از نمونه‌های خاک مشاهده شد. حداکثر غلظت عناصر As و Cu در نمونه‌های خاک بررسی شده به ترتیب ۱۸/۳ و ۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم است که در مقایسه با میانه غلظت در خاک‌های دنیا به ترتیب ۳ و ۲ برابر افزایش نشان می‌دهند. حداکثر غلظت به دست آمده برای عنصر Se در نمونه‌های خاک ۰/۸۵ mg/kg است که در مقایسه با استاندارد خاک‌های دنیا (۰/۴ mg/kg) بیش از دو برابر غنی‌شدگی دارد.

حداکثر غلظت عنصر نقره نیز در نمونه‌های خاک ۰/۲۹ mg/kg است که نسبت به مقدار غلظت این عنصر در خاک‌های دنیا (۰/۱ mg/kg) اندکی غنی‌شدگی دارد. متوسط غلظت عنصر Mn، ۹۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، حداقل آن ۸۱۳ و حداکثر آن ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.



شکل ۳- مقایسه غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های خاک گلخانه بررسی شده.

جدول ۲- خلاصه آماری مربوط به غلظت کل (Total concentration) عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک (عنصر آهن بر حسب درصد، سایر موارد بر حسب mg/kg)

عناصر	حد تشخیص	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداکثر	حداقل	متوسط زمینه طبیعی منطقه[a]	میانگین پوسته‌ای[b]	میانه خاک‌های دنیا[c]
As	۰/۵	۱۰/۱۱	۳/۵۱	۸/۶	۱۸/۳	۶/۱	۷/۱۶	۱/۸	۶
Pb	۰/۲	۲۵/۰۵	۴/۰۲	۲۳/۷	۳۵/۶	۲۱/۲	۲۱/۵۳	۱۳	۳۵
Ni	۲	۱۹/۰۴	۱/۹۳	۱۹	۲۲	۱۴	۱۸	۷۵	۵۰
Se	۰/۰۵	۰/۵۱	۰/۱۹۹	۰/۵۳	۰/۸۵	۰/۰۵	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۴
Ag	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۰۴۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۱
V	۲	۶۱/۸۶	۴/۲۱	۶۱/۵	۶۹	۵۲	۶۱/۳	۱۳۵	۹۰
Co	۰/۲	۱۱/۹۱	۰/۹۱	۱۲/۰۵	۱۳/۵	۱۰/۱	۱۰/۴	۲۵	۸
Cr	۲	۲۱/۲۲	۲/۳۴	۲۱/۵	۲۵	۱۵	۲۰/۶	۱۰۰	۷۰
Cd	۰/۰۵	۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۵۷	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲	۰/۳۵
Bi	۰/۱	۰/۴	۰/۰۶	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۲	–
Cu	۰/۲	۵۶/۴۱	۶/۵۱	۵۵/۵	۷۳	۴۷/۵	۴۸/۲۶	۵۵	۳۰
Fe	۱۰۰	۳/۱۵	۲/۲۱	۳/۱۱	۳/۵۷	۲/۶۰	۲/۹۹	۵	۴
Mo	۰/۱	۲/۵۳	۰/۷۱	۲/۵	۴/۱	۱/۶	۱/۸۳	۱/۵	۱/۲
Mn	۲	۹۷۵/۵۴	۱۲۱/۸۲	۹۴۵/۵	۱۲۵۰	۸۱۳	۸۴۴/۳	۹۵۰	۱۰۰۰
Sn	۰/۲	۲/۷۱	۰/۶۴	۲/۴	۴/۰۵	۲/۱	۲/۱	۲	۴
Sb	۰/۱	۱/۲۸	۱/۰۸	۰/۷	۴	۰/۵	۱/۳۶	۰/۲	۱
Zn	۲	۱۲۸/۶۶	۲۶/۳۲	۱۳۱/۵	۱۶۵	۸۱/۱	۸۲/۲۳	۷۰	۹۰

a) میانگین غلظت ۳ نمونه رسوب آبراهه‌ای طبیعی منطقه؛ b) (Sparks (2003) c ؛udnick and Gao (2003)

این مقادیر در مقایسه با میانه غلظت عنصر Mn در خاک‌های دنیا (۱۰۰۰ mg/kg) غنی‌شدگی بالایی محسوب نمی‌شود. متوسط غلظت عنصر Fe در نمونه‌های خاک بررسی شده ۳/۱۵ درصد است. حداقل مقدار این عنصر ۳/۵۷ و حداکثر آن ۲/۶۰ درصد است که در مقایسه با میانه غلظت جهانی این عنصر (۴ درصد) مقدار مجازی را در خاک‌های گلخانه‌های بررسی شده نشان می‌دهد. عنصر Zn با حداکثر غلظت ۱۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با میانه غلظت این عنصر در خاک‌ها (۹۰ mg/kg)، مقداری افزایش نشان می‌دهد.

۳- ۲. تخمین شدت آلودگی نمونه‌های خاک بر اساس شاخص‌های آلودگی

با توجه به غلظت کل عناصر، کیفیت هر یک از نمونه‌های خاک بر اساس شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index, Igeo, Forstner et al., 1990) و شاخص آلودگی (Contamination factor, CF, Hakanson, 1980) به ترتیب با استفاده از روابط ۳ و ۴ مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$I_{geo}= \log_2 \frac{[c_n]}{1.5[B_n]} \quad (۳)$$

$$CF= \frac{C_n}{B_n} \quad (۴)$$

در روابطه فوق C_n غلظت عنصر در نمونه آلوده و B_n غلظت همان عنصر در نمونه زمینه طبیعی منطقه و یا میانه غلظت جهانی تعریف شده برای خاک است. نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها به رده‌های متفاوتی از آلودگی تقسیم می‌شوند (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳- شدت آلودگی در نمونه‌های خاک براساس شاخص زمین‌انباشت Igeo (Forstner et al., 1990).

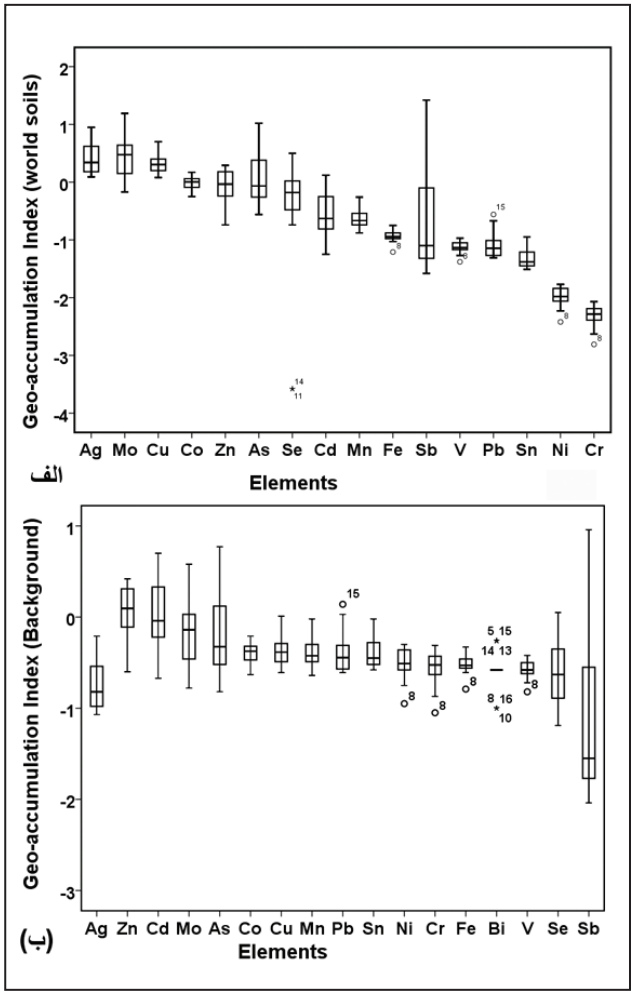
مقدار I_{geo}	کلاس I_{geo}	درجه آلودگی
۰	۱	غیر آلوده
۰-۱	۲	غیر آلوده تا اندکی آلوده
۱-۲	۳	آلودگی متوسط
۲-۳	۴	آلودگی متوسط تا زیاد
۳-۴	۵	آلودگی زیاد
۴-۵	۶	آلودگی زیاد تا شدید
>۵	۷	به شدت آلوده

جدول ۴- معیارهای تفکیک شدت آلودگی در نمونه‌ها بر اساس شاخص آلودگی (CF) (Loska et al., 2004).

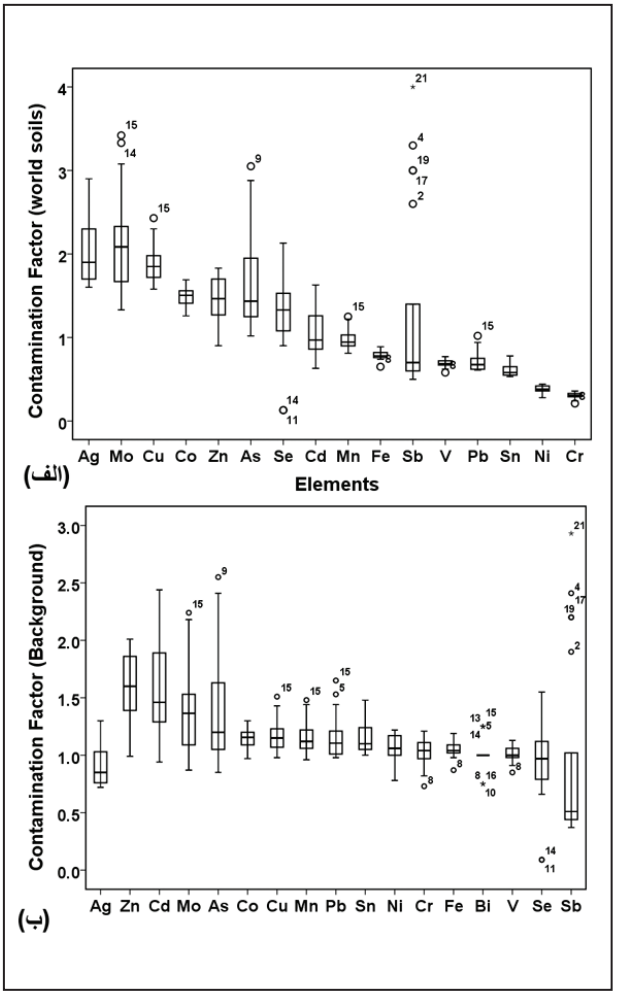
مقدار شاخص آلودگی	درجه آلودگی
CF<۱	آلودگی کم
۱≤CF<۳	آلودگی متوسط
۳≤CF<۶	آلودگی زیاد
CF≥۶	آلودگی بسیارزیاد

با محاسبه شاخص زمین‌انباشت بر مبنای میانه غلظت عناصر در خاک‌های دنیا و همچنین بر مبنای زمینه طبیعی منطقه، اغلب عناصر در نمونه‌های خاک بررسی شده در محدوده درجه غیر آلوده تا اندکی آلوده ارزیابی می‌شوند (شکل‌های ۴- الف و ب). محاسبه شاخص آلودگی بر مبنای میانه غلظت عناصر در خاک‌های دنیا نیز نشان می‌دهد که عناصر Se، As، Zn، Co، Cu، Mo، Ag و در مواردی Cd و Sb در محدوده غنی‌شدگی متوسط (۳>CF≥۱) قرار می‌گیرند (شکل ۵- الف). این در حالی است که محاسبه این شاخص نسبت به زمینه طبیعی منطقه تنها غنی‌شدگی متوسط عناصر Mo، Cd، Zn و As را در خاک‌های گلخانه‌ای نشان می‌دهد (شکل ۵- ب).

یکی از اهداف این مقاله ارزیابی ارتباطی بین نمونه‌های خاک برداشت شده از گلخانه‌های با سن کشت‌های مختلف است. برای رسیدن به این منظور از نمودار آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) استفاده شد. براساس این روش آماری، امکان گروه‌بندی نمونه‌های خاک بر اساس متغیرهای مورد نظر (عناصر بالقوه سمی) وجود دارد (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۴).



شکل ۴- شدت آلودگی عناصر در نمونه‌های خاک بر اساس محاسبه شاخص زمین‌انباشت نسبت به: الف) میانه غلظت گزارش شده برای خاک‌های دنیا (Sparks, 2003) و ب) زمینه طبیعی منطقه.

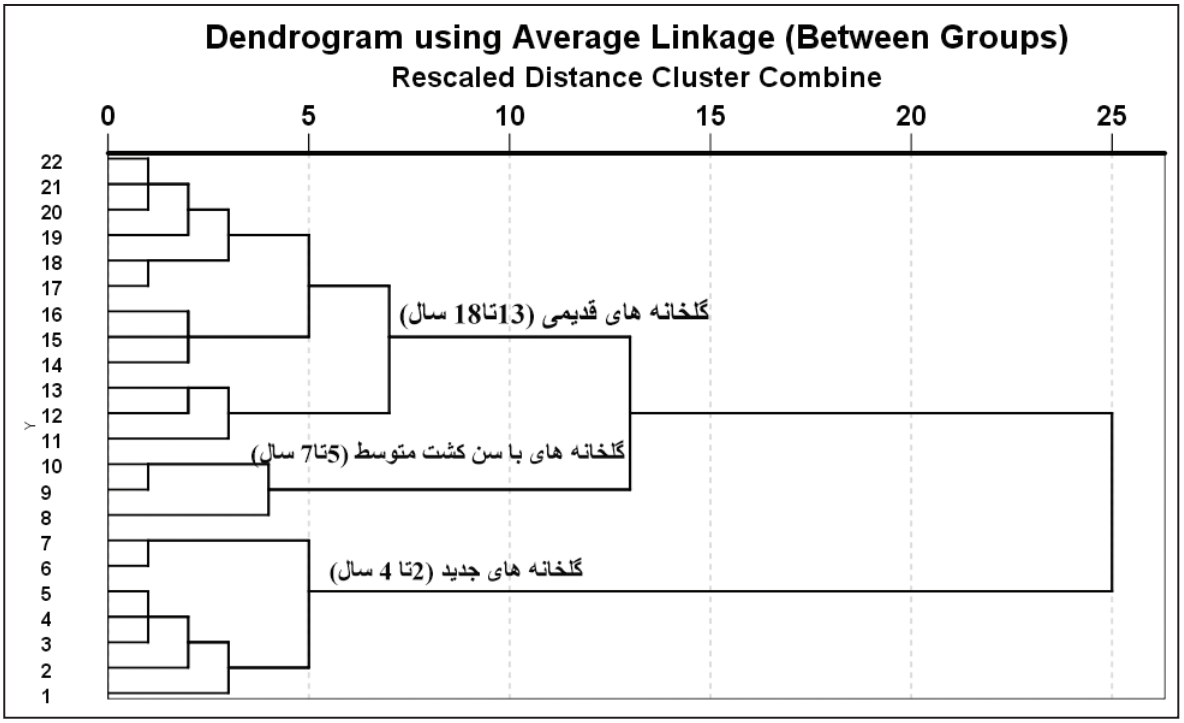


شکل ۵- شدت آلودگی عناصر در نمونه‌های خاک بر اساس محاسبه شاخص آلودگی بر مبنای: الف) میانه غلظت گزارش شده برای خاک‌های دنیا (Sparks, 2003) و ب)زمینه طبیعی منطقه.

شکل ۶ نمودار آنالیز خوشه‌ای مربوط به گروه‌بندی نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. این گروه‌بندی براساس ارتباط بین نمونه‌ها از طریق آنالیز خوشه‌بندی مرتبه‌ای (Hierarchical Cluster Analysis) و با در نظر گرفتن ضریب همبستگی پیرسون به عنوان شاخص گروه‌بندی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که تقریباً تفکیک مشخصی بین نمونه‌های خاک مربوط به گلخانه‌های با سن کشت متفاوت مشاهده می‌شود (شکل ۶). از این نظر خاک مربوط به گلخانه‌های با سن کشت ۲ تا ۴ سال، ۵ تا ۷ سال و همچنین ۱۸ تا ۲۲ سال به خوبی در گروه‌های مجزایی تفکیک می‌شوند. این موضوع نشان می‌دهد که مقدار عناصر مورد نظر در خاک گلخانه‌ها با افزایش سن کشت افزایش می‌یابد این موضوع به ویژه با بررسی غلظت عنصر روی به خوبی مشخص می‌شود؛ به‌طوری که غلظت این عنصر در گلخانه‌های قدیمی‌تر بیشتر است.

۳- ۳. کیفیت آب مورد استفاده برای آبیاری گلخانه‌ها

جدول ۵ غلظت عناصر مورد نظر در سه نمونه آب مورد استفاده در گلخانه‌های بررسی شده را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، اغلب عناصر در مقایسه با مقادیر توصیه شده برای آب‌های کشاورزی و شرب دارای کیفیت مطلوبی هستند. از این نظر تنها Sb در برخی نمونه‌ها وضعیت مطلوبی ندارد. متوسط غلظت آنتیموان در منابع آب ۳۹/۳ میکروگرم است که در مقایسه با مقادیر مجاز توصیه شده برای آب شرب (۶ میکروگرم بر لیتر؛ U.S EPA, 2009) ۶/۵ برابرغنی‌شدگی نشان می‌دهد. این نتایج همچنین گویای این مطلب است که آب استفاده شده برای آبیاری گلخانه‌های مورد نظر نمی‌تواند منشأ جدی برای ورود عناصر بالقوه سمی به خاک محسوب شود.



شکل ۶- ارتباط بین نمونه‌های خاک بر اساس غلظت کل عناصر سنگین در نمونه‌های خاک با استفاده از آنالیز خوشه‌ای.

جدول ۵- غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های آب مورد استفاده در آبیاری گلخانه‌های بررسی شده.

شماره نمونه‌ها	Cr	Cu	Fe	Zn	Mo	Ag	As	Cd	Co	Ni	Pb	Se	Sn	Sb
	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
W-1	۱۴/۶	>۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۲۷	<۰/۰۵	<۰/۵	<۰/۱	۳/۲	۸/۵	<۰/۰۱	<۰/۱	<۰/۱	۴۵/۴
W-2	۱۷/۷	>۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۹	<۰/۰۵	<۰/۵	<۰/۱	۲/۲	۶/۲	<۰/۰۱	<۰/۱	<۰/۱	۴۳/۵
W-3	۱۴/۷	>۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۱۳/۲	<۰/۰۵	<۰/۵	<۰/۱	۲	۶/۵	<۰/۰۱	<۰/۱	<۰/۱	۲۹/۱
–	–	–	–	–	–		۰/۰۱	–	–	–	–	–	–	–
WHO (2011)	۰/۰۵	۲	–	–	–		۰/۰۱	۳	–	۷۰	۰/۰۱	۰/۰۴	–	۲۰
WHO (2004)	–	–	–	–	۷۰		–	–	–	–	–	–	–	–
USEPA (2009)	۰/۱	۱/۳	۰/۳	۵	–	۰/۱	۰/۰۱	۵	–	–	–	–	–	۶
استاندارد آب کشاورزی[a]	–	–	۵	۲	۱۰	–	۰/۱	–	–	۲۰۰	–	۰/۰۲	–	–

Kabata-Pendias and Mukherjee (2007) (a

۳- ۴. تفکیک شیمیایی عناصر بر اساس روش استخراج گزینشی یک مرحله‌ای DTPA

برای تعیین پتانسیل زیست‌دسترس‌پذیری برخی از عناصر مورد نظر، از روش استخراج گزینشی یک مرحله‌ای با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA استفاده شد. برای انجام این روش نمونه‌های خاک با در نظر گرفتن ملاحظاتی نظیر سن کشت گلخانه و شرایط طبیعی منطقه انتخاب شدند. در این نمونه‌ها جزو زیست‌دسترس‌پذیر یا به عبارتی جزو دارای پتانسیل تحرک عناصر Zn، Mn، Cu، Pb، Cd و Fe تعیین شد. مقدار به دست آمده از فاز محلول این عناصر نشان می‌دهد که ترتیب افزایش غلظت در فاز محلول به‌صورت Cd<Pb<Cu<Fe<Zn<Mn است (شکل ۷). در بین عناصر بررسی شده، Mn بیشترین غلظت فاز محلول در DTPA را نشان می‌دهد.

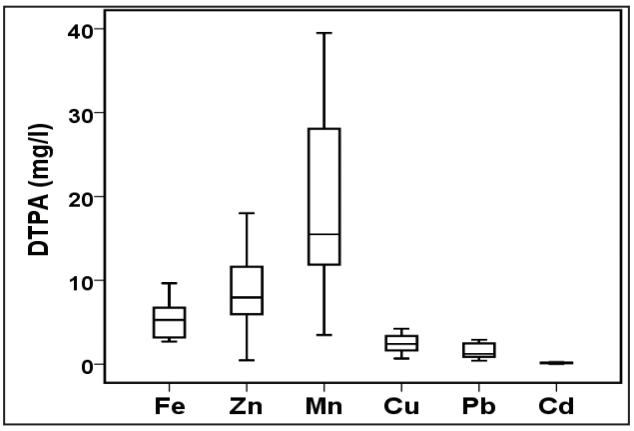
مقادیر به دست آمده از جزو محلول عناصر با غلظت کل آنها در نمونه‌های بررسی شده مقایسه شد و درصد تحرک هر یک از آنها بر اساس رابطه ۶ به دست آمد:

$$MF=DTPA/TC\times100 \quad (۶$$

در رابطه فوق DTPA غلظت عنصر مورد نظر در جزو محلول و TC غلظت کل آن در نمونه خاک است. نتایج حاصل از محاسبه درصد انحلال‌پذیری یا شاخص تحرک در جدول ۶ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج حاصل از شاخص تحرک، آهن با درصد انحلال‌پذیری کمتر از یک درصد کمترین میزان انحلال‌پذیری را به خود اختصاص داده است. بالاترین درصد انحلال پذیری نیز مربوط به دو عنصر Zn و Cd است. Zn در خاک گلخانه با سابقه کشت ۱۸ سال دارای بالاترین مقدار درصد انحلال‌پذیری (۵۲/۱۶) است. Cd نیز در تمام نمونه‌های خاک به جز نمونه زمینه طبیعی منطقه درصد تحرک بالایی دارد. عناصر Cu، Mn و Zn با درصد انحلال‌پذیری کمتر از ۶، تحرک نسبتاً کمی

را در خاک‌های مورد نظر نشان داده‌اند. به منظور ارزیابی پتانسیل خطر فلزات بالقوه سمی در فاز محلول از کدهای ارزیابی خطر استفاده شد. کدهای ارزیابی خطر بر اساس شاخص تحرک تعیین و ارزیابی می‌شوند (جدول ۷). بر این اساس اگر درصد انحلال‌پذیری یک عنصر کمتر از ۱ باشد، بدون خطر یا ایمن ارزیابی می‌شود. به همین نسبت با افزایش درصد فاز متحرک پتانسیل خطر نیز افزایش می‌یابد. از این نظر عناصری که دارای فاز متحرک بیش از ۵۰ درصد غلظت کل باشند در گروه دارای خطر بالا قرار می‌گیرند. بر این اساس روی در نمونه با سن کشت ۱۰ سال با غلظت کل ۳۵/۱۷ درصد در محدوده خطر بالا و در نمونه با سن کشت ۱۸ سال با غلظت کل ۵۲/۱۶ درصد در محدوده خطر خیلی زیاد قرار می‌گیرد. عنصر کادمیم نیز در تمام سن‌های در حال کشت در محدوده خطر بالا قرار دارد.



شکل ۷- مقایسه غلظت عناصر مورد نظر در فاز محلول با استفاده از نمودار جعبه‌ای.

جدول ۶- درصد انحلال‌پذیری یا شاخص تحرک عناصر در نمونه‌های خاک بررسی شده نسبت به غلظت کل آنها در نمونه‌های خاک بررسی شده.

نمونه‌ها	Fe	Cd	Pb	Zn	Mn	Cu
نمونه زمینه طبیعی	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۵/۸۰	۰/۵۶	۰/۴۰	۱/۳۷
نمونه با سن کشت ۲ سال	۰/۰۱	۴۱/۱۷	۸/۳۹	۵/۱۲	۴/۰۵	۴/۸
نمونه با سن کشت۴ سال	۰/۰۲	۴۱/۵۰	۸/۵۱	۱۲	۱/۲۶	۵/۷۳
نمونه با سن کشت ۵ سال	۰/۰۰۸	۳۱/۲۵	۱/۷۸	۵/۶۱	۳/۱	۳/۳۲
نمونه با سن کشت ۷ سال	۰/۰۱	۴۳/۸۵	۰/۷۱	۵/۱۶	۰/۸۸	۵/۷۹
نمونه با سن کشت ۱۰ سال	۰/۰۲	۴۰/۷۴	۴/۶۲	۳۵/۱۷	۲/۷۳	۴/۶۷
نمونه با سن کشت ۱۸ سال	۰/۰۱	۳۷/۵	۳/۳۷	۵۲/۱۶	۱/۳۱	۳/۰۵

جدول ۷- کدهای ارزیابی خطر بر اساس شاخص تحرک (Perin et al., 1985).

درصد انحلال‌پذیری	ارزیابی خطر
<۱	بدون خطر
۱-۱۰	خطر کم
۱۱-۳۰	خطر متوسط
۳۱-۵۰	خطر بالا
>۵۰	خطر خیلی زیاد

– ارزیابی ارتباط غلظت کل با جزو زیست‌دسترس‌پذیر: به منظور تعیین ارتباط بین غلظت کل و جزو زیست‌دسترس‌پذیر هر یک از عناصر مورد نظر از نمودارهای پراکنش استفاده شد (شکل ۸). بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که عناصر Cd، Cu و Pb ارتباط خوبی را بین فاز محلول و غلظت کل نشان می‌دهند. برای این عناصر هر چه غلظت کل آنها افزایش یابد، فاز زیست‌دسترس‌پذیر نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی بین غلظت کل و جزو زیست‌دسترس‌پذیر این عناصر به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۱و ۰/۸ است. از طرف دیگر همبستگی ضعیفی بین غلظت کل عناصر Fe، Mn و Zn با غلظت کل این عناصر مشاهده می‌شود. این موضوع به خوبی نشان می‌دهد که رفتار زیست‌محیطی عناصر مختلف در محیط خاک بین فاز محلول و غلظت کل الزاماً به یک شیوه نیست و در مواردی به رغم بالا بودن غلظت کل فاز زیست‌دسترس‌پذیری بالا نیست. بسیاری از عوامل از قبیل پتانسیل جذب یون‌های محلول توسط عوامل جاذب طبیعی موجود در خاک مانند مواد آلی، اکسی‌هیدروکسیدهای Mn، Fe و Al کانی‌های رسی و همچنین شرایط pH و Eh خاک می‌توانند تأثیر جدی بر ماهیت رفتار یک عنصر کمیاب در محیط خاک داشته باشند (Sparks, 2003). از طرف دیگر رفتار هر یک از عناصر بررسی شده نسبت به حلال DTPA نیز یکسان نیست ونمی‌توان انتظار داشت این حلال در مورد پتانسیل تحرک همه عناصر به یک شیوه عمل کند.

– مقایسه فاز محلول در نمونه خاک گلخانه‌ها با نمونه زمینه طبیعی منطقه: مقایسه فاز محلول عناصر با نمونه زمینه طبیعی منطقه نشان خواهد داد که آیا خاک‌هایی که فرایند کشت گلخانه‌ای بر روی آنها انجام شده است، می‌توانند فاز متحرک و یا زیست‌دسترس‌پذیر بالاتری نسبت به خاک‌های طبیعی منطقه داشته باشند. برای این منظور غلظت فاز محلول نمونه‌های خاک گلخانه با فاز محلول نمونه زمینه طبیعی منطقه بر اساس رابطه ۶ مقایسه شد (Margui et al., 2004). حاصل این رابطه در واقع غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی فاز محلول در کشت‌های گلخانه‌ای را نسبت به خاک‌های طبیعی نشان می‌دهد (جدول ۸).

۶) $EF = \frac{\text{DTPA فاز محلول نمونه زمینه طبیعی}}{\text{غلظت در محلول}}$

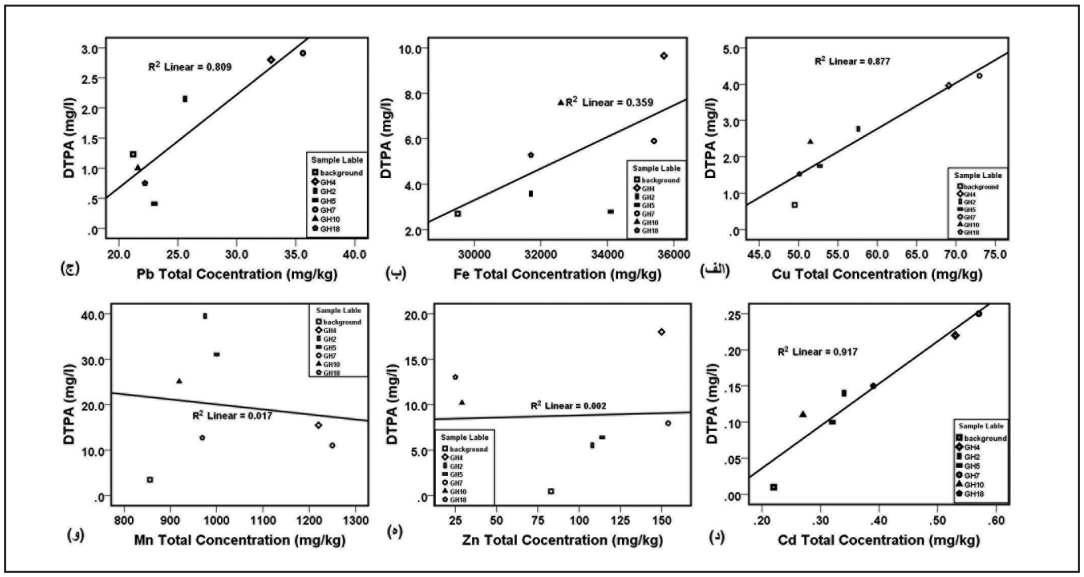
در رابطه فوق، EF شاخص غنی‌شدگی، صورت کسر فاز محلول عنصر در نمونه مورد نظر و مخرج کسر غلظت فاز محلول همان عنصر در نمونه زمینه طبیعی را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج این بخش در تمام موارد مقدار فاز محلول عناصر در نمونه‌های خاک گلخانه‌ها نسبت به شرایط طبیعی منطقه افزایش نشان می‌دهد. بیشترین مقدار غنی‌شدگی فاز محلول نسبت به شرایط طبیعی برای عناصر Zn و Cd و کمترین آن برای سرب مشاهده شد. مسلماً استفاده از انواع کودهای حاوی عناصر بالقوه سمی می‌تواند نقش برجسته‌ای در افزایش فاز محلول این عناصر در محیط خاک داشته باشد. نکته قابل تأمل این است که نمونه‌های خاک برداشت شده، از پشته‌های بین ردیف کشت انتخاب شده‌اند. در این شرایط مسلماً مقدار فاز محلول از بخش‌های نزدیک به ریشه گیاه کمتر است؛ زیرا محیط رشد ریشه گیاه و یا ریزوسفر به دلیل ترشح انواع مواد تسهیل کننده جذب عناصر از ریشه گیاه، فاز زیست‌دسترس‌پذیر بالاتری از هر یک از عناصر را ایجاد می‌کند. با تمام این محدودیت‌ها باز هم مشاهده می‌شود در خاک گلخانه‌های بررسی شده، جزو زیست‌دسترس‌پذیر عناصر، غلظت بالاتری نسبت به شرایط طبیعی دارد.

– ارزیابی فاز محلول با مقادیر توصیه شده برای خاک های دنیا: بر اساس رابطه ۷ شدت غنی‌شدگی عناصر مورد نظر نسبت به مقادیر توصیه شده برای فاز محلول این عناصر در خاک‌های طبیعی دنیا محاسبه شد:

$$EF = \text{غلظت در محلول DTPA} / RL * 100 \quad (۷)$$

در رابطه فوق، EF شاخص غنی‌شدگی، DTPA غلظت در فاز محلول و RL حد تنظیمی توصیه شده است.

نتایج حاصل از مقایسه شدت غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی فاز محلول عناصر در خاک‌های مورد بررسی با فاز محلول توصیه شده برای خاک‌های دنیا در جدول ۹ نشان داده شده است. بر این اساس در مورد تمام عناصر فاز محلول به دست آمده دارای غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای نسبت به مقادیر گزارش شده در خاک‌های دنیاست. این غنی‌شدگی حتی در مورد نمونه زمینه طبیعی منطقه نیز مشاهده می‌شود. مسلماً این غنی‌شدگی‌ها در خاک‌های گلخانه افزایش به مراتب بیشتری نشان می‌دهد. مقدار فاز محلول توصیه شده برای عناصر Cu ۰/۱۳۵–۰/۰۰۰۵ mg/L، Fe ۰/۰۳–۰/۵۵ mg/L (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)، Mn ۲–۰/۰۲۵ mg/L، Zn ۰/۰۲۱–۰/۵۷ mg/L، Cd ۰/۳–۰/۰۰۰۲ mg/L و Pb ۰/۰۶–۰/۰۰۱ mg/L (Kabata-Pendias and Sadurski, 2004) است.



شکل ۸– ارتباط بین غلظت کل و جزو زیست‌دسترس‌پذیر عناصر الف) مس؛ ب) آهن؛ ج) سرب؛ د) کادمیم؛ ه) روی؛ و) منگنز.

جدول ۸– شدت غنی‌شدگی (%) در فاز محلول نسبت به مقادیر زمینه طبیعی منطقه.

نمونه‌ها	Fe	Pb	Cd	Zn	Mn	Cu
نمونه با سن کشت ۲ سال	۱/۳۲	۱/۷۴	۱۴	۱۱/۷۶	۱۱/۳۵	۴/۰۷
نمونه با سن کشت۴ سال	۳/۵۷	۲/۲۷	۲۲	۳۸/۳۱	۴/۴۵	۵/۸۲
نمونه با سن کشت ۵ سال	۱/۰۳	۰/۳۳	۱۰	۱۳/۶۱	۸/۹۱	۲/۵۷
نمونه با سن کشت ۷ سال	۲/۱۸	۲/۳۶	۲۵	۱۶/۹۳	۳/۱۶	۶/۲۲
نمونه با سن کشت ۱۰ سال	۲/۸	۰/۸۱	۱۱	۲۱/۷۰	۷/۲۱	۳/۵۴
نمونه با سن کشت ۱۸ سال	۱/۹۵	۰/۶۰	۱۵	۲۷/۷۴	۳/۶۵	۲/۲۵

جدول ۹– شدت غنی‌شدگی (%) در فاز محلول نسبت به مقادیر توصیه شده.

نمونه‌ها	Fe	Zn	Cd	Pb	Mn	Cu
نمونه زمینه طبیعی	۴/۹۰	۰/۸۲	۰/۰۳	۲۰/۵	۱/۷۴	۵/۰۳
نمونه با سن کشت ۲ سال	۶/۵۰	۹/۷۰	۰/۴۶	۳۵/۸۳	۱۹/۷۵	۲۰/۵۱
نمونه با سن کشت ۴ سال	۱۷/۵۴	۳۱/۵۹	۰/۷۳	۴۶/۶۶	۷/۷۴	۲۹/۳۳
نمونه با سن کشت ۵ سال	۵/۰۷	۱۱/۲۲	۰/۳۳	۶/۸۳	۱۵/۵۲	۱۲/۹۶
نمونه با سن کشت ۷ سال	۱۰/۷۲	۱۳/۹۶	۰/۸۳	۴۸/۵	۵/۵۱	۳۱/۳۳
نمونه با سن کشت ۱۰ سال	۱۳/۷۶	۱۷/۸۹	۰/۳۶	۱۶/۶	۱۲/۵۶	۱۷/۸۵
نمونه با سن کشت ۱۸ سال	۹/۵۸	۲۲/۸۷	۰/۵	۱۲/۵	۶/۳۶	۱۱/۳۳

۴– نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تجمع فلزات بالقوه سمی در خاک‌های کشاورزی با کشت گلخانه‌ای، غلظت این عناصر در خاک گلخانه‌های جیرفت با استفاده از روابط ژئوشیمیایی و مقایسه با استانداردهای معتبر مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی نتایج حاصل از سنجش غلظت کل، با استفاده از شاخص‌های زمین‌انباشت و آلودگی نشان داد که در مقایسه با میانه غلظت عناصر در خاک‌های دنیا، عناصر Co، Cu، Mo، Ag، Se، As، Zn و در مواردی Cd و Sb دارای غنی‌شدگی متوسط در خاک گلخانه‌ای بررسی شده هستند. ارزیابی نتایج با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی همچنین نشان داد که در مقایسه با نمونه زمینه طبیعی منطقه، عناصر As، Mo، Cd، Zn و در مواردی Sb غنی‌شدگی متوسط در خاک گلخانه‌ها دارند. نتایج روش استخراج گزینشی یک مرحله‌ای، با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ مولار DTPA نشان داد که در بین عناصر بررسی شده Mn بیشترین غلظت فاز محلول در DTPA را دارد. بر اساس شاخص تحرک Fe با درصد انحلال پذیری کمتر از یک کمترین درصد انحلال پذیری و عناصر Cd و Zn بالاترین درصد انحلال پذیری متناظر با کدهای ارزیابی خطر بالا و بسیار زیاد را دارند. عناصر Cd، Cu و Pb ارتباط خوبی را بین فاز محلول و غلظت کل نشان می‌دهند. همچنین، تقریباً در مورد تمام عناصر غلظت فاز محلول در خاک‌های گلخانه‌ای نسبت به شرایط خاک‌های طبیعی منطقه افزایش نشان می‌دهد. بررسی منابع آب مورد استفاده در گلخانه‌های مورد نظر نشان می‌دهد که به جز آنتیموان سایر عناصر وضعیت مطلوبی دارند.

کتابنگاری

اسلامیان، س.، سلطانی، س.، زارعی، ع. ۱۳۸۴- کاربرد روش‌های آماری در علوم زیست محیطی، انتشارات ارکان، ۴۱۵ ص.

امینی،م. م.، افیونی، و. و خادمی، ح.، ۱۳۸۵- مدل‌سازی توازن جرمی عناصر کادمیم و سرب در زمین‌های زراعی منطقه اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۴)، ص. ۷۷ تا ۸۹

سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان، ۱۳۹۳- گزارش عملکرد واحد زراعت شهرستان جیرفت.

References

Boisson, J., Ruttens, A., Mench, M. and Vangronsveld, J., 1999- Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchangeability in soil, plant growth and plant metal accumulation. Environmental pollution, 104: 225- 233.

Dean, J. R., 2007- Bioavailability, Bioaccessibility and Mobility of environmental contaminants. Gate, Chichester,West Sussex PO19 8SQ, England, 319 pp.

Forstner, U., Ahlf, W., Calmano, W., Kersten, M., 1990- Sediment criteria development Contribution from environmental geochemistry to water quality management. In Heling, D., Rothe , P., Forstner ,U.,Stoffer, P., (eds), Sediments and environmental geochemistry ;Selected aspects and case studies, pp;311- 338. Berlin Heidelberg; Springer.

Hakanson, L., 1980- An ecological risk index for aquatic pollution control; A sedimentological approach water Res.,v. 14:975- 1001.

Kabata-Pendias A. and Pendias, H., 2001- Trace elements in soils and plants, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.

Kabata-Pendias A. and Sadurski, W., 2004- Trace elements and compounds in soil. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoepppler, M., (eds) Elements and their compounds in the environment, Wiley-VCH, Weinheim, 2nd ed., pp 79- 99.

Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. B., 2007- Trace Elements from Soil to Human Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 561.

Khorasanipour, M. and Jafari, Z., 2018- Environmental geochemistry of rare earth elements in Cu-porphyry mine tailings in the semiarid climate conditions of Sarcheshmeh mine in southeastern Iran. Chemical Geology 477, 58- 72.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A., 1978- Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal, 42(3), 421- 428.

Loska, K., Wiechula, D. and Korus, I., 2004- Metal contamination of farming soils affected by industry. Environmental International, 30:159- 165.

Margui, E., Salvadó, V., Queralt, I. and Hidalgo, M., 2004- Comparison of three-stage sequential extraction and toxicity characteristic leaching tests to evaluate metal mobility in mining wastes. Anal Chim Acta 524:151- 159.

Müller, M. and Anke, M., 1994- Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risks of the general population. Science of the Total Environment, 156: 151- 158.

Perin, G., Craboledda, L., Lucchese, M., Cirillo, R., Dotta, L., Zanetta, M. L. and Oro, A. A., 1985- Heavy metal speciation in the sediments of northern Adriatic Sea. A new approach for environmental toxicity determination. In: Lakkas TD (Ed.). Heavy Metals in the Environment, CEP Consultants, Edinburgh Vol. 2.

Ping, L. and Zhang, Y., 2011- Analysis of heavy metal sources for vegetable soils from Shandong Province, China. Agricultural Sciences in China, 10: 109- 119.

Rudnick, R. L. and Gao, S., 2003- Treatise on geochemistry, vol 3. Elsevier Ltd, Oxford, pp 1–64.

Sparks, D. L., 2003- Environmental Soil Chemistry. Second Edition, Academic Press An imprint of Elsevier Science 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101- 4495, USA, 367pp.

US. EPA., 2009- Maxiimum Contamination Level (MCL). Available on http://www.epa.gov/your-water/table-drinking-water-contamination.

WHO (World Health Organization), 2004- Guidelines ¬for drinking-water quality: 3rd Edit, vol.1., Recommendations. Available on http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf.

WHO (World Health Organization), 2011- Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth ed. (Available on http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/).

Zhang, H. Z., Wang, H., Li, Z. and Zhou, L. D., 2011- Accumulation characteristics o copper and cadmium in greenhouse vegetable soil in Tongzhou district of Beijing. 3rd international conference on environmental science and information application technology. Procedia Environmental Science 10, 289- 294.

Investigation on the distribution of potentially toxic elements and their environmental significance in the greenhouse cultivated soils of Jiroft township, Kerman province

M. Khorasanipour[1*] and A. Barvar[2]

[1]Associated Profesor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

[2]M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2017 November 27 Accepted: 2018 April 15

Abstract

Accumulation of potentially toxic elements in agriculture soil is one of the main serious environmental concerns in the greenhouse cultivation. The environmental investigation of potentially toxic elements (V, Ag, Se, Ni, Pb, As, Cr, Co, Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Sn, Sb, Bi and Zn) in the greenhouse cultivated soils of the Bagher-Abad area, Jiroft is the main objective of this study. After preliminary field investigations, 20 soil samples were collected by mean of composite method. Collected samples were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method at the Labwest laboratory, Perth, Australia. The results were discussed using statistical methods and environmental indices with respect to the natural background and worldwide concentrations of target elements. The data showed that only Zn, Cd, Mo, As and in some cases Sb have medium enrichment in the investigated soils. For some of the selected soils the bioavailability or solubility of target elements was determined using 0.005M DTPA leaching solution. Among the investigated elements Cd and Zn showed the maximum bioavailable fraction corresponding to the medium to high risk assessment codes. Antimony is the only trace element that showed poor enrichment (39.3 µg/L) in the irrigation water used for the target greenhouse soils.

Keywords: Potentially toxic elements, Soil, Greenhouse cultivation, DTPA single extraction method.

For Persian Version see pages 119 to 128

*Corresponding author: M. Khorasanipour; E-mail: khorasani@uk.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional