

Original article

Evaluation of Heavy Metal Contamination Ecological Risk in a Food-Producing Ecosystem

Mohsen Mirzaei¹Safar Marofi^{2*}Eisa Solgi³Mozhgan Abbasi⁴Roohollah Karimi⁵

- 1- PhD student of Environment, Institute of Grapes and Raisins, Malayer University, Malayer, Iran
- 2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Hamadan University, Hamadan, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran
- 4- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Shahre-kord University, Shahre-kord, Iran
- 5- Assistant Professor, Department of Green Space, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

*Corresponding author: Safar Marofi, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Hamadan University, Hamadan, Iran

Email: smarofi@yahoo.com

Received: 23 July 2017

Accepted: 22 September 2017

ABSTRACT

Introduction and purpose: The consumption of agricultural products cultivated in soils contaminated with heavy metals is very health-threatening. Therefore, the implementation of an inclusive and multilateral assessment of the heavy metal risk on the verge of their entrance to the food chain is a matter of fundamental importance. Regarding this, the present study was conducted with the aim of monitoring the concentration of heavy metals in the surface soil of grape gardens and zoning the area in terms of geoaccumulation index (Igeo), contamination factor, degree of contamination, modified degree of contamination (MDC), pollution load index (PLI), and ecological risk index (RI).

Methods: For the purpose of the study, 31 grape gardens were selected in Gahru region (i.e., the main center of grape production) through simple random sampling technique. The surface soil samples were transferred to the laboratory for the analysis of the concentration of cadmium, lead, chromium, copper, and zinc.

Results: According to the results, the concentration of the metals in the region was Zn > Cu > Pb > Cr > Cd with the mean total concentrations of 74.87, 55.31, 22.32, 9.81, and 0.91 mg/kg, respectively. Based on the results of the PLI, six grape gardens were classified as insignificantly contaminated ($1 \leq \text{PLI} \leq 2$), and the remaining gardens were classified as noncontaminated ($\text{PLI} < 1$). In addition, the results of the RI revealed that 3, 4, and 24 grape gardens had significant ($\text{RI} > 300$), medium ($150 < \text{RI} < 300$), and low ($\text{RI} < 150$) risk, respectively.

Conclusion: In the present study, the Igeo and MDC had higher efficiency and flexibility in the classification of the area in terms of critical metals and critical stations. Meanwhile, cadmium and copper caused the highest concern in some of the grape gardens of the investigated region. Therefore, it is suggested to prevent the entrance of larger amounts of cadmium in the area by training and raising the awareness of the gardeners about the amount of phosphate fertilizers and fungicide and encouraging them to use animal manures and take preventive measures. In addition, the cadmium contamination in the area should be reduced by implementing a soil refinery program and cultivating cadmium adsorbents.

Keywords: Ecological risk assessment index, Grape gardens, Heavy metals, Soil pollution

► **Citation:** Mirzaei M, Marofi S, Solgi E, Abbasi M, Karimi R. Evaluation of Heavy Metal Contamination Ecological Risk in a Food-Producing Ecosystem. Journal of Health Research in Community. Summer 2017;3(2): 1-16.

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) در یک اکوسیستم تولیدکننده مواد غذایی

چکیده

محسن میرزائی^۱
 صفر معروفی^۲
 عیسی سلگی^۳
 مژگان عباسی^۴
 روح‌اله کریمی^۵

۱. دانشجوی دکتری محیط زیست، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه همدان، همدان، ایران
۳. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۴. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۵. استادیار، گروه فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

* نویسنده مسئول: صفر معروفی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه همدان، همدان، ایران

Email: smarofi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۳۱

مقدمه و هدف: مصرف محصولات کشاورزی که در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کشت می‌شوند برای سلامت بسیار خطرناک است؛ بنابراین پیش‌غلظت و ارزیابی ریسک فلزات سنگین به‌منظور قضاوت فراگیر و چندجانبه، در بدو ورود به زنجیره غذایی امری پرواضح است. مطالعه حاضر با هدف پیش‌غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی تاکستان‌ها و پهنه‌بندی منطقه به لحاظ شاخص‌های (Geoaccumulation) Igeo، (Index) CF، (Contamination Factor) PLI، (Pollution Load Index) DC، (Degree of contamination)، (Modified Degree of Contamination) MCD و (Ecological Risk Index) RI انجام شد.

روش کار: در این مطالعه، ۳۱ تاکستان در منطقه گهرو (قطب تولید انگور) به روش تصادفی انتخاب و سپس نمونه‌های خاک سطحی به‌منظور آنالیز غلظت فلزات کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی به آزمایشگاه منتقل شدند.

یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن است که روند کلی غلظت فلزات در منطقه به‌صورت $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ و میانگین کلی غلظت به‌ترتیب برابر با $۷۴/۸۷$ ، $۵۵/۳۱$ ، $۲۲/۳۲$ ، $۹/۸۱$ و $۰/۹۱$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. نتایج شاخص PLI، شش مورد از تاکستان‌ها را در رده آلودگی ناچیز ($1 \leq PLI \leq 2$) و مابقی تاکستان‌ها را در وضعیت نبود آلودگی ($PLI < 1$) طبقه‌بندی کرده است. مطابق با شاخص ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین، سه تاکستان ریسک قابل ملاحظه ($RI < 300$)، چهار تاکستان ریسک متوسط ($300 < RI < 1500$) و ۲۴ تاکستان، ریسک پایین ($RI < 150$) داشته‌اند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، شاخص‌های Igeo و MCD عملکرد بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتری در طبقه‌بندی منطقه به لحاظ فلزات بحرانی و ایستگاه‌های بحرانی داشته‌اند. در این میان، کادمیوم و مس بیشترین نگرانی را در برخی از تاکستان‌های منطقه ایجاد نموده‌اند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود با آموزش و افزایش سطح آگاهی باغداران در میزان مصرف کودهای فسفاته و سموم قارچ‌کش، تشویق آن‌ها به استفاده از کودهای حیوانی و اقدامات پیشگیرانه از ورود مقادیر بیشتر فلز کادمیوم به منطقه جلوگیری گردد و با اجرای برنامه پالایش خاک، با کشت گیاهان جاذب کادمیوم، از میزان آلودگی کادمیوم در منطقه کاسته شود.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، ارزیابی ریسک اکولوژیکی، تاکستان، فلزات سنگین

◀ **استناد:** میرزائی، محسن؛ معروفی، صفر؛ سلگی، عیسی؛ عباسی، مژگان؛ کریمی، روح‌اله. اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) در یک اکوسیستم تولیدکننده مواد غذایی. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۳۹۶؛ ۳(۲): ۱۶-۱.

مقدمه

خاک‌های کشاورزی به‌طور مستقیم از طریق تولید غذا روی سلامت عمومی تأثیر می‌گذارند؛ به‌طوری که امروزه آلودگی

بار آلودگی (PLI: Pollution Load Index) و شاخص ریسک اکولوژیکی (RI: Ecological Risk Index) پرداخت. شایان ذکر است این شاخص‌ها قادر هستند وضعیت آلودگی منطقه را از جنبه‌های مختلف ارزیابی نمایند و اطلاعات بسیار مفید و کارآمد ارائه کنند [۷]. در این زمینه مطالعات متعددی در جهان انجام شده است که می‌توان به مطالعه Bhuiyan و همکاران در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های کشاورزی با استفاده از شاخص‌های Igeo، CF و PLI اشاره نمود [۸]. Jia و همکاران و Hashmi و همکاران، از شاخص‌های متعددی همچون CF، PLI و RI برای ارزیابی اکولوژیک زمین‌های کشاورزی در کشور چین بهره برده‌اند [۹،۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر در کشور هند، Giri و Singh به ارزیابی ریسک اکولوژیک و ریسک سلامت انسان در اثر فلزات سنگین در خاک کشاورزی پرداختند [۱۱]. در ایران اگرچه محققان زیادی به سنجش غلظت فلزات سمی و ارزیابی ریسک اکولوژیک آن‌ها در پهنه‌های صنعتی پرداخته‌اند؛ اما اطلاعات اندکی در مورد ارزیابی ریسک فلزات در خاک‌های کشاورزی - باغی وجود دارد که می‌توان به مطالعه شهبازی و همکاران در استفاده از شاخص‌های Igeo، CF و شاخص جامع فاکتور آلودگی در اراضی کشاورزی شهرستان نهاوند، استان همدان اشاره نمود [۱۲،۱۴،۱۵].

مطالعه حاضر به بررسی ریسک اکولوژیک آلودگی خاک تاکستان‌های انگور (*Vitis vinifera L*)، پرداخته است. انگور یکی از میوه‌های بومی و رایج در سبد غذایی مردم ایران می‌باشد که در معرض انواع فعالیت‌های رهاکننده فلزات سنگین قرار دارد [۱۶،۴]. انگور از میوه‌های مناطق معتدل است که ارزش تغذیه‌ای و دارویی بالایی دارد و فرآورده‌های جانبی متعددی از آن تولید می‌شود. در کنار سازگاری با انواع اقلیم‌ها و خاک‌ها، تنوع فرهنگ مصرف این محصول ارزشمند باعث توسعه کشت آن در بیش از ۹۰ کشور جهان شده است [۱۷]. حساسیت این محصول ارزشمند به انواع آفات و بیماری‌ها و همچنین نیاز کودی بالای آن باعث ترغیب تاکداران به

مواد غذایی از جمله میوه‌جات و سبزیجات به فلزات سنگین، به یکی از معضلات بزرگ سلامت تبدیل شده است [۱]. فلزات سنگین دارای منابع طبیعی و انسانی هستند و عمده منابع انسانی مربوط به فعالیت‌های صنعتی - معدنی، استخراج نفت، حمل و نقل، فاضلاب‌های شهری و فعالیت‌های کشاورزی (کودها و سموم شیمیایی، کودهای حیوانی و کمپوست) می‌باشد [۲]. تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی که در زمره منابع آلوده کننده غیرنقطه‌ای قرار دارند، نه تنها منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود؛ بلکه افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان را به دنبال دارد؛ در نتیجه کیفیت و امنیت غذایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳].

خاک و گیاه دو جزء اساسی محیط زیست انسان به شمار می‌روند که به‌طور مستقیم با یکدیگر در ارتباط هستند. خاک‌های زراعی یکی از مهم‌ترین مسیرهای انتقال فلزات سنگین به چرخه‌های زیستی و زنجیره غذایی انسان محسوب می‌شوند [۴،۵]. شایان ذکر است نگرانی اصلی در مورد فلزات سنگین، متابولیسم آن‌ها در بدن و تجمع در بافت‌های چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل است که منجر به بیماری‌ها و عوارض متعددی می‌شود [۶]؛ بنابراین با توجه به پتانسیل محصولات باغ‌ها در انتقال فلزات سنگین به بدن انسان و اختلال در امنیت و سلامت غذایی و همچنین حفظ محیط زیست و کنترل آلودگی‌ها، لازم است سطح آلودگی باغ‌های تولیدکننده میوه، مورد ارزیابی قرار گیرد. گفتنی است گام اول در ارزیابی گسترش و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات سنگین می‌باشد. در گام دوم می‌توان به ارزیابی و تحلیل وضعیت آلودگی منطقه با بهره‌گیری از شاخص‌هایی مانند: شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo: Geoaccumulation Index)، فاکتور آلودگی (CF: Contamination Facto)، درجه آلودگی (DC: Degree of Contamination)، درجه آلودگی اصلاح شده (MCD: Modified Degree of Contamination)، شاخص

استفاده از انواع مختلف قارچ‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و عناصر غذایی متعدد در تاکستان‌ها شده است که می‌تواند پیامدهای خطرناکی در آلودگی میوه و خاک به دنبال داشته باشد [۴،۱۶،۱۸]. در مطالعه حاضر ریسک اکولوژیکی آلودگی خاک تاکستان‌های انگور شهرستان کیار (قطب تولید انگور در استان چهارمحال و بختیاری) با سطح زیر کشت دو هزار و ۴۵۶ هکتار و تولید سالانه بالغ بر ۲۷ هزار تن به‌عنوان یکی از نقاط تاک‌خیز در کشور بررسی شده است. با وجود اثرات سوء کاربرد درازمدت قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و کودهای شیمیایی بر اکوسیستم باغ‌های انگور، تاکنون به ریسک اکولوژیکی آلودگی فلزات سنگین در خاک تاکستان به‌طور جدی توجه نشده است؛ بنابراین مطالعه حاضر برای اولین بار با توجه به اهمیت موستان‌ها و سهم انگور در سبد غذایی مردم و یکپارچگی سطح زیر کشت انگور در شهرستان کیار، با تکنیک‌ها و شیوه‌های مطالعاتی نوین، به بررسی وضعیت آلودگی و مخاطرات اکولوژیکی و بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در سال ۱۳۹۵ پرداخته است.

روش کار

محدوده این مطالعه با وسعتی برابر با ۲۶۰ هکتار در جنوب غربی شهر گهرو از توابع شهرستان کیار و قطب تولید انگور و به‌عنوان فرآورده‌های ثانویه در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد و موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱، نمایش داده شد. شایان ذکر است منابع رهاکننده فلزات سنگین، شامل: انواع کودهای شیمیایی (ازته، فسفات، گوگردی و سایر کودهای ریز مغذی‌ها) و حیوانی (گاوی، گوسفندی و مرغی) و سموم و آفت‌کش‌ها (حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، کرم‌کش‌ها و غیره) در باغ‌های مورد مطالعه، همواره دیده می‌شود. در این پژوهش پس از بازدیدهای متوالی از منطقه مورد مطالعه و بررسی نقشه‌ها، عملیات نمونه‌برداری، صورت گرفت. در مطالعه حاضر، ۳۱ باغ (واحد مدیریتی با مالکیت متفاوت) با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی، انتخاب شد. از

هر باغ یک نمونه مرکب از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری و از یک سطح ۲۰×۲۰ سانتی‌متری به مقدار تقریبی یک کیلوگرم خاک برداشته و با کیسه‌های پلی اتیلنی به آزمایشگاه منتقل شد. گفتنی است محل دقیق هر یک از نمونه‌ها توسط دستگاه GPS ثبت گردید (شکل ۱). نمونه‌های خاک ابتدا به مدت یک هفته در دمای اتاق خشک و سپس برای انجام آنالیزهای شیمیایی طی دو مرحله ابتدا از الک ۲ میلی‌متری و سپس از الک ۰/۱۴۹ میلی‌متری عبور داده شدند [۱۹]. ۱ گرم از نمونه خشک در ۱۰ میلی‌لیتر مخلوط اسیدنیتریک و اسیدپرکلریک با نسبت ۴:۱ در لوله‌های مخصوص هضم ریخته شد و حدود یک ساعت در دمای کم (حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد)، هضم اولیه صورت گرفت. نمونه‌ها برای هضم نهایی به مدت سه ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون، نمونه‌ها صاف شدند و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسیدند [۲۰]. در نهایت، آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه HR-CS AAS ساخت شرکت Analytikjena AG، کشور آلمان انجام شد [۲۱]. برای کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه خالی (blank) در کنار سایر نمونه‌ها تهیه گردید. تجزیه و تحلیل آماری تمام داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزارهای SPSS 21 و Office Excel 2010 صورت گرفت و برای تهیه نقشه‌ها از نرم‌افزار Arc GIS9.3 استفاده شد.

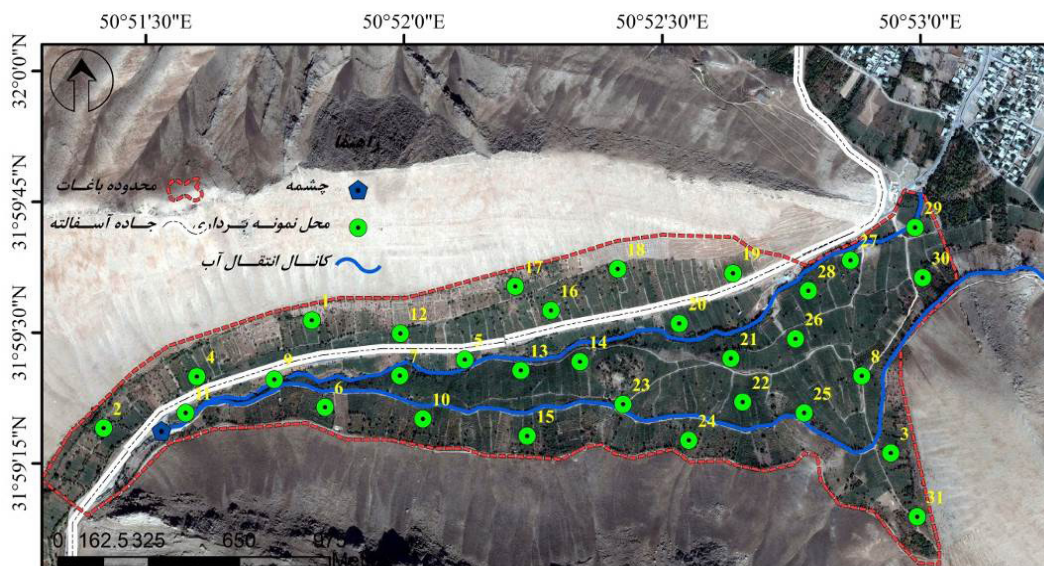
معرفی شاخص‌های ارزیابی آلودگی فلزات سنگین

الف) شاخص Igeo

شاخص زمین‌انباشتگی توسط Muller معرفی شده است و روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌باشد. این شاخص با به‌دست آوردن غلظت فلزات سنگین در نمونه خاک به غلظت زمینه آن فلز، دست می‌یابد و بر پایه رابطه ۱ استوار است [۲۲].

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این معادله، I_{geo} : شاخص زمین‌انباشتگی، C_n : غلظت فلز



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شهرستان کیار، استان چهارمحال و بختیاری

جدول ۱: غلظت عناصر در میانگین شیل، بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم [۲۳]

نام فلز	غلظت در میانگین شیل	نام فلز	غلظت در میانگین شیل
Fe	۴۷۰۰	Zn	۹۵
Cr	۹۰	Pb	۲۰
Cu	۴۵	Cd	۰/۳۸
V	۱۲۰	Hg	۰/۴

سنگین در خاک و B_{II}: غلظت زمینه (در مطالعه حاضر غلظت عنصر در شیل، جدول ۱) می‌باشد. شایان ذکر است ضریب ۱/۵ با هدف کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه منظور شده است که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی خاک‌ها و تأثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود. مطابق جدول ۲، مولر هفت رده مختلف را برای این شاخص اعلام کرده که در آن، بالاترین رده مقادیر عناصر، حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است [۲۳].

جدول ۲: درجه‌بندی سطح آلودگی خاک براساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی [۲۲]

وضعیت آلودگی خاک یا ذرات معلق	رده Igeo یا درجه آلودگی	عدد به‌دست آمده برای Igeo
کاملاً غیرآلوده	۰	۰
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
متوسط آلودگی	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۲-۳
آلودگی شدید	۴	۳-۴
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۴-۵
آلودگی بسیار شدید	۶	۵

جدول ۳: رده‌بندی Hakanson بر مبنای ضریب آلودگی CF و درجه آلودگی CD خاک

مقدار CF	ضریب آلودگی خاک	مقدار CD	کیفیت خاک
$CF \leq 1$	ضریب آلودگی پایین	$CD \leq 6$	درجه آلودگی پایین
$1 < P \leq 3$	ضریب آلودگی متوسط	$6 < CD \leq 12$	درجه آلودگی متوسط
$3 < P \leq 6$	ضریب آلودگی قابل توجه	$12 < CD \leq 24$	درجه آلودگی قابل توجه
$CF \geq 6$	ضریب آلودگی بسیار بالا	$CD \geq 24$	درجه آلودگی بسیار بالا

ب) شاخص CF

نمود [۲۴، ۲۵]:

$$MCD = \frac{\sum_{i=1}^5 C_f^i}{n}$$

رابطه ۴

در این معادله، C_f : فاکتور آلودگی و n : تعداد پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. مطابق با رابطه ۴، این شاخص به دلیل فرآیند میانگین‌گیری که در فرمول آن اتفاق می‌افتد، تأثیرات مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها، در نتیجه نهایی تعدیل می‌گردد. Abraham دسته‌بندی سطح آلودگی خاک را براساس مقادیر کمی شاخص اصلاح شده درجه آلودگی MCD به صورت جدول ۴، ارائه نموده است [۲۵].

اصولاً مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط خاک ارائه دهند. ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه و ضریب آلودگی Hakanson (۱۹۸۰)، از رابطه ۲ به دست می‌آید (جدول ۳) [۲۴].

$$CF = \frac{M_x}{M_b}$$

رابطه ۲

در این رابطه، M_x : غلظت عنصر در نمونه و M_b : غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است.

ج) شاخص CD

جدول ۴: درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص MCD [۲۵]

وضعیت آلودگی خاک	محدوده شاخص MCD
درجه بسیار پایین از آلودگی	$0 \leq MCD \leq 1/5$
درجه پایین از آلودگی	$1/5 \leq MCD \leq 2$
درجه متوسط از آلودگی	$2 \leq MCD \leq 4$
درجه بالا از آلودگی	$4 \leq MCD \leq 8$
درجه بسیار بالا از آلودگی	$8 \leq MCD \leq 16$
به شدت بسیار بالا آلوده	$16 \leq MCD \leq 32$
آلودگی با درجه مافوق زیاد	$MCD \geq 32$

اصولاً مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی خاک را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی Hakanson گفته می‌شود (رابطه ۳ و جدول ۳).

$$CD = \sum_{i=1}^5 C_f^i$$

رابطه ۳

د) شاخص MCD

به دلیل وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی توسط Hakanson (۱۹۸۰) ارائه شده بود، Abraham رابطه اصلاح شده (رابطه ۴) را براساس شاخص درجه آلودگی ارائه

۵) شاخص PLI

این شاخص برای تعیین سطح آلودگی ارائه شده است و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار ما قرار دهد. گفتنی است این شاخص از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۵) [۲۶].

$$PLI = \sqrt[5]{CF_{Cd} \times CF_{Cr} \times CF_{Pb} \times CF_{Zn} \times CF_{Cu}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه فوق، CF: فاکتور آلودگی می‌باشد و از فرمول ۲ به دست می‌آید. مقادیر PLI در چهار کلاس شامل: عدم آلودگی (کمتر از ۱)، آلودگی متوسط (بین ۱ و ۲)، آلودگی زیاد (بین ۲ و ۳) و آلودگی بسیار زیاد (بین ۳ و ۴) طبقه‌بندی می‌شود [۷].

۶) شاخص RI

شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیکی اولین بار توسط Hakanson به منظور ارزیابی ریسک آلودگی رسوبات و خاک

به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید [۲۴]. این شاخص براساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی به وسیله محققان مختلفی همچون Wang و همکاران بکار گرفته شده است [۲۷]. براساس رویکرد Hakanson، فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات کادمیوم، مس، سرب، کروم و روی به ترتیب برابر ۳۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ می‌باشد [۲۴]. در این مطالعه پتانسیل ریسک اکولوژیکی براساس رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه گردید (جدول ۵) [۲۸].

$$E_r^i = \frac{C_r^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad \text{رابطه ۶}$$

$$RI = \sum_{i=1}^5 E_r^i \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه‌های ۶ و ۷، E_r^i : شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی، C_r^i و C_0^i : به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌زمینه طبیعی (Background value)، T_r^i : برابر فاکتور پاسخ سمیت فلز می‌باشد.

جدول ۵: ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین [۲۸]

E_r^i	ریسک اکولوژیکی هر فلز	شاخص ریسک RI	ریسک اکولوژیکی محیط زیستی
$E_r^i \leq 4$	پایین	$RI \leq 150$	پایین
$4 < E_r^i \leq 8$	متوسط	$150 < RI \leq 300$	متوسط
$8 < E_r^i \leq 16$	قابل ملاحظه	$300 < RI \leq 600$	قابل ملاحظه (زیاد)
$16 < E_r^i \leq 32$	زیاد	$RI > 600$	خیلی زیاد
$E_r^i \geq 32$	خیلی زیاد	-	-

یافته‌ها

مطابق با این جدول، بیشترین میانگین غلظت را فلز روی و کمترین میانگین غلظت را فلز کادمیوم به ترتیب برابر با $74/87 \pm 5/46$ و $0/91 \pm 0/29$ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشته‌اند.

در جدول ۶، خلاصه آماری فلزات سنگین در ۳۱ نمونه برداشت شده از خاک تاکستان‌های منطقه (گهرو) و همچنین مقادیر حداکثر مجاز این فلزات در کشورهای مختلف نمایش داده شد.

مطابق با جدول ۷، در تمامی ۳۱ باغ، شاخص Igeo برای فلزات روی و کروم، وضعیت "غیرآلوده" داشته است و در مجموع، ۱۳

جدول ۶: آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم

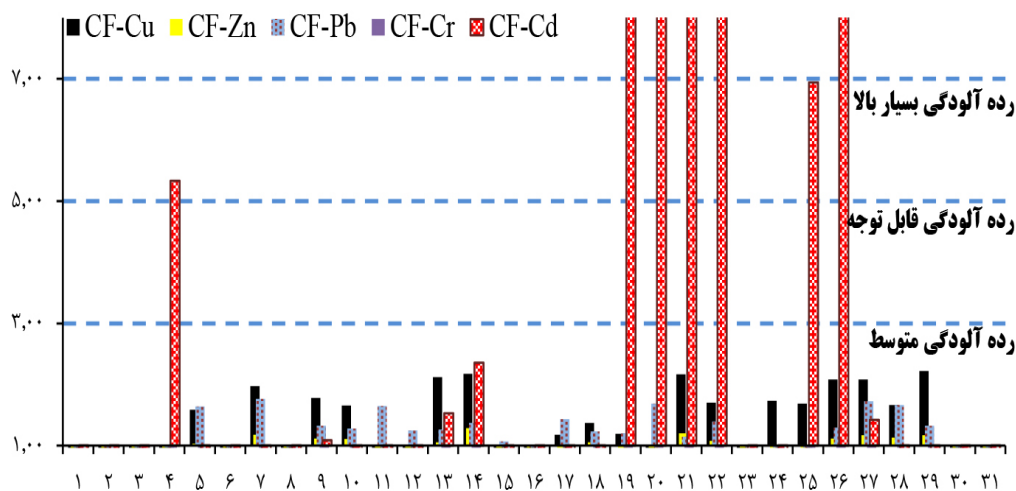
نام فلز	حداقل	حداکثر	دامنه تغییرات	میانگین	استاندارد ایران	استاندارد ملی چین	استاندارد آمریکا	استاندارد استرالیا
Cu	۳/۱۱	۹۹/۹	۹۶/۷۹	۵۵/۳۱±۵/۴۹	۲۰۰	۲۰۰-۵۰	۲۷۰	۱۰۰
Zn	۳۰/۹۴	۱۲۲/۳۸	۹۱/۴۵	۷۴/۸۷±۵/۴۶	۵۰۰	۳۰۰-۲۰۰	۱۱۰۰	۲۰۰
Pb	۲/۸	۳۵/۳۳	۳۲/۵۳	۲۲/۳۲±۱/۵۸	۷۵	۸۰	۲۰۰	۳۰۰
Cr	۰*	۳۰/۳۵	۳۰/۳۵	۹/۸۱±۲/۰۲		۳۰۰-۱۵۰	۱۱	۵۰
Cd	۰	۵/۸۱	۵/۸۱	۰/۹۱±۰/۲۹		۰/۶-۰/۳	۰/۴۸	۳

* صفر به معنای مقادیر کمتر از حد تشخیص دستگاه آنالیز کننده است.

جدول ۷: مقادیر شاخص انباشت ژئوشیمیایی* (Igeo) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	Igeo-Cu	Igeo-Zn	Igeo-Pb	Igeo-Cr	Igeo-Cd	ایستگاه	Igeo-Cu	Igeo-Zn	Igeo-Pb	Igeo-Cr	Igeo-Cd
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰/۱۷	۰	۰	۲۰	۱/۸۳	۰	۰	۰	۰
۵	۰/۰۸	۰	۰	۰/۵۳	۰	۲۱	۰	۰/۱۳	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰/۱۸	۰	۲۲	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰/۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۰	۰/۲۴	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰/۲۱	۰	۲۴	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۰/۲۵	۰	۰	۰/۱۷	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰/۱۴	۰	۰	۰/۴۷	۰	۲۶	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰/۲۰	۰/۴۷	۰	۲۷	۰	۰/۱۴	۰	۰	۰
۱۲	۰	۰	۰/۱۵	۰/۱۵	۰	۲۸	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۰/۵۰	۰	۰	۰/۵۷	۰	۲۹	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰
۱۴	۰/۵۴	۰	۰	۰	۰	۳۰	۰/۶۵	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۰	۰	۰	۰	۰		۰	۰	۰	۰	۰

* از آنجا که مقادیر کمتر از صفر نمایانگر عدم آلودگی به لحاظ شاخص Igeo می‌باشند، مقادیر منفی به صفر تبدیل شدند.



نمودار ۱: رده‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس مقادیر شاخص ضریب آلودگی (CF) فلزات سنگین (محور افقی کد ایستگاه نمونه‌برداری و محور عمودی مقادیر شاخص CF)

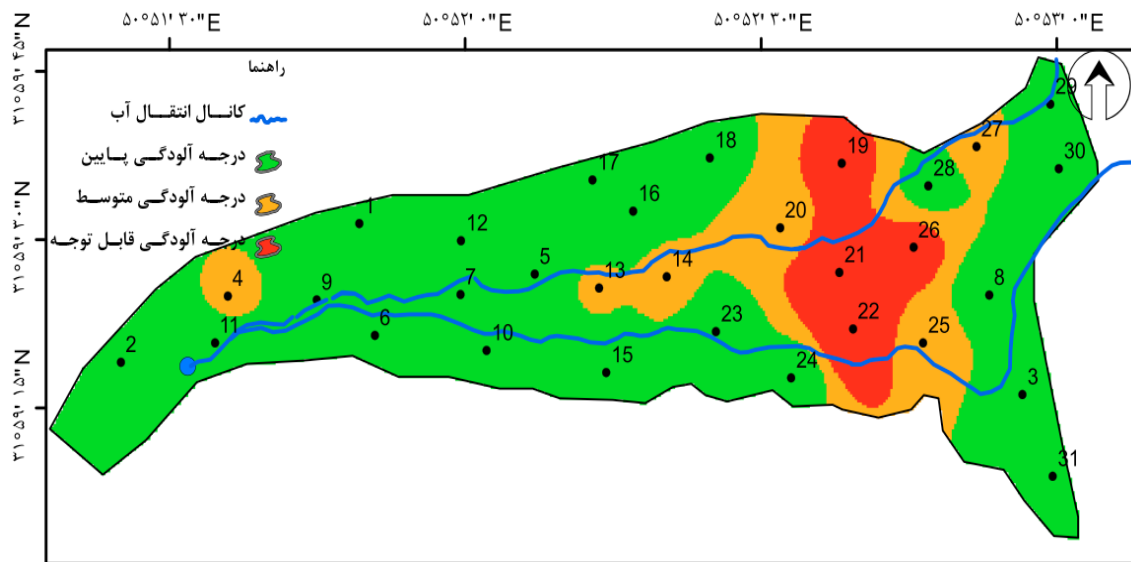
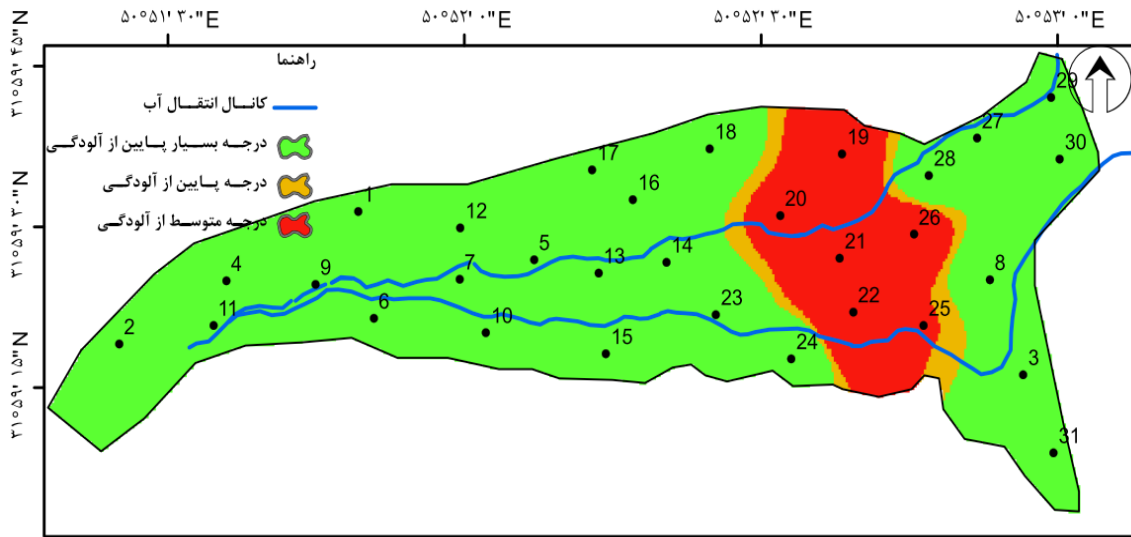
سرب و مس قرار گرفته‌اند. شاخص CF نشان داد، فلز کروم فاقد هرگونه آلودگی نگران‌کننده در منطقه می‌باشد؛ ولی در برخی تاکستان‌ها فلز روی در رده آلودگی متوسط قرار دارد (نمودار ۱).

مقادیر شاخص‌های CD و MCD، به‌وسیله روش IDW به‌منظور ایجاد درک مکانی از وضعیت آلودگی منطقه، به نقشه پراکنش آلودگی در منطقه تبدیل شد. نتایج روش MCD نشان داد تاکستان‌های مورد مطالعه در دو کلاس شامل: "درجه بسیار پایین آلودگی" (۶ مورد) و "درجه متوسط از آلودگی" (۲۵ مورد) قرار گرفته‌اند (شکل ۲). این در حالی است که شاخص CD، منطقه را در سه کلاس شامل: "درجه آلودگی پایین" (۲۱ مورد)، "درجه آلودگی متوسط" (۶ مورد) و "درجه آلودگی قابل توجه" (۴ مورد) طبقه‌بندی نموده است (شکل ۲). شایان ذکر است، ایستگاه‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶، در هر دو شاخص CD و MCD وضعیت آلوده‌تری را نسبت به سایر ایستگاه‌ها نمایش داده‌اند (شکل ۲).

نتایج شاخص PLI، ۶ مورد از تاکستان‌ها (شامل ایستگاه‌های

تاکستان کاملاً "غیرآلوده" برآورد شده است؛ اما مقادیر شاخص Igeo در ۱۸ تاکستان دیگر وضعیت‌های غیرآلوده تا آلودگی متوسط، آلوده متوسط، آلودگی متوسط تا شدید و شدید تا بسیار شدید را حداقل برای یکی از فلزات مس، سرب و کادمیوم داشته است (جدول ۷). بیشترین فراوانی، عبور از وضعیت غیرآلوده در فلز مس (۱۴ مورد) مشاهده شد؛ درحالی که بحرانی‌ترین آلودگی (وضعیت متوسط تا شدید) برای فلز کادمیوم (۹ مورد) ارزیابی شده است (جدول ۷).

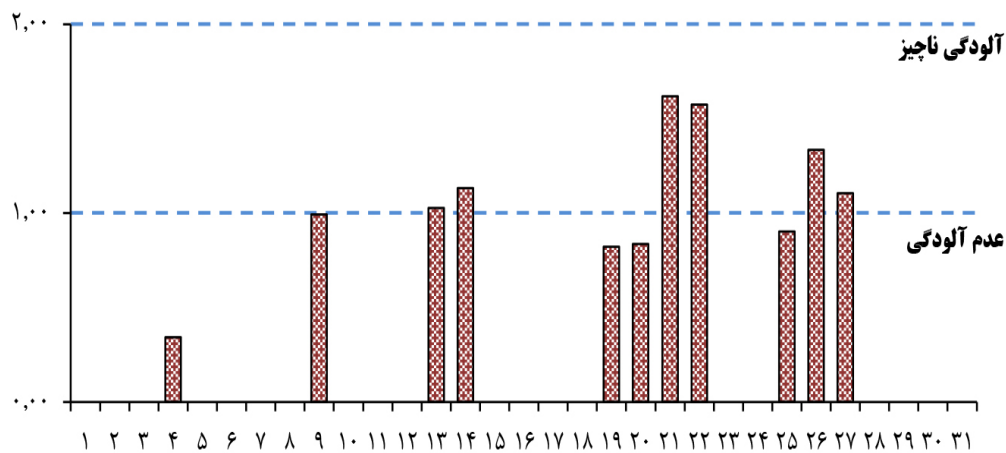
نتایج مربوط به شاخص CF فلزات سنگین در خاک ۳۱ تاکستان مورد مطالعه، ۲۲ مورد را در رده آلودگی متوسط تا بسیار بالا، طبقه‌بندی نموده و ۹ مورد از تاکستان‌ها را فاقد آلودگی نگران‌کننده قلمداد کرده است (نمودار ۱). در میان تاکستان‌های آلوده به فلزات سنگین، ۱۵ مورد آلودگی متوسط، ۱ مورد آلودگی قابل توجه و ۶ مورد نیز آلودگی بسیار بالا داشته‌اند (نمودار ۱). در ارزیابی شاخص CF نیز، فلز کادمیوم بیشترین نگرانی را در آلودگی تاکستان‌های منطقه به‌وجود آورده است (وضعیت آلودگی بسیار بالا) و پس از آن، فلزات



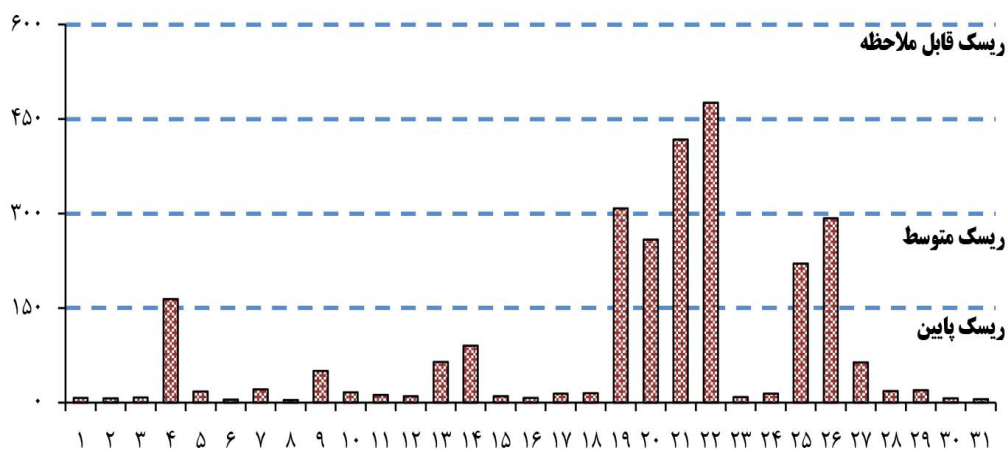
شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه براساس مقادیر درجه آلودگی اصلاح‌شده (MCD) بالا و مقادیر درجه آلودگی (CD) پایین

نمودار ۳، نمایش‌دهنده نتایج مربوط به شاخص ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در منطقه است. مطابق با نتایج RI، ۳ تاکستان (ایستگاه‌های ۱۹، ۲۱ و ۲۲) دارای ریسک قابل ملاحظه، ۴ تاکستان ریسک متوسط (ایستگاه‌های ۴، ۲۰، ۲۵ و ۲۶) و ۲۴ تاکستان ریسک پایین داشته‌اند.

۱۳، ۱۴، ۲۱، ۲۲، ۲۶ و ۲۷) را در رده آلودگی ناچیز دسته‌بندی نموده و مابقی تاکستان‌ها را در وضعیت عدم آلودگی طبقه‌بندی کرده است. براساس این شاخص هیچ‌کدام از تاکستان‌ها وضعیت "آلودگی زیاد" یا "بسیار زیاد" نداشته‌اند (نمودار ۲).



نمودار ۲: رده‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس مقادیر شاخص بار آلودگی (PLI) فلزات سنگین (محور افقی: کد ایستگاه نمونه‌برداری و محور عمودی: مقادیر شاخص PLI)



نمودار ۳: شاخص ریسک اکولوژیک (RI) فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه (محور افقی: کد ایستگاه نمونه‌برداری و محور عمودی: مقادیر شاخص RI)

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل وضعیت شاخص‌ها و غلظت فلزات سنگین

روند کلی موجودی فلزات در نمونه‌های برداشت‌شده از تاکستان‌های گهرو به صورت $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ بوده است. در مطالعه شهبازی و همکاران در شهرستان نهاوند، روند فراوانی کلی فلزات به صورت $Cr > Ni > Zn > Cu$ و میانگین کلی

آن‌ها به ترتیب برابر با $۱۰۵/۰۹$ ، $۸۸/۰۵$ ، $۷۹/۶۴$ ، $۳۸/۴۰$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است [۱۵]. در مطالعه Liu و همکاران در کشور چین روند به صورت $Zn > Cr > Pb > Cu > Cd$ و مقادیر میانگین کلی برابر با $۱۱۳/۴$ ، $۷۹/۵$ ، $۶۱/۲$ ، $۲۸/۶$ و $۰/۳۹$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است [۷]. تفاوت روند تغییرات و مقادیر فلزات

سنگین در منطقه مطالعاتی حاضر با سایر مناطق را می‌توان ناشی از خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه، تنوع کشت و نوع گیاهان زراعی، نوع مدیریت و سطح آگاهی کشاورزان، تناوب کشت و همچنین وجود مناطق صنعتی، معدنی، مسکونی و حمل و نقل در نزدیکی زمین‌های کشاورزی دانست [۳۵-۳۱، ۲۳، ۶، ۷]. مطابق با جدول ۶، در مطالعه حاضر محدوده تغییرات زیاد در مقادیر فلزات نشان‌دهنده منبع انسانی آلودگی در منطقه است که با یافته‌های روانخواه و همکاران در این زمینه، هم‌راستا می‌باشد [۱۳]. مطابق با جدول‌های ۶ و ۸، میانگین مقادیر مس، روی و سرب در خاک سطحی تاکستان‌های مورد مطالعه در مقایسه با حداکثر غلظت مجاز این فلزات در استانداردهای ایران، چین، آمریکا و استرالیا نشان داد که این فلزات به‌طور معناداری کمتر از حداکثر مجاز آلودگی بوده‌اند (در سطح ۵ درصد). مشابه با یافته‌های حاضر، سلگی و همکار نیز، مقادیر فلزات مس، روی و سرب را در تاکستان‌های ملایر کمتر از حداکثر مجاز برآورد نموده‌اند؛ اما مقادیر فلز کادمیوم منطقه مطالعاتی، در مقایسه با استانداردهای چین و آمریکا تفاوت معناداری نداشته و در برخی موارد بیشتر از حد مجاز بوده است [۴]. با وجود این، تنها با مقایسه مقادیر فلزات با استانداردهای موجود، نمی‌توان قضاوتی همه‌جانبه و فراگیر در ارتباط با معرفی فلزات بحرانی انجام داد؛ بنابراین در مطالعه حاضر به‌منظور تحلیل مناسب‌تر و فراگیرتر از مزایای شاخص‌های Igeo و CF بهره برده شد. گفتنی است محققان

در بسیاری از موارد با تکیه بر این شاخص‌ها به ارزیابی دقیق منطقه خود پرداخته‌اند [۷، ۱۲]. در این مطالعه، شاخص Igeo فلزات کادمیوم، مس و سرب و شاخص CF علاوه بر کادمیوم، مس و سرب، در برخی ایستگاه‌ها فلز روی را نیز در رده آلوده‌کننده، معرفی کرده است؛ بنابراین فلز کادمیوم که به‌راحتی از طریق ریشه جذب می‌شود و در زنجیره غذایی سمیت ایجاد می‌نماید، بدون شک مهم‌ترین فلز آلوده‌کننده در برخی از تاکستان‌های منطقه به‌شمار می‌آید [۳۶]. درخور ذکر است مهم‌ترین اثرات سوء کادمیم، سرطان‌زایی، تجمع در قشر فوق کلیوی و اختلال در مجاری کلیوی، نرم‌شدن و تغییر شکل استخوان‌ها و بیماری‌های قلبی است [۲۰، ۳۷]. از آنجا که فلز کادمیوم در تمامی تاکستان‌های گهرو مقادیر بالایی ندارد، نمی‌توان آلودگی کادمیوم در منطقه را ناشی از عوامل طبیعی مانند خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه یا آب مورد استفاده برای آبیاری تاکستان‌ها دانست (زیرا آب مورد استفاده از چشمه بالادست تاکستان‌ها تأمین می‌گردد که مطابق با آزمایش‌های انجام‌شده توسط مؤلف، دارای استانداردهای شرب و کشاورزی بوده است و از آب تصفیه‌شده و یا فاضلاب در منطقه استفاده نمی‌شود)؛ بنابراین همان‌گونه که در مطالعات Williams و Schipper، David و همکاران و Salmanzadeh و همکاران نیز اشاره شد، استفاده از کودها به مقدار زیاد (به‌خصوص کودهای فسفاته)، عامل ایجاد آلودگی کادمیوم در برخی از تاکستان‌های منطقه گهرو می‌باشد [۳۶، ۳۸، ۳۹].

جدول ۸: استانداردهای حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در خاک کشاورزی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم [۲۹، ۳۰]

نام فلز	استاندارد ایران	استاندارد ملی چین	استاندارد آمریکا	استاندارد استرالیا
Cu	۲۰۰	۵۰-۲۰۰	۲۷۰	۱۰۰
Zn	۵۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۱۱۰۰	۲۰۰
Pb	۷۵	۸۰	۲۰۰	۳۰۰
Cr		۱۵۰-۳۰۰	۱۱	۵۰
Cd		۰/۳-۰/۶	۰/۴۸	۳

در هنگام بارندگی به‌ویژه در اولین لحظه برخورد قطرات باران با سطح خاک و انحلال آلودگی‌ها در آب سطحی ذکر نمودند [۴۰].

مقایسه شاخص‌ها در طبقه‌بندی آلودگی منطقه

اگر هدف، شناسایی بهترین شاخص در ارزیابی منطقه به لحاظ خطر فلزات سنگین باشد، باید به قدرت شاخص در شناسایی فلز بحرانی در هر ایستگاه، توانایی در تفکیک تعداد طبقات یا رده‌های آلودگی منطقه و نیز انعطاف‌پذیری شاخص در توزیع مناسب ایستگاه‌ها در طبقات مختلف، توجه نمود. به‌طور کلی باید اذعان کرد شاخص‌های Igeo و CF در مقایسه با CD، MCD، PLI و RI این توانایی را دارند که علاوه بر طبقه‌بندی ایستگاه‌های منطقه به لحاظ خطر آلودگی، این نکته را نمایش دهند که در ایستگاه‌های آلوده، بحران از کدام فلز ایجاد شده است و همچنین قادر هستند فلز بحرانی را از میان سایر فلزها مشخص نمایند. این قابلیت قادر است به مدیران در برنامه‌ریزی و انتخاب نوع فعالیت برای پاک‌سازی خاک آلوده از یک فلز خاص، کمک نماید [۴۱].

شایان ذکر است هر اندازه یک شاخص بتواند کلاس‌های بیشتری در آلودگی منطقه معرفی نماید و به نحو مطلوب‌تری ایستگاه‌ها را در کلاس‌ها توزیع کند، برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه کارآمدتر است؛ زیرا اولویت‌بندی اقدامات و گزینه‌های تصمیم‌گیری بیشتری در اختیار آن‌ها خواهد بود [۲۴]. شاخص‌های CF و Igeo به ترتیب ایستگاه‌ها را در چهار و پنج طبقه تفکیک نموده‌اند. این امر نشان‌دهنده قابلیت بالاتر شاخص Igeo برای طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه بوده است. شاخص‌های CD، MCD، PLI و RI نیز به ترتیب منطقه را در ۳، ۳، ۲ و ۳ کلاس طبقه‌بندی کرده‌اند و می‌توان اذعان نمود شاخص PLI با حساسیت و سخت‌گیری کمتری به تفکیک آلودگی منطقه پرداخته است. در مقایسه نتایج حاصل از شاخص CD و MCD، اگرچه هر دو روش، سه طبقه آلودگی برای منطقه محاسبه نموده‌اند؛ اما این نکته قابل ذکر است که توزیع ایستگاه‌ها در روش MCD به‌صورت مناسب‌تر

مس نیز مطابق شاخص‌های Igeo و CF، دومین فلز آلوده‌کننده برخی تاکستان‌ها محسوب می‌شود. علت تفاوت در مقادیر مس در تاکستان‌های منطقه را می‌توان اختلاف سلیقه و سیاست‌های مدیریتی باغداران و همچنین سطح آگاهی آن‌ها در استفاده از سموم (به‌خصوص قارچ‌کش‌های مسی برای کنترل بیماری‌های انگور) دانست [۲۱].

تحلیل توزیع مکانی آلودگی و نقاط بحرانی در منطقه

در مطالعه حاضر شاخص‌های CD و MCD، به‌طور مشترک ایستگاه‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ (شکل ۲)، شاخص PLI ایستگاه‌های ۱۳، ۱۴، ۲۱، ۲۲، ۲۶ و ۲۷ (نمودار ۲) و شاخص ریسک اکولوژیک ایستگاه‌های ۱۹، ۲۱ و ۲۲ (نمودار ۳) را به‌عنوان آلوده‌ترین و بحرانی‌ترین تاکستان‌های منطقه طبقه‌بندی کرده‌اند. با توجه به خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و کیفیت آب یکسان در همه تاکستان‌های منطقه، در توجیه تفاوت چشمگیر این تاکستان‌ها با سایرین، می‌توان به تفاوت در مقادیر کودها و سموم شیمیایی توسط باغداران اشاره نمود؛ زیرا سبک مدیریتی و آگاهی باغداران بیشتر بر مبنای تجربیات و تبلیغات است و مسائل زیست‌محیطی در درجات پایین‌تری می‌باشد. به‌ویژه ممکن است با توجه به اینکه این تاکستان‌ها (ایستگاه‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶) در همسایگی یکدیگر قرار دارند، سیاست‌های مدیریتی باغداران روی همدیگر اثرگذار بوده و درنهایت، سبب زیاده‌روی در مصرف کودها و سموم در این محدوده شده باشد. دلیل دیگر در توجیه آلودگی ایستگاه‌های مذکور را می‌توان، توپوگرافی منطقه و شیب طبیعی آن دانست؛ زیرا توپوگرافی منطقه به نحوی است که ایستگاه‌های آلوده در ارتفاع کمتری قرار دارند و آلودگی از سایر تاکستان‌ها با آبشویی به تاکستان‌های پایین‌دستی منتقل می‌شود و رسوب می‌نماید. در تأیید این امر، میرزائی و همکاران، مهم‌ترین عامل در انتقال آلودگی‌های غیرنقطه‌ای در خاک سطحی را آبشویی خاک در روند آبیاری مزارع و روان‌آب‌های سطحی

و با انعطاف‌پذیری بالاتری اتفاق افتاده است (شکل ۲).

به‌طور کلی می‌توان اذعان کرد که زیاده‌روی در مصرف کودها و سموم شیمیایی می‌تواند سبب ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی شود که انسان در رأس آن قرار دارد و دریافت‌کننده نهایی این آلاینده‌هاست؛ بنابراین پایش و ارزیابی این آلودگی‌ها در بدو ورود به زنجیره غذایی، به‌خصوص در اکوسیستم‌های زراعی-باغی برای تضمین سلامت انسان، امری پرواضح می‌باشد [۴۲]. در این راستا، مقایسه با استانداردها به‌تنهایی نمی‌تواند مبنای قضاوت فراگیر و همه‌جانبه در مورد شدت آلودگی باشد؛ زیرا شاخص‌های ارزیابی ریسک (مانند: Igeo, CF, CD, MCD, PLI و RI) قادر هستند نحوه اثرگذاری متغیرهای محیطی بر قضاوت‌ها را سرشکن نمایند و اطلاعات بیشتری برای گرفتن تصمیم‌های صحیح ارائه دهند. به‌طور کلی در مطالعه حاضر، شاخص‌های Igeo, CF و MCD عملکرد بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتری در طبقه‌بندی منطقه به لحاظ فلزات بحرانی و ایستگاه‌های بحرانی داشته‌اند. در میان فلزات سنگین نیز، فلزهای کادمیوم و مس بیشترین نگرانی را در برخی از تاکستان‌های منطقه ایجاد نموده‌است؛ اما با توجه به همگن بودن شرایط خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، اقلیم و آب مورد استفاده در آبیاری تاکستان‌ها تنها

دلایل توجیه‌کننده برای نوسانات در آلودگی تاکستان‌های منطقه گهرو، سلیقه و تصمیم‌باغداران در استفاده از کودها و سموم شیمیایی و همچنین توپوگرافی، پساب‌ها و روان‌آب‌های منطقه است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود با آموزش دادن و افزایش سطح آگاهی باغداران از میزان مصرف کودهای فسفاته و سموم قارچ‌کش، تشویق آن‌ها به استفاده از کودهای حیوانی و اقدامات پیشگیرانه از ورود مقادیر بیشتر فلز کادمیوم به منطقه جلوگیری گردد. همچنین با اجرای برنامه پالایش خاک با کشت گیاهان جاذب کادمیوم (مانند: شاهی، گوجه‌فرنگی، کاهو و گل آفتابگردان) در لابه‌لای بوته‌های مو، از مقادیر آلودگی کادمیوم در منطقه کاسته شود.

قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته منابع طبیعی- محیط زیست، در دانشگاه ملایر است. نویسندگان این پژوهش از مسئولان دانشگاه ملایر به‌منظور فراهم‌نمودن بستر مناسب برای انجام این مطالعه تشکر می‌نمایند. همچنین از تمامی باغدارانی که نهایت همکاری را در امر نمونه‌برداری داشته‌اند، تشکر و قدردانی ویژه می‌گردد.

References

1. Tahsini H, Gavilian H. Assessment risk food of heavy metals (cadmium, lead, zinc and copper) from the consumed crops have been distributed in Sanandaj. Zanko J Med Sci 2016; 17(54):62-72 (Persian).
2. Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchem J 2010; 94(2):99-107.
3. Li Z, Ma Z, van der Kuijp TJ, Yuan Z, Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. Sci Total Environ 2014; 468-469:843-53.
4. Solgi I, Solgi M. Investigating of heavy metals concentration Vineyard soils in the agricultural ecosystems of Malayer. J Plant Ecosystem Conservation 2016; 3(7):99-111 (Persian).
5. Tóth G, Hermann TD, Da Silva MR, Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. Environ Int 2016; 88:299-309.
6. Khan S, Ca Q, Zheng YM, Huang YZ, Zhu YG. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environ Pollut 2008; 152(3):686-92.
7. Liu G, Yu Y, Hou J, Xue W, Liu X, Liu Y, et al. An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery

- factory. *Ecolog Indicators* 2014; 47:210-8.
8. Bhuiyan MA, Parvez L, Islam MA, Dampare SB, Suzuki S. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *J Hazard Mater* 2010; 173(1):384-92.
 9. Jia L, Wang W, Li Y, Yang L. Heavy metals in soil and crops of an intensively farmed area: a case study in Yucheng City, Shandong Province, China. *Int J Environ Res Public Health* 2010; 7(2):395-412.
 10. Hashmi MZ, Yu C, Shen H, Duan D, Shen C, Lou L, et al. Risk assessment of heavy metals pollution in agricultural soils of siling reservoir watershed in Zhejiang province, China. *Biomed Res Int* 2013; 2013:590306.
 11. Giri S, Singh AK. Ecological and human health risk assessment agricultural soils based on heavy metals in mining areas of Singhbhum copper belt, India. *Hum Ecolog Risk Asse* 2017; 23(5):1008-27.
 12. Safari Y, Delavar MA, Esfandiarpour Brojeni A, Salehi M, Oliaei H. Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area. *J Soil Manag Sustainable Prod* 2016; 6(2):119-33 (Persian).
 13. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *J Health Environ* 2015; 8(3):345-56 (Persian).
 14. Dehghani M, Dast Afkan S. Assessment of heavy metals pollution indices in sediments of Tiyaab and Kolahi international Wetlands. *J Aqua Ecol* 2016; 6(1):82-92 (Persian).
 15. Shahbazi A, Soffianian A, Mirghaffari N, Einghalaei M. Contamination factor and comprehensive pollution index (a case study in nahavand city). *Environ Dev J* 2012; 3(5):31-8 (Persian).
 16. Orescanin V, Katunar A, Kutle A, Valkovic V. Heavy metals in soil, grape, and wine. *J Trace Microprobe Techn* 2003; 21(1):171-80.
 17. Karimi R, Ershadi A, Karami F. Winter cold tolerance screening of 22 grapevine cultivars of Kurdistan province. *Appl Crop Breed* 2015; 3(2):177-90 (Persian).
 18. Huzum R, Kasper HU, Iancu OG, Sirbu-Radasanu DS. Assessment of potentially toxic elements from soil to plant in a vineyard area of the Eastern part of Romania. *Int Multidiscipl Sci GeoConference* 2012; 4:57.
 19. Khemnani S, Aswani B, Arora A, Sindal RS. Detection of heavy metal contents in the seed oil of *solanum malongena* (egg plant) of arid zone. *Int J Basic Appl Chem Sci* 2012; 2(1):59-65.
 20. Hatami Manesh M, Mirzayi M, Bandegani M, Sadeghi M, Sabet FN. Determination of mercury, lead, arsenic, cadmium and chromium in salt and water of Maharloo Lake, Iran, in different seasons. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 23(108):91-8 (Persian).
 21. Solgi E, Solgi M, Katebi MA. Assessment of copper pollution in the surface layer of vineyard soils in Malayer, Iran. *J Heath Field* 2017; 2(1):29-34 (Persian).
 22. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geo J* 1969; 2:108-18.
 23. Rahman SH, Khanam D, Adyel TM, Islam MS, Ahsan MA, Akbor MA. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. *Appl Sci* 2012; 2(3):584-601.
 24. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Res* 1980; 14(8):975-1001.
 25. Abraham GM. Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. [Phd Thesis]. New Auckland, Zealand: University of Auckland; 2005. P. 162.
 26. Tomlison L, Wilson G, Harris R, Jeffrey DW. Problems in the assessments of heavy-metal levels in estuaries and formation of a pollution index. *Helgol Meeresunters* 1980; 33(10):566-75.
 27. Wang J, Liu W, Yang R, Zhang L. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster Adv* 2013; 6(3):366-77.
 28. Gurumoorthi K, Venkatachalapathy R. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. *Pollution* 2016; 2(3):269-87.
 29. He Z, Shentu J, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stoffella PJ. Heavy metal contamination of soils: sources, indicators and assessment. *J Environ Indicat* 2015; 9(1):17-8.
 30. Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. *JWSS-Isfahan Univ Technol* 2015; 19(72):69-80 (Persian).
 31. Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids

- in soils. *Heavy Metals Soils* 2013; 22:11-50.
32. Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Investigation of the effects of phosphate fertilizer application on the heavy metal content in agricultural soils with different cultivation patterns. *Biol Trace Element Res* 2012; 145(1):87-92.
 33. Shahpasand M. Investigating the relationship between technical knowledge in the fed area and fertilizer usage by Iranian farmers in the city of Bajestan in Khorasan province: a Case study. *Iran J Agr Econ Dev Res* 2016; 46(4):749-63 (Persian).
 34. Abdollahzadeh G, Sharif Sharifzadeh M, Qadami Amraei Z. Assessing awareness of rice farmers of Sari County about impacts of usage of pesticides and its health risk in cropping year 2015. *Iran J Health Environ* 2017; 9(4):545-58 (Persian).
 35. Lasat M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *J Hazard Subst Res* 2000; 2(5):1-25.
 36. Williams CH, David DJ. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Sci* 1976; 121(2):86-93.
 37. Larsson EH, Bornman JF, Asp H. Physiological effects of cadmium and UV-B radiation in phytochelatin-deficient *Arabidopsis thaliana*, cad1-3. *Functional Plant Biol* 2001; 28(6):505-12.
 38. Schipper LA, Sparling GP, Fisk LM, Dodd MB, Power IL, Littler RA. Rates of accumulation of cadmium and uranium in a New Zealand hill farm soil as a result of long-term use of phosphate fertilizer. *Agr Ecosys Environ* 2011; 144(1):95-101.
 39. Salmanzadeh M, Balks MR, Hartland A, Schipper LA. Cadmium accumulation in three contrasting New Zealand soils with the same phosphate fertilizer history. *Geoderma Regional* 2016; 7(3):271-8.
 40. Mirzayi M, Riyahi BA, Salman MA, Gholamalifard M. Modeling relationships between surface water quality and landscape metrics using the adaptive neuro-fuzzy inference system, a case study in Mazandaran province. *J Water Wastewater* 2016; 27(1):81-92 (Persian).
 41. Haghshenas A, Hatami-manesh M, Mirzaei M, Mirsanjari MM, Hossein Khezri P. Measurement and evaluation of ecological risk of heavy metals in surface sediments of pars special economic energy zone. *Iran South Med J* 2017; In Press (Persian).
 42. Toolabi A, Allahabadi A, Miri M, Karimi Sani H. Evaluation of removal and adsorption isotherms of zinc and copper from municipal solid waste leachate using clinoptilolite adsorbent. *J Health Res Community* 2016; 2(1):37-45 (Persian).