

بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک شهرستان خرم آباد با استفاده از شاخص های آلودگی

فائزه دانشوری^{۱*}

dan.faezeh@yahoo.com

حسن پرویزی مساعد^۲

ساناز آشورلو^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: تخریب و آلودگی محیط زیست، ثمره جوامع صنعتی و یکی از ره آوردهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. هدف از این مطالعه، بررسی وضعیت آلودگی خاک و محصولات کشاورزی به فلزات مس، نیکل و کادمیوم در شهرستان خرم آباد واقع در استان لرستان است که جهت بررسی وضعیت آلودگی خاک از شاخص های زمین انباشتگی، غنی شدگی و بار آلودگی در سال ۱۳۹۴ استفاده شد. **روش بررسی:** تعداد ۱۸ نمونه مرکب از خاک سطحی و محصولات کشاورزی از منطقه مطالعاتی جمع آوری شد. نمونه ها بعد از هضم اسیدی، عصاره گیری شده و غلظت فلزات در نمونه های خاک و محصولات کشاورزی با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. داده ها استفاده از نرم افزار SPSS 20 تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج: میزان شاخص های زمین انباشتگی و بار آلودگی برای همه فلزات بین ۰ تا ۲ به دست آمد. فلزات مس و کادمیوم در خاک کشاورزی شهرستان خرم آباد بیشتر منشأ انسان ساخت دارند و فلز نیکل بیشتر منشأ طبیعی دارد. مقادیر شاخص بار آلودگی نشان داد که اکثر نمونه ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند و شاخص غنی شدگی برای فلز کادمیوم بیشترین مقدار را داشت.

نتیجه گیری: تجزیه و تحلیل شاخص های آلودگی نشان داد که عناصر مس، نیکل و کادمیوم منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی منجر به تجمع هر چه بیشتر این فلزات در خاک شده است. با توجه به شاخص ریسک سلامتی مشخص شد که مصرف محصولات کشاورزی شهرستان خرم آباد هیچگونه مشکلی برای سلامتی افراد ایجاد نخواهد کرد.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، خاک، شاخص زمین انباشتگی، شاخص غنی شدگی، شاخص بار آلودگی.

^۱ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران * (مسئول مکاتبات)

^۲ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۳ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

Investigation of heavy metals pollution in soil of Khorramabad city by use of pollution index

Faezeh Daneshvari^{1*}

dan.faezeh@yahoo.com

Hassan Parvizi Mosaed²

Sanaz Ashurloo³

Accepted Date: May 5, 2025

Date Received: March 11, 2025

Abstract

Introduction: Destruction and environmental pollution is the result of industrial societies and one of achievements of industrialization of human societies. The aim of this study was to investigate soil contamination and agricultural yields to copper, nickel and cadmium in Khorramabad city in Lorestan province, that for investigation of soil pollution was used of I_{geo} , I_{poll} , EF index in 2015 year.

Method and material: A total of 18 composition samples were collected from surface soil and agriculture yields in studied area. Samples were extracted after acidic digestion and metals were determined in soil samples and agriculture products by atomic adsorption spectrometry. In the end the data obtained were analyzed by SPSS 20.

Results: Amount of I_{geo} and I_{poll} index was achieved for total of obtained metals between 0-2. copper and cadmium in agriculture soil of Khorramabad city had more man-made source, and nickel had more natural origin. Values of I_{poll} index showed that the most of samples being in sort of no pollution until average pollution and EF index had the most cadmium value.

Conclutions: The analysis of pollution index showed that copper, nickel and cadmium had geological origin and agriculture. In fact, these metals there had naturally in soil, but agricultural practices and use of chemical fertilizers lead to the accumulation of more and more of these metals in soil. With attention to health risk index identified that the consumption of agriculture products in Khorramabad city will not create any problem for human health.

Keywords: Heavy metals, Soil, I_{geo} index, EF index, I_{poll} index.

¹ Young Researchers and Elites Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran*(Corresponding Author)

² Young Researchers and Elites Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³ Young Researchers and Elites Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

مقدمه

مهم ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند، در این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلاینده‌گی شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد مادری خاک و منابع انسانی باشد به عبارت دیگر این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما در اثر فعالیت‌های انسانی به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (۱). خاک‌های کشاورزی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید غذا تأثیر می‌گذارند بنابراین حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن حائز اهمیت می‌باشد. پیشرفت سریع صنعت و افزایش رهاسازی مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی به محیط زیست منجر به افزایش نگرانی‌ها در مورد پتانسیل تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی شده است (۲). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به بی نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیر غذایی گردد (۳). اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در خاک به تنهایی نمایانگر شدت آلودگی نخواهد بود، بنابراین در سال‌های اخیر برای رفع این مشکل از شاخص آلودگی جهت تعیین شدت آلودگی استفاده شده است. از طرفی عامل تجمع عناصر در خاک اطلاعات مناسبی را از شرایط زیست محیطی در اختیار محققان می‌گذارد. همچنین ذکر این نکته حائز اهمیت است که جداسازی بخش انسان ساخت فلزات سنگین از بخش طبیعی می‌تواند تصویر واضح تری از میزان واقعی آلاینده‌ها در محیط خاک در اختیار بگذارد. تفکیک شیمیایی بیان می‌دارد که عناصر می‌توانند پیوند بسیار سست، پیوند سست، پیوند سولفیدی، پیوند آلی فلزی، پیوند مقاوم و پیوند میان بطنی داشته باشند که آن دسته از عناصر سنگین که در پیوندهای بسیار سست، سست، سولفیدی و آلی فلزی، قرار می‌گیرند، نشان دهنده بخش انسان ساخت هستند (۴). آن دسته از عناصر سنگین که در پیوندهای مقاوم و میان بطنی قرار می‌گیرند نشان دهنده بخش طبیعی‌اند. شاخص زمین انباشتگی (Igeo) که توسط مولر (۱۹۷۹) معرفی شده است، شاخصی است که می‌تواند درجه آلاینده‌گی خاک را تعیین کند (۵) و از رابطه $I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5B_n)$ محاسبه می‌شود. بر اساس شاخص زمین انباشتگی مولر، C_n غلظت فلزات اندازه گیری شده در خاک، B_n غلظت همان عنصر در سنگ شیل می‌باشد (۶) و مقدار ضریب ۱/۵ به منظور تصحیح تغییرات احتمالی در

مقادیر زمینه می‌باشد. جهت ارزیابی شدت آلودگی فلزات در خاک شاخص بار آلودگی $I_{poli} = \log_2 (C_n / B_n)$ محاسبه می‌شود (۷). بر اساس شاخص بار آلودگی، C_n مقدار کل عنصر در خاک و B_n مقدار زمینه فلز در پوسته زمین می‌باشد. برای تعیین ارزیابی ریسک آلودگی خاک، از شاخص غنی شدگی (۸). در این رابطه $C_{heavy\ metal} / [C]_{background}$ استفاده می‌شود. سنگین در نمونه خاک و $C_{back\ ground}$ غلظت طبیعی عنصر در خاک بکر و قبل از صنعتی شدن می‌باشد. در این شاخص سطوح آلودگی را می‌توان بر اساس شدت آلودگی بین ۰ تا ۶ تقسیم بندی کرد. Bhuiyana و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از شاخص‌های فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی شدگی معنی داری خاک‌ها با فلزات تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی از فعالیت‌های معدنی بود (۹). شهبازی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی فلزات سنگین کروم، مس، نیکل و روی با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی در شهرستان نهاوند پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که عناصر کروم، مس، نیکل و روی منشاء زمین شناسی و کشاورزی دارند. در حقیقت این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است (۱۰). Liu و همکاران (۲۰۰۵) مقدار شاخص‌های بار آلودگی، غنی شدگی و فاکتور آلودگی را در پنج فلز کادمیوم، کروم، مس، روی و سرب محاسبه کردند. نتایج شاخص غنی شدگی نشان داد که غلظت هر فلز در خاک در مقایسه با سطوح زمینه روند افزایشی را داشته، شاخص فاکتور آلودگی نشان از آلودگی فلزات در ۲۰ سال گذشته داشت، همچنین مقادیر شاخص بار آلودگی تجمع فلزات در ۲۰ سال گذشته را نشان داد (۱۱). با توجه به اهمیت آگاهی از میزان غنی شدگی فلزات سنگین در خاک‌ها مطالعات متعددی در کشور صورت گرفته است. به دلیل برخورداری منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و متعاقباً تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودهای شیمیایی مختلف بر روی کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً سلامت انسان لزوم انجام این پژوهش را به منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم ناشی از این گونه فعالیت‌ها در خاک سطحی، بیش از پیش آشکار می‌سازد. با توجه به این مهم، این تحقیق با هدف تعیین میزان آلودگی فلزات مس، نیکل و کادمیوم در شهرستان خرم آباد با استفاده

از معیارهای شاخص زمین انباشتگی، بار آلودگی و شاخص غنی شدگی و همچنین ارزیابی وضعیت آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر خرم آباد با موقعیت جغرافیایی به طول ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه در ارتفاع ۱۱۷۱ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر از نظر اقلیمی دارای سه نوع آب و هوای مدیترانه ای (معتدل) آب و هوای سرد کوهستانی و آب و هوای نیمه صحرایی گرم است (۱۲).

نمونه برداری

مطالعه موجود از نوع مقطعی می‌باشد. در ابتدا مزارع مورد نظر به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شدند و در تابستان سال ۱۳۹۴ نمونه برداری از محصولات کشاورزی و خاک به صورت همزمان انجام گرفت. موقعیت مراکز صنعتی از نقاط نمونه برداری شده، نوع و مقدار کود مصرفی، استفاده از پساب شهری یا صنعتی و ... که می‌توانند منشأ آلودگی را مشخص کنند مکتوب شد. برای این منظور تعداد ۱۸ مزرعه شناسایی شد و از هر مزرعه ۱ نمونه مرکب برای هر محصول (سیب زمینی، یونجه، ذرت، جو و گندم) و خاک برداشت شد (۱۳).

آماده سازی و قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های خاک و گیاه

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در مجاورت هوا، خشک شده و از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. سپس ۲ گرم از خاک در درون ظروف درب دار ریخته، به آن ۱۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد. سپس فلاسک‌ها را به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد در حمام آب گرم قرار داده، بعد از گذشت زمان فوق، نمونه‌ها را صاف کرده و غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و مس به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند (۱۴). پس از تنظیم کوره و سیستم EDL (منبع تولید اشعه کاتدی) دستگاه و اپتیموم کردن دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای این عناصر و ماتریکس مدیفایر پالادیم توسط نرم افزار win Lab 32 رسم گردیدند و مقدار این عناصر در محلول‌های آماده شده اندازه‌گیری شد (۱۵). برای اندازه گیری فلزات کادمیوم، نیکل و مس در بخشهای خوراکی محصولات برداشت شده از روش عصاره گیری خاکستر خشک

استفاده شد (۱۶). بدین صورت که ۲ گرم از هر نمونه گیاه به درون بوته‌های چینی انتقال داده شد. نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. پس از آن ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. محلول مورد نظر کمی روی اجاق برقی گرم شد. سپس به کمک آب مقطر جوش و با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ به درون بالن ژوژه‌های ۵۰ میلی لیتری صاف شد. غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه نمونه‌های گیاهی در عصاره مورد نظر توسط دستگاه جذب اتمی Varian مدل AA400 خوانده شد. همچنین اندازه گیری فسفر خاک از روش آلسن (۵/۰ مولار NaHCO_3 و $\text{pH} = 8.5$)، نیتروژن کل روش کج‌دال، pH خاک از الکترود شیشه‌ای به نسبت ۱:۱ آب به خاک و پارامترهای EC و شوری با استفاده از هدایت سنج به نسبت ۱:۲ خاک به آب انجام یافت (۱۷، ۱۸، ۱۹). همچنین برای اندازه‌گیری آهک خاک از روش تیتراسیون (۲۰) و به منظور اندازه گیری مقدار سدیم و پتاسیم از فرایند استخراج با استات آمونیوم و قرائت با فلیم فتومتر استفاده شد (۲۱). درصد رس و بافت خاک با استفاده از روش Gee و Bauder (۱۹۸۶) اندازه گیری شد (۲۲). ظرفیت تبادل کاتیونی بر طبق روش استاندارد اندازه گیری شد (۲۳ و ۲۴). برای اندازه گیری ماده آلی خاک از روش اکسیداسیون تر (۲۵) و اندازه گیری کلسیم و منیزیم خاک توسط محلول EDTA به روش کمپلکس متری (تیتراسیون) استفاده شد (۲۶، ۲۱، ۲۰). در این مطالعه از معیارهای مختلف (شاخص زمین انباشتگی، شاخص بار آلودگی و شاخص غنی شدگی) برای تعیین شدت آلودگی خاک شهرستان خرم آباد استفاده شد (۴). جدول ۱ طبقات شاخص زمین انباشتگی و بار آلودگی را نشان می‌دهد. جدول ۲ نیز مقادیر متوسط غلظت فلزات در پوسته زمین و سنگ شیل را نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز طبقات شاخص غنی شدگی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقات شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی

Table 1- Land accumulation index classes and pollution load index

شاخص تجمع زمینی	طبقه کیفی آلودگی خاک	کلاس آلودگی
کمتر از صفر	غیر آلوده	صفر
۱-۰	غیر آلوده تا متوسط	۱
۲-۱	متوسط	۲
۳-۲	متوسط تا زیاد	۳
۴-۳	زیاد	۴

$$TF = C_{Plant}/C_{Soil} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه مقدار C_{Plant} غلظت فلزات سنگین در گیاه و مقدار C_{Soil} غلظت فلزات سنگین در خاک می‌باشد (۳۰).

جهت محاسبه جذب روزانه فلزات در بزرگسالان و کودکان از طریق مصرف محصولات کشاورزی از رابطه (۵) استفاده شد (۳۱).

$$DIM = C_{metal} \times C_{factor} \times D_{food\ intake} / B_{average\ weight} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه C_{metal} غلظت فلزات سنگین در محصولات کشاورزی برحسب $(mg\ kg^{-1})$ ، C_{factor} فاکتور تبدیل (۰/۰۸۵)، $D_{food\ intake}$ جذب روزانه از طریق محصولات کشاورزی و $B_{average\ weight}$ متوسط وزن بدن که برابر با ۴۷ کیلوگرم بود، عنوان شد.

در این تحقیق مقدار HRI (شاخص مخاطره سلامت) از محاسبه جذب روزانه فلزات و دوز مرجع بلع (Rfd) محاسبه شد (۳۲). شاخص مخاطره سلامت برای فلزات مس، نیکل و کادمیوم به واسطه مصرف محصولات کشاورزی از رابطه (۶) استفاده شد.

$$HRI = DIM/Rfd \quad \text{رابطه (۶)}$$

مقادیر Rfd برای فلزات مس، نیکل و کادمیوم به ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۰۱ برحسب $mg/kg\ bw/day$ می‌باشد (۳۳ و ۳۴).

پردازش آماری نتایج

در این پژوهش برای آنالیز نمونه‌ها از نرم افزار SPSS ویرایش ۲۰ استفاده شد. از آزمون آماری One sample t-test برای مقایسه میانگین غلظت فلزات در خاک و محصولات کشاورزی با حد استاندارد، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چنددامنه‌ای دانکن) برای مقایسه میانگین فلزات با یکدیگر، و از همبستگی پیرسون، بررسی ارتباط بین فلزات با یکدیگر و با سایر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی خاک استفاده شد.

نتایج

نتایج توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از نمونه‌های برداشت شده در جدول ۴ ارائه شده است. بر طبق نتایج بدست آمده میانگین غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و مس در خاک به ترتیب برابر با 0.161 ± 0.06 ، 0.14 ± 0.047 و 70.11 ± 10.69 میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵). نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای به منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های خاک با مقادیر استاندارد اتحادیه اروپا (۳۵) در خاک کشاورزی بیانگر آن است که فلزات کادمیوم و مس

شاخص تجمع زمینی	طبقه کیفی آلودگی خاک	کلاس آلودگی
۴-۵	زیاد تا خیلی زیاد	۵
بیشتر از ۵	خیلی زیاد	>۵

جدول ۲- مقادیر متوسط غلظت فلزات در پوسته زمین و سنگ شیل

Table 2- Average metal concentration values in the earth's crust and shale rock

فلزات سنگین	غلظت فلز در شیل (mg/kg)	غلظت زمینه فلز در پوسته زمین (mg/kg) (۲۷)
نیکل	۳۲/۷	۶۱/۹۳
کادمیوم	۰/۰۵۱	۰/۰۶
مس	۲۲/۵	۳۰

جدول ۳- طبقات شاخص غنی شدگی

Table 3- Enrichment index classes

درجه آلودگی	مقدار فاکتور
بدون آلودگی	۰
بدون آلودگی تا آلودگی متوسط	۱
آلودگی متوسط	۲
آلودگی متوسط تا قوی	۳
آلودگی قوی	۴
آلودگی قوی تا خیلی قوی	۵
آلودگی خیلی قوی	۶

به منظور تعیین غلظت زمینه از خاک‌های دست نخورده در منطقه نمونه برداری و آنالیز به عمل آمد. پس از تعیین غلظت کل عناصر سنگین توسط دستگاه جذب اتمی، از روش تفکیک شیمیایی پنج مرحله‌ای برای تعیین سهم انسان ساخت و طبیعی عناصر استفاده گردید. در این پنج مرحله از مواد شیمیایی نظیر اسید استیک، هیدروکسیل آمین هیدروکلراید و آب اکسیژنه و اسید کلریدریک به ترتیب برای جداکردن فازهای سست، سولفیدی، آلی-فلزی و مقاوم استفاده شد. برای جداسازی فازهای بسیار سست یا همان بخش قابل جذب توسط گیاهان از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد. برای دستیابی به مقادیر پیوند میان بطنی، حاصل جمع پنج پیوند فوق از رقم تجزیه کامل کسر می‌گردد (۴). در این مطالعه فاکتور انتقال فلزات از خاک شهرستان خرم آباد به محصولات زراعی مطالعه شده بررسی شد (۲۸). همچنین جهت پایش محصولات کشاورزی ارزیابی ریسک سلامتی صورت گرفت (۲۹). جهت اندازه‌گیری فاکتور انتقال خاک به گیاه از رابطه (۴) استفاده شد.

کمتر از حد استاندارد (۳ و ۱۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای فلزات کادمیوم و مس) و فلز نیکل برابر با حد استاندارد (۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم برای فلز نیکل) قرار دارد. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون چنددامنه‌ای دانکن) به منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات بین نمونه‌های مختلف خاک کشاورزی نشان داد که از نظر میانگین غلظت تجمع یافته فلزات بین نمونه‌های خاک تفاوت معنی دار آماری وجود دارد ($p < 0.05$). نتایج توصیف آماری غلظت فلزات کادمیوم، مس و نیکل در محصولات گندم، جو، سیب زمینی، یونجه و ذرت برداشت شده از شهرستان خرم آباد در جدول‌های ۶ تا ۸ است. بر طبق نتایج بدست آمده متوسط غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و مس در محصولات کشاورزی به ترتیب 0.018 ± 0.0072 ، 1.26 ± 0.94 و 3.05 ± 1.65 میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای به منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های محصولات کشاورزی با مقادیر استاندارد سازمان‌های بهداشت جهانی و خوار و بار کشاورزی جهانی (۳۶ و ۳۷) بیانگر آن است، میانگین غلظت فلزات کادمیوم و مس در تمامی محصولات کمتر از حد استاندارد (۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و فلز نیکل در محصولات گندم و سیب زمینی کمتر از حد استاندارد، در محصولات جو و یونجه در حد استاندارد و در محصول ذرت بیشتر از حد استاندارد (۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. نتایج محاسبه

فاکتور انتقال از خاک به محصولات زراعی بیانگر آن است که فلز کادمیوم بیشترین فاکتور انتقال (۰/۱۱) را در بین سایر فلزات دارد. نتایج اندازه گیری شاخص‌های زمین انباشتگی، شاخص بار آلودگی و شاخص غنی شدگی خاکهای مطالعه شده در جدول ۹ است. بر طبق نتایج بدست آمده از شاخص زمین انباشتگی مولر، فلز نیکل در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط و فلز مس در طبقه غیر آلوده قرار دارد. نتایج بدست آمده از اندازه گیری شاخص بار آلودگی نشان داد که فلز نیکل در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط و فلز مس در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد. همچنین نتایج اندازه گیری شاخص غنی شدگی نشان داد که فلز نیکل در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط تا آلودگی قوی و فلز مس در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارد. نتایج غلظت فلزات سنگین در مراحل مختلف هضم در جدول ۱۰ است. نتایج نشان داد که فلزات مس و کادمیوم در خاک کشاورزی شهرستان خرم آباد بیشتر منشأ انسان ساخت دارند و فلز نیکل بیشتر منشأ طبیعی دارد. نتایج ارزیابی جذب روزانه و شاخص مخاطره سلامتی فلزات در کودکان و بزرگسالان از مصرف محصولات کشاورزی بیانگر آن بود که افراد از نظر سلامتی ایمن خواهند بود و خطری متوجه افراد نخواهد بود (جدول ۱۱).

جدول ۴- خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها در شهرستان خرم آباد (n=18)

Table 4- Statistical summary of physical and chemical properties of soil samples in Khorramabad city (n=18)

پارامتر	واحد اندازه گیری	کمینه مقدار	بیشینه مقدار	انحراف معیار $\pm$ میانگین
pH	-	۴/۸	۸/۹	۷/۷ $\pm$ ۰/۵۶
مواد آلی	درصد	۱/۰۵	۲	۱/۴۸ $\pm$ ۰/۳۱
CEC	سانتی مول در کیلوگرم	۹/۴	۳۸/۴	۲۱/۴۷ $\pm$ ۸/۹۵
رس	درصد	۸/۵	۵۴/۳	۲۹/۹۲ $\pm$ ۱۵/۸۴
شن	درصد	۱۰/۶	۴۹/۴	۲۷/۰۷ $\pm$ ۱۱/۱۳
سیلت	درصد	۷/۹	۷۷/۴	۴۵/۷۵ $\pm$ ۲۱/۱۷
هدایت الکتریکی	دسی زیمنش در متر	۰/۲	۳/۷	۱/۷۹ $\pm$ ۱/۲۳
آهک (CaCO_3)	درصد	۱	۴۳	۱۲/۳۹ $\pm$ ۹/۳۹
نیترژن کل	درصد	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵۷ $\pm$ ۰/۰۲
فسفر کل	میلی گرم در کیلوگرم	۱۲/۴	۳۲/۱	۲۱/۹۴ $\pm$ ۵/۵۹
کلسیم	میلی گرم در کیلوگرم	۷/۴	۳۷/۴	۱۹/۹۶ $\pm$ ۹/۴۵
منیزیم	میلی گرم در کیلوگرم	۸۸/۴	۱۴۹/۴	۱۲۱/۴۱ $\pm$ ۱۵/۸۴
سدیم	میلی گرم در کیلوگرم	۸/۵	۷۱/۵	۳۶/۲۸ $\pm$ ۱۹/۷۶
پتاسیم	میلی گرم در کیلوگرم	۱۰/۶	۵۶/۷	۲۵/۹۱ $\pm$ ۱۱/۳۵
شوری	دسی زیمنش در متر	۰/۱۵	۱/۲	۰/۵۴ $\pm$ ۰/۳

جدول ۵- آمار توصیفی غلظت فلزات میلی گرم در کیلوگرم خاک شهرستان خرم آباد

Table 5- Descriptive statistics of metal concentrations in milligrams per kilogram of soil in Khorramabad County

فلزات بر حسب (mg/kg)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	انحراف معیار $\pm$ میانگین
کادمیوم	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۱۶۱۱ $\pm$ ۰/۰۶
مس	۲۰	۴۲/۵	۳۱/۱۴ $\pm$ ۶/۴۷
نیکل	۵۵	۹۳	۷۰/۱۱ $\pm$ ۱۰/۶۹

جدول ۶- آمار توصیفی غلظت فلز سنگین کادمیوم در محصولات مورد مطالعه

Table 6- Descriptive statistics of the concentration of heavy metal cadmium in the studied products

محصولات	بر حسب میلی گرم در کیلوگرم			انحراف معیار
	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	
گندم	۰	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷
جو	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵
سیب زمینی	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱
یونجه	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸
ذرت	۰	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶

جدول ۷- آمار توصیفی غلظت فلز سنگین مس در محصولات مورد مطالعه

Table 7- Descriptive statistics of heavy metal copper concentration in the studied products

محصولات	بر حسب میلی گرم در کیلوگرم			انحراف معیار
	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	
گندم	۱/۱۳	۶/۱۲	۳/۵۳	۱/۹۵
جو	۱/۱۳	۵/۴	۲/۳۹	۱/۱۷
سیب زمینی	۱/۱	۵/۴	۲/۸۳	۱/۶۸
یونجه	۱/۲	۹/۲۳	۴/۷	۲/۷۴
ذرت	۰/۸۳	۳/۳۴	۱/۷۹	۰/۷

جدول ۸- آمار توصیفی غلظت فلز سنگین نیکل در محصولات مورد مطالعه

Table 8- Descriptive statistics of heavy metal concentration of nickel in the studied products

محصولات	بر حسب میلی گرم در کیلوگرم			انحراف معیار
	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	
گندم	۰/۰۲	۱/۱۳	۰/۴۶	۰/۴۸
جو	۰/۰۲	۳/۵۷	۱/۳۸	۱/۵۱
سیب زمینی	۰/۰۸	۲/۴۹	۱/۰۷	۰/۸۲
یونجه	۰/۰۳	۲/۳۵	۱/۱۸	۰/۷۱
ذرت	۰/۱۱	۳/۶	۲/۲۲	۱/۱۸

جدول ۹- نتایج محاسبه شاخص‌های زمین انباشتگی، شاخص بار آلودگی و شاخص غنی شدگی خاک‌های مطالعه شده

Table 9- Results of calculating the land accumulation indices, pollution load index and enrichment index of the studied soils

فلزات سنگین	I_{poll}	I_{geo}	CF
نیکل	۰/۱۸	۰/۵۲	۱/۱۳
کادمیوم	۱/۴۲	۱/۱	۲/۶۷
مس	۰/۰۵	۰	۱/۰۳۸

جدول ۱۰- غلظت فلزات سنگین در مراحل مختلف هضم برحسب میلی گرم بر کیلوگرم

Table 10- Concentration of heavy metals in different stages of digestion in milligrams per kilogram

فلزات	غلظت کل	غلظت قابل جذب توسط گیاه (مرحله پیوندهای بسیار سست) (a)	مرحله پیوندهای سولفیدی (c)	مرحله پیوندهای آلی - فلزی (d)	مرحله پیوندهای مقاوم (e)	مرحله پیوندهای میان بطنی	مقدار انسان ساخت	مقدار طبیعی
Ni	۷۰/۱۱	۲/۷۶	۵/۹۵	۲/۳۸	۴۶/۳۰	۹/۳۶۴	۱۴/۴۵	۵۵/۶۶
Cd	۰/۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۲	۰/۰۴۶	۰/۰۱۳	۰/۱۰۱	۰/۰۵۹
Cu	۳۱/۱۴	۱/۸۵	۲/۰۸	۱۴/۸۹	۵/۷۹	۹/۷۲۳	۲۴/۶۱	۱۲/۹۲

جدول ۱۱- ارزیابی جذب روزانه و شاخص ریسک سلامتی فلزات سنگین در کودکان و بزرگسالان

Table 11- Assessment of daily intake and health risk index of heavy metals in children and adults

نوع فلز	غلظت کل فلز در گیاه (میلی گرم در کیلوگرم)	DIM در بزرگسالان	DIM در کودکان	HRI در بزرگسالان	HRI در کودکان
Ni	۱/۲۶	$6/61 \times 10^{-4}$	$7/6 \times 10^{-4}$	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸
Cd	۰/۰۱۸	$9/44 \times 10^{-6}$	$1/09 \times 10^{-5}$	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۱
Cu	۳/۰۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۴	۰/۰۴۵

بحث و نتیجه گیری

فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار و بادوام محیط زیست بشمار می‌آیند و به هر دو صورت طبیعی و مصنوعی می‌توانند منجر به آلودگی محیط زیست شوند. شناسایی این منابع آلاینده و آگاهی از میزان و نوع تاثیرات آنها از یک سو و رتبه بندی درست واحدهای آلوده کننده از سوی دیگر، گامی اساسی در جهت ارزیابی صحیح و پاسخ دهی به موقع و مناسب به این ریسک‌ها می‌باشد و کاهش زیان این رویدادها را در صورت وقوع به دنبال دارد (۳۸). نتایج این مطالعه نشان داد که فلز کادمیوم در محدوده ۰/۰۹-۰/۲۶ و با متوسط $0/161 \pm 0/06$ میلی‌گرم در کیلوگرم، فلز مس در محدوده ۲۰-۴۲/۵ و با متوسط $31/14 \pm 6/47$ میلی‌گرم در کیلوگرم و فلز نیکل در محدوده ۵۵-۹۳ و با متوسط $70/11 \pm 10/69$ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک شهرستان خرم آباد قرار دارد. میزان مجاز ورود و تجمع فلزات سنگین به ظرفیت تبادل کاتیونی خاک وابسته است. در این مطالعه میزان CEC در خاک $21/47 \pm 8/95$ سانتی مول در کیلوگرم اندازه گیری شد. میزان ورود فلزات در خاک با افزایش CEC خاک افزایش می‌یابد. تجمع برخی از فلزات سنگین بر اساس CEC خاک به وسیله Logan و Chaney (۱۹۸۳) (۳۹) تعیین گردیده است. این محققین نشان دادند که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی میزان فلزات سنگین اضافه شده به خاک در واحد سطح افزایش می‌یابد. Lado و همکاران

(۲۰۰۸) (۴۰) استفاده از کودها و مواد شیمیایی در اراضی کشاورزی را عامل افزایش غلظت فلزات سنگینی مثل کروم، کبالت، کادمیوم، سرب، مس و روی عنوان کردند. مقایسه میانگین غلظت نیکل، مس و کادمیوم در خاک شهرستان خرم آباد با میانگین فلزات در خاک‌های اروپا (۱۷/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای مس، ۷۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نیکل و ۰/۲۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کادمیوم) و میانه فلزات در خاک‌های جهان (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای مس، ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای نیکل و ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کادمیوم) (۴۱ و ۴۲) نشان داد که متوسط فلز کادمیوم در خاک شهرستان خرم آباد کمتر از میانگین اروپا و میانه جهان قرار دارد، متوسط فلز مس در خاک شهرستان خرم آباد از میانگین اروپا و میانه جهان بیشتر است، همچنین متوسط فلز نیکل در خاک شهرستان خرم آباد کمتر از میانگین اروپا و بیشتر از میانه جهان قرار دارد. Tsafe و همکاران (۲۰۱۲) غلظت فلز کادمیوم در خاک را $0/97 \text{ mg/kg}$ گزارش کردند که بیشتر از مطالعه حاضر می‌باشد (۲۹). Wu Yao-guo و همکاران (۲۰۱۰) غلظت فلز کادمیوم در خاک را $0/55 \text{ mg/kg}$ گزارش کردند که بیشتر از مطالعه حاضر بود (۴۳). Singh و همکاران (۲۰۱۰) متوسط غلظت فلز کادمیوم در خاک را $1/49 \text{ mg/kg}$ گزارش کردند که بیشتر از مطالعه حاضر بود (۴۴). شهبازی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای متوسط غلظت

ترتیب 0.5 mg/kg ، $1/23$ و 0 گزارش کردند که به غیر از فلز کادمیوم در مابقی فلزات کمتر از مطالعه حاضر بود (50). Anthony, Balwant (2005) غلظت فلزات کادمیوم، مس و نیکل را در گیاهان به ترتیب 0.361 mg/kg ، $1/01$ و 0 گزارش کردند که بیشتر از مطالعه بود (51). نتایج فاکتور انتقال از خاک به محصولات زراعی برای فلزات کادمیوم، نیکل و مس به ترتیب 0.11 ، 0.02 و 0.98 بود. که در این بین بیشترین مقدار انتقال از خاک به محصولات مربوط به فلز کادمیوم بود. این عمل می‌تواند ناشی از نرخ پایین نگهداری فلز در خاک باشد. تفاوت در فاکتور انتقال در بین محصولات مختلف ممکن است ناشی از اختلاف در غلظت فلزات در خاک و اختلاف در جذب عنصر بوسیله محصولات مختلف باشد (28). Tsafe و همکاران (2012) فاکتور انتقال را برای فلز کادمیوم 0.52 گزارش کردند که مقدار فلز کادمیوم بیشتر از مطالعه انجام شده بود (29). با توجه به جذب روزانه فلزات از محصولات کشاورزی و اینکه مقدار شاخص ریسک سلامتی در همه فلزات کمتر از 1 می‌باشد، بنابراین کودکان و بزرگسالان از نظر سلامتی از مصرف محصولات کشاورزی ایمن خواهند بود. نتایج حاصل از مطالعه حاضر مشخص کرد که مقدار HRI کمتر از مطالعه Khan et al. (2010) and Jan et al. (2010) می‌باشد (34 و 52). مطالعه انجام شده توسط Tsafe و همکاران (2012) شاخص ریسک سلامتی را برای فلزات کادمیوم و مس به ترتیب $65/38$ و $2/09$ گزارش کردند که خیلی بالاتر از مطالعه انجام شده بود (29). گلشاهی و همکاران (1389) (53) مقادیر شاخص ریسک سلامتی را برای کادمیوم در گیاه سیب زمینی بسیار کمتر از 1 اندازه گیری کرد، بنابراین به این نتیجه دست یافتند که مصرف سیب زمینی از نظر وجود کادمیوم برای سلامتی انسان ریسکی ندارد. نتایج بدست آمده با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. ارزیابی شدت آلودگی خاک به فلزات با استفاده از شاخص زمین انباشتگی نشان داد که مقدار این شاخص برای فلزات نیکل، کادمیوم و مس به ترتیب 0.52 ، $1/1$ و 0 می‌باشد. که در این شاخص فلز نیکل در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط و فلز مس در طبقه غیر آلوده قرار دارد. ارزیابی شدت آلودگی به فلزات با استفاده از شاخص بارآلودگی نشان داد که مقدار این شاخص برای فلزات نیکل، کادمیوم و مس به ترتیب 0.18 ، $1/42$ و 0.05 می‌باشد که در این شاخص فلز نیکل در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط و فلز مس در طبقه غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد. همچنین ارزیابی شدت آلودگی خاک به فلزات با استفاده از شاخص غنی شدگی نشان داد که مقدار این شاخص برای فلزات نیکل، کادمیوم و مس به ترتیب

فلزات مس و نیکل را خاک شهرستان نهاوند به ترتیب $38/4$ و $88/05$ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری کردند که بیشتر از مقادیر موجود در خاک شهرستان خرم آباد بود (10). Mahmood و Naseem Malik (2014) در مطالعه‌ای که در کشور پاکستان انجام داد متوسط غلظت فلزات نیکل، مس و کادمیوم را در خاک به ترتیب $14/5$ ، $15/28$ و $1/17$ میلی گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری کردند که به غیر از کادمیوم، مابقی فلزات از مطالعه حاضر کمتر بود (30). Soffianian و همکاران (2014)، در مطالعه‌ای که در خاک شهر همدان انجام دادند متوسط غلظت فلزات کادمیوم، مس و نیکل در خاک را به ترتیب $1/17$ ، $15/28$ و $14/5$ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری کردند که به غیر از فلز کادمیوم، در مابقی فلزات کمتر از مطالعه حاضر بود (45). نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که متوسط فلز نیکل در محصولات گندم، جو، سیب زمینی، یونجه و ذرت به ترتیب 0.46 ، $1/38$ ، $1/07$ ، $1/18$ و $2/22$ میلی گرم در کیلوگرم، متوسط فلز کادمیوم در این محصولات به ترتیب 0.16 ، 0.15 ، 0.22 ، 0.23 و 0.15 میلی گرم در کیلوگرم و متوسط فلز مس در این محصولات به ترتیب $3/53$ ، $2/39$ ، $2/83$ ، $4/7$ و $1/79$ میلی گرم در کیلوگرم قرار دارد. مقایسه میانگین غلظت فلزات در محصولات کشاورزی با مقادیر استاندارد WHO & FAO بیانگر آن بود که فلزات کادمیوم و مس در تمامی محصولات کمتر از حد استاندارد و فلز نیکل در محصولات گندم و سیب زمینی کمتر از حد استاندارد، در محصولات جو و یونجه در حد استاندارد و در محصول ذرت بیشتر از حد استاندارد می‌باشد. که نشان‌دهنده این است که گیاه ذرت توانایی تجمع فلز نیکل را از خاک دارد. محلول خاک اطراف ریشه اولین منبع ورود فلزات سنگین به بافت‌های گیاهی است. عموماً هر چه غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش یابد، مقدار قابل دسترس آنها برای گیاه افزایش می‌یابد، علاوه بر این عوامل دیگری در خاک مانند pH، درصد مواد آلی و بافت خاک نیز در تعیین غلظت قابل جذب فلزات سنگین توسط گیاهان تاثیر فراوان دارند (46). غلظت برخی از این عناصر با نوع محصول و پتانسیل ورود آنها به زنجیره غذایی ارتباط دارد (47 و 48). سیلانپا و جانسون (49) گزارش کردند که بین سطوح Se, Cd, Pb و Co موجود در خاک‌ها با غلظت این عناصر در دانه ذرت و گندم ارتباط وجود دارد. Tsafe و همکاران (2012) در مطالعه‌ای که در کشور نیجریه انجام دادند غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و مس را در گیاهان 0.5 mg/kg ، $7/55$ و 0.64 گزارش کردند که به غیر از فلز مس در مابقی فلزات بیشتر از مطالعه حاضر بود (29). Zhuang و همکاران (2009) غلظت فلزات کادمیوم، مس و نیکل را در گیاهان به

وجود دارد ($p < 0.05$). این امر می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی از منابع یکسان باشد. بر طبق نتایج بدست آمد مشخص شد که فلزات مس و کادمیوم در خاک کشاورزی شهرستان خرم آباد بیشتر منشأ انسان ساخت دارند و فلز نیکل بیشتر منشأ طبیعی دارد. اما به دلیل حضور فلزات سنگین در کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و فاضلاب و استفاده بی‌رویه از آنها در بخش کشاورزی، امکان افزایش غلظت این عناصر در اراضی کشاورزی دور از انتظار نیست. بنابراین با توجه به خطرات جذب فلزات سنگین خصوصاً در اراضی کشاورزی موجود در منطقه توصیه می‌شود با مدیریت استفاده از کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی و عدم استفاده از فاضلاب برای آبیاری مزارع از پراکنش بیشتر عناصر سنگین جلوگیری به عمل آمده و از کاشت گیاهانی که پتانسیل جذب فلزات سنگین را دارند، در مناطق آلوده جلوگیری گردد.

سپاسگزاری

از باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان بابت فراهم نمودن امکانات انجام این مطالعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., Ilhan, S., 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol*, 53, pp: 399-415.
2. Wong, S.C., Li, X.D., Zhang, G., Qi, S.H., Min, Y.S., 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China, *Environmental Pollution*, 119, pp: 33-44.
3. Lee, C.S., Li, X., Shi, W., 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics, *Science of the Total Environment*, 356(1-3), pp: 45-61.
4. Karbassi, A.R., Shankar, R., 2005. Geochemistry of two sediment cores from the west coast of India, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(4), pp: 307-316.
5. Praveena, S.M., Ahmed, A., Radojevic, M. Abdullah, M.H., and Aris, A.Z., 2008. Heavy Metals in Mangrove Surface Sediment of Mengkabong Lagoon, Sabah: Multivariate and Geo-Accumulation Index Approaches, *Int. J. Environ. Res.*, 2(2), pp: 139-148.
6. McGrath, S.P., Chaudri, A.M., Giller, K. E., 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, micro-organisms and plants, *J. Ind. Microbiol*, 14(2), pp: 94-104.

۱/۱۳، ۲/۶۷ و ۱/۰۳۸ می‌باشد که در این شاخص فلز نیکل در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط، فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط تا آلودگی قوی و فلز مس در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارد. Vesali Naseh و همکاران (۲۰۱۲) مقدار شدت آلودگی فلزات کبالت و نیکل را با استفاده از شاخص‌های مولر و کرباسی کمتر از ۱ گزارش کردند (۵۴). Bhuiyana و همکاران آلودگی فلزات سنگین را در خاکهای کشاورزی با استفاده از چندین شاخص، فاکتور غنی‌شدگی (CF)، شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) و شاخص بار آلودگی (PLI) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌دار خاکها با فلزات تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی از فعالیتهای معدنی بود (۹). Liu و همکاران مقدار شاخص بار آلودگی (PLI)، غنی‌شدگی (EF) و فاکتور آلودگی (CF) را در ۵ فلز کادمیوم، کروم، مس، روی و سرب محاسبه کردند. نتایج شاخص غنی‌شدگی نشان داد که غلظت هر فلز در خاک در مقایسه با سطوح زمینه روند افزایشی را داشته (EF بزرگتر از ۱)، شاخص فاکتور آلودگی نشان از آلودگی فلزات در ۲۰ سال گذشته داشت، همچنین مقادیر شاخص بار آلودگی تجمع فلزات در ۲۰ سال گذشته را نشان داد (۱۱). شهبازی و همکاران (۱۳۹۱) میزان شاخص زمین انباشتگی را برای فلزات کروم، مس، نیکل و روی بین ۰ تا ۱ گزارش کردند که نشان‌دهنده غیرآلوده تا کمی آلوده بودن خاک شهرستان نهاوند می‌باشد. در نتیجه غلظت فلزات سنگین در خاک به منشأ طبیعی آنها ارتباط داده شد (۱۰). نتایج فاکتور آلودگی نشان داد که اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند. کرباسی و ولوی (۱۳۸۹) بر اساس فرمول مولر (I_{geo}) محیط تالاب بامدژ را از نظر آلودگی به فلزات آرسنیک، نیکل و سرب در طبقه آلودگی بسیار کم تا متوسط و از نظر آلودگی به فلزات آهن و روی در طبقه بدون آلودگی و از نظر فلز کادمیوم در طبقه آلودگی متوسط تا زیاد گزارش کردند (۵۵). عظیم‌زاده و خادمی (۱۳۹۲) مقدار فاکتور آلودگی را برای فلزات نیکل و کادمیوم به ترتیب ۱/۰۲ و ۱/۰۸ گزارش کردند (۵۶). Lu و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که در کشور چین انجام دادند، مقدار شاخص زمین شیمیایی مولر را برای عنصر نیکل ۰/۱۷ اندازه‌گیری کردند که کمتر از مطالعه حاضر بود (۵۷). نتایج همبستگی پیرسون بین فلزات با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که همبستگی معنی‌دار مثبتی بین فلز نیکل با هدایت الکتریکی و کلسیم خاک وجود دارد ($p < 0.05$). همچنین نتایج همبستگی پیرسون بین فلزات در خاک نشان داد که همبستگی معنی‌دار مثبتی بین فلز مس با فلز نیکل

7. Karbassi, A. R., Monavari, S.M., Nabi Bidhendi, Gh. R., Nouri, J., Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environ. Monit. Assess.*, 147, pp: 107-116.
8. Abraham, G.M.S., Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *Environ Monit Assess*, 136, pp:227-238.
9. Bhuiyana, M.A.H., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B., Suzukia, S., 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, *Journal of Hazardous Materials*, 173, pp: 384-392.
10. Shahbazi, Ali., Sofyanian, Alireza, Mirghaffari, Nouraleh., Ein Ghalai, Mohammadreza., Investigation of soil heavy metal pollution using pollution factor indices, geoaccumulation and comprehensive pollution factor index (case study: Nahavand County), *Journal of Environment and Development*, 2012, No. 5, pp. 31-38.
11. Liu, W., Zhao, J., Ouyang, Z., Söderlund, L., Liu, G. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China, *Environment International*, 31(6), pp: 805-812.
12. Ghasemi, Seyed Farid., Khorramabad Shanasi, Aflak Publishers, First Edition, 1999, 104 pages.
13. Khodakarami, Loghman., Sofyanian, Alireza., Mirghaffari, Noorallah., Afyouni, Majid., Golshahi, Amin., Zoning of heavy metal concentrations of chromium, cobalt and nickel in soils of three sub-watersheds of Hamadan province using GIS and geostatistics technology, *Journal of Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 1991, No. 58, pages 243-254.
14. Black, C.A., 1965. *Methods of soil analysis*, Part 2. 2ed, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI.
15. Velayatzadeh, Mohammad., Askari Sari, Abolfazl., Beheshti, Mahboobeh., Hosseini, Mohsen., Measurement of heavy metals (cadmium, mercury, zinc, nickel, tin and iron) in canned tuna fish, *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 2013, Volume 26, Number 4, Pages 498-506.
16. Shaw, A.J., 1989. *Heavy Metal Tolerance in plants: Evolutionary Aspects*. CRC Press, Inc. Florida. pp: 299.
17. Dewis, J., Freitas, H., 1984. *Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis*. FAO Soil Bulletin 10, Oxford and IBH Publishing CO. PVT LTD. New Delhi.
18. ASTM, 2000. Standard Test Method for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, ASTM D2974-00.
19. USDA, 2004. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. United States Department of Agriculture, USA.
20. Klute A. (ed.), 1986 a. *Methods of soil analysis. Part1*. Society of Agronomy-Soil Science Society of America.
21. AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2005. *Methods of Analysis*, Washington D.C.
22. Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Vol. 1, Agronomy Monograph, vol. 9. American Society of Agronomy, Madison pp: 383-411.
23. Aparna, C., Saritha, P., Himabindu, V., Bhandari, A., Anjaneyulu, Y., 2010. Evaluation of bioremediation effectiveness on sediments Contaminated with industrial wastes. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(4), pp: 607-620.
24. APHA., 1998. American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, WWA, Washington; D.C.
25. Nelson, DW., Sommers, LE ., 1975. A rapid and accurate method for estimating organic carbon in soil. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 84, pp: 456-462.
26. Klute A.(ed.), 1986b. *Methods of soil analysis. Part2*. Society of Agronomy-Soil Science Society of America.
27. Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2000. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, London, pp: 413.
28. Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R. H., Chen, D.Y., Huang, Y.Z., Qiu, Y., Liang, J.Z., 2004. Transfer of Metals from Soil to Vegetables in an Area Near a Smelter in Nanning, China. *Environment International*, 30, pp: 785-791.
29. Tsafe, A.I., Hassan, L. G., Sahabi, D.M., Alhassan, Y., Bala, B.M., 2012. Evaluation of Heavy Metals Uptake and Risk Assessment of Vegetables Grown in Yargalma of Northern Nigeria, *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2(7), pp: 6708-6714.
30. Mahmood, A., Malik, R. N., 2014. Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan, *Arabian Journal of Vhemistry*, 7, pp: 91-99.
31. Chary, N.S., Kamala, C. T., Raj, D.S.S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 69 pp: 513-524.
32. USEPA, 1995. *Environmental quality standard for soils*. State Environmental Protection Administration, China. GB15618-1995.

33. WHO (World Health Organization)., 2001. Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Fifty-fifth Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Toxicological Monographs, WHO Food Additive Series No. 46. Geneva: World Health Organization.
34. Jan, F. A., Ishaq, M., Khan, S., Ihsanullah, Ahmad, I., Shakirullah, M., 2010. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). *J. Hazard. Mater.* 179, 612–621.
35. European Union., 2002. Heavy Metals in Wastes, European Commission on Environment (http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavy_metals_report.pdf).
36. WHO/FAO., 2007. Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session.
37. US-EPA, IRIS., 2007. United States, Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System.
38. Hayati, Mohammad., Tavakoli Mohammadi, Mohammad Reza., Partani, Sadeq., Risk assessment of heavy metals in Ardabil province using taxonomic method, Proceedings of the 30th Geosciences Conference, Ministry of Industry, Mines and Trade, Geological and Mineral Exploration Organization of Iran, 2011.
39. Logan, T.J., Chaney, R.L., 1983. Utilization of municipal wastewater and sludge on land-metals. PP. 235-326. In: A. L. Page, T. L. Gleason, J. E. Smith, Jr. I. K. Iskandar and L. E. Sommers (Eds.), Workshop on Utilization of Municipal Wast Water and Sludge on Land. University of California, Riverside.
40. Lado, L.R., Hengl, T., Reuter, H.I., 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148, pp: 189-199.
41. Franco-Uria, A., Lopez-Mateo, C., Roca, E., Fernandez-Marcos, ML., 2009. Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in NW Spain. *J Hazard Mater*, 165, pp: 1008–1015.
42. Facchinelli, A., Sacchi, E., mallen, L., 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental pollution*, 114, pp: 313-324.
43. Wu Yao-guo, XU., You-ning, ZHANG Jiang-hua, HU Si-hai., 2010. Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaoqinling gold mining region, Shaanxi, China, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20, pp: 688-694.
44. Singh, A., Kumar Sharma, R., Agrawal., M., Marshall, F.M., 2010. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India, *Tropical Ecology*, 51(2S), pp: 375-387.
45. Soffianian, A., Sadat Madani, E., Arabi, M., 2014. Risk assessment of heavy metal soil pollution through principal components analysis and false color composition in Hamadan Province, Iran, *Environmental Systems Research*, 3:3.
46. De Temmerman, L.O., Hoeing, H., Scokart, P.O., 1984. Determination of normal levels and upper limit values of trace elements in soils. *Z.Pflanzen. Bodenk*, 147, pp: 687-694.
47. Bingham, F.T., Perya, F.J., Jarvell, W.M., 1986. Metal toxicity to agricultural crops. *Metal. Ion Biol. Sys*, 20, pp: 119-156.
48. Berrow, M.L., Burridge, J.C., 1979. Sources and distribution of trace elements in soils and related crops. *International Conference Management Control, Heavy Metals Environment*. London, England, pp: 206-209.
49. Sillanpaa, M., Jansson, H., 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plant of thirty countries. *FAO soils Bulletin* 65. Rome. Italy.
50. Zhuang, P., Murray, B.M., Hanping, X., Li, N., Li, Z., 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Elsevier: science of the total environment*, 407, pp: 1551-1561.
51. Anthony, G.K., Balwant, S., 2005. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter sites in Australia, *Springer* 169, pp: 101-123.
52. Khan, S., Rehman, S., Khan, A.Z., Khan, M.A., Shah, T., 2010. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 73, pp: 1820–1827.
53. Golshahi, Amin., Mirghaffari, Nouraleh., Sofyanian, Alireza., Afyouni, Majid., Application of health risk assessment of heavy metals for monitoring healthy crops, *First National Conference on Sustainable Agriculture and Healthy Crop Production*, Isfahan, 2010.
54. Vesali Naseh, M.R., Karbassi, A., Ghazaban, f., Baghvand, A., 2012. Evaluation of Heavy Metal Pollution in Anzali Wetland, Guilan, Iran, *Iranian Journal of Toxicology*, 5(15), pp: 565-576.
55. Karbasi, Abdolreza., Volvi, Shahrzad., Determination of metal contamination., Khademi, Hossein., Estimation of background concentration for assessing the contamination of some heavy metals in surface soils of a part of Mazandaran province, *Journal of Water and Soil (Agricultural*

- Sciences and Industries), 2010, No. 3, pp. 548-559.
56. Azimzadeh, Behrouz., Khademi, Hossein., Estimation of background concentration for assessing the contamination of some heavy metals in surface soils of a part of Mazandaran province, Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries), 2013, Vol. 27, No. 3, pp. 548-559.
57. Lu, X., 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, Journals of Hazardous Materials, 161.