ارزیابی مخاطرات فلزات کادمیوم و آرسنیک در خاک و کاهو (*Lactuca sativa longifolia*) و کلم (*Brassica oleraceacapitata*) کشت شده در استان خوزستان

زهرا معاوی[a]، خوشناز پاینده[b*]، مهرنوش تدینی[c]

[a] *کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران*
[b] *استادیار گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران*
[c] *استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸

چکیده

مقدمه: کادمیوم و آرسنیک سمیت بسیار زیادی دارند و با تجمع در مواد غذایی سبب مسمومیت و بیماری‌زایی در بدن انسان می‌شوند. در این تحقیق میزان آلودگی فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم در سبزیجات کاهو و کلم‌های معمولی و خاک در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور اجرای پژوهش، تعداد ۱۵ نمونه از سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده و ۱۵ نمونه خاک مزارع شهرستان‌های حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان نمونه‌برداری شد. ریسک اکولوژیک فلزات کادمیوم و آرسنیک به کمک شاخص‌های آلودگی بررسی شد.

یافته ها: کمترین میزان آلودگی در هر دو سبزی کلم و کاهو به آرسنیک در شهر دزفول به ترتیب با ۱/۳۹ و ۰/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و بیشترین میزان آلودگی کلم و کاهو به آرسنیک در شهر رامهرمز به ترتیب به میزان ۲/۴۴ و ۱/۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. بیشترین غلظت آرسنیک در خاک رامهرمز با ۲/۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و بیشترین غلظت عنصر کادمیوم در خاک دزفول به میزان ۰/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد. نتایج نشان داد که فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم در شهرهای مورد مطالعه دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک کم (Er<۴۰) و شاخص ریسک (RI) نیز دارای ریسک کم (RI<۱۵۰) بود. بیشترین شاخص ریسک در شهر حمیدیه (۳۲/۴) و کمترین شاخص ریسک مربوط به شهر رامهرمز (۱۱/۶۶) می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج محاسبه شاخص مخاطره سلامت (HI) در کاهو و کلم مورد مطالعه کمتر از ۱ بود که نشان می‌دهد غلظت این عناصر در خاک فاقد مخاطره و اثرات سوء بهداشتی برای مصرف‌کننده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *آرسنیک، سلامت، سمیت کادمیوم، کاهو، کلم*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: Payandeh426@gmail.com

مقدمه

ورود فلزات سمی از طریق فعالیت‌های انسانی باعث آلودگی بسیاری از خاک‌ها شده است، به‌طوری که شدت آلودگی در خاک‌ها بیش از حد طبیعی است. سیستم‌های زیست‌محیطی ظرفیت محدودی برای جذب آلاینده‌های ورودی دارند و اگر تجمع مواد آلاینده صورت گیرد توانایی خاک به عنوان یک محیط پذیرنده به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و یا به‌طور کلی از بین می‌رود. گونه‌های مختلف گیاهان در توانایی جذب، تجمع و تحمل فلزات سنگین تفاوت بسیار زیادی با هم دارند (Watmough and Dickinson, 1995; Li and Feng, 2012). با توجه به ارزش غذایی سبزی‌ها، وجود فیبر فراوان و نقش آن در سلامتی انسان، مصرف آن در تمامی نقاط جهان مورد تاکید متخصصین تغذیه می‌باشد. در رژیم ما ایرانیان نیز سبزی‌ها از جایگاه خاصی برخوردار است. این در حالی است که در صورت عدم دقت در عملیات کاشت، داشت و برداشت سبزی‌ها می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان داشته باشد. از این‌رو بالا بودن غلظت عناصر سنگین در سبزی‌ها ممکن است به‌عنوان یک خطر جدی برای سلامتی انسان مطرح شود. امروزه با توجه به برخی فاکتورها از جمله غلظت ماده آلاینده، مقدار مصرف در طول زمان، سن فرد مصرف‌کننده، وزن بدن و دیگر پارامترها و نیز استفاده از برخی روابط و شیوه‌های ارائه‌شده توسط برخی سازمان‌های معتبر بین‌المللی می‌توان تا حدود زیادی میزان خطر ناشی از مصرف محصولات آلوده را برآورد نموده و در جهت کاهش این‌گونه خطرات توصیه‌ها و هشدارهایی را به مصرف‌کنندگان ارائه نمود (Sun *et al*., 2010; Zouari and Kallel, 2016).

آلودگی عناصر سنگین در خاک به یک مشکل حاد زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. 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 (Kariminezhad *et al*., 2015). در سال‌های اخیر بسیاری از کشورها به بحران آلودگی آرسنیک و کادمیوم در آب آشامیدنی و یا خاک مبتلا شده‌اند. در بسیاری از مناطق جهان فرآیندهای ژئوشیمیایی باعث انتشار و آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است (Chabukdhara *et al*., 2012).

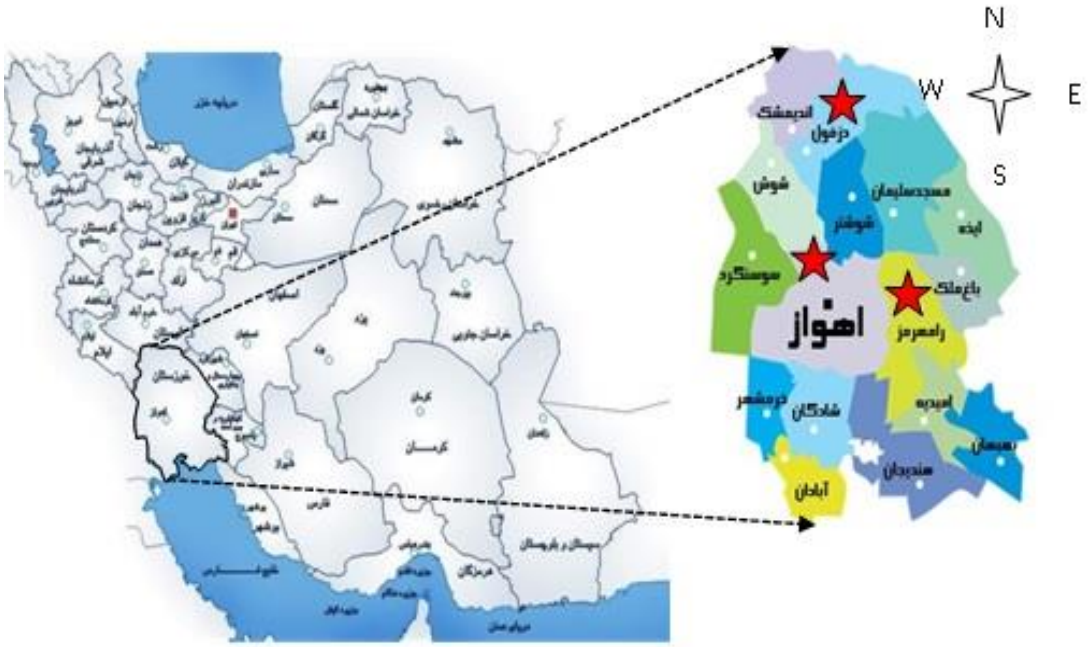
روند انباشت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده و تقریباً یک فرآیند برگشت‌ناپذیر است که در دراز مدت موجب کاهش کیفیت خاک و در نهایت تخریب اراضی کشاورزی می‌شود. از دلایل خطرناک بودن فلزات سنگین، قدرت تجمع زیستی آن‌ها است، به این مفهوم که این فلزات می‌توانند در سیستم بدن موجود زنده تجمع یابند و غلظت آن‌ها به مرور زمان و با تماس، بیشتر با آلاینده‌ها افزایش می‌یابد (Sarpong *et al*., 2012). از آنجایی‌که آلوده شدن محصولات کشاورزی با فلزات سنگین از یک طرف منجربه کاهش کیفیت محصولات کشاورزی و از طرف دیگر تهدیدی جدی برای سلامت انسان است، لذا از جنبه‌های زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت هستند. تجمع فلزات سنگین و افزایش غلظت آن‌ها و رسیدن به محدوده‌ی خطر، می‌تواند از طریق ورود به زنجیره غذایی انسان، سلامتی او را مورد تهدید قرار دهد (Cui *et al*., 2004). در بین فلزات سنگین برخی از آن‌ها نظیر روی، مس، کبالت در مقادیر مناسب برای سیستم‌های بیولوژیکی از جمله انسان ضروری هستند (Nielsen, 1997; Adriano, 2001)، در حالی که برخی دیگر از فلزات سنگین از جمله کادمیوم، سرب و آرسنیک برای گیاهان، حیوانات و انسان بسیار سمی هستند (Kabata-Pendias, 2001; Li and Huang, 2007). البته فلزات سنگین به‌طور طبیعی در مقادیر مختلف در محیط وجود دارند. مقدار آن‌ها در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون سنگ مادر، وجود منابع آلوده‌کننده، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در کشاورزی و استفاده از پساب‌های صنعتی و شهری در آبیاری متفاوت است. در دهه‌های اخیر، میزان ورود فلزات سنگین به خاک به وسیله فعالیت‌های انسانی حتی در مقیاس منطقه‌ای افزایش‌یافته است (Wei *et al*., 2010). تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی باعث آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک شده که در نهایت منجربه جذب این فلزات توسط گیاهان و آلودگی زنجیره غذایی خواهد شد. همچنین توسعه صنایع مختلف از طریق فرونشست‌های اتمسفری غلظت این فلزات را در خاک افزایش می‌دهد (Chen, 2011; Sayadi and Rezaei, 2014).

با توجه به اهمیت استان خوزستان از نظر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، همچنین جمعیت زیاد این استان و نقش بالای سبزی‌ها در تغذیه مردم این منطقه، این پژوهش با هدف ارزیابی میزان آلودگی سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز استان خوزستان به عناصر سنگین کادمیوم و آرسنیک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نمونه‌ها از مزارع سه شهرستان دزفول با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی، رامهرمز با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و حمیدیه با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی تهیه شدند. نمونه-برداری به‌صورت کاملا تصادفی و در سه تکرار برداشت شدند (شکل ۱). به منظور اجرای پژوهش حاضر، تعداد ۱۵ نمونه از هر کدام از سبزی‌های کاهو و کلم کشت شده در سه شهرستان حمیدیه، دزفول و رامهرمز در استان خوزستان در نایلون‌های فریزر قرار داده شدند و سپس برای انجام مطالعه فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها و برای آماده‌سازی نمونه‌ها به آزمایشگاه‌های آنالیز شیمیایی عناصر منتقل شدند. از خاک مزارع کشت کاهو و کلم در هر شهرستان تعداد ۱۵ نمونه برداشت گردید.

نمونه‌های گیاهی بلافاصله پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از شستشوی کامل و جداسازی خاک، یک گرم از نمونه‌ها در بوته چینی حرارت داده شد تا دود حاصل از سوختن آن‌ها خارج گردد. سپس نمونه‌ها به مدت سه ساعت در کوره الکتریکی ۵۰۰-۴۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا خاکستر سفید رنگ که بیانگر از بین رفتن مواد آلی است، حاصل شود. بعد از سرد کردن در دسیکاتور، به هر بوته، ۳۰ میلی لیتر نیتریک اسید غلیظ اضافه شد و بعد از حل شدن کامل، توسط کاغذ صافی غلظت کادمیوم در هرکدام از نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک گردند. سپس نمونه‌های خاک را آسیاب و الک (مش ۱۵۰ میکرون) کرده تا پودر کاملا یکنواختی به‌دست آید. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه های خاک در بشر پلی اتیلنی قرار داده شده و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک و اسید فلوئوریدریک به میزان ۷ سی سی، نمونه ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نمونه‌برداری کاهو و کلم کشت شده در استان خوزستان

حرارت داده شدند. پس از سرد شدن نمونه ها، به هر یک ۷ سی سی اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن ها و حرارت ملایم، محلولی کاملا شفاف به دست آمد و کلیه نمونه ها توسط اسید کلریدریک یک نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی سی رسیدند.واتمن ۴۲ صاف گردید. سپس مخلوطها در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد هضم شده تا اینکه محلول شفافی بهدست آمد و با استفاده از آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده و محلول‌ها، جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین آماده شدند. عناصر کادمیوم و آرسنیک به روش جذب اتمی سنجش شدند. برای کار با دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۴۱۰۰ نیز ابتدا لامپ کاتدی را در دستگاه نصب‌کرده و طول موج آن تنظیم شود. عرض شکاف (دیافراگم) را تنظیم نموده، فرصت داده تا دستگاه گرم شده و منبع انرژی ثابت گردد. این مرحله معمولا ۱۰ تا ۲۰ دقیقه زمان نیاز دارد بعد از گرم شدن دستگاه در صورت نیاز مجدداً جریان را تنظیم کرده و سپس مشعل نصب شود. جریان هوا را برقرار نموده و میزان آن را به جهت به دست آوردن ماکزیمم حساسیت برای کادمیوم تنظیم کرده، جریان استیلن را برقرار نموده و میزان آن را تنظیم کرده و شعله را روشن کرده، آب مقطر اسیدی شده با غلظت ۱/۵ میلی‌لیتر در لیتر اسید نیتریک غلیظ خالص به داخل دستگاه تزریق گردید. سرعت تزریق برای بیشتر از ۱۰ دقیقه کنترل گردیده، صبر نموده و چنانچه لازم باشد سرعت را بین ۳ تا ۵ میلی‌لیتر در دقیقه تنظیم نموده و دستگاه صفر می‌گردد. سپس نمونه‌ها یا تیمارهای آماده شده خاکستر کاهو و کلم را در دستگاه قرار داده و میزان جذب و شاخص زمین انباشتگی توسط Muller (۱۹۶۹) برای ارزیابی آلودگی خاک به وسیله مقایسه میزان فلزات سنگین معرفی شده است. این شاخص به منظور مشخص کردن درجه آلودگی و میزان تاثیر عوامل انسانی از عوامل طبیعی در محیط خاک استفاده می‌شود و از طریق معادله زیر محاسبه شد (Muller, 1969):

رابطه ۱:
$$Igeo = \log\left[\frac{Cn}{1.5\ Bn}\right]$$

در رابطه ۱، Cn غلظت اندازه‌گیری شده عنصر در نمونه و Bn غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. در این رابطه برای تصحیح اثرات مواد مادری خاک، نوسانات طبیعی و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت‌های انسانی از ضریب ۱/۵ استفاده می‌شود. برای غلظت زمینه از غلظت متوسط استفاده شده است. جدول ۱ میزان سطح آلودگی شاخص انباشتگی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- کلاس و سطح آلودگی مربوط به شاخص زمین انباشتگی مولر

کلاس	سطح آلودگی
$I_{geo} \leq 0$	غیر آلوده
$0 < I_{geo} < 1$	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
$1 < I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط
$2 < I_{geo} < 3$	آلودگی متوسط تا شدید
$3 < I_{geo} < 4$	آلودگی شدید
$4 < I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا خیلی شدید
$5 < I_{geo}$	آلودگی خیلی شدید

به کمک فاکتور آلودگی می‌توان مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی آن‌ها سنجید و میزان آلایندگی خاک را تعیین کرد. رابطه فاکتور آلودگی مطابق معادله زیر محاسبه شد (Hakanson, 1980):

رابطه ۲:
$$CF = \frac{Cn}{Bn}$$

در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Cn غلظت اندازه-گیری شده عنصر در نمونه و Bn غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. میانگین غلظت جهانی دو فلز کادمیوم و آسنیک ۰/۳۸ و ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. جدول ۲ رده‌بندی Hakanson بر مبنای فاکتور آلودگی را نشان می‌دهد (Hakanson, 1980).

شاخص آلودگی جهت ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد و از رابطه زیر به‌دست آمد:

رابطه ۳:
$$PI = \frac{Cn}{Bn}$$

در این رابطه Cn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و Bn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه شاهد است. این شاخص در ۴ گروه غیرآلوده ($PI \leq ۱$)، آلودگی کم ($PI \leq ۲ > ۱$)، آلودگی متوسط ($۳ \leq PI > ۲$) و آلودگی شدید ($۳ < PI$) طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۲- رده‌بندی Hakanson بر مبنای ضریب آلودگی CF

مقدار CF	ضریب آلودگی خاک
CF≤1	ضریب آلودگی پایین
1≤ CF ≤ 3	ضریب آلودگی متوسط
3 ≤ CF≤ 6	ضریب آلودگی قابل توجه
CF ≥ 6	ضریب آلودگی بسیار بالا

ضریب بار آلودگی از معادله زیر محاسبه شد (Hakanson, 1980):

رابطه ۴:
$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \ldots \times CF_n}$$

اگر PLI نزدیک به عدد یک باشد، نشان دهنده این است که بار با غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه است و اگر بیش از یک باشد نشان دهنده این است که رسوب آلوده می‌شود (Hakanson, 1980).

فاکتور غنی شدگی بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی بر خاک است. در فاکتور غنی شدگی معمولاً غلظت عناصر در نمونه‌های آلوده با غلظت آن عنصر در نمونه‌های زمینه مقایسه می‌گردد. فاکتور غنی شدگی از طریق رابطه زیر برآورده شده است (Hakanson, 1980):

رابطه ۵:
$$EF = \frac{\left(\frac{Cx}{Cerf}\right) sample}{\left(\frac{Cx}{Cerf}\right) Backgrround}$$

که در این رابطه EF فاکتور غنی‌شدگی، $\left(\frac{Cx}{Cerf}\right) sample$ نسبت غلظت عنصر مورد نظر (اندازه-گیری شده در خاک) به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و $\left(\frac{Cx}{Cerf}\right) Backgrround$ نسبت غلظت عنصر مورد نظر در مقادیر ماده زمینه می‌باشد. درجه آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به پنج دسته طبقه‌بندی کرد. سطح آلودگی کم (EF <۲)، سطح آلودگی متوسط (۵> EF ≤ ۲)، سطح آلودگی زیاد (۲۰> EF ≤ ۵)، سطح آلودگی بسیار زیاد (۴۰> EF ≤ ۲۰) و سطح آلودگی به شدت زیاد (EF ≥۴۰). شاخص آلودگی نمرو برای هر منطقه نمونه‌برداری شده به صورت رابطه زیر محاسبه گردید (Hakanson, 1980):

رابطه ۶:
$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{max}^2 + PI_{ave}^2}{2}}$$

که در آن PImax ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین، PIave میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین است. بر اساس این شاخص کیفیت خاک در پنج سطح طبقه‌بندی شده است. خاک بدون آلودگی (NIPI ≤۰/۷)، خط هشدار آلودگی (۱≤ NIPI> ۰/۷)، سطح آلودگی کم (۲≤ NIPI>۱)، سطح آلودگی (۳≤ NIPI>۲) و سطح بالای آلودگی (۳< NIPI). شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک برای ارزیابی خطرات بالقوه زیست‌محیطی فلزات در خاک استفاده شده است که توسط هاکانسون (۱۹۸۰) پیشنهاد شده است. در این مطالعه شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک RI از طریق رابطه‌های زیر برآورده شده است (Hakanson, 1980):

رابطه ۷:
$$C_f^i = C_n^i / C_0^i$$

رابطه ۸:
$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i$$

رابطه ۹:
$$RI = \sum_{i-1}^{n} E_r^i$$

که در آن C_f^i شاخص آلودگی یک فلز، C_n^i غلظت فلز در نمونه، C_0^i مقدار زمینه فلز و E_r^i ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیکی می‌باشد. T_r^i ضریب واکنش (Response factor) سمیت فلز است که بر اساس گزارش هاکانسون (۱۹۸۰) مقادیر آن برای فلزات به ترتیب به صورت Zn=1<Cr=Ni=Pb=5<As=10<Cd=30 می‌باشد. هاکانسون (۱۹۸۰) برای و E_r^i پنج کلاس و برای RI چهار کلاس تعریف کرده است که در جدول ۳ آورده شده است (Hakanson, 1980):

به منظور برآورد میانگین جذب قابل قبول روزانه (Estimated Average Daily Intake) از رابطه زیر استفاده شد (Rehman *et al.*, 2016):

رابطه ۱۰:
$$\mathrm{EADI} = \frac{C \times F}{W \times D}$$

جدول ۳- شاخص‌ها و کلاس‌های پتانسیل ریسک اکولوژیک آلودگی فلزات سنگین

مقدار E_r^i	کلاس پتانسیل اکولوژیک	مقدار RI	کلاس پتانسیل ریسک اکولوژیک
E_r^i<40	ریسک کم	RI<150	ریسک کم
40≤E_r^i<80	ریسک متوسط	150≤ RI<300	ریسک متوسط
80≤E_r^i<160	ریسک بالا (قابل ملاحظه)	300≤ RI<600	ریسک شدید (قابل ملاحظه)
160≤E_r^i<320	ریسک شدید	RI≥600	ریسک خیلی شدید
E_r^i≥320	ریسک خیلی شدید	-	-

در این رابطه C میانگین غلظت تجمع یافته هر عنصر در ماده غذایی مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم است که غلظت مجاز عنصر کادمیوم در کاهو ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای کلم ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر طبق بیشینه رواداری استاندارد ایران اعلام شده است. غلظت مجاز عنصر آرسنیک در کاهو ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای کلم ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر طبق بیشینه رواداری استاندارد ایران اعلام شده است. D تعداد روزهای سال (۳۶۵)، F میانگین مصرف سالانه ماده غذایی توسط هر فرد است که مقدار مصرف بر حسب گرم در روز برای کاهو ۵۸ گرم در روز و برای کلم بر طبق بیشینه رواداری استاندارد ایران ۱۲ گرم در روز اعلام شده است، W میانگین وزن بدن می‌باشند که وزن متوسط بدن یک فرد بزرگسال ۶۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود. شاخص مخاطره سلامت (Health index) نیز از رابطه زیر به‌دست آمد (Rehman *et al*., 2016):

رابطه ۱۱:

$$HI = \frac{EADI}{ADI}$$

در این رابطه EADIبرآورد میانگین جذب قابل قبول روزانه هر عنصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و ADI جذب روزانه قابل قبول هر عنصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد که بر اساس بیشینه رواداری استاندارد ملی ایران جذب روزانه قابل قبول برای عنصر کادمیوم ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای عنصر آرسنیک ۰/۰۰۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام شده است. مقادیر شاخص مخاطره سلامت کوچک‌تر از ۱ بیانگر آن است که مصرف ماده غذایی اثر سوء بهداشتی برای مصرف کننده ندارد، در صورتی‌که HI بزرگ‌تر از ۱ بیانگر احتمال بروز مخاطره عوارض مزمن سمی برای مصرف کننده است (Rehman *et al*., 2016).

- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین داده‌ها به منظور مقایسه اختلاف معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۵ درصد (P=0.05) با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام شد. برای مقایسه آماری بین کاهو و کلم از آزمون توکی و برای مقایسه مقادیر فلزات در خاک از آزمون کروس کال والیس استفاده شد. جهت رسم جداول از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

یافته‌ها

میزان آلودگی کاهو و کلم به کادمیوم در هر یک از شهرهای دزفول، حمیدیه و رامهرمز کمتر از ۰/۱ گزارش شده است. میزان آلودگی کاهو به آرسنیک در دزفول ۰/۱۲±۰/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۰/۶۵ تا حداکثر ۱/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، این میزان در حمیدیه ۰/۴۷ ± ۱/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۰/۴۹ تا حداکثر ۱/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و در رامهرمز ۰/۵۳± ۱/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۰/۶۸ تا حداکثر ۲/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۴). کمترین میزان آلودگی کاهو به آرسنیک در دزفول گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و رامهرمز نیز بیشترین میزان آلودگی

به آرسنیک را به خود اختصاص داده بود که اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. نتایج تجزیه واریانس جهت بررسی میزان آلودگی کاهو به آرسنیک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز انجام گردید که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار آماری از نظر میزان آلودگی کاهو به آرسنیک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز می‌باشد.

نتیجه حاصل از آزمون توکی حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار از نظر میزان آلودگی کاهو به آرسنیک بین شهرهای دزفول و رامهرمز می‌باشد (P<۰/۰۰۱). بین شهرهای دزفول و حمیدیه اختلاف آماری معنی‌دار از نظر میزان آلودگی به آرسنیک به دست نیامده است (P=۰/۱۵۳) و بین شهرهای رامهرمز و حمیدیه نیز اختلاف آماری معنی‌دار از نظر میزان آلودگی به آرسنیک به دست نیامده است (P=۰/۰۶) (جدول ۶).

میزان آلودگی کلم به آرسنیک در دزفول ۰/۸۱ ±۱/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۰/۴۶ تا حداکثر ۲/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، این میزان در رامهرمز ۰/۲۳ ± ۱/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۱/۱۳ تا حداکثر ۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و در حمیدیه ۰/۴۱ ±۲/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پراکندگی آن از حداقل ۱/۷۶ تا حداکثر ۳/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۷). کمترین میزان آلودگی کلم به آرسنیک در دزفول گزارش شده، رامهرمز در رتبه بعد و حمیدیه نیز بیشترین میزان آلودگی به آرسنیک را به خود اختصاص داده بود.

جدول ٤- آنالیز آماری آلودگی به آرسنیک در کاهو به تفکیک شهرهای استان خوزستان

شهر	میانگین	حداقل	حداکثر
دزفول	۰/۸۵±۰/۱۲	۰/۶۵	۱/۰۲
حمیدیه	۱/۱۳ ± ۰/۴۷	۰/۴۹	۱/۹۲
رامهرمز	۱/۴۹ ± ۰/۵۳	۰/۶۸	۲/۴۵

جدول ۵- تجزیه واریانس آلودگی به آرسنیک در کاهو به تفکیک شهرهای استان خوزستان

متغیرها	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون	نتیجه آزمون
بین گروه‌ها	۳/۱۲۳	۲	۱/۵۶		
داخل گروه‌ها	۷/۲۵	۴۲	۰/۱۷	۹/۰۳	۰/۰۰۱
کل	۱۰/۳۷۸	۴۴			

جدول ٦- آزمون توکی- مقایسه دو به‌دوی آلودگی به آرسنیک در کاهو به در شهرهای استان خوزستان

شهر		اختلاف میانگین	انحراف معیار	نتیجه آزمون	فاصله اطمینان ۹۵٪	
					حد پایین	حد بالا
دزفول	حمیدیه	−۰/۲۸ ns	۰/۱۵	۰/۱۵۳	−۰/۶۵	۰/۰۸۱۴
	رامهرمز	−۰/۶۴**	۰/۱۵	۰/۰۰۰	−۱/۰۱	−۰/۲۷۵
حمیدیه	دزفول	۰/۲۸ ns	۰/۱۵	۰/۱۵۳	۰/۰۸۱	۰/۶۵۶
	رامهرمز	−۰/۳۵ ns	۰/۱۵	۰/۰۶	−۰/۷۲	۰/۰۱۲
رامهرمز	دزفول	۰/۶۴**	۰/۱۵	۰/۰۰۰	۰/۲۷۵	۱/۰۱۲۷
	حمیدیه	۰/۳۵ ns	۰/۱۵	۰/۰۶	−۰/۰۱۲	۰/۷۲۵

: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ ، **ns عدم معنی‌داری

جدول ۷- بررسی آلودگی به آرسنیک در کلم به تفکیک شهرهای استان خوزستان

شهر	میانگین	حداقل	حداکثر
دزفول	۱/۳۹± ۰/۸۱	۰/۴۶	۲/۸۸
حمیدیه	۱/۵۶ ±۰/۲۳	۱/۱۳	۱/۹
رامهرمز	۲/۴۴ ± ۰/۴۱	۱/۷۶	۳/۰۵

در جدول ۸ با استفاده از تجزیه واریانس میزان آلودگی کلم به آرسنیک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز ارائه شده است. نتیجه تجزیه واریانس حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار آماری از نظر میزان آلودگی کلم به آرسنیک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز می‌باشد (P<۰/۰۰۱).

نتیجه حاصل از آزمون توکی حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار از نظر میزان آلودگی کلم به آرسنیک بین شهرهای دزفول و حمیدیه می‌باشد (P<۰/۰۰۱). بین شهرهای رامهرمز و حمیدیه نیز اختلاف آماری معنی‌داری از نظر میزان آلودگی به آرسنیک به دست آمد (P<۰/۰۰۱)، اما بین شهرهای رامهرمز و دزفول اختلاف آماری معنی‌داری ازنظر میزان آلودگی به آرسنیک به دست نیامده است (P=۰/۶۹۴) (جدول ۹).

کمترین میزان غلظت کادمیوم در خاک در رامهرمز گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و دزفول نیز بیشترین غلظت کادمیوم در خاک را به خود اختصاص داده بود. نتیجه آزمون کروس‌کال‌والیس حاکی از اختلاف معنی‌دار آماری از نظر میزان غلظت کادمیوم در خاک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز می‌باشد (P=۰/۰۵) (جدول ۱۰).

کمترین میزان غلظت آرسنیک در خاک در دزفول گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و رامهرمز نیز بیشترین غلظت کادمیوم در خاک را به خود اختصاص داده بود. نتیجه آزمون کروس‌کال‌والیس حاکی از اختلاف معنی‌دار آماری ازنظر میزان غلظت آرسنیک در خاک بین سه شهر دزفول، حمیدیه و رامهرمز می‌باشد (P=۰/۰۵) (جدول ۱۱).

در جدول ۱۲ میزان EADI بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برای هر محصول محاسبه و ارائه شده است. شاخص مخاطره سلامت بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برای کاهو و کلم کشت شده در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۸- جدول تجزیه واریانس آلودگی به آرسنیک در کلم به تفکیک شهرهای استان خوزستان

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره آزمون	نتیجه آزمون
بین گروه‌ها	۹/۴۶	2	۴/۷۳	۱۶/۲	۰/۰۰۱
داخل گروه‌ها	۱۲/۲۶	42	۰/۲۹		
کل	۲۱/۷۲	44			

جدول ۹- جدول آزمون توکی- مقایسه دو بدوی آلودگی به آرسنیک در کلم به در شهرهای استان خوزستان

شهر		اختلاف از میانگین	انحراف معیار	نتیجه آزمون	فاصله اطمینان ۹۵٪	
					حد پایین	حد بالا
دزفول	حمیدیه	-۱/۰۴۳**	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰	-۱/۵۲	-۰/۵۶
	رامهرمز	۰/۱۶۱ ns	۰/۱۹۷	۰/۶۹۴	-۰/۶۴	۰/۳۱
حمیدیه	دزفول	۱/۰۴۳**	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰	۰/۵۶	۱/۵۲
	رامهرمز	۰/۸۸**	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰	۰/۴۰۲	۱/۳۶
رامهرمز	دزفول	۰/۱۶ ns	۰/۱۹۷	۰/۶۹۴	-۰/۳۱	۰/۶۴
	حمیدیه	-۰/۸۸**	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰	-۱/۳۶	-۰/۴۰۲

: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ ، **ns عدم معنی‌داری

جدول ۱۰- نتیجه آزمون کروس‌کال‌والیس بررسی میزان کادمیوم در خاک به تفکیک شهرهای استان خوزستان

شهر	میانگین	حداقل	حداکثر	تعداد	میانگین رتبه	نتیجه آزمون
دزفول	۰/۲۵ ± ۰/۰۰۲۵	۰/۲۴۹	۰/۲۵۴	۳	۸	
حمیدیه	۰/۱۵± ۰/۰۰۱	۰/۱۴۹	۰/۱۵۱	۳	۵	P= ۰/۰۲۷
رامهرمز	۰/۱۲۶ ± ۰/۰۰۱	۰/۱۲۵	۰/۱۲۷	۳	۲	

جدول ۱۱- نتیجه آزمون کروس‌کال‌والیس بررسی میزان آرسنیک در خاک به تفکیک شهرهای استان خوزستان

شهر	میانگین	حداقل	حداکثر	تعداد	میانگین رتبه	نتیجه آزمون
دزفول	۱/۴۶ ±۰/۲۱	۱/۲۵	۱/۶۸	۳	۲	
حمیدیه	۲/۰۶ ±۰/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳	۵/۶۷	P= ۰/۰۵
رامهرمز	۲/۲۴ ±۰/۱۸	۲/۰۵	۲/۴۱	۳	۷/۳۳	

جدول ۱۲- میزان EADI بر حسب میلی‌گرم برکیلوگرم برای کاهو و کلم کشت شده در استان خوزستان

شهر	کاهو		کلم	
	آرسنیک	کادمیوم	آرسنیک	کادمیوم
دزفول	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۱۰}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۷}$	$۵/۴۷۹۴۵۲\times۱۰^{-۱۱}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۸}$
حمیدیه	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۱۰}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۷}$	$۵/۴۷۹۴۵۲\times۱۰^{-۱۱}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۸}$
رامهرمز	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۱۰}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۷}$	$۵/۴۷۹۴۵۲\times۱۰^{-۱۱}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۸}$

جدول ۱۳- شاخص مخاطره سلامت (HI) برای کاهو و کلم کشت شده در استان خوزستان

شهر	کاهو		کلم	
	آرسنیک	کادمیوم	آرسنیک	کادمیوم
دزفول	$۱/۲۶۱۱۴۴\times۱۰^{-۷}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۴}$	$۲/۶۰۹۲۶۳\times۱۰^{-۸}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۵}$
حمیدیه	$۱/۲۶۱۱۴۴\times۱۰^{-۷}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۴}$	$۲/۶۰۹۲۶۳\times۱۰^{-۸}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۵}$
رامهرمز	$۱/۲۶۱۱۴۴\times۱۰^{-۷}$	$۲/۶۴۸۴۰۲\times۱۰^{-۴}$	$۲/۶۰۹۲۶۳\times۱۰^{-۸}$	$۲/۷۳۹۷۲۶\times۱۰^{-۵}$

از شاخص زمین انباشتگی به‌عنوان مرجع برای برآورد وسعت آلودگی فلزات استفاده شد. شاخص زمین انباشتگی عنصر کادمیوم در شهرهای دزفول و حمیدیه منفی می باشد. مقادیر زمین انباشتگی آرسنیک در مناطق مورد مطالعه بین ۲ > Igeo >۱ می‌باشد که در دامنه خاک‌های آلودگی متوسط قرار می‌گیرد (جدول ۱۴).

نتایج مربوط به شاخص فاکتور آلودگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در شهرهای مورد مطالعه در جدول ۱۵ آورده شده است. نتایج نشان داد که تمام مقادیر به دست آمده از فاکتور آلودگی بین ۰ تا ۱ می‌باشد و بر اساس رده‌بندی هاکانسون ۳≥CF≥۱ دارای ضریب آلودگی متوسط می‌باشد. همچنین بیشترین ضریب بار آلودگی مربوط به شهر حمیدیه (۱/۰۴) و کمترین ضریب بار آلودگی مربوط به رامهرمز (۰/۲۳) می‌باشد. بر این اساس بیشترین درصد فاکتور آلودگی مربوط به فلز کادمیوم در شهر دزفول به میزان ۶۶٪ و کمترین درصد فاکتور آلودگی مربوط به فلز آرسنیک نیز در دزفول به میزان ۱۱٪ می‌باشد.

برای بررسی بهتر کیفیت خاک از شاخص آلودگی استفاده شد. نتایج مربوط به شاخص آلودگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در شهرهای مورد مطالعه در جدول ۱۶ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین شاخص آلودگی در شهر رامهرمز مربوط به آرسنیک (۱/۴۹) و کمترین شاخص آلودگی نیز در رامهرمز برای کادمیوم (۰/۶۳) می‌باشد (جدول ۱۶). خصوصیات آماری مربوط به فاکتور غنی‌شدگی در جدول ۱۷ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده آرسنیک (۸/۶۶) دارای بیشترین میزان غنی شدگی نسبت به کادمیوم (۱/۹) می‌باشد.

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین بر اساس شاخص جامع آلودگی در جدول ۱۸ آورده شده است. میزان شاخص جامع آلودگی نمرو فلزات آرسنیک و کادمیوم در سه شهرستان مورد مطالعه بین ۰ تا ۲ متغیر می‌باشد. بیشترین میزان شاخص آلودگی نمرو در خاک‌های مورد مطالعه رامهرمز (۱/۵۴) دارای آلودگی کم و کمترین میزان شاخص جامع آلودگی نمرو مربوط به حمیدیه برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۷۵ می‌باشد (جدول ۱۸).

نتایج نشان داد که فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم در شهرهای مورد مطالعه دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک کم (Er<۴۰) و شاخص ریسک کم (RI<۱۵۰) می‌باشند.

بیشترین میزان پتانسیل ریسک اکولوژیک مربوط به فلز آرسنیک در شهر حمیدیه (۲۰/۵۶) است و کمترین میزان پتانسیل ریسک اکولوژیک مربوط به فلز آرسنیک در شهر دزفول (۱/۱۲۵) می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین شاخص ریسک در شهر حمیدیه (۳۲/۴) و کمترین شاخص ریسک مربوط به رامهرمز (۱۱/۶۶) می‌باشد (جدول ۱۹).

جدول ١٤- شاخص زمین انباشتگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

شهر	آرسنیک	سطح آلودگی	کادمیوم	سطح آلودگی
دزفول	۱/۱	آلودگی متوسط	<۰	غیرآلوده
حمیدیه	۱/۲۵	آلودگی متوسط	۱	آلودگی متوسط
رامهرمز	۰/۱۷	غیرآلوده تا کمی آلوده	<۰	غیرآلوده

جدول ۱۵- فاکتور آلودگی و ضریب بار آلودگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

شهر	فاکتور آلودگی		ضریب بار آلودگی
	آرسنیک	کادمیوم	
دزفول	۰/۱۱	۰/۶۶	۰/۲۷
حمیدیه	۰/۱۵	۰/۳۹	۱/۰۴
رامهرمز	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۲۳

جدول ١٦- شاخص آلودگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

شهر	آرسنیک	سطح آلودگی	کادمیوم	سطح آلودگی
دزفول	۰/۹۷	غیرآلوده	۱/۲۵	آلودگی کم
حمیدیه	۱/۳۷	آلودگی کم	۰/۷۵	غیرآلوده
رامهرمز	۱/۴۹	آلودگی کم	۰/۶۳	غیرآلوده

جدول ۱۷- فاکتور غنی شدگی فلزات آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

عنصر	فاکتور غنی شدگی	طبقه‌بندی فاکتور
آرسنیک	۸/۶۶	غنی شدگی متوسط
کادمیوم	۱/۹	غنی شدگی کم

جدول ۱۸- شاخص جامع آلودگی نمرو فلزات آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

شهر	آرسنیک	سطح آلودگی	کادمیوم	سطح آلودگی
دزفول	۱/۰۵	آلودگی کم	۱/۲۶	آلودگی کم
حمیدیه	۱/۴۶	آلودگی کم	۰/۷۵	خطر هشدار آلودگی
رامهرمز	۱/۵۴	آلودگی کم	۰/۶۳	بدون آلودگی

جدول ۱۹- ریسک اکولوژیک (Er) و شاخص ریسک (IR) آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای استان خوزستان

شهر	ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک		شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک
	آرسنیک	کادمیوم	
دزفول	۱/۱۲۵	۱۹/۸۶	۲۰/۹۹
حمیدیه	۲۰/۵۶	۱۱/۸۴	۳۲/۴
رامهرمز	۱/۷۲	۹/۹۴	۱۱/۶۶

بحث

کمترین میزان آلودگی کاهو به آرسنیک در دزفول گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و رامهرمز نیز بیشترین میزان آلودگی به آرسنیک را به خود اختصاص داده بود که اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. میزان آلودگی کاهو به کادمیوم در هر یک از شهرهای دزفول، حمیدیه و رامهرمز کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش‌شده است. همچنین کمترین میزان آلودگی کلم به آرسنیک در دزفول گزارش شده، رامهرمز در رتبه بعد و حمیدیه نیز بیشترین میزان آلودگی به آرسنیک را به خود اختصاص داده بود. نتایج نشان داد که میزان آلودگی به آرسنیک در هر سه شهر از میزان آلودگی به کادمیوم در کلم بیشتر بوده است. در این مطالعه روند کلی موجودی فلزات برداشت شده از نمونه‌های سبزی شهرستان‌های مورد بررسی به صورت As> Cd به دست آمد. در بررسی Mirzaei و همکاران (۲۰۱۷) بر نمونه‌های برداشت شده از تاکستان‌های گهرو میانگین کلی کادمیوم کمتر از سایر فلزات مورد مطالعه گزارش شد. Liu و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی خود میانگین کلی کادمیوم را ۰/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمتر از سایر فلزات مورد بررسی گزارش کرد. Miri و همکاران (۲۰۱۶) میزان فلزات سنگین موجود در سبزی‌ها توزیع شده درشهر یزد را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در بین سبزی‌های مورد بررسی کاهو کمترین مجموع غلظت فلزات سنگین را داشت. از آنجا که حد مجاز میزان آرسنیک در کاهو بر اساس بیشینه رواداری موسسه استاندارد و تحقیقات ملی ایران ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، وضعیت میزان آرسنیک در هر سه شهر استان خوزستان بیشتر از حد مجاز می‌باشد. دزفول بیش از ۸ برابر حد مجاز، حمیدیه بیش از ۱۱ برابر حد مجاز و رامهرمز بیش از ۱۴ برابر حد مجاز آرسنیک در برگ‌های کاهو به دست آمد. همچنین با توجه به حد مجاز میزان آرسنیک در کلم بر اساس بیشینه رواداری موسسه استاندارد و تحقیقات ملی ایران ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، وضعیت میزان آرسنیک در هر سه شهر استان خوزستان بیشتر از حد مجاز می‌باشد. دزفول بیش از ۱۳ برابر حد مجاز، حمیدیه بیش از ۲۴ برابر حد مجاز و رامهرمز حدود ۱۵ برابر حد مجاز آرسنیک در برگ‌های کاهو به دست آمد. میزان آلودگی کاهو و کلم به کادمیوم در هر یک از شهرهای دزفول، حمیدیه و رامهرمز کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. از آنجا که حد مجاز میزان کادمیوم در کلم بر اساس بیشینه رواداری موسسه استاندارد و تحقیقات ملی ایران ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، وضعیت میزان کادمیوم در هر سه شهر استان خوزستان ۲ برابر حد مجاز می‌باشد. نتایج نشان داد که میزان آلودگی به آرسنیک در هر سه شهر از میزان آلودگی به کادمیوم بیشتر بوده است.

غلظت فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم در خاک شهرهای مورد مطالعه نشان داد که کمترین میزان غلظت کادمیوم در خاک در رامهرمز گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و دزفول نیز بیشترین غلظت کادمیوم در خاک را به خود اختصاص داده بود. همچنین کمترین میزان غلظت آرسنیک در خاک در دزفول گزارش شده، حمیدیه در رتبه بعد و رامهرمز نیز بیشترین غلظت کادمیوم در خاک را به خود اختصاص داده بود. تفاوت روند تغییرات و مقادیر فلزات سنگین در مناطق مطالعاتی حاضر با سایر مناطق را می‌توان ناشی از خاک‌شناسی و زمین‌شناسی شهرها، تنوع کشت و نوع گیاهان زراعی، نوع مدیریت و سطح آگاهی کشاورزان، تناوب کشت و همچنین وجود مناطق صنعتی، مسکونی و حمل و نقل در نزدیکی زمین‌های کشاورزی مورد مطالعه دانست که با سایر تحقیقات نیز هماهنگی دارد (Khan *et al*., 2008; Rahman *et al*., 2012). مقایسه میانگین غلظت مقادیر فلزات سنگین موجود در سبزیجات و خاک با مقادیر استاندارد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. عبور ماشین‌آلات و فعالیت‌های صنعتی موجب افزایش غلظت فلزات در نمونه‌های خاک می‌شود (Taghipour *et al*., 2010). فلز سنگین کادمیوم با مصرف کودها کمترین تغییرات را در خاک نشان می‌دهد. حضور آرسنیک در خاک معمولا به دلیل استفاده از فرآورده‌های شیمیایی مانند علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای فسفاته می‌باشد و اگر خاک محل رشد گیاه از لحاظ لیتولوژی آرسنیکی باشد در نمونه‌های گیاهی مقادیری از این فلز یافت می‌شود، همچنین آرسنیک موجود در کود، غلظت باقی‌مانده بیشتری (به نسبت فلزاتی مانند کادمیوم) در خاک را سبب می‌شود (Boudaghi *et al*., 2012).

در این مطالعه مقدار میانگین فاکتور غنی شدگی نشان داد که آرسنیک دارای بیشترین غنی شدگی نسبت به کادمیوم می‌باشد. مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی فلزات مورد مطالعه بیشتر از ۱/۵ است که این امر نشان دهنده انسان‌زاد بودن منبع این فلزات در خاک می‌باشد. بنابراین با توجه به فاکتور غنی شدگی و تغییرات زیاد در مقادیر فلزات نشان دهنده منبع انسانی آلودگی در این مناطق می‌باشد. Shafiei و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه، مقادیر فاکتور غنی شدگی عنصر آرسنیک و سلنیوم را در تعدادی از نمونه‌ها بالاتر از غلظت زمینه‌ای گزارش کردند و بیشترین فاکتور غنی

شدگی را مربوط به مسیر رفسنجان نسبت دادند که مهم‌ترین عامل افزایش غلظت عناصر در این مسیر مربوط به جهت باد غالب می‌باشد. در مطالعه حاضر میزان فاکتور غنی شدگی برای کادمیوم بیشتر از حد میانگین شیل جهانی (۰/۳۸) می باشد. بر اساس نظر Hernandez و همکاران (۲۰۰۳) مقادیر فاکتور غنی شدگی بین ۲-۰/۵ به‌عنوان زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ به‌عنوان تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد است. Han و همکاران (۲۰۰۶) آلودگی را بر پایه مقدار فاکتور غنی شدگی به بخش های مختلف تقسیم کردند. اگر EF ≤ ۲ باشد کمترین حد غنی‌شدگی فلز را نشان می‌دهد. در حالی که اگر مقدار EF > ۲ باشد نشان‌دهنده درجات متفاوت غنی‌شدگی فلز می‌باشد. همچنین Zhang و Liu (۲۰۰۲) تایید کردند فاکتور غنی شدگی برابر ۱/۵ به‌عنوان شاخص ارزیابی استفاده می‌شود. برای مثال مقدار بین ۰/۵ تا ۱/۵ نشان می‌دهد که آن فلز کاملا از مواد پوسته‌ای یا فرآیند طبیعی است، در حالی که مقدار بالاتر از ۱/۵ اشاره به منابع بیشتر مانند منابع انسانی دارد.

میزان شاخص زمین انباشتگی نشان داد که دزفول و رامهرمز برای فلز کادمیوم دارای مقدار منفی می‌باشد که نشان می‌دهد این شهرها از لحاظ این کادمیوم در دامنه خاک‌های غیرآلوده قرار می‌گیرند، در حالی که میزان شاخص زمین انباشتگی در شهرهای مورد مطالعه برای عنصر آرسنیک (۱<Igeo<۲) دارای خاک‌های با آلودگی متوسط می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه Shafiei و همکاران (۲۰۱۳) در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه بر اساس شاخص زمین انباشتگی برای نمونه‌های خاک حاکی از آن بود که عنصر سلنیوم در اکثر نمونه‌ها در محدوده غیرآلوده و عنصر آرسنیک در محدوده کمی آلوده تا شدیدا آلوده قرار داشت. در مطالعه حاضر با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین زمین انباشت برای آرسنیک در نمونه‌های خاک شهرهای حمیدیه و دزفول به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۱ به دست آمد و این فلز بیشترین تأثیر را از فعالیت‌های انسانی در این مناطق داشته است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شاخص آلودگی آرسنیک و کادمیوم در مناطق مورد مطالعه بین ۰ تا ۲ قرار دارد که در دامنه خاک‌های غیرآلوده تا آلودگی کم قرار می‌گیرند. همچنین فاکتور آلودگی عناصر آرسنیک و کادمیوم در مناطق مورد مطالعه بین ۰ تا ۱ قرار دارد که دارای ضریب آلودگی متوسط بود. با این حال درصد آلودگی کادمیوم بیش از آرسنیک می‌باشد که استفاده از پساب یا فاضلاب و مصرف غیراصولی کود در زمین‌های کشاورزی باعث افزایش غلظت این عنصر در خاک شده است.

غلظت طبیعی کادمیوم هم در خاک از تمام عناصر مورد بررسی معمولا کمتر است. تاکنون نیز عوامل مختلف انسانی ورود کادمیوم به خاک در تحقیقات مختلف گزارش شده است (Qin *et al*., 1994; Satarug *et al*., 2003; Kariminezhad *et al*., 2015). در این مطالعه بیشترین غلظت کادمیوم در دزفول مشاهده شد. همچنین Wei و همکاران (۲۰۱۰) به نقش فعالیت‌های کشاورزی به افزایش غلظت کادمیوم در خاک اشاره کردند. Sun و همکاران (۲۰۱۰) مقدار شاخص آلودگی عنصر کادمیوم را ۲/۸۸ گزارش کردند.

میزان شاخص جامع آلودگی نمرو فلزات آرسنیک و کادمیوم در سه شهرستان مورد مطالعه، بین ۰ تا ۲ متغیر می‌باشد و این شهرها از آلودگی کم برای این عناصر برخوردار هستند. نتایج نشان داد که فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم در شهرهای مورد مطالعه دارای پتانسیل ریسک اکولوژیک کم (Er <۴۰) و شاخص ریسک نیز دارای ریسک کم (RI <۱۵۰) می‌باشد. بیشترین شاخص ریسک در شهر حمیدیه (۳۲/۴) و کمترین شاخص ریسک مربوط به رامهرمز (۱۱/۶۶) می باشد. Sani (۲۰۱۵) میزان عناصر غیرضروری در سبزی‌های برگی زمین‌های زراعی آلوده به فلزات سنگین در حومه‌ی شهر قدس را بررسی کرد. نتایج این آزمایش نشان داد که اثر فلزات سنگین تاثیر معنی‌داری روی سبزی‌های برگی داشت. Tabande و Taheri (۲۰۱۶) مواجهه با فلزات سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در سبزی‌های کشت‌شده در مزارع استان زنجان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که قسمت عمده تجمع فلزات سنگین، در سبزی‌های برگی است. Arfaeinia و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی غلظت و ارزیابی خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف محصولات کشاورزی در مزارع مختلف شهرستان دیر، در استان بوشهر به این نتیجه رسیدند که میزان آلودگی به فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب آلوده به پساب شهری و صنعتی بالاتر از مقداری بود که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شدند.

نتایج محاسبه شاخص HI در این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده کاهو و کلم مورد مطالعه برای مصرف‌کنندگان فاقد مخاطره و اثرات سوء بهداشتی برای مصرف‌کننده می‌باشد. برآورد میانگین جذب قابل قبول روزانه فلزات سنگین برای کاهو به صورت Cd> Ar و برای کلم به صورت Ar> Cd می باشد. Rehman و همکاران (۲۰۱۶) تعیین میزان آرسنیک معدنی و خطر ابتلا به سرطان از طریق مصرف سبزیجات در مناطق انتخابی جنوب پاکستان را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که حداقل خطر سلامتی (HI<1) با مصرف سبزیجات برای

ساکنین محلی وجود دارد. علاوه بر این مقادیر HQ برای مجموع آرسنیک ۱ است که نشان دهنده حداقل خطر ابتلا به سرطان است. بر طبق نتایج تمامی این تحقیقات غلظت فلزات سنگین آزمایش‌شده در تمام نمونه‌های سبزی‌ها بالاتر از حدود مجاز بودند. منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین بر اساس موقعیت جغرافیایی، آب و هوا، اقلیم، لیتولوژی مزرعه کاملاً متفاوت است، از عوامل صنعتی و مسئله ترافیک گرفته تا خالص‌سازی و پالایش لجن‌ها، فعالیت‌های کشاورزی از قبیل استفاده از کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، کمپوست، آفت‌کش‌ها، فرونشست‌های جوی حاصل از ریزگردها، پساب‌های صنعتی حاصل از کارخانجات تولیدی، آب فلزکاری و معادن می‌باشد و سایر منابع این فلزات در آب‌های سطحی، فاضلاب‌های شهری و همچنین، آب‌های حاصل از شستشوی جاده‌ها است می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج محاسبه شاخص HI در این تحقیق نشان می‌دهد، استفاده کاهو و کلم مورد مطالعه برای مصرف‌کنندگان فاقد مخاطره و اثرات سوء بهداشتی برای مصرف‌کننده می‌باشد، اما با توجه به تجاوز میانگین غلظت عنصر کادمیوم و آرسنیک در نمونه‌ها از حد استاندارد، عدم تجزیه زیستی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین، در صورت مصرف بی‌رویه سبزی‌های کاهو و کلم که امروزه به‌عنوان سبزی‌های پرطرفدار در میان رده‌های سنی مختلف به‌ویژه نوجوانان مطرح می‌باشند، ابتلا به مشکلات بهداشتی در طولانی مدت دور از انتظار نخواهد بود. لذا بررسی کیفی سبزی‌های کاهو و کلم در بازار مصرف کشور به‌منظور حفظ سلامت مصرف‌کنندگان ضروری می‌باشد. نتایج این تحقیق مطابق با سایر مطالعات پیشین انجام شده روی غلظت عناصر سنگین در سبزیجات در ایران و دنیا نشان می‌دهد، بیشتر از حد استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و سازمان غذا و کشاورزی است، غلظت‌های بالای فلزات سنگین و میانگین‌های بالاتر از مقدار زمینه، نشان دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد، نتایج حاصل از ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی از قبیل فاکتور غنی‌شدگی شاخص زمین انباشتگی شاخص آلودگی و پتانسیل ریسک زیست‌محیطی نشان داد که کادمیوم دارای حداقل مقدار سمیت و خطر زیست‌محیطی هستند که به‌نظر می‌رسد این گروه بیشتر متأثر از فرآیندهای طبیعی و زمین‌شناختی در منطقه باشند، در حالی که آرسنیک دارای غلظت‌های بالاتر نسبت به مقدار زمینه هستند و خطرات زیست‌محیطی بیشتری نسبت به فلزات دیگر دارند، زیرا در منطقه بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند. در واقع این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی منجربه تجمع هر چه بیشتر این فلزات در خاک شده است.

منابع

Adriano, D. C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risksof Metals. 2nd ed. New York: Springer.

Arfaeinia, H., Ranjbar Vakil Abadi, D., Seifi, M., Asadgol, Z. & Hashemi, S. E. (2016) Study of Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metals Resulting From the Consumption of Agriculture Product in Different Farms of Dayyer City, Bushehr. Iran South Medicine Journal, 19 (5), 839-854. [In Persian].

Boudaghi, H., Yonesian, M., Mahvi, A. H., Ali Mohammadi, M., Dehghani, M. H. & Nazmara, S. (2012). Cadmium, Lead and Arsenic Concentration in Soil and Underground Water and its Relationship with Chemical Fertilizer in Paddy Soil. Journal Mazandaran University Medicine Science, 21 (1), 20-28. [In Persian].

Chabukdhara, M. & Nema, A. K. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediment: A chemometric and geochemical approach. Chemosphere, 87, 945-953.

Chen, Y. F. (2011). Review of the research on heavy metal contamination of China's city soil and its treatment method. China Population, Resources and Environment, 21(3), 536-539.

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. Environmental International, 30 (6), 779–785.

Han, Y. M., Du, P. X., Cao, J. J. & Posmentier, E. S. (2006). Multivariate analysis of heavymetal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. The Science of the Total Environment, 355, 176-186.

Hernandez, L., Probst, A., Probst, J. L. & Ulrich, E. (2003). Heavy metal distribution in some French forest soil: evidence for atmospheric contamination. The Science of the Total Environment, 312 (1): 195-219.

Hakanson, L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control. Sediment ecologicalapproach. Water Research, 14, 975-1001.

Kabata-Pendias, A. (2001). Trace Element in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton Ann. Arbor. London, pp. 57.

Kariminezhad, M. T., Tabatabaii, S. M. & Gholami, A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impactedurban soils, Ahvaz, Iran. Journal of Geochemical Exploration, 152, 91-109.

Khan, S., Ca, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z. & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soilsand food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution, 152 (3), 686-692.

Li, X. & Huang, C. (2007). Environment impact of heavy metals on urban soils in the vicinity of industrial area of Baoji city, P.R. China. Environmental Geology, 52, 1631-1637.

Li, X. & Feng, L. (2012). Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of We in an industrial areas, Northwest of China. Atmospheric Environment, 47, 58-65.

Liu, G., Yu, Y., Hou, J., Xue, W., Liu, X. & Liu, Y. (2014). An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. Ecology Indicators, 47, 210-218.

Miri, M., Mosavi Bideli, S.M., Mokhtari, M. & Ebrahimi Aval, H. (2017). Survey of Heavy Metals Amounts in Distributed Vegetables in Yazd City. Journal of Sabzevar University of Medical Science, 23 (3), 392-397. [In Persian].

Mirzaei, M., Marofi, S., Solgi, E., Abbasi, M. & Karimi, R. (2017). Evaluation of Heavy Metal Contamination Ecological Risk in a Food-Producing Ecosystem. Journal of Health Research Communication, 3 (2), 1-16. [In Persian].

Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal, 2 (3), 108-118.

Nielsen, F.H. (1997). Trace elements In: Dulbecco R, editor. Encyclopedia of human biology. SanDiego, Academic Press., p. 373-83. Paglica, SC.

Qin, T.C, Wu, Y.S. & Wang, H.X. (1994). Effect of cadmium, lead and their interactions on the physiological and biochemical characteristics of *Brassica chinensis*. Acta Ecologica Sinica, 14 (1), 46-49.

Rahman, S. H., Khanam, D., Adyel, T. M., Islam, M.S., Ahsan, M. A. & Akbor, M. A. (2012). Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. Applied Science, 2 (3), 584-601.

Rehman, Z. U., Khan, S., Qin, K., Brusseau, M. K. and Shah, M. T. & Din, I. (2016). Quantification of inorganic arsenic exposure and cancer risk via consumption of vegetables in southern selected districts of Pakistan. The Science of the Total Environment, 15 (550), 321–329.

Sani, B. (2015). Study on unnecessary elements in leafy vegetables of polluted farmland to heavy metals at around Shahr-e-Qods. Journal of Environmental Geology, 8 (26), 95-102. [In Persian].

Sarpong, K., Darety, E., Boateng, G. O. & Dapaah, H. (2012). Profile of hazardous metals in twenty selected medicinal plant samples sold at Kumasi central market, Ashanti region, Ghana. Global Advanced Research journal of Educational Research and Review, 1 (1), 4-9.

Satarug, S., Baker, J. R. & Urbenjapol, S. (2003). A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. Toxicology Letters, 137, 65-83.

Sayadi, M. H. & Rezaei, M. R. (2014). Impact of land use on the distribution of toxic metals in surface soils in Birjand city, Iran. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 4 (1), 18-29.

Shafiei, N., Shirani, H. & Esfandiarpoor Borujeni, I. (2013). Enrichment of arsenic and selenium in the soils around Sarcheshmeh copper mine. Journal Soil Management, 2, 1-11.

Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X. & Liu, R. (2010). Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. Journal of Hazardous Material, 174, 455-462.

Tabande, L. & Taheri, M. (2016). Evaluation of Exposure to Heavy Metals Cu, Zn, Cd and Pb in Vegetables Grown in the Olericultures of Zanjan Province's Fields. Iranian Journal of Health and Environment, 9 (1), 41-56. [In Persian].

Taghipour, M., Khademi, H. & Ayoubi, Sh. (2010). Spatial variability of Pb and Zn concentration and its relationship with land use a (nd) parent materials in selected surface soils of Hamadan province. Water Soil, 24, 132-144.

Watmough, S. A. & Dickinson, N. M. (1995). Watmough, S.A. and Dickinson, N.M. 1995. Dispersal and mobility of heavy metals in relation to tree survival in an aerially contaminated woodland soil. Environmental Pollution, 90 (2), 135-142.

Wei, B. & Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Micro chemical Journal, 94 (2), 99-107.

Zhang, J. & Liu, C. L. (2002). Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54, 1051-1070.

Evaluation of Health Hazards of Cadmium and Arsenic in Lettuce and Cabbage Cultivated in Khuzestan Province

Z. Moavi [a], Kh. Payandeh [b *], M. Tadayoni [c]

[a] M. Sc. of the Department of Food Science and Technology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

[b] Assistant Professor of the Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

[c] Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: 10 February 2019 Accepted: 18 May 2019

Abstract

Introduction: Cadmium and arsenic have toxicity and can accumulate in food and cause poisoning and disease in the human body. In this research, the amount of contamination of heavy metals, particularly arsenic and cadmium in lettuce and common cabbage and soil in three cities of Hamidieh, Dezful and Ramhormoz in Khuzestan province were investigated.

Materials and Methods: In order to implement the research, 15 samples of lettuce and cabbage cultivars were cultured and 15 soil samples were collected from cities of Hamidieh, Dezful and Ramhormoz in Khuzestan province. The ecological risk of cadmium and arsenic was studied using pollution indices.

Results: The lowest amounts of contaminations in both cabbage and lettuce vegetables concerned with arsenic were found in Dezful at the concentrations of 1.39 and 0.85 ppm while the highest concentrations were observed in Ramhormoz at the levels of 2.44 and 1.49 ppm respectively. Ramhormoz soil indicated the highest concentrations at arsenic (2.24 ppm) while Dezful soil showed the highest amount of cadmium (0.25 ppm). The results showed that heavy metals of arsenic and cadmium in the studied cities had low ecological risk (Er<40) and low risk (IR) risk index (RI<150). The highest risk index is in Hamidieh (32.4) and the lowest risk index is Ramhormoz (11.66).

Conclusion: The results of Health Hazard Index (HI) in lettuce and cabbage were less than 1, indicating that the concentration of these elements in the soil would be hazardous and would have adverse health effects for the consumer.

Keywords: *Arsenic, Cabbage, Cadmium, Health, Lettuce, Toxicity.*

* Corresponding Author: Payandeh426@gmail.com