پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۲،(۱۴)۸، ۱۱۳-۱۳۰

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

ارزیابی ژئوشیمیایی و محیط زیستی کادمیم خاک ریزوسفری و برگ ۱۱ رقم انگور در شرایط گلخانه‌ای

هدا کریمی[۱]، شهریار مهدوی[۲*]، نسرین حسن زاده[۳]، روح اله کریمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم محیطی، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۲/۰۲

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۳/۰۱/۱۸

کلید واژه‌ها:
آلودگی خاک،
شاخص‌های ژئوشیمیایی،
کادمیم،
ارقام انگور

چکیده

کادمیوم فلزی سمی است که با افزایش آلودگی‌های محیط زیستی، ورود آن به خاک و زنجیره غذایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. در این تحقیق ۱۱ رقم انگور (Vitis vinifera L.) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر در مواجهه با سه سطح کادمیوم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم) به صورت ازمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. پس از اعمال تیمارهای مختلف کادمیم در بازه زمانی حدود ۴ ماه، نمونه‌های برگ و خاک ریزوسفری ارقام مختلف انگور جمع‌آوری و غلظت کادمیم و روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. براساس نتایج اختلاف‌های معنی‌داری بین ارقام انگور از لحاظ محتوای کادمیم و روی برگ و خاک ریزوسفری مشاهده شد. کمترین محتوای کادمیم برگ و بیشترین کادمیم خاک ریزوسفری مربوط به رقم بیدانه سفید بود. همچنین بیشتریم محتوای روی برگ مربوط به رقم ترکمن ۴ و بیشترین مقدار روی ریزوسفری مربوط به رقم ریش‌بابا بود. شاخص‌های ژئوشیمیایی شامل:Igeo و Ipoll، CF و BAC در خاک سطحی در مقایسه با استاندارد پوسته و شیل زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش در بررسی شاخص‌های خاک در ارقام مختلف انگور و بررسی تأثیر ارقام مختلف، در خاک بدون تنش کادمیم در تمامی ارقام، طبق شاخص Ipoll و Igeo (مولر) در پوسته زمین، در طبقه‌ی غیرآلوده و طبق استاندارد شیل در زمین به میزان کمی آلوده در نظر گرفته شد. خاک ارقام تحت تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، طبق شاخص Igeo در پوسته زمین، در طبقه‌ی کمی آلوده و طبق شاخص Ipoll در طبقه کمی آلوده تا خیلی آلوده و این شاخص‌ها طبق استاندارد شیل در زمین در طبقه شدیداً آلوده قرار گرفت. نتایج خاک ارقام تحت تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، طبق شاخص Igeo و Ipoll در پوسته زمین، در طبقه خیلی آلوده و با استاندارد شیل در زمین در طبقه شدیداً آلوده قرار گرفت. نتایج این شاخص‌ها برای روی نشان داد در طبقه غیرآلوده قرار گرفتند.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.mahdavi@malayeru.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Geochemical and environmental assessment of cadmium in rhizosphere soil and leaves of 11 grape varieties in greenhouse conditions

Hoda Karimi[1], Shahriar Mahdavi[2*], Nasrin Hassanzadeh[3], Rouhollah Karimi[4†]

1- PhD Student, Environmental Science Department, Research Institute for Grape and Raisin (RIGR), Malayer University, Malayer, Iran
2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran
3- Assistant professor, Department of Environment, Faculty of Environment and Natural Resources, Malayer University, Malayer, Iran
4- Associate Professor, Department of Horticultural and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
13/11/2023
Accepted:
21/02/2024
Available online:
06/04/2024

Keywords:
Soil pollution,
Geochemical indices,
Cadmium,
Grape varieties

Abstract

Cadmium is a toxic metal that has significantly increased its entry into the soil and food chain with the rise of environmental pollution. In this study, 11 grapevine cultivars (*Vitis vinifera L.*) were exposed to three levels of cadmium (0, 50, and 100 milligrams per kilogram) in a factorial experimental design based on a completely randomized design in the research greenhouse of Malayer University. After applying the different cadmium treatments over a period of approximately 4 months, leaf and rhizosphere soil samples of different grapevine cultivars were collected, and the concentrations of cadmium and zinc were measured using an atomic absorption spectrometer. Significant differences were observed among grapevine cultivars in terms of cadmium and zinc content in leaves and rhizosphere soil. The cultivar "Bidaneh Sefid" had the lowest cadmium content in leaves, while the highest cadmium content in rhizosphere soil was observed in the cultivar "Rish Baba." Moreover, the cultivar "Turkmen 4" had the highest zinc content in leaves, and the cultivar "Rish Baba" had the highest zinc content in rhizosphere soil. Geochemical indices including Igeo, Ipoll, CF, and BAC were evaluated in the surface soil compared to the standard shell and earthworm. Based on the results of this study, in the examination of soil indices in different grapevine cultivars and the impact of different cultivars, according to the Ipoll and Igeo (Müller) indices in the shell, in non-stressed soil without cadmium, it was considered slightly contaminated, and according to the standard shell in the earthworm, it was considered quantitatively contaminated. According to the Igeo index in the shell, in soil under 50 milligrams per kilogram of cadmium stress, it was considered slightly contaminated, and according to the Ipoll index, it was considered slightly to moderately contaminated, and according to the standard shell in the earthworm, it was considered heavily contaminated. According to the Igeo and Ipoll indices in the shell, the results of soil under 100 milligrams per kilogram of cadmium stress, were considered heavily contaminated, and according to the standard shell in the earthworm, it was considered severely contaminated. The results of these indices indicated that zinc was in the non-contaminated category.

* Corresponding author E-mail address: sh.mahdavi@malayeru.ac.ir

مقدمه

یکی از مهمترین آلودگی‌های محیط زیستی که سلامت انسان و سایر جانداران را تهدید می‌کند، آلودگی فلزات سنگین است. فلزات سنگین ازجمله آلاینده‌های مهم خاک به شمار می‌روند که پس از تجمع در خاک و از طریق جذب توسط گیاه وارد زنجیره غذایی می‌شوند و به تبع آن باعث بیماری‌ها و آسیب‌های جدی در موجودات زنده می‌شود. آلودگی خاک به فلزات سنگین در دهه‌های اخیر رشد زیادی داشته و در حال حاضر حدود ده درصد از خاک‌های کره زمین آلوده به فلزات سنگین شده است (Eijsackers. 2010). فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار محیط زیست هستند، که از نتایج مهم پایداری این فلزات، انباشته شدن تدریجی فلزات در خاک است (آیینه حیدری و همکاران، ۱۳۹۶).

آلودگی‌های حاصل از فلزات سنگین از جمله کادمیم، سرب، آرسنیک و جیوه، درمحیط زیست به شدت در حال گسترش می‌باشد و زندگی موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Dinakar et al., 2008). بیشترین مقدار فلزات سنگین از طریق استفاده از لجن فاضلاب و مواد زائد در خاک‌های کشاورزی و نیز در نتیجه فعالیت‌های صنعتی انسان نظیر رنگسازی، کارخانجات سیمان، لاستیک‌سازی، تولید کودها از خاک فسفات، سوخت خودرو وارد خاک می‌شود و به شرط عبور از آستانه مجاز سمی می‌شوند (Pal et al., 2006).

کادمیوم یکی از اجزاء نهشته‌های روی به شمار می‌آید. اگرچه فراوانی کادمیوم از عناصر دیگر ممکن است کمتر باشد اما به واسطه امکان ورود آن به هوا، غذا و آب، یک معضل عمده محیط زیستی به شمار می‌رود، ضمناً سمیت کادمیوم برای انسان بسیار شدیدتر از برخی عناصربوده و می‌تواند سبب بروز مشکل در عملکردهای آنزیمی می‌شود (Haas. 2003). فلزات سنگین مانند سرب، مس، روی، نیکل و آرسنیک درغلظت‌های بالا برای گیاهان و همچنین درخاک و آب سمی هستند. خاک به دلیل ماهیت آن توانایی نگهداری و تجمع فلزات سنگین را دارد (Hu et al., 2017; Mazurek et al., 2017). این فلزات کیفیت خاک و آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند با مصرف محصولات کشاورزی و آب آشامیدنی به بدن انسان منتقل شود (Bermudez et al., 2012).

تجمع فلزات سنگین مانند کادمیم در بافت‌های گیاهی و انتقال آن‌ها در سیستم خاک به خوبی در بررسیها به اثبات رسیده است (Kisku et al., 2000). کادمیم غیرقابل تجزیه زیستی است و در سطوح مختلف تغذیه‌ای در زنجیره غذایی وجود دارد که باعث نگرانی در مورد ایمنی مواد غذایی می‌شود. فراهمی زیستی، دسترسی زیستی بالا و تجمع کادمیم در سیستم‌های خاک-گیاه محرک‌های اصلی انتقال آن به سطوح مختلف تغذیه‌ای از طریق مسیرهای مختلف است (Suhani et al., 2021). محققین در بررسی جذب کادمیم در کاهو اعلام کردند کادمیوم عمدتاً در برگ‌ها تجمع می‌یابد که ناشی از انتقال کادمیم از خاک به برگ گیاه است (Ramos et al., 2002). کادمیم هیچ عملکرد بیولوژیکی ندارد و مسیرهای انتقال عناصر ریزمغذی مانند آهن، منگنز یا روی را می‌رباید تا از طریق ریشه وارد گیاه شده و در تمام اندام‌های آن توزیع شود. با این حال میزان فلزات سنگین به ویژگی‌های خاک مورد نظر و از همه مهمتر نوع کودها و سموم شیمیایی و حتی آب آبیاری مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی بستگی دارد(Sun et al.,2018؛Alloway 2013). روی، یک فلز واسطه، اساساً برای رشد و نمو گیاهان مورد نیاز است این نقش حیاتی در فتوسنتز، یکپارچگی غشاء، سنتز پروتئین و سیستم ایمنی دارد (Gurmani et al., 2012).

کادمیم هنگامی که وارد بدن انسان می‌شود، با نیمه عمر بیولوژیکی بیش از ۳۰ سال در بدن انسان حفظ می‌شود .در کلیه‌ها و استخوان‌ها تجمع می‌یابد و می‌تواند باعث پوکی استخوان، نارسایی کلیه، بیماری قلبی و سرطان شود (EFSA, 2012). این عنصر باعث می‌شود قرار گرفتن در معرض مزمن Cd در سطح پایین یک تهدید جدی برای سلامت انسان باشد.

این دلیلی است که استفاده از Cd توسط مقررات (مقررات اتحادیه اروپا است که برای بهبود حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست در برابر خطرات ناشی از مواد شیمیایی و در عین حال افزایش رقابت‌پذیری صنعت مواد شیمیایی اتحادیه اروپا تصویب شده است) REACH[1] اروپا به شدت محدود شده است.

بررسی‌ها نشان داده‌اند که کشت انگور توسط فلزات سنگین به یک مشکل محیط زیستی شدید و خطر بالقوه برای کشت انگور تبدیل شده است. لذا بررسی فاکتورهای آلودگی و سلامت در خاک برای داشتن محصولاتی با ایمنی بیشتر ضروری می‌باشد. با این حال، با وجود درک فزاینده از اهمیت تنوع زیستی خاک، به دلیل دانش عملکردی محدود و فقدان روش‌های مؤثر، کمی‌سازی سلامت خاک همچنان تحت سلطه شاخص‌های شیمیایی است. در این دیدگاه، تعریف و تاریخچه سلامت خاک تشریح و با سایر مفاهیم خاک مقایسه شده است. ما خدمات اکوسیستمی ارائه شده توسط خاک، شاخص‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری عملکرد خاک، و ادغام آن‌ها در شاخص‌های آموزنده سلامت خاک را تشریح می‌کنیم.دانشمندان باید سلامت خاک را به عنوان یک پدیده مهم و جهانی بپذیرند (Zheng et al., 2012). امروزه، محققان زیادی ازسازمان‌های بین المللی از جمله EPA و سازمان بهداشت جهانی (WHO) شاخص‌های مربوط به سلامت خاک را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی محیط زیست و مدیریت اکوسیستم‌ها معرفی کردند (Barbour et al., 1999.,Freund and Petty, 2007).

نتیجه تحقیق ضرابی و همکاران (۱۳۹۷) در زمینه بررسی تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیم در سبزیجات کشت شده در خرم آباد، نشان داده است که میزان تجمع کادمیم در تره ۰/۱۴ میکروگرم بوده که دلیل بالا بودن غلظت کادمیم در اندام گیاهان مورد آزمایش، استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در زمین‌های زراعی می‌باشد(ضرابی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج تحقیقی توسط طباطبایی و همکاران (۲۰۱۶) با عنوان آلودگی فلزات سنگین سرب و کادمیم در برخی محصولات کشاورزی، نشان داد، میزان سرب در کاهو و خیار در محصولات میدان تره‌بار مرکزی تهران، از حد استاندارد ایران در فصل تابستان بالاتر است ولی میزان کادمیم در همه محصولات پایین‌تر از حد استاندارد به دست آمد. لوسکا و همکاران (۲۰۰۴) به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک مزارعی واقع در جنوب لهستان که تحت تأثیر آلودگی ناشی از برخی صنایع، قرارگرفته بودند با استفاده از سه شاخص مولر، غنی شدن و درجه آلودگی، میزان ورودی‌های انسانی را محاسبه کردند. نتایج پژوهش نشان داد که رسوبات نسبت به کادمیم و سرب در طبقه آلودگی ۳ دارای آلودگی قابل ملاحظه و نسبت به مس و روی طبقه آلودگی صفر(غیرآلوده) بوده‌اند(Loska, et al., 2004).

رودریگز و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردندکه در اکوسیستم‌های کشاورزی، که در آن دام‌داری و فعالیت‌های کشاورزی مرتبط با آن فشرده است، فلزات سنگین نیز می‌توانند به دلیل استفاده از کود مایع و جامد یا کودهای آلی به خاک وارد خاک و محیط زیست شوند(Rodriguez et al., 2006). از آنجایی که انگور محصولی پرمصرف و مهم در ایران و جهان به شمار می‌آید و ملایر شهر جهانی انگور می‌باشد، لذا سلامت و کیفیت این محصول مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. از انگور محصولات جانبی زیادی هم تولید و به سراسر دنیا ارسال می‌شود از این رو باید سلامت و ایمنی این محصول مورد تایید باشد. خاک و آب آبیاری مهمترین بخش در سلامت محصولات زراعی به شمار می‌آید. ارزیابی آلودگی خاک‌های سطحی با فلزات سنگین و بررسی میزان فلزات سنگین آن‌ها در شهرها و روستاها یک نگرانی مهم در بخش بهداشت بوده که در سال‌های اخیربیشتر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است .شاخص‌های زیادی برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین و به تبع آن ارزیابی

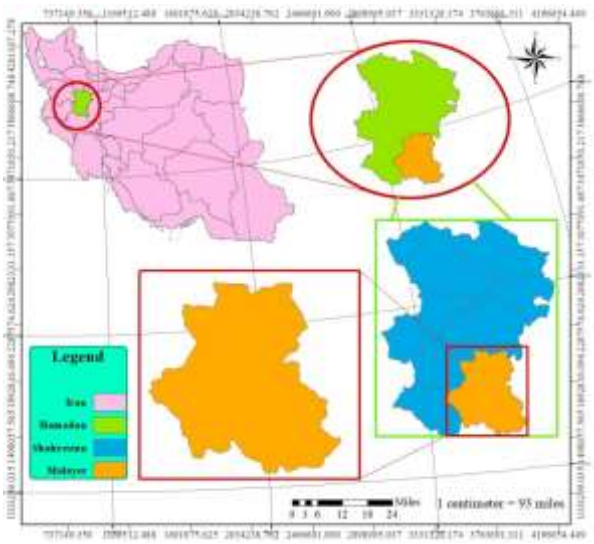
[1] -Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals

سلامت انسان وجود دارند که می‌توان به شاخص‌های ژئوشیمیایی رسوبات (Igeo)، شاخص آلودگی(CF[1]) و فاکتور BAC[2] اشاره کرد. با توجه به نتایج این فاکتورها می‌توان توانایی خاک و گیاه را در تحمل به آلودگی و انباشت آن بررسی کرد. بنابراین در این پژوهش اثر سطوح مختلف کادمیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم خاک) و نوع ارقام انگور (۱۱ رقم) در تحمل به آلودگی، انتقال و انباشت کادمیم و روی در خاک و گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و موقعیت محل آزمایش

این پژوهش در در اسفند ماه ۱۴۰۰ به منظور بررسی غلظت فلزات کادمیم و روی در خاک ریزوسفری و برگ در ۱۱ رقم انگور تجاری بومی و خارجی شامل عسگری، پیکامی، کندری، ریش بابا، یاقوتی، بی‌دانه سفید، بی‌دانه قرمز، ترکمن ۴، شاهانی، فلیم سیدلس، پرلت در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انجام شد. موقعیت شهرستان ملایر به عنوان شهر جهانی انگور و قطب انگور کشور در شکل ۱ ارائه شده است. پس از ریشه زایی در بستر ماسه ای، قلمه‌ها در گلدان‌هایی با وزن خاک مشخص و یکسان (۵ کیلوگرم خاک) کاشته شدند و تا ظهور ۱۵ برگ کامل تحت مراقبت‌های مختلف (آبیاری، تغذیه، پایش افات و بیماری‌ها و ...) قرار گرفتند. لازم به ذکر است که خاک گلدان از باغات منطقه ملایر (روستای رضوانکده) جمع‌آوری شد تا از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی خاک گلدان‌ها به شرایط باغ نزدیک باشد و برای سهولت رشد ریشه با مقدار حجمی یکسانی از کود دامی پوسیده و ماسه مخلوط شد.



شکل (۱) موقعیت شهرستان ملایر در استان همدان

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

تیمار آزمایشی (تنش کادمیم)

بعد از زمان لازم برای رسیدن به مرحله ۱۵ برگی، که حدود ۴ ماه طول کشید، آنگاه تیمارهای کادمیم در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ($Cd(NO3)_2.4H_2O$) اعمال شد. تنش‌ها دارای سه تکرار در هر سطح بودند. غلظت‌های کادمیم

[1] -Contamination Factor
[2] -Biological accumulation coefficient

به تدریج و در طول یک ماه به نهال‌ها اعمال و تا چهار ماه ادامه یافت. بعد از این مدت نمونه‌های خاک ریزوسفری و نیز برگ از شاخه‌های میانی تاک‌ها مربوط به هر تیمار برداشت و برای اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف به آزمایشگاه منتقل شدند.

اندازه گیری کادمیم و روی خاک ریزوسفری

برای هضم نمونه‌های خاک، ۱ گرم نمونه خشک را در بشر ریخته و ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۱۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ به آن اضافه شد. سپس نمونه را به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده و به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه روی هیتر همزن مغناطیسی با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد حرارت داده تا فرآیند هضم کامل شده و مایع شفافی به دست آید. سپس مخلوط را به یک فلاسک ۱۰۰ میلی‌لیتری اضافه کرده و غلظت کادمیم و روی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 2020).

اندازه‌گیری کادمیم و روی برگ

برای استخراج فلزات سنگین از گیاه، ابتدا از برگ میانی شاخه‌ها برگ‌های سالم وبالغ برداشت و به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۲ درجه قرار داده شد. سپس نمونه‌های خشک شده برگ‌ها در هاون کاملا کوبیده شده تا پودر شوند. سپس نیم گرم از نمونه‌های پودر شده را وزن کرده و به مدت ۶ ساعت در کوره با دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۳۰۰ میلی‌لیتر (اسید کلریدریک) HCL غلیظ را با ۱۰۰ میلی‌لیتر HNO3 (اسید نیتریک غلیظ) در یک فلاسک یک لیتری مخلوط کرده و به حجم یک لیتر رسید. به هر نمونه گیاهی ۲۰ میلی‌لیتر از محلول اضافه کرده و به مدت نیم ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌دهیم و روی آن‌ها را با شیشه ساعت گذاشته و به مدت یک شب در آزمایشگاه قرار داده و سپس نمونه‌ها صاف شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی، غلظت کادمیم و روی با این دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Jones,. 2001).

آنالیزهای آماری

داده‌های مربوط به هر تیمار (سه تکرار بیولوژیکی) با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و از دستورالعمل GLM برای مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۱٪ استفاده شد.

شاخص‌های ژئوشیمیایی خاک

در مطالعات محیط زیستی به ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط،حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی ارزیابی شود (شایسته فر و رضائی،۱۳۹۰).

الف) شاخص زمین انباشتگی مولر

شاخص مولر، یکی از قدیمی‌ترین شاخص‌های شدت آلودگی است که در سال ۱۹۷۹ توسط آقای مولر تدوین شد. شاخص ژئوشیمیایی مولر بر اساس فرمول زیر (۱) بدست می آید(Muller., 1979).

$$Igeo=Log_2[\frac{Cn}{Bn*1.5}] \quad (۱)$$

Cn: غلظت عنصر در رسوب و خاک

Bn: غلظت عنصر در پوسته زمین (شیل)

۱/۵: فاکتور تصحیح شیل

در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیه کامل به دست نمی‌آید باید از غلظت شیل که یک نوع سنگ رسوبی است، استفاده کرد (Mediolla et al 2008.). چون متوسط غلظت عناصر در شیل نسبت به متوسط غلظت عناصر در رسوبات غیر آلوده کمتر است، بنابراین به منظور متعادل سازی آن را در عدد ۱/۵ باید ضرب کرد.

ب) شاخص Ipoll

چنانچه آمار تفکیک شیمیایی در دسترس باشد، می‌توان فرمول مولر را بهینه و یا اصلاح کرد. چون روش تفکیک شیمیایی بخش انسان ساخت را از طبیعی جدا می‌کند، بنابراین میزان دقیق Bn بدست می‌آید. لذا فرمول مولر (۲) در سال ۲۰۰۸ میلادی توسط کرباسی به شرح زیر تغییر یافت (karbassi et al.2008).

$$Ipoll=Log_2[\frac{Cn}{Bn}] \quad (۲)$$

Cn: غلظت عنصر در رسوب و خاک منطقه

Bn: غلظت عنصر در پوسته زمین (شیل)

جدول (۱) رده بندی خاک بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر و آیپول

درجه آلودگی	شاخص زمین انباشتگی
غیر آلوده	۰>
غیر آلوده تا کمی آلوده	۰-۱
کمی آلوده	۱-۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۲-۳
خیلی آلوده	۳-۴
خیلی آلوده تا شدیداً آلوده	۴-۵
شدیداً آلوده	۵<

ج) فاکتور آلودگی

از این فاکتور برای تعیین ارزیابی ریسک آلودگی در خاک استفاده می‌شود و میزان آن با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید (karbassi et al 2008).

$$CF = \frac{[C]\text{Heavy metal}}{[C]\text{Back ground}} \quad (۳)$$

طبق فاکتور آلودگی سطوح آلودگی را می‌توان بر اساس شدت آلودگی بین ۰ تا ۶ تقسیم بندی کرد:

جدول (۲) طبقه بندی مقادیر فاکتور آلودگی(Bhuiyana et al., 2010)

درجه آلودگی	فاکتور
آلودگی کم	CF<1
آلودگی متوسط	1≤ CF <3
آلودگی زیاد	1≤ CF <6
آلودگی بسیارزیاد	≤ CF6

د) فاکتور BAC[1]

برای بررسی میزان تجمع بیولوژیکی عناصر سمی در گونه‌های مختلف انگور، از BAC برگ‌ها استفاده شد .BAC نسبت غلظت عناصر در گیاه (ریشه، برگ یا میوه) و غلظت عناصر در خاک (فرمول ۴) را بیان می‌کند (Kabata-Pendias 2010).

$$BAC= {}^{Leaf}/_{Soil} \qquad (۴)$$

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرکادمیم در ارقام مختلف انگور بر غلظت کل کادمیم و روی در خاک

بر اساس نتایج آنالیز واریانس که در جدول ۳ گزارش شده است، بین ارقام مختلف از لحاظ محتوای فلز کادمیم در خاک تحت تنش کادمیم اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ وجود داشت.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (۴) بین ارقام مختلف از لحاظ محتوای فلز روی در برگ تحت تنش کادمیم اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ مشاهده شد ($P<0.01$).

جدول (۳) آنالیز واریانس اثر کادمیم در ارقام مختلف انگور بر غلظت کل کادمیم و روی در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		غلظت Cd در خاک	غلظت Zn در خاک
کادمیم	۲	۳۱۰۸۵/۵۹**	۴۵/۳۵**
انگور	۱۰	۱۷۹/۰۶**	۲۳/۴۵**
کادمیم* رقم	۲۰	۲۰۸/۶۳**	۳/۴۶**
خطا	۶۶	۹۴/۰۷	۰/۲۴
ضریب تغییرات	-	۳/۷۵	۱/۰۰۱

** و* به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۹۹ و ۹۵ درصد هستند.

جدول (۴) آنالیز واریانس اثر کادمیم در ارقام مختلف انگور بر غلظت کل کادمیم و روی در برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		روی برگ	کادمیم برگ
کادمیم	۲	۱۴۶۵/۷۸**	۱۵۰۲/۶۵**
انگور	۱۰	۸۲۹/۰۱**	۲۵۷۵/۷۵**
کادمیم* رقم	۲۰	۲۹۶/۳۲**	۱۳۳۱/۴۵**

[1] -Biological accumulation coefficient

خطا	۶۴	۲۶/۰۳	۲۲/۵۸
ضریب تغییرات	-	۷/۱۲	۱۸/۹۵

** و* به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۹۹ و ۹۵ درصد هستند

نتایج مقایسه میانگین بین غلظت کادمیم و روی در خاک ریزوسفری ارقام مختلف انگور

نتایج مقایسه میانگین مربوط به غلظت کادمیم در خاک و برگ در هر کدام از ارقام به تفکیک تنش‌های مورد مطالعه، در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس این یافته‌ها در غلظت کادمیم در خاک و برگ در ارقام مختلف انگور مقادیر میانگین فلز کادمیم در منطقه ریزوسفری خاک تمام ارقام انگور اختلاف معنی داری مشاهده شد($P<0.01$). همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ میانگین غلظت کادمیم در خاک و برگ در تنش‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بیشتر از شاهد می‌باشد.

جدول (۵) میانگین غلظت کادمیم (Cd) خاک ریزوسفری و برگ ارقام مختلف انگور (برحسب میلی گرم بر کیلوگرم رشد یافته در سه سطح تنش کادمیم

	کادمیم خاک (mg/kg)			کادمیم برگ (mg/kg)		
ارقام	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰
عسگری	۱/۴۱±۰/۱۸	۳۰/۱۲±۰/۰۶	۸۰/۲۳±۱/۰۷	۰/۹۵ ±۰/۷۸	۲۶/۱۹±۱۲/۹۷	۳۷/۶۲±۰/۷۳
پیکامی	۱/۷۷±۰/۴۱	۴۰/۹۲±۰/۳۵	۶۰/۹۴±۰/۵	۰/۹۳±۰/۴۲	۱۸/۷±۰/۲۵	۳۶/۵۴±۳/۲۴
کندری	۱/۴۴±۱/۴	۳۸/۳۶±۰/۳	۵۳/۷۴±۰/۶۹	۰/۹۷±۰/۲۶	۳۴/۲۹±۷/۴	۳۲/۰۲±۲/۵۱
یاقوتی	۱/۲۳±۰/۱۸	۴۱/۵۹±۰/۴	۶۲/۹۳±۰/۸۴	۰/۸۸±۰/۳۵	۴۳/۴۲±۶/۱	۵۸/۹۳±۳/۷۲
بیدانه سفید	۱/۵۱±۰/۲	۲۰/۷۲±۰/۲	۸۱/۴۶±۰/۱۵	۰/۷۶±۰/۰۷۲	۷/۴۲±۱/۵۶	۱۴/۵۹±۱/۵
بیدانه قرمز	۱/۱۸±۰/۵	۴۰/۱۷±۱/۱۳	۷۰/۶۱±۰/۴۱	۰/۸۲±۰/۶۶	۳۱/۶۳±۱/۴	۳۳/۸۵±۱/۲۵
ریش بابا	۱/۲۸±۰/۱۸	۳۲/۹۷±۰/۲۸	۷۰/۶۳±۰/۱۸	۰/۹۱±۰/۵۳	۱۳/۴۹±۵/۹۹	۳۴/۹۹±۰/۳
ترکمن ۴	۱/۲۷±۰/۱۶	۳۵/۴±۰/۳	۶۴/۱۵±۰/۲۷	۰/۳۱±۰/۱۹	۱۹/۸۱±۰/۶۹	۴۰/۹۹±۴/۶
شاهانی	۱/۶۳±۰/۱۸	۲۷/۴۳±۰/۰۵	۵۱/۷۴±۰/۲	۰/۲±۰/۵	۲۴/۸±۱/۸۶	۲۰/۹۴±۲/۵
فلیم سیدلس	۱/۳۳±۰/۱۸	۳۵/۱±۰/۵۶	۶۲/۰۷±۲/۷	۰/۷۴±۰/۶	۲۳/۴۹±۱/۶۳	۴۳/۳۳±۲/۸
پرلت	۱/۴۲±۰/۱۹	۲۴/۴۵±۰/۶۸	۴۸/۱۲±۰/۳۵	۰/۴۹±۰/۲۴	۲۰/۹۵±۰/۴۵	۴۶/۴±۲/۲۵

جدول (۶) میانگین غلظت روی (Zn) خاک ریزوسفری و برگ ارقام مختلف انگور (برحسب میلی گرم بر کیلوگرم) رشد یافته در سه سطح تنش کادمیم

	کادمیم خاک (mg/kg)			کادمیم برگ (mg/kg)		
ارقام	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰
عسگری	۵۰/۶۸±۰/۲۳	۳۹/۶۷±۰/۱۸	۴۲/۳۹±۰/۲۴	۵۸/۷۹±۸/۷	۷۴/۳۶±۹/۰۹	۶۴/۹۴±۱/۷
پیکامی	۲۹/۳۷±۰/۲۱	۲۲/۶±۰/۲۴	۳۳/۸۸±۰/۱۸	۹۰/۸۹±۱/۲	۸۲/۶± ۹/۹۸	۵۵/۰۳±۳/۴۷
کندری	۳۴/۰۴±۰/۲	۳۶/۰۳±۰/۳۴	۳۹/۵۲±۰/۲۹	۸۴/۸۹±۳/۳۷	۷۹/۷۳±۶/۱۵	۶۱/۷۳±۰/۹
یاقوتی	۵۲/۰±۰/۱۹	۵۸/۴۹±۰/۲۵	۵۰/۹۴±۰/۱۶	۷۳/۷۳±۹/۳	۸۰/۷۵±۳/۷۵	۶۸/۶۷±۳/۷۹
بیدانه سفید	۴۷/۷۵±۰/۳۴	۴۲/۳۸±۰/۲۸	۵۲/۱±۰/۱	۶۸/۸۹±۸/۹	۵۶/۳۵±۵/۳۵	۵۹/۸۲±۳/۹۳
بیدانه قرمز	۲۶/۵±۰/۲۷	۳۳/۰۷±۰/۱۰	۳۲/۰۷±۰/۱۵	۸۳/۲۶±۴/۷	۷۶/۳۵±۲/۷۷	۷۱/۶۷±۴/۵۵

ریش بابا	۴۶/۱۶±۱/۵	۳۲/۹۷±۰/۱۴	۵۷/۶۶±۰/۱۴	۹۸/۰۸±۳/۹	۷۳±۲/۱۹	۸۶/۳۷±۰/۴
ترکمن ۴	۴۱/۵۰±۰/۲۴	۵۷/۳۶±۰/۲۵	۵۰/۷۷±۰/۱۸	۹۰/۹۳±۲/۳	۶۳/۹۳±۴/۱۸	۵۳/۴۱±۱/۸
شاهانی	۴۰/۰۷±۰/۱۷	۳۳/۰۰±۰/۱۴	۳۴/۳±۰/۱۵	۶۴/۰۳±۱/۱۲	۶۲/۷۶±۱/۲	۴۹/۸۱±۶/۶۹
فلیم سیدلس	۴۲/۶۸±۰/۱۴	۳۸/۸۹±۰/۳	۳۳/۰±۰/۲۷	۹۶/۴۷±۴/۳۶	۸۰/۱۵±۱/۵	۷۷/۵۵±۰/۶۹
پرلت	۴۵/۸۲±۰/۲۳	۷۵/۶۰±۰/۱۸	۴۶/۳۶±۰/۰۵	۵۴/۷۸±۷/۹۲	۵۰/۳۹±۲/۵۷	۶۹/۷۲±۶/۱۷

مقایسه غلظت کادمیم با شاخص‌های مورد بررسی در خاک

غلظت فلز کادمیم مورد بررسی در خاک ارقام مختلف انگور مورد بررسی در این پژوهش با شاخص‌های مورد بررسی مقایسه شدند و نتایج آن در جدول‌های ۷، ۸ و ۹ ارائه شده است. همچنین، غلظت فلز روی مورد بررسی در خاک ارقام مختلف انگور مورد بررسی با شاخص‌های مورد نظر مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج در جداول ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارائه شد.

جدول (۷) میزان آلودگی فلز کادمیم در سطح بدون تنش در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی خاک در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	۲/۳۳	-۱/۵۰	۱/۶۵	-۲/۰۸	۰/۳۵	۰/۶۷
پیکامی	۲/۵۶	-۱/۱۸	۱/۹۷	-۱/۷۶	۰/۴۴	۰/۵۳
کندری	۲/۲۶	-۱/۴۷	۱/۶۸	-۲/۰۶	۰/۳۶	۰/۷۹
یاقوتی	۲/۰۴	-۱/۷۰	۱/۴۵	-۲/۲۸	۰/۳۱	۰/۹۸
بیدانه سفید	۲/۳۳	-۱/۴۱	۱/۷۵	-۱/۹۹	۰/۳۸	۰/۵۰
بیدانه قرمز	۱/۹۷	-۱/۷۶	۱/۳۹	-۲/۳۵	۰/۲۹	۰/۸۷
ریش بابا	۲/۰۹	-۱/۶۴	۱/۵۱	-۲/۲۳	۰/۳۲	۰/۷۹
ترکمن ۴	۲/۰۸	-۱/۶۶	۱/۵۰	-۲/۲۴	۰/۳۲	۰/۲۴
شاهانی	۲/۴۴	-۱/۳۰	۱/۸۶	-۱/۸۸	۰/۴۱	۰/۱۲
فلیم سیدلس	۲/۱۵	-۱/۵۸	۱/۵۶	-۲/۱۷	۰/۳۳	۰/۷۷
پرلت	۲/۲۴	-۱/۴۹	۱/۶۶	-۲/۰۸	۰/۳۶	۰/۳۵

* بر اساس غلظت در شیل ** بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

جدول (۸) میزان آلودگی فلز کادمیم در سطح تنش ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	۶/۶۵	۲/۹۱	۶/۰۶	۲/۳۳	۷/۵۳	۰/۸۷
پیکامی	۷/۰۹	۳/۳۵	۶/۵۰	۲/۷۷	۱۰/۲۳	۰/۴۶
کندری	۶/۹۹	۳/۲۶	۶/۴۱	۲/۶۸	۹/۵۹	۰/۸۹
یاقوتی	۷/۱۱	۳/۳۸	۶/۵۳	۲/۷۹	۱۰/۳۹	۰/۹
بیدانه سفید	۶/۱۱	۲/۳۷	۵/۵۲	۱/۷۹	۵/۱۸	۰/۳۶
بیدانه قرمز	۷/۰۹	۳/۳۵	۶/۵۰	۲/۷۷	۱۰/۲۱	۰/۷۲
ریش بابا	۶/۷۸	۳/۰۴	۶/۱۹	۲/۴۶	۸/۲۴	۰/۴۱
ترکمن ۴	۶/۸۸	۳/۱۵	۶/۳۰	۲/۵۶	۸/۸۵	۰/۵۶

شاهانی	۶/۵۰	۲/۷۸	۵/۹۳	۲/۱۹	۶/۸۵	۰/۹
فلیم سیدلس	۶/۸۷	۳/۱۳	۶/۲۸	۲/۵۵	۸/۷۷	۰/۶۷
پرلت	۶/۳۵	۲/۶۱	۵/۷۶	۲/۰۲	۶/۱۱	۰/۸۷

*بر اساس غلظت در شیل **بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

جدول (۹) میزان آلودگی فلز کادمیم در سطح تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی خاک در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	۸/۰۶	۴/۳۲	۷/۴۸	۳/۷۴	۲۰/۰۶	۰/۴۷
پیکامی	۷/۶۶	۳/۹۳	۷/۰۸	۳/۳۵	۱۵/۲۳	۰/۶
کندری	۷/۴۸	۳/۷۴	۶/۹	۳/۱۶	۱۳/۴۴	۰/۵۹
یاقوتی	۷/۷۱	۳/۹۷	۷/۱۳	۳/۹۰	۱۵/۷۳	۰/۸۶
بیدانه سفید	۸/۰۸	۴/۳۵	۷/۵۰	۳/۷۶	۲۰/۳۷	۰/۳
بیدانه قرمز	۷/۹۲	۴/۱۸	۷/۳۳	۳/۵۹	۱۸/۱۵	۰/۴۸
ریش بابا	۸/۱۹	۴/۴۵	۷/۶۱	۳/۸۷	۲۱/۹۱	۰/۴
ترکمن ۴	۷/۷۴	۴/۰	۷/۱۶	۳/۴۲	۱۶/۰۴	۰/۶۴
شاهانی	۷/۴۳	۳/۶۹	۶/۸۴	۳/۱۱	۱۲/۹۳	۰/۴
فلیم سیدلس	۸/۰۹	۴/۳۶	۷/۵۱	۳/۷۷	۲۰/۵۲	۰/۷
پرلت	۷/۳۳	۳/۵۹	۷/۳۳	۳/۰۰	۱۲/۰۳	۱/۰۱

*بر اساس غلظت در شیل **بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

جدول (۱۰) میزان آلودگی فلز روی در سطح بدون تنش در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی خاک در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	-۰/۹۸	-۰/۴۷	-۱/۵۷	-۱/۰۵	۰/۷۲۴	۱/۱۶
پیکامی	-۱/۷۷	-۱/۲۵	-۲/۳۵	-۱/۸۴	۰/۴۲	۳/۰۹
کندری	-۱/۵۵	-۱/۰۴	-۲/۱۴	-۱/۶۳	۰/۴۹	۲/۴۹
یاقوتی	-۰/۹۴	-۰/۴۳	-۱/۵۳	-۱/۰۱	۰/۷۴	۱/۴۲
بیدانه سفید	-۱/۰۷	-۰/۵۵	-۱/۶۵	-۱/۱۴	۰/۶۸	۱/۴۴
بیدانه قرمز	-۱/۷۶	-۱/۴۰	-۲/۵۰	-۱/۹۹	۰/۳۸	۳/۱۴
ریش بابا	-۱/۹۲	-۰/۶۰	-۱/۷۰	-۱/۱۹	۰/۶۶	۲/۱۲
ترکمن ۴	-۱/۱۲	-۰/۷۵	-۱/۸۵	-۱/۳۴	۰/۵۹	۲/۱۹
شاهانی	-۱/۳۲	-۰/۸۰	-۱/۹۰	-۱/۳۹	۰/۵۷	۱/۶۰
فلیم سیدلس	-۱/۲۳	-۰/۷۱	-۱/۸۱	-۱/۳۰	۰/۶۱	۲/۶۰
پرلت	-۱/۱۳	-۰/۶۱	-۱/۷۱	-۱/۲	۰/۶۵	۱/۱۹

*بر اساس غلظت در شیل **بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

جدول (۱۱) میزان آلودگی فلز روی در سطح تنش ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیم خاک در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	-۱/۳۳	-۰/۸۲	-۱/۹۲	-۱/۴۰	۰/۵۷	۱/۸۷
پیکامی	-۲/۱۵	-۱/۶۳	-۲/۷۳	-۲/۲۲	۰/۳۲	۳/۶۵
کندری	-۱/۴۷	-۰/۹۶	-۲/۰۶	-۱/۵۴	۰/۵۱	۲/۲۱
یاقوتی	-۰/۷۷	-۰/۲۶	-۱/۳۶	-۰/۸۴	۰/۸۴	۱/۳۸
بیدانه سفید	-۱/۲۴	-۰/۷۲	-۱/۸۲	-۱/۳۱	۰/۶۱	۱/۳۳
بیدانه قرمز	-۱/۶۰	-۱/۰۸	-۲/۱۸	-۱/۶۷	۰/۴۷	۲/۳۱
ریش بابا	-۰/۸۰	-۰/۲۹	-۱/۳۷	-۰/۸۷	۰/۸۲	۱/۲۷
ترکمن ۴	-۱/۲۷	-۰/۷۶	-۱/۸۶	-۱/۳۴	۰/۵۹	۱/۵۴
شاهانی	-۱/۶۰	-۱/۰۸	-۲/۱۸	-۱/۶۶	۰/۴۷	۱/۹
فلیم سیدلس	-۱/۳۶	-۰/۸۵	-۱/۹۵	-۱/۴۳	۰/۵۵	۲/۰۶
پرلت	-۰/۴۰	۰/۱۱	-۰/۹۹	-۰/۴۷	۱/۰۸	۰/۶۶

*بر اساس غلظت در شیل **بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

جدول (۱۲) میزان آلودگی فلز روی در سطح تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک کادمیم در خاک بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی خاک در ارقام مختلف انگور

شاخص ارقام	Ipoll*	Ipoll**	Igeo*	Igeo**	CF	BAC
عسگری	-۱/۲۴	-۰/۷۲	-۱/۸۲	-۱/۳۱	۰/۶۱	۱/۵۳
پیکامی	-۱/۵۶	-۱/۰۵	-۲/۱۵	-۱/۶۳	۰/۴۸۴	۱/۶۲
کندری	-۱/۳۴	-۰/۸۳	-۱/۹۲	-۱/۴۱	۰/۵۶	۱/۵۶
یاقوتی	-۰/۹۷	-۰/۴۶	-۱/۵۶	-۱/۰۴	۰/۷۳	۱/۳۵
بیدانه سفید	-۰/۹۴	-۰/۴۳	-۱/۵۳	-۱/۰۱	۰/۷۴	۱/۱۵
بیدانه قرمز	-۱/۶۴	-۱/۱۳	-۲/۲۳	-۱/۷۱	۰/۴۶	۲/۲۳
ریش بابا	-۰/۷۹	-۰/۲۸	-۱/۳۸	-۰/۸۶	۰/۸۲	۱/۵۰
ترکمن۴	-۰/۹۸	-۰/۴۶	-۱/۵۶	-۱/۰۵	۰/۷۳	۱/۰۵
شاهانی	-۱/۵۴	-۱/۰۳	-۲/۱۳	-۱/۶۱	۰/۴۹	۱/۴۵
فلیم سیدلس	-۱/۶۰	-۱/۰۸	-۲/۱۸	-۱/۶۷	۰/۴۷	۲/۳۵
پرلت	-۱/۱۱	-۰/۵۹	-۱/۶۹	-۱/۱۸	۰/۶۶	۱/۵۰

*بر اساس غلظت در شیل **بر اساس استاندارد کیفی خاک ایران

بحث و نتیجه‌گیری

انجام فعالیت‌های مختلف انسانی از جمله استفاده از سموم و کودهای شیمیایی به منظور افزایش محصولات کشاورزی و مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی در زمین‌های کشاورزی روز به روز در حال افزایش است. در محیط‌های طبیعی می‌تواند موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی، خاک و گیاهان شود. جذب فلزات از خاک توسط گیاهان نیز موجب تجمع

زیستی در زنجیره غذایی‌شده و از این طریق به موجودات زنده مختلف و انسان آسیب وارد می‌کند (Zhang etal., 2015). فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های معدنی غیرقابل تجزیه هستند که به‌صورت طبیعی یا در اثر فعالیت‌های ذوب فلزات، احداث معادن، استفاده از کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی و غیره وارد محیط می‌شوند که حذف و کاهش آن‌ها از محیط زیست جهت ممانعت از ورود آن‌ها به زنجیره‌های غذایی و آسیب‌های بعدی ضروری است (Fritsch etal., 2012). در اروپا، کادمیم حاصل از کودهای فسفاته در حال حاضر ورودی اصلی کادمیم به خاک‌های تحت کشت است (Six and Smolders, 2014؛ . Sterckeman and Puschenreiter., 2021)

سبحان و جعفری(۱۳۹۳) با استناد به نتایج تحقیق و شاخص‌های مورد استفاده گزارش کرده اند که دلیل افـزایش غلظـت سرب وکادمیم در انواع کلم موجود در بازار همدان، استفاده از فاضلاب برای آبیاری و لجن فاضلاب به عنوان کود در زمین‌هـای کشاورزی است. به همین دلیل بررسی فلزات سنگین در محصولات کشاورزی و خاک‌هـای زمـین‌هـای کشـاورزی بسـیار مهـم است(سبحان و جعفری، ۱۳۹۳).

نتایج آزمون آماری نشان داد بین غلظت فلزات کادمیم و روی در خاک ارقام مختلف انگور اختلاف آماری معنی‌داری وجـود دارد (جدول ۲). استفاده از کودهای شیمیایی روز به روز در حال افزایش است و با توجه به اینکه ایـن کودهـا حـاوی ناخالصـی فلزات سنگین هستند و با مصرف بیشتر این کودها به مرور میزان فلزات سنگین مانند کادمیم در محیط زیست افزایش می‌یابد که باعث آسیب به انسان و محیط زیست و تجمع در خاک و آب و ورود به زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شود (پورمقـدس و ظفرزاده، ۱۳۹۵).

چندین پژوهش نشان داده است که توزیع کادمیم در گیاه هم از یک گونه به گونه دیگر و هم در یک گونه خاص، بسته بـه جمعیـت یـا رقـم، بسـیار متفـاوت اسـت (Florijn and Van Beusichem, 1993b; Greger and Lofstedt, 2004; Gonneau et al., 2014; Laporte et al., 2015)

با توجه به طبقه‌بندی پندیس وکاباتا (۲۰۰۱) زمانی که شاخص انتقال بین ۰/۰۱ تـا ۱ باشـد تجمـع و دسترسـی در گیـاه متوسط است. بر این اساس و با توجه به مقادیر این شاخص برای کادمیم مورد بررسی تجمع در ارقـام مختلـف انگـور متوسـط گزارش شد اما مقادیر بالاتر از ۰/۰۱ وجود نگرانی از حضور آلودگی را بیشتر می‌کند (پندیس و کاباتا، ۲۰۰۱).

شاخص فاکتور آلودگی در کادمیم در سطح بدون تنش زیر یک گزارش شد اما در تنش ۵۰ طبقه آلودگی زیاد و در تنش ۱۰۰ آلودگی بسیار زیار گزارش شد. شاخص فاکتور آلودگی فلز روی در این پژوهش تحت تنش کادمیم در ارقام مختلف انگور به غیر از رقم پرلت در تمامی ارقام کمتر از ۱ گزارش شد که نشان از آلودگی کم این فلز در خاک دارد. میانگین شاخص آلودگی در تحقیق وزیری و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تعیین منابع آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان بدین شرح است که روی، کروم، سرب، وانادیوم، مس و کبالت بدون آلودگی (کمتر از یک) و آرسنیک وکادمیم دارای سطح آلودگی کم (بیشتر از یک و کمتر از دو) می‌باشد (وزیری و همکاران، ۱۴۰۰).

نتایج مهر و مرتضوی (۲۰۱۹) در بررسی آلودگی عناصر سمی ازجمله کادمیم و مس در خاک و برگ تاکستان شهرستان ملایر نشان داد که برای شاخص‌های Igeo و CF، خاک منطقه مورد مطالعه نسبتاً آلوده به مس بود .با این حال، شاخص خطر اکولوژیکی و BAC منطقه مورد مطالعه پایین بود (مهر و مرتضوی، ۲۰۱۹).

با توجه به نتایج به دست امده از این پژوهش در بررسی شاخص‌های خاک در ارقام مختلف انگور و بررسی تأثیر ارقام مختلف در میزان شاخص‌های خاک، در خاک بدون تنش کادمیم در خاک تمامی ارقام، طبق طبقه‌بندی شاخص Ipoll و Igeo در پوسته زمین، در رده غیرآلوده قرار گرفتند و این شاخص‌ها طبق استاندارد شیل در زمین به میزان خیلی کمی آلوده در نظر

گرفته شد. بزی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی شدت آلودگی خاک مکان دفن زباله شهری زاهدان به فلزات سنگین با استفاده از شاخص، دریافتند فراوانی کادمیم در خاک عمقی این منطقه در مقایسه با پوسته زمین بیشتر است که بیانگر ورود این فلز بر اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. یکی از منابع انسانی در این زمینه می‌تواند مکان دفن زباله باشد که سبب افزایش غلظت کادمیم در خاک شده است.

کمانی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی که بر روی آلودگی فلزات سنگین درخاک‌های سطحی اسفراین انجام دادند دریافتند مقادیر فاکتور آلودگی (CF) نشان داد که سطح آلودگی فلزات سنگین به ترتیب روی > کروم> کادمیم> مس> نیکل>سرب بودند که درگروه آلودگی زیاد قرار می‌گیرند. در این پژوهش، خاک ارقام تحت تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم در بررسی شاخص‌های خاک در ارقام مختلف انگور، طبق طبقه‌بندی شاخص Igeo در پوسته زمین، در رده کمی آلوده و طبق شاخص Ipoll در رده کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار گرفتند و این شاخص‌ها طبق استاندارد شیل در زمین در رده شدیدا آلوده قرار گرفت. نتایج حسینی و اردکانی (۱۴۰۲) در ارزیابی قابلیت پایش و پالایش فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز توسط برخی گونه‌های علفی مستقر در بیوتیپ کنار جاده‌ای در همدان نشان داد که ازمک دارای میانگین مقادیرفاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک برای عناصر کبالت و منگنز و میانگین فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک برای عنصر کروم بود. از طرفی، بومادران دارای میانگین فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک برای عنصر منگنز و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک برای عناصر کبالت و کروم بود.

نتایج خاک ارقام تحت تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم در بررسی شاخص‌های خاک در ارقام مختلف انگور، طبق طبقه‌بندی شاخص Igeo و Ipoll در پوسته زمین، در رده خیلی آلوده و طبق همین شاخص‌ها با استاندارد شیل در زمین در رده شدیداً آلوده قرار گرفت.

بررسی‌های فلاح و همکاران(۱۳۹۸) در خاک شهری کرج نشان داد که توزیع فلزاتی مانند کادمیم، نیکل و روی در خاک‌های شهر کرج شبیه بهم بوده و اغلب در مرکز شهر کرج نسبت به سایر مناطق شهر بیشتر است. خاک زمین‌های کشاورزی دارای فلزات سنگین کمتری نسبت به سایر زمین‌ها (پارک‌ها و باغ‌ها) است. این یافته‌ها مطابق با نتایجی است که توسط سایر محققان در مناطق دیگر جهان گزارش شده است.

کاظم‌زاده و همکاران (۲۰۱۲)، نتایج اندازه‌گیری فلزات سنگین در سبزی‌های خوراکی جنوب پالایشگاه تهران نشان داد میزان کادمیم، سرب و وانادیم در گیاه پیاز بالاتر از حد استاندارد بود (کاظم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲). برزین و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین در استان همدان مقادیر فاکتور آلودگی نشان دادند که کلاس آلودگی متوسط دارای بیشترین مقدار فراوانی در نمونه‌های برداشت شده است و عنصر سرب دارای کلاس آلودگی زیاد است (برزین و همکاران، ۱۳۹۴).

بوئیان و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج غنی شدن معنی‌دار خاک‌ها با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم وآنتیموان را نشان داد که حاصل ورود به خاک طی فعالیت‌های معدنی بودند (بوئیان و همکاران، ۲۰۱۰).

عظیم زاده وخادمی (۱۳۹۲) غنی شدگی وتوزیع عناصرسنگین را درخاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتورآلودگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که غلظت سرب، روی و مس تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و کادمیوم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. همچنین با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند (عظیم زاده و خادمی، ۱۳۹۲).

رودریگز و همکاران(۲۰۰۶)دربررسی میزان عناصرسنگین در خاک‌های کشاورزی حوزه ابرو در اسپانیا با استفاده ازآنالیز چند متغیره و زمین آمار نشان دادندکه کروم و نیکل توسط مواد مادری کنترل می‌شود در حالیکه کادمیم،سرب،جیوه، مس و روی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند و میانگین غلظت مس در مزارع زیتون و انگور بالا بود و آن هم به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و مواد حاصلخیزکننده خاک در این مناطق بود.(رودریگز و همکاران، ۲۰۰۶).

هو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تجمع و مقادیر آستانه فلزات سنگین در تولید سبزیجات گلخانه‌ای در چین دریافتند سبزیجات برگی گلخانه ای دارای غلظت و عوامل انتقال فلزات سنگین نسبتاً بالایی بودند. فاکتورهای انتقال نسبتاً پایین ساقه و سبزیجات نشان می‌دهد که این نوع سبزیجات برای کشت در خاک‌های گلخانه ای مناسب تر هستند(هو و همکاران، ۲۰۱۷). پندیس -کاباتا (۲۰۰۱) عنوان کردند چنانچه شاخص انتقال بین ۰/۰۱ تا ۱ باشد حالت تجمع و دسترسی در گیاه متوسط است (پندیس - کاباتا، ۲۰۰۱).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج شاخص‌های ژئوشیمیایی و انتقال ارقام مختلف انگور، برخی ارقام از توانایی انباشت بالایی برای فلزات سنگین برخوردار است که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. باتوجه به طبقه‌بندی شاخص‌های فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌های برداشت شده درگونه‌های موردمطالعه دارای طبقه آلودگی متوسط بودند و هرچه غلظت کادمیم در خاک افزایش یابد میزان انتقال آن به گیاه افزایش پیدا می‌کند. مقادیر فاکتور آلودگی (CF) در خاک ارقام مختلف انگور در تنش بدون کادمیم کمتر از یک گزارش شد و نشان از آلودگی کم می‌دهد. مقدار این شاخص در تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم، در رده آلودگی زیاد قرار گرفت. در تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در رده بسیار زیاد آلودگی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده برخی از ارقام در جذب فلزات سنگین از جمله کادمیم سرعت بیشتری دارند و فلزات را در اندام‌های خود بیشتر جذب می‌کنند که البته نیاز به تحقیق در خود میوه انگور هم داریم که بتوان بهتر در این زمینه نظر داد.

مطابق نتایج فاکتور آلودگی در تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار مربوط به ارقام پیکامی، یاقوتی و بیدانه قرمز بود که این فاکتور در تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به رقم ریش بابا بود. کمترین مقدار فاکتور آلودگی در تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به رقم بی‌دانه سفید بود که در تنش ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به رقم پرلت است. مطابق نتایج BAC بیشترین مقدار در تنش ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به ارقام یاقوتی، شاهانی و کندری و در تنش ۱۰۰ مربوط به رقم پرلت است. کمترین مقدار این شاخص در تنش ۵۰ مربوط به رقم بیدانه سفید و در تنش ۵۰ و ۱۰۰ مربوط به رقم بیدانه سفید است.

سپاسگزاری

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و همچنین آزمایشگاه‌های تخصصی گروه علوم خاک (شیمی خاک پژوهشی)، فضای سبز و گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انجام شد که نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاران محترم در گروه‌های مذکور اعلام می‌دارند. همچنین از بنیاد ملی علم ایران (۴۰۰۳۱۴۳ کد طرح صندوق) نیز به خاطر حمایت‌هایشان در تامین مالی بخشی از کارکمال تشکر و قدردانی را داریم.

آیینه حیدری، م؛ حجازی مهریزی، م؛ جعفری، ا و یوسفی فرد، م (۱۳۹۶). توزیع مکانی و بررسی شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه زغال شویی زرند. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۲)، ۲۰۳-۲۱۹.

برزین، م؛ خیرآبادی، ح؛ افیونی، م (۱۳۹۴). بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،علوم آب و خاک / سال نوزدهم / شماره هفتاد و دوم / تابستان۱۳

بزی، ف؛ رضایی، م.ر؛ صیادی اناری، م.ح (۱۳۹۹). بررسی شدت آلودگی خاک مکان دفن زباله شهری زاهدان به فلزات سنگین (کروم، کادمیم، سرب و آرسنیک) با استفاده از شاخص بار آلودگی و ریسک اکولوژیکی. انسان و محیط زیست، ۱۸(۴)، ۱۳-۲۴.

پورمقدس، ح.، ظفرزاده، ع.. اثر استفاده کودهای شیمیایی در افزایش غلظت کادمیوم، سرب و روی خاک مزارع کشاورزی اصفهان. نشریه مهندسی بهداشت محیط. شماره۲. ۱۳۸-۱۲۶.

حسینی، ن.الف و سبحان اردکانی، س (۱۴۰۲). ارزیابی قابلیت پایش و پالایش فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز توسط برخی گونه‌های علفی مستقر در بیوتیپ کنار جاده ای. پژوهش‌های محیط زیست، ۱۳(۲۶)، ۲۱-۳۸.

سبحان اردکانی، س و جعفری، س.م (۱۳۹۳). بررسی غلظت عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل در انواع کلم عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان. بهداشت مواد غذایی، ۴(۴ (۱۶) زمستان)، ۴۵-۵۳.

شایسته فر، م.ر و رضایی، ع (۲۰۱۱). ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات معدن مس سرچشمه با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری. نشریه مهندسی معدن ایران، ۶(۱۱)، ۲۵-۳۴.

ضرابی، س؛ حاتمی کیا، م؛ درستی، ن؛ ضرابی، م؛ مرتضوی، ث (۱۳۹۷). بررسی میزان تجمع فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس، نیکل و جیوه) در برخی از سبزی‌های کشت شده در شهرستان‌های خرم آباد و الشتر استان لرستان در تابستان ۱۳۹۵. یافته، ۲۰(۲).

طباطبایی، ا.س؛ انصاری، ش؛ اسکندری، ص؛ طبابایی، ا.س (۱۳۹۵). بررسی آلودگی فلزات سنگین سرب و کادمیم در برخی محصولات کشاورزی. مطالعات علوم محیط زیست، ۱(۳)، ۶۹-۷۷.

عظیم زاده، ب و خادمی، ح (۱۳۹۲) . تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران، نشریه آب وخاک(علوم و صنایع کشاورزی)،جلد ۲۷ ، شماره ۳ ،مردادشهریور،صفحات–۵۵۹-۵۴۸

فلاح، ع؛ مدبری، س؛ سیاره، ع.ر؛ طباخ شعبانی، ا.ع (۲۰۲۰). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک شهری کرج (ایران). فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۹(۱۱۴)، ۲۳۱-۲۴۰.

کمانی، ح؛ پاسبان، ع؛ احمد آبادی، م (۱۳۹۹). ارزیابی خطر بهداشتی و اکولوژیکی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اسفراین. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۱۲(۱)، ۱۸-۲۶.

منابع

وزیری، آ؛ قنواتی، ن؛ نظرپور، ا؛ بابایی نژاد، ت (۱۴۰۰). ارزیابی ریسک اکولوژیک و تعیین منابع آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی استان خوزستان. مجله سلامت و بهداشت، ۱۱(۵)، ۶۶۴-۶۷۸.

1380 inbred lines. *Plant Soil* 150: 25-32.

Alloway, B. J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability, 11-50.

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in sreams and river: Pryphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish. 2nd edition, Vol. pp. 841-B-99-002. USEPA, Washington D.C. 408p.

Bermudez, G.M., Jasan, R., Plá, R., & Pignata, M.L. (2012). Heavy metals and trace elements in atmospheric fall-out: their relationship with topsoil and wheat element composition. Journal of Hazardous Materials, 213: 447-456.

Bhuiyan, M. A. H., L. Parvez, M. A. Islam, S. B. Dampare., & S. Suzukia. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. J. Hazard. Mater. 173: 384-392.

Dinakar, N., Nagajyothi, P.C., Suresh S., Udaykiran, Y., & Damodharam, T. (2008). Phytotoxicity of cadmium onprotein, praline and antioxidant enzyme activities in growing Arachis hypogaea L. seedling. *Journal of Environmental Science*, 20: 199-206

EFSA (2012). Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA J. 10: 2551.

Eijsackers, H. (2010). Earthworms as colonisers: Primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits. *Science of the Total Environment*. 408: 1759–1769.

Florijn, P. J. & Van Beusichem, M. L. (1993b). Uptake and distribution of cadmium in maize

Freund, J.G., & Petty, J.T. (2007). Response of fish and macroinvertebrate bioassessment indices to water chemistry in a mined Appalachian watershed. *Environmental management*, Vol. 39, pp. 707-20.

Fritsch, C., Coeurdassier, M., Faivre, B., Baurand, P. E., Giraudoux, P., van den Brink, N. W., & Scheifler, R. (2012). Influence of landscape composition and diversity on contaminant flux in terrestrial food webs: a case study of trace metal transfer to European blackbirds Turdus merula. Science of the total Environment, 432, 275-287.

Gonneau, C., Genevois, N., Frerot, H., Sirguey, C. and Sterckeman, T. (2014). Variation of trace metal accumulation, major nutrient uptake and growth parameters and their correlations in 22 populations of Noccaea caerulescens. *Plant and Soil* 384: 271-287.

Greger, M., & Lofstedt, M. (2004). Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Science*. 44: 501-507.

Gurmani, A. R., Khan, S. U., Andaleep, R., Waseem, K., & Khan, A. (2012). Soil Application of Zinc Improves Growth and Yield of Tomato. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(1).

Haas, E.M. (2003). Staying healthy with nutrition. The complete guide to diet and nutritional medicine.

Hu, W., Huang, B., Tian, K., Holm, P. E., & Zhang, Y. (2017). Heavy metals in intensive greenhouse vegetable production systems along Yellow Sea of China: Levels, transfer and health risk. *Chemosphere*, 167, 82-90.

Jones Jr, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis: CRC.

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. R., Nouri, J., & Nematpour, K. (2008). Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental monitoring and assessment*, 147, 107-116.

Kazemzadeh, J., Noori, A S., & Poorrang, N. (2012). Investigating and measuring heavy metals of nickel, lead, copper, manganese, zinc, cadmium and vanadium in edible vegetables south of Tehran refinery, *Journal of environmental research.*; 3(6);65-74.

Kisku, G. C., Barman, S. C., & Bhargava, S. K. (2000). Contamination of soil and plants with potentially toxic elements irrigated with mixed industrial effluent and its impact on the environment. *Water, air, and soil pollution*, *120*, 121-137.

Laporte, M. A., Sterckeman, T., Dauguet, S., Denaix, L., & Nguyen, C. (2015). Variability in cadmium and zinc shoot concentration in 14 cultivars of sunflower (Helianthus annuus L.) as related to metal uptake and partitioning. *Environmental and Experimental Botany*. Bot. 109: 45-53.

Loska, K., Wiechulab, D., & Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry *Environment International* 30: 159-165.

Mazurek, R., Kowalska, J., Gąsiorek, M., Zadrożny, P., Józefowska, A., Zaleski, T., & Orłowska, K. (2017). Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution. *Chemosphere*, *168*, 839-850.

Mediolla, L. L., Domingues, M. C. D., Sandoval, M. R. G. (2008). Environmental Assessment of an Active Tailings pile in the State of Mexico (Central Mexico), *Research Journal of Environmental Sciences*, 2 (3), 197-208.

Mehr, M. P., & Mortazavi, S. (2019). Ecological Risk Assessment, Interpolation, and Pollution Source Identification of Toxic Elements in Soils and Leaves of the Vineyard of Malayer County. *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*, *6*(2), 83-91.

Muller, G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins- Veränderungen seitt. in Sediments and Toxic Substances Eds. Calmano and Forstner. 1996. Springer

Pal, M., Horvath, E., Janda, T., Paldi, E., & Szalai, G. (2006). Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*., 169: 239-246.

Prabagar, S., Dharmadasa, R. M., Lintha, A., Thuraisingam, S., & Prabagar, J. (2021). Accumulation of heavy metals in grape fruit, leaves, soil and water: A study of influential factors and evaluating ecological risks in Jaffna, Sri Lanka. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12, 100147.

Ramos, I., Esteban, E., Jose´ Lucena, J., & Ga´rate, A. (2002). Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of Lactuca sp. Cd-/Mn interaction, *Plant Science*, 162: 761-/767.

Rodriguez, M.J.A., Arias M.L., & Corbi, J.M.G. (2006). Heavy metal contents in agricultural topsoils in theEbro basin (Spain). Application of multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental pollution*. 144:1001–1012.

Six, L., & Smolders, E. (2014). Future trends in soil cadmium concentration under current cadmium fluxes to European agricultural soils. *Science of the Total Environment*. 485–486: 319-328.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (2020). *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (Vol. 14): John Wiley & Sons.

Sterckeman, T., & Puschenreiter, M. (2021). Phytoextraction of Cadmium: Feasibility in Field Applications and Potential Use of Harvested Biomass. In: Van der Ent, A., Echevarria, G., Baker, A. J. M., & Morel, J. L. (eds) *Agromining: Farming for Metals: Extracting Unconventional Resources Using Plants*. Springer International Publishing, Cham.

Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, *27*, 1-7.

Sun, S., Sidhu, V., Rong, Y., & Zheng, Y. (2018). Pesticide pollution in agricultural soils and sustainable remediation methods: a review. *Current Pollution Reports*, *4*, 240-250.

Zhang, X., Zhong, T., Liu, L., & Ouyang, X. (2015). Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. PLoS One, 10(8), e0135182.

Zheng, R.L., Cai, C., Liang, J., Huang, H., Chen, Q., Huang, Z., Arp, Y.Z., & Sun, G. X. (2012). The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa L.*) seedlings, *Chemosphere*, 89, 856-863.