"Research article" DOI: 10.30495/JFH.2019.669312

Health assessment of heavy metals pollutions in some of imported and cultivated rice of Karoon River (Case study: Shadegan city)

Skandari A. [1], Mohammadi Rozbahani, M.[2*], Payandeh, kh.[3]

1. M.Sc Student of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2. Assistant professor, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
3. Assistant professor, Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
*Corresponding author: mmohammadiroozbahani@yahoo.com
(Received: 2019/1/17 Accepted: 2019/11/12)

Abstract

Heavy metals are one of the most important pollutants that enter the soil in various ways and thus reach agricultural crops. The aim of this study was to determine the concentration of heavy metals in rice grown in farms of Karoon River (from Shadegan city) and to compare their risk assessment with Indian imported rices. To this end, four farms were studied in the village of Umme-Ghazlan (Ahvaz-Darkhovein), and the samples were taken during December 2017. Local soil and rice samples were collected from two points in each farm and three replications were used to determine the concentrations of heavy metals. A total of 24 cultivated rice samples together with 24 soil samples were obtained. Two samples of imported Indian rice, were also tested with 18 replications. The mean concentrations of heavy metals of lead, nickel, arsenic and cadmium in rice samples of downstream farms of Karoon River were 60.40, 28.05, 23.44 and 14.26 mg/Kg, respectively. The contamination levels in the case of imported rice samples were 57.77, 23.24, 15.79 and 9.76 mg/Kg dry weight, respectively. EDI values of lead, cadmium, nickel and arsenic metals among the four tested farms were higher than imported rice. The highest index of EDI in imported rice was related to lead (90.70) and the lowest one was to cadmium (15.33). EDI values of nickel and arsenic were in the second and third ranks. Among the farms, the lowest index of EDI (17.16) was related to cadmium (farm 1) and the highest level (98.31) was related to lead (farm 4). Based on the results, the risk of local rice samples were estimated higher than India's imported ones.

Conflict of interest: None declared.
Keywords: Soil Pollution, Risk Assessment, Rice, Karoon River, Heavy Metals

«مقاله پژوهشی»
DOI: 10.30495/JFH.2019.669312

آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی سلامتی برخی برنج‌های وارداتی و کشت شده پایین‌دست رودخانه کارون (مطالعه موردی: شهرستان شادگان)

آتنا اسکندری[۱]، مریم محمدی روزبهانی[۲*]، خوشناز پاینده[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. استادیار گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳. استادیار گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
*نویسنده مسئول مکاتبات: mmohammadiroozbahani@yahoo.com
(دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۲۷ پذیرش نهایی: ۹۸/۸/۲۱)

چکیده

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌ها هستند که از راه‌های مختلف به خاک نفوذ کرده و از آن طریق به محصولات کشاورزی راه پیدا می‌کنند. این پژوهش با هدف تعیین غلظت فلزات سنگین در برنج کشت شده پایین‌دست رودخانه کارون واقع در شهرستان شادگان و ارزیابی ریسک مصرف آن‌ها با برنج‌های وارداتی هندی انجام شد. بدین منظور ٤ مزرعه در روستای ام‌الغزلان (حدفاصل اهواز ـ دارخوین) در نظر گرفته شد. نمونه‌های خاک و برنج محلی در آذرماه ۱۳۹٦ از دو نقطه موجود در هر مزرعه با ۳ تکرار جمع‌آوری شدند و در مجموع جامعه آماری تعداد ۲٤ نمونه برنج کشت شده و ۲٤ نمونه خاک را در برگرفت. دو نوع برنج وارداتی هندی نیز با ۳ تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، آرسنیک و کادمیوم در برنج‌های مزارع پایین‌دست رودخانه کارون به‌ترتیب ٦۰/٤۰، ۲۸/۰۵، ۲۳/٤۳ و ۱٤/۲٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در برنج‌های وارداتی به‌ترتیب با مقدار ۵۷/۷۷، ۲۳/۲٤، ۱۵/۷۹ و ۹/۷٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد. مقادیر جذب روزانه فلزات سرب، کادمیوم، نیکل و آرسنیک در چهار مزرعه آزمایش شده، بالاتر از برنج وارداتی بود. بالاترین شاخص جذب روزانه در برنج وارداتی مربوط به فلز سرب (۹۰/۷۰) و کمترین میزان این شاخص با (۱۵/۳۳) به فلز کادمیوم اختصاص داشت. مقادیر جذب روزانه فلزات نیکل و آرسنیک در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. در برنج مزارع مورد بررسی کمترین میزان جذب روزانه مربوط به فلز کادمیوم و در مزرعه شماره ۱ (۱۷/۱٦) و بالاترین میزان این شاخص مربوط به فلز سرب و در مزرعه شماره ٤ (۹۸/۳۱) اختصاص داشت. در مجموع مخاطره مصرف برنج‌های محلی نسبت به برنج‌های وارداتی هندی بیشتر برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، ارزیابی ریسک، برنج، رودخانه کارون، فلزات سنگین

مقدمه

امروزه با رشد روزافزون جمعیت، گسترش شهرنشینی و پیشرفت تکنولوژی وسعت آلودگی محیط زیست نیز افزایش یافته و به‌عنوان بخش مهمی از معضلات جوامع بشری تبدیل گردیده است. خاک نیز یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است که همواره دستخوش تغییرات و آلودگی‌های فراوان قرار گرفته و به‌عنوان بستر اصلی زندگی بشر و منبعی برای کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Ihedioha *et al.*, 2016). در این میان فلزات سنگین ازجمله مهم‌ترین آلاینده‌ها بوده که از راه‌های مختلف به خاک نفوذ یافته و از عناصر پایدار در خاک محسوب می‌شوند. مهم‌ترین فعالیت‌های بشر که به‌طور عمده باعث ورود فلزات سنگین به خاک می‌گردند شامل عملیات کشاورزی و استفاده از کودها و آفت‌کش‌های متنوع در خاک، تخلیه انواع پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی، آبیاری خاک‌های کشاورزی با آب‌های آلوده و ته‌نشست مواد آلاینده صنعتی از هوا به خاک می‌باشد (Holdaway *et al.*, 2018).

فلزات سنگین آرسنیک، سرب، نیکل و کادمیوم عمده‌ترین عناصر در خاک هستند که به‌دلیل پتانسیل ایجاد سمیت و غیرقابل تجزیه بودن، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی حائز اهمیت می‌باشند (Hindarwati *et al.*, 2018). هم‌چنین مواجه با این دسته از آلاینده‌ها موجب مسمومیت حاد و مزمن و بیماری ازجمله اختلالات عصبی، بر هم خوردن تعادل هورمون‌ها، اختلالات تنفسی و قلبی، آسیب‌های کبدی و کلیوی، آلرژی و آسم، عفونت‌های ویروسی مزمن، تخریب ژن‌ها، پیری زودرس، کاهش حافظه و پوکی استخوان می‌گردد (Sargoli *et al.*, 2018). رایج‌ترین مسیر ورود فلزات سنگین به بدن انسان زنجیره غذایی است. محصولاتی که در خاک‌های آلوده رشد می‌نمایند، قابلیت جذب و انتقال مواد آلاینده را در زنجیره غذایی داشته و سلامت مصرف‌کنندگان را به خطر می‌اندازند. به این دلیل است که امروزه امنیت غذایی به‌عنوان یکی از مسائل مهم جهانی مطرح گردیده و به‌موازات آن موضوع سلامت غذا نیز هرروز بیشتر از قبل موردتوجه مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی قرار می‌گیرد (Rezai Tabar *et al.*, 2015; Shraim, 2017).

آرسنیک به‌دلیل ایجاد اختلال در سنتز DNA و RNA سبب انواع سرطان شده و خطر ابتلا به انواع سرطان پوست، ریه، مثانه و کلیه را افزایش می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهند که بین آرسنیک و ابتلا به دیابت نیز ارتباط مستقیمی وجود دارد. آرسنیک می‌تواند بر عوامل ژنتیکی انسولین تأثیر بگذارد و یا در آسیب سلولی، التهاب و مرگ سلولی مرتبط با دیابت نیز نقش داشته باشد (Abdul *et al.*, 2015). سرب از طریق جایگزین کردن آهن در ترکیبات موردنیاز برای تولید هموگلوبین، باعث ایجاد کم‌خونی می‌شود هم‌چنین این عنصر می‌تواند از راه تجمع در استخوان‌ها که منبع اصلی کلسیم در بدن به شمار می‌آیند، منجر به کمبود کلسیم در بدن گردد (Zazouli *et al.*, 2010). ازجمله عوارض ناشی از مصرف کادمیوم می‌توان بروز برونشیت، کم‌خونی، سنگ کلیه، ناراحتی‌های مزمن تنفسی و بیماری‌های شدید گوارشی در انسان اشاره نمود. هم‌چنین این عنصر به‌عنوان آلاینده ایجادکننده سرطان دسته‌بندی شده است که تماس مزمن با آن ایجاد نقص در عملکرد کلیه نموده و تماس با غلظت‌های بالای آن باعث مرگ می‌گردد

(Yan *et al*., 2018). فلز نیکل در غلظت‌های کم زیان‌آور نیست، اما مقادیر بالای آن تا حدودی می‌تواند سمی باشد. این فلز در غلظت‌های بالا باعث کاهش وزن بدن، خارش پوست، آسم، برونشیت مزمن و سرطان در انسان می‌گردد (Zambelli *et al*., 2016).

یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات کشاورزی در دنیا برنج بوده که غذای نیمی از مردم کره زمین را تأمین می‌نماید. با توجه به این‌که این محصول سهم قابل‌توجهی را در سبد غذایی روزانه مردم دارا می‌باشد، سلامت و امنیت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Sargoli *et al*., 2018). در این میان برنج‌های کشت شده در مزارع مختلف کشور و برنج‌های وارداتی نیز احتمال آلوده شدن به انواع فلزات سنگین را داشته و به‌عنوان عامل مهمی جهت انتقال آلاینده‌ها به بدن انسان محسوب می‌گردند (Ziarati and Moslehisahd, 2017).

مزارع برنج موجود در پایین‌دست رودخانه کارون واقع در شهرستان شادگان ازجمله شالیزارهایی می‌باشند که اغلب توسط آب این رودخانه آبیاری می‌شوند. علاوه بر این‌که منابع آبی آلوده به انواع پساب‌های شهری و صنعتی عمدتاً جهت آبیاری این اراضی مورداستفاده قرار می‌گیرد، مصرف بیش‌ازحد سموم و کودهای شیمیایی نیز افزایش سطح میزان فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی سبب می‌گردند؛ بنابراین بررسی میزان آلودگی غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک در برنج‌های کشت شده پایین‌دست رودخانه کارون واقع در شهرستان شادگان و ارزیابی ریسک مصرف آن‌ها با چند نمونه برنج وارداتی و هم‌چنین تعیین میزان شدت آلودگی خاک، هدف اصلی این تحقیق بود که می‌تواند به‌منظور مدیریت و ساماندهی اکوسیستم‌های طبیعی مزارع کشاورزی و سالم ماندن محصولات غذایی کشت شده به‌کار رود.

مواد و روش‌ها

- منطقه موردمطالعه

با توجه به وجود منابع آلاینده موجود، ٤ مزرعه در روستای ام‌الغزلان در پایین‌دست رودخانه کارون واقع در جنوب شهر اهواز و شمال شهر دارخوین در نظر گرفته شد. سپس ۲ نقطه در ضلع شمالی و جنوبی هر مزرعه تعیین گشت که به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری جهت برداشت نمونه‌های برنج و خاک انتخاب شدند.

- نمونه‌برداری

به‌منظور نمونه‌برداری از خاک و برنج‌های کشت شده در آذرماه ۱۳۹٦ به ٤ مزرعه در روستای ام‌الغزلان مراجعه شد. نمونه‌های برنج از دونقطه موجود در هر مزرعه و با ۳ تکرار جمع‌آوری شدند؛ بنابراین درمجموع ۲٤ نمونه برنج کشت شده و ۲٤ نمونه خاک نیز از مزارع موردنظر برداشت گردید. ابتدا یک نقطه در ضلع شمالی و یک نقطه در ضلع جنوبی هر مزرعه تعیین گردید. سپس آن نقطه به‌عنوان مرکز یک پلات با ابعاد ۱۰×۱۰ متر در نظر گرفته شد. پس‌ازآن چهار نمونه برنج از چهارگوشه پلات و یک نمونه مرکز آن برداشت گردیده و نمونه جمع‌آوری شده با یکدیگر مخلوط شده و به‌صورت همگن درآمدند. نمونه‌های خاک نیز تا عمق ۱۵ سانتی‌متر توسط بیلچه‌های پلاستیکی برداشت شدند. نمونه‌های برنج وارداتی نیز شامل ۲ نوع برنج هندی (کد A و B) بوده که نمونه‌های مربوط به هر برنج با ۳ تکرار بافاصله زمانی ۱۰ روز آزمایش شده و درمجموع ٦ نمونه برنج وارداتی مورد آنالیز قرار گرفته شدند.

- هضم شیمیایی نمونه‌های برنج

ابتدا نمونه‌ها توسط آب مقطر شسته شده و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ١٠٥ درجه سلسیوس در آون خشک گردید. سپس میزان ١ گرم از نمونه‌های آسیاب شده برنج از الک با چشمه ٠/٣ میلی‌متر عبور داده شده و به بالن هضم منتقل گردید. پس از آن میزان ٤ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به بالن اضافه و مایع به‌دست آمده به‌مدت ٣ تا ٥ دقیقه جوشانده شد. در مرحله بعد نیز میزان ١٦/٥ میلی‌لیتر هیدروژن پر اکسید به بالن اضافه شده و مایع به‌مدت یک دقیقه حرارت داده شد تا کاملاً شفاف گردد. سپس نمونه هضم شده توسط آب دیونیزه به حجم ٥٠ میلی‌لیتر رسیده و با صافی معمولی و سپس با صافی واتمن صاف گردید تا کدورت آن از بین رود. در انتها نیز کلیه نمونه‌ها به دستگاه جذب اتمی تزریق گردیدند و میزان عناصر مورد نظر در هریک از آن‌ها قرائت گردید. سنجش فلزات سنگین موردمطالعه به روش جذب اتمی و سیستم کوره گرافیتی با کمک دستگاه Perkin Elmer 4100 ساخت کشور آمریکا انجام شد (جدول ١). حد تشخیص فلزات توسط این دستگاه جذب اتمی به‌روش کوره در حد ppb بود. صحت داده‌های به‌دست آمده با استفاده از استاندارد مرجع (Standard Reference Materials; SRM) بررسی گردید. برای این کار ابتدا غلظت‌های مختلف استاندارد فلزات سنگین به تعداد ٥ استاندارد ساخته شد و پس از تزریق به دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون عناصر رسم گردید. پس از آن نمونه‌های آماده شده به دستگاه تزریق شد و غلظت موردنظر قرائت گردید (USEPA, 2011).

جدول (١)- محدوده تعیین غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی پرکین المر ٤١٠٠

عنصر	طول‌موج (nm)	حداقل میزان آشکارسازی (mg/L)	آشکارسازی مطلوب (µg/L)	حد تشخیص (mg/L)	حساسیت (mg/L)
کادمیوم	٢٢٨/٨	٠/٤	٠/١-٦	٠/٠٠٢	٠/٠٢٥
نیکل	٢٣٢	٠/٤	٠/٢	٠/٠٢	٠/١٥
سرب	٢٨٣/٣	٥/٢٤	١-١٠٠	٠/٠٥	٠/٥
آرسنیک	١٩٣/٧	-	-	٠/٠١	٠/١

- هضم شیمیایی نمونه‌های خاک

جهت آماده‌سازی نمونه‌های خاک، ابتدا بقایای گیاهی از آن‌ها جدا گردید. سپس نمونه‌ها در ظرف پتری‌دیش ریخته شده و در آون در دمای ١١٠ درجه سلسیوس به‌مدت ٢٤ ساعت حرارت داده و کاملاً خشک شدند. نمونه‌های خشک شده از الک چشمه ٢ میلی‌متر عبور داده شدند. سپس ذرات کوچک‌تر از ٦٣ میکرون جداسازی شده و با استفاده از هاون پودر گردیدند. سپس ١ گرم از نمونه‌های خاک برداشت گردید و در بشر پلی‌اتیلنی قرار داده شد و سپس با اضافه نمودن چند قطره اسیدکلریدریک و اسید فلوئوریدریک به‌میزان ٧ میلی‌لیتر، نمونه‌ها روی حمام آبی و در ١٠٠ درجه سلسیوس تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شدند. پس از هضم نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن‌ها و حرارت ملایم محلولی کاملاً شفاف به‌دست آمد. سپس کلیه نمونه‌ها توسط

اســـیدکلریدریک یک نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسیده و به دستگاه جذب اتمی تزریق گردیدند و میزان عناصر موردنظر در هریک از آن‌ها قرائت گردید (USEPA, 1996).

- جذب روزانه فلزات سنگین

در این مطـالعـه میزان جذب روزانه فلزات ســـنگین سـرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک از طریق مصرف برنج با اســتفاده از رابطه ۱ محاســبه گردید. مصـــرف روزانه فلزات ســـنگین از طریق برنج بر مبنای مصـــرف روزانه برنج هر فرد ایرانی مصـــرف ۱۱۰ گرم برنج در روز و فردی با وزن ۷۰ کیلوگرم تعیین شد (USEPA, 2011):

رابطه ۱: $EDI= C \times S \div Bw$

کـه در آن EDI میزان جـذب روزانـه مزمن فلزات ســـنگین برحســـب mg/kg/day، C میزان غلظت فلز ســـنگین در برنج مصـــرف شـــده برحســـب mg/kg، S متوســـط برنج مصـــرفی روزانه برحســـب g/day و BW متوسط وزن بدن برحسب کیلوگرم می‌باشد. جدول (۲) میزان دریافت قابل‌تحمل روزانه فلزات ســنگین از طریق مصرف برنج را بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد (WHO, 1993).

جدول (۲)- مقادیر قابل‌تحمل دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف برنج بر اساس استاندارد ملی ایران (ISIRI. 12968/ 2016)

فلزات سنگین	سرب	نیکل	کادمیوم	آرسنیک
مقادیر مجاز دریافت روزانه برحسب mg/kg/day	۰/۰۰۳۶	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۱

- شاخص تجمع زیستی

ضـــریب انتقال فلزات ســـنگین به گیاهان که گاهی تحت عنوان نرخ تجمع بیولوژیکی نیز شـناخته می‌شـود روش مناسـبی جهت تعیین میزان جذب عناصـر توسـط گیاهان می‌باشـــد. در این مطالعه با اســـتفاده از رابطه ۲ ضریب انتقال به‌دست آمد:

رابطه ۲: $TF=C \div S$

که در آن TF شـاخص انتقال، C میزان غلظت عنصر در گیاه برحســـب mg/kg و S میزان غلظت عنصـــر در خاک برحسـب mg/kg می‌باشد. درنهایت نیز با توجه به جدول (۳) حالت تجمع و میزان دسترسی فلزات سنگین به گیاه برآورده گردید (Rezai Tabar *et al*., 2015).

جدول (۳)- طبقه‌بندی میزان دسترسی فلزات سنگین به گیاه بر اساس شاخص تجمع زیستی

حالت تجمع (میزان دسترسی)	مقادیر شاخص تجمع زیستی
سندرم کمبود تجمع	<۰/۰۰۱
تجمع ـ دسترسی جزئی	۰/۰۰۱-۰/۰۱
تجمع ـ دسترسی متوسط	۰/۰۱-۱
تجمع ـ دسترسی زیاد	۱-۱۰

- تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS و جهت رسم جداول از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. بررسی نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون آماری Shapiro-Wilk انجام شد. برای مقایسه فلزات سنگین خاک و برنج‌های داخلی و وارداتی با استانداردهای ملی ایران آزمون T با یک نمونه به‌کار گرفته شد. مقایسه میانگین غلظت عناصر نمونه‌های برنج برداشت شده داخلی و وارداتی و هم‌چنین مقایسه میانگین فلزات در بین برنج و خاک مزرعه با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) صورت پذیرفت.

یافته‌ها

بررسی نرمال بودن داده‌ها نشان داد که داده‌های موردبررسی نرمال بودند. چهار مزرعه با یکدیگر ازنظر میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (P<۰/۰۵). میزان نیکل در خاک در مزارع ۳ و ٤ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشت. مقایسه غلظت فلزات سرب، کادمیوم، نیکل و آرسنیک در خاک با استاندارد ملی محیط‌زیست ایران نشان داد که مقادیر به‌دست‌آمده فلزات مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز بود (جدول ٤).

جدول (٤)- میزان غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) فلزات سنگین در خاک مزارع برنج پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان)

فلزات سنگین	استاندارد محیط زیست ایران (mg/kg)	مزرعه				میانگین
		۱	۲	۳	٤	
سرب	۵۰	۷۱/۲۹±۱/۳۱^{a}	۷۹/٦۵±۰/۷۱^{b}	۱۰۵/٦٤±۰/۸۰^{c}	۱۲۸/۱٤±۰/۲۳^{d}	۹٦/۱۸±۱۲/۸۷
کادمیوم	۱	۱۲/۷۵±۱/٦۱^{a}	۱۳/۹۵±۲/۰۸^{a}	۱۷/٤۵±۱/۵۰^{b}	۱۹/٦۰±۱/٤٤^{c}	۱۵/۹۳±۳/۱۹
نیکل	۵۰	۱۰۳/۰٤±٤/۲٦^{a}	۱۱۲/٦۷±۱/۸۹^{b}	۱۲۱/۹۲±۲/٦٤^{c}	۱۲۲/۳۹±۳/۵۰^{c}	۱۱۵±۸/٦۲
آرسنیک	۱۸	۹۲/۳۷±۳/۵۷^{a}	۱۰۰/۲٦±۳/۳۱^{b}	۱۰۷/۳۷±۲/۹٤^{c}	۱۱۵/۸۸±۳/۲۹^{d}	۱۰۳/۹۷±۹/۳۸

$^{(d,c,b,a)}$ غیرمشابه در هر ردیف به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵).

میزان سرب در برنج مزارع ۱ و ٤ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشت (P<۰/۰۵)، اما این فلز در برنج مزارع ۲ و ۳ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند، کادمیوم در مزارع ۱ و ۲ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند، اما مزارع ۳ و ٤ با یکدیگر و با مزارع ۱ و ۲ اختلاف معنی‌دار داشتند (P<۰/۰۵). نیکل در مزارع ۲، ۳ و ٤ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشت. هم‌چنین میزان نیکل در مزارع ۱ و ۲ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشت. آرسنیک در چهار ایستگاه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشت (P<۰/۰۵). مقایسه غلظت فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک با استاندارد ملی ایران (جدول ۵) نشان داد که مقادیر این فلزات در نمونه‌های برنج بالاتر از حد مجاز بود (P<۰/۰۵). (ISIRI. 12968/ 2016).

جدول (۵)- میزان غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) فلزات سنگین در برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان)

فلزات سنگین	استاندارد ملی ایران (mg/kg)	برنج مزرعه ۱	۲	۳	٤	میانگین
سرب	۰/۱۵	۵۹/۰۹±۲/۳۱^{a}	۵۹/۸۲±۲/۳۵^{ab}	٦۰/۳۹±۲/٤٤^{ab}	٦۲/٦۲±۲/۰۱^{b}	٦۰/٤۸±۲/۵۲
کادمیوم	۰/۰٦	۱۰/۹۳±۱/٤۲^{a}	۱۲/۲۹±۱/۹۷^{a}	۱۵/۷۵±۱/۳۱^{b}	۱۸/۰۵±۱/٤۹^{c}	۱٤/۲٦±۳/۲۲
نیکل	-	۲٦/۱۱±۲/٤۳^{a}	۲۷/۸۹±۱/۵۷^{ab}	۲۸/۳۷±۰/۷٤^{b}	۲۹/۸٤±۱/۵۳^{b}	۲۸/۰۵±۲/۰۷
آرسنیک	۰/۱۵	۱۹/٦۹±۱/٤۸^{a}	۲۲/۳۰±۱/۳۳^{b}	۲٤/۳۰±۱/۳۲^{c}	۲۷/٤۱±۱/۱۹^{d}	۲۳/٤۳±۳/۱٤

$^{(d,c,b,a)}$ حروف غیرمشابه در هر ردیف به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵).

غلظت فلزات سرب (۲/۵۲±٦۰/٤۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۳/۲۲±۱٤/۲٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نیکل (۲/۰۷±۲۸/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۳/۱٤±۲۳/٤۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون با اختلاف معنی‌دار بالاتر از سرب (۱/۲۷±۵۷/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۰/۸۹±۹/۷٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نیکل (۰/۳۵±۲۳/۲٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آرسنیک (۰/٦۳±۱۵/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برنج وارداتی بود (P<۰/۰۵). مقایسه غلظت فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک با استاندارد ملی ایران (ISIRI. 12968/ 2016) نشان داده مقادیر این فلزات در نمونه‌های برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون و نمونه‌های برنج وارداتی بالاتر از حد مجاز بود (جدول ٦).

جدول (٦)- میزان غلظت فلزات سنگین در برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان) و برنج وارداتی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات سنگین	استاندارد ملی ایران (mg/kg)	برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون کمینه	بیشینه	میانگین	برنج وارداتی کمینه	بیشینه	میانگین
سرب	۰/۱۵	۵٦/۹۰	٦٤/۷۳	٦۰/٤۸±۲/۵۲^{a}	۵٦/۱٤	۵۹/۱۰	۵۷/۷۷±۱/۲۷^{b}
کادمیوم	۰/۰٦	۹/۲۵	۱۹/۵٦	۱٤/۲٦±۳/۲۲^{a}	۸/۷۲	۱۰/۷۰	۹/۷٦±۰/۸۹^{b}
نیکل	-	۲۳/٦۵	۳۱/٤٤	۲۸/۰۵±۲/۰۷^{a}	۲۲/۸۲	۲۳/۷۰	۲۳/۲٤±۰/۳۵^{b}
آرسنیک	۰/۱۵	۱۸/۱۹	۲۸/۷۲	۲۳/٤۳±۳/۱٤^{a}	۱٤/٦۰	۱٦/۳٦	۱۵/۷۹±۰/٦۳^{b}

$^{(d,c,b,a)}$ حروف غیرمشابه در هر ردیف به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵).

مقادیر جذب روزانه فلزات سرب، کادمیوم، نیکل و آرسنیک در مزارع ۱، ۲، ۳ و ٤ بالاتر از برنج وارداتی بود. بالاترین شاخص جذب روزانه در برنج وارداتی مربوط به فلز سرب (۹۰/۷۰) و کم‌ترین میزان این شاخص با (۱۵/۳۳) به فلز کادمیوم اختصاص داشت. مقادیر جذب روزانه فلزات نیکل و آرسنیک در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. در برنج مزارع موردبررسی کمترین میزان شاخص جذب روزانه مربوط به فلز کادمیوم و در مزرعه شماره ۱ (۱۷/۱٦) و بالاترین میزان این شاخص مربوط به فلز سرب و در مزرعه ٤ (۹۸/۳۱) اختصاص داشت (جدول ۷).

جدول (۷)- مقادیر شاخص EDI در نمونه‌های برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان)

فلزات سنگین	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۳	مزرعه ٤	برنج وارداتی
سرب	۹۲/۷۷	۹۳/۹۲	۹٤/۸۲	۹۸/۳۱	۹۰/۷۰
کادمیوم	۱۷/۱٦	۱۹/۳۰	۲٤/۷٤	۲۸/۳٤	۱۵/۳۳
نیکل	٤۰/۹۰	٤۳/۷۹	٤٤/۵٤	٤٦/۸۵	۳٦/۵۰
آرسنیک	۳۰/۹۲	۳۵/۰۱	۳۸/۱٦	٤۳/۰۳	۲٤/۷۹

بالاترین شاخص تجمع زیستی با ۰/۹۲ مربوط به فلز کادمیوم مزرعه ٤ و کم‌ترین شاخص تجمع زیستی با ۰/۲۱ به فلز آرسنیک مزرعه ۱ تعلق داشت. در هر ٤ مزرعه موردمطالعه کادمیوم بالاترین شاخص تجمع زیستی و آرسنیک کم‌ترین تجمع زیستی را داشت. شاخص تجمع زیستی سرب و نیکل در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند (جدول ۸).

جدول (۸)- مقادیر شاخص تجمع زیستی در نمونه‌های برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان)

فلزات سنگین	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۳	مزرعه ٤
سرب	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/٤۸
کادمیوم	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۲
نیکل	۰/۲۵	۰/۲٤	۰/۲۳	۰/۲٤
آرسنیک	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، آرسنیک و کادمیوم در برنج‌های مزارع پایین‌دست رودخانه کارون بالاتر از برنج‌های وارداتی هندی به‌دست آمد. مزارع برنجی که در نواحی پایین‌دست رودخانه کارون (شهرستان شادگان) قرار گرفته‌اند، توسط آب‌های این ناحیه از رودخانه آبیاری می‌شوند. در این مسیر عوامل متعددی بر کیفیت آب اثر می‌گذارند. از جمله آن‌ها ورود پساب واحدهای صنعتی آلاینده نظیر صنایع آجرپزی و سفال‌سازی به رودخانه کارون می‌باشد. هم‌چنین ورود فاضلاب‌های روستاها و شهرک‌های مختلف در طول مسیر و تخلیه زهاب‌های کشاورزی به درون آب، از دلایل عمده کاهش کیفیت آب در این ناحیه به شمار می‌آیند. از طرفی این مزارع به‌طور مستقیم توسط فاضلاب‌های خام و صنایع فولاد موجود آبیاری شده که تمامی این موارد می‌توانند از علل بالا بودن غلظت عناصر در برنج‌های کشت شده محلی باشند.

بالاترین میزان غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، آرسنیک و کادمیوم در مزرعه شماره ٤ و کم‌ترین میزان این عناصر در مزارع شماره ۱ به‌دست آمد. در خاک نیز بالاترین غلظت عناصر در مزرعه شماره ٤ و پایین‌ترین میزان غلظت در مزرعه شماره ۱ ثبت گردید. هم‌چنین فلز نیکل با میانگین ۱۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین

غلظت را در میان فلزات موردبررسی در خاک دارا بود. مقایسه غلظت فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک با استاندارد ملی ایران نشان داد که مقادیر این فلزات در نمونه‌های برنج بالاتر از حد مجاز بود (ISIRI, 12968, 2016). بالا بودن میزان غلظت سرب، کادمیوم و آرسنیک در خاک نسبت به حد مجاز استاندارد می‌تواند ناشی از آلودگی منطقه به این عناصر باشد، به‌طوری‌که مصرف بالای سموم کشاورزی جهت مبارزه با آفات و استفاده بیش‌ازحد از کودهای فسفاته، ازته، اوره و پتاسیم در منطقه و استفاده از آب‌های آلوده به فلزات سنگین سبب افزایش میزان کادمیوم آرسنیک در خاک شده و ازآنجاکه فلزات سنگین از طریق ریشه به سایر قسمت‌های گیاه راه می‌یابند (Liu *et al.*, 2016)، درنهایت باعث تجمع این فلزات در محصول برنج خواهند شد (Shraim, 2017; Hindarwati *et al.*, 2018).

میزان غلظت عناصر نیکل، کادمیوم و آرسنیک در برنج‌های محلی وارداتی هندی نسبت به حد استاندارد تعیین شده از سوی FAO/WHO بالاتر به‌دست آمد، به طوری‌که می‌توان نتیجه گرفت که ریسک مصرف برنج‌های کشت شده پایین‌دست رودخانه کارون واقع در شهرستان شادگان (حدفاصل اهواز ـــ دارخوین) نسبت به برنج‌های وارداتی هندی بیشتر بود. هم‌چنین کلیه برنج‌های وارداتی و محلی موردمطالعه آلوده به فلزات کادمیوم، آرسنیک و نیکل بوده و خاک‌های مزارع پایین‌دست رودخانه کارون نیز آلوده به عناصر کادمیوم و آرسنیک می‌باشند.

به‌طورکلی غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک در برنج مزارع پایین‌دست رودخانه کارون با اختلاف معنی‌دار بالاتر از میزان آن‌ها در برنج‌های وارداتی است و در این زمینه تغییرات محسوسی بین میزان غلظت فلزات در برنج‌های محلی و وارداتی نمایان است. جذب عناصر سمی به‌وسیله محصول برنج به‌طور عمده به حلالیت و حرکت آن‌ها در خاک بستگی دارد. هم‌چنین خصوصیات خاک مانند pH، ماده آلی، ظرفیت تبادل یونی، پتانسیل اکسیداسیون احیا، مقدار مواد معدنی و اکسیدهای آهن منگنز در این فرآیند نقش دارند. علاوه بر آن نوع عنصر در میزان جذب بسیار مؤثر می‌باشد (Rastmanesh *et al.*, 2017; Yan *et al.*, 2018). در این مطالعه بالاترین میزان شاخص تجمع زیستی در مزارع ۱، ۲، ۳ و ٤ به‌ترتیب ۰/۸۵، ۰/۸۸، ۰/۹۰ و ۰/۹۲ مربوط به فلز کادمیوم به‌دست آمد. به طوری‌که در هر ٤ مزرعه کادمیوم بالاترین میزان تجمع زیستی را به خود اختصاص داد. این عنصر از سمی‌ترین فلزات سنگین موجود می‌باشد که از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه جلوگیری می‌کند (Zazouli *et al.*, 2010)؛ بنابراین مردم این منطقه به‌خصوص افرادی که برنج را به‌عنوان غذای اصلی برای کسب انرژی روزانه مصرف می‌نمایند به‌طور اجتناب‌ناپذیری در معرض مقادیر معنی‌داری از فلز سنگین کادمیوم همراه با مصرف برنج می‌باشند. ازاین‌رو خطر سلامتی با مصرف کادمیوم از طریق نمونه‌های برنج محلی شهرستان شادگان بالا بوده و این خطر با مصرف هم‌زمان سبزیجات، ماهیان و غذاهای حاوی فلزات سنگین نیز به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

نتایج شاخص میزان جذب روزانه نشان داد که میزان جذب روزانه عناصر سرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک از طریق برنج‌های محلی و وارداتی بسیار بالاتر از حد مجاز مصرف روزانه قابل‌تحمل پیشنهاد شده از سوی

FAO/WHO می‌باشد که به‌ترتیب در مورد عناصر سرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز برای فلزات مذکور ارائه گردیده است؛ بنابراین با توجه به بالا بودن میزان جذب روزانه این عناصر و تجمع زیستی آن‌ها در زنجیره غذایی احتمال بروز اثرات نامطلوب بر بدن از طریق مصرف این‌گونه برنج‌ها بسیار افزایش می‌یابد. درواقع ویژگی بارز این فلزات پایداری آن‌ها می‌باشد. این عناصر مانند مواد آلی طی فرآیندهای زیست‌شیمیایی تجزیه نمی‌گردند (Rezai Tabar *et al.*, 2015)، درنتیجه با تجمع در مواد غذایی همچون برنج و یا تجمع بیولوژیکی در بافت‌های بدن باعث آسیب‌های مهمی در اندام‌های مختلف بدن می‌شوند (Sargoli *et al.*, 2018). بالاترین میزان شاخص میزان جذب روزانه در برنج‌های وارداتی و محلی مربوط به فلز سرب و کمترین میزان آن مربوط به فلز کادمیوم می‌باشد. در برنج مزارع موردبررسی بالاترین میزان شاخص میزان جذب روزانه فلزات سرب، نیکل، آرسنیک و کادمیوم در مزرعه شماره ٤ و کم‌ترین میزان این شاخص در مورد مزرعه شماره ۱ برای فلزات مذکور به‌دست آمد که این امر نشان دهنده آلودگی بیشتر مزرعه شماره ٤ نسبت به مزارع دیگر می‌باشد. درمجموع با توجه به محاسبه شاخص جذب روزانه مزمن فلزات سنگین از طریق مصرف برنج‌های محلی مشخص گردید میزان شاخص میزان جذب روزانه مربوط به فلزات سنگین در هر ٤ مزرعه بسیار بالا بوده و سرب، نیکل، کادمیوم و آرسنیک از طریق برنج‌های محلی بالاتر از حد مجاز مصرف روزانه قابل‌تحمل پیشنهاد شده توسط FAO/WHO می‌باشد.

در مطالعه‌ای که به بررسی میزان انتقال فلزات سنگین از خاک به برنج و انتقال آن‌ها به زنجیره غذایی صورت گرفت، مشخص گردید که مصرف برنج‌های کشت شده در مزارع سبب جذب میزان بالایی از فلزات سنگین سرب و نیکل در بدن گردیده و آبیاری اراضی توسط پساب‌های صنعتی میزان تجمع این فلزات را در برنج‌های زراعی به میزان بالاتر از حد استاندارد افزایش داده است. (Bilo *et al.*, 2015). میانگین غلظت عناصر کادمیوم و سرب در نمونه‌های خاک شالیزارهای پایین‌دست رودخانه یانگ تسه به‌ترتیب برابر ۲/۳۷ و ٦۷/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. (Liu *et al.*, 2016). در مطالعه حاضر نیز میانگین غلظت عناصر کادمیوم و سرب در نمونه‌های خاک به‌ترتیب برابر ۱۹/٦۰ و ۱۲۸/۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد که این میزان کمی بالاتر از نتایج سایر مطالعات می‌باشد (Liu *et al.*, 2016). هم‌چنین شاخص میزان جذب روزانه مربوط به فلزات سرب و کادمیوم از طریق برنج‌های محلی و وارداتی بالاتر از حد مجاز مصرف روزانه قابل‌تحمل پیشنهاد شده توسط FAO/WHO ثبت گردید که از این نظر با یافته‌های حاصل از سایر پژوهشگران مشابهت نشان داد (Liu *et al.*, 2016). میزان غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در دانه‌های برنج آدا در کشور نیجریه برابر ۳/۹۹، ۳/۱۲ و ۱/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد که مقایسه این نتایج با میزان دامنه غلظت فلزات سنگین در این مطالعه میزان بالایی از اختلاف را نشان می‌دهد. هم‌چنین محاسبه میزان جذب روزانه کادمیوم و سرب مصرفی حاکی از بالا بودن این مقدار نسبت به استاندارد

FAO/WHO بوده است که از این نظر با یافته‌های مطالعه حاضر مشابهت دارد (Ihedioha *et al*., 2016).

میزان شاخص تجمع زیستی فلز کادمیوم در برنج‌های کشت شده شهر مدینه در حدود ۰/۹۱ گزارش شده است و مشخص شده که فلز کادمیوم به‌راحتی جذب برنج‌های زراعی شده و از این راه به زنجیره غذایی انتقال می‌یابد (Shraim, 2017). در مطالعه حاضر نیز بالاترین میزان شاخص تجمع زیستی در مزارع با میانگین کلی ۰/۸۸ مربوط به فلز کادمیوم گزارش گردید و از این نظر با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک‌های شالیزاری و مزارع برنج موجود در شهر سمارانگ کشور اندونزی پایین‌تر از حد استاندارد تعیین شده از سوی FAO/WHO گزارش شده است و میزان شاخص تجمع زیستی کادمیوم در نمونه‌های برنج نیز در حدود ۰/۷٤ گزارش گردید (Hindarwati *et al*., 2018). در مطالعه حاضر نیز میزان غلظت فلز سنگین سرب پایین‌تر از حد مجاز و میزان فلز سنگین کادمیوم بالاتر از حد مجاز تعیین شده در خاک به‌دست آمد. هم‌چنین میزان شاخص تجمع زیستی کادمیوم در برنج‌های کشت شده پایین‌دست رودخانه کارون در حدود ۰/۸۸ و کمی بالاتر از مطالعه مذکور تعیین شد. در مطالعه‌ای، میزان کادمیوم در برنج‌های کشت شده در مناطق صنعتی کشور چین بالاتر از حد مجاز استاندارد گزارش شد و میزان ضریب انتقال کادمیوم در برنج بسیار بالا گزارش شد که از این نظر بامطالعه حاضرهم‌خوانی دارد (Holdway & *et al*. 2018).

در مطالعه محققان دیگر بیش‌ترین آلودگی خاک در شالیزارهای برنج شهرستان‌های اهواز و باوی مربوط به عناصر آرسنیک و کادمیوم و کاملاً مشابه بامطالعه حاضر به‌دست آمد و نشان داد که غلظت کادمیوم ناشی از استفاده بیش‌ازحد کودهای فسفاته حاوی کادمیوم و افزایش غلظت آرسنیک نیز ناشی از کودهای معدنی، اوره و پتاسیم مورداستفاده در مزارع برنج می‌باشد. (Rastmanesh & *et al*. 2017). هم‌چنین در مطالعه‌ای میزان کادمیوم و سرب در تمامی برنج‌های وارداتی شهرستان دزفول کمتر از حد مجاز استاندارد و میزان آرسنیک نیز در اکثر نمونه‌های وارداتی بیش‌ازحد مجاز استاندارد ارائه شده توسط سازمان غذا و دارو گزارش شده است، درحالی‌که میزان غلظت عناصر کادمیوم و آرسنیک در برنج‌های هندی مطالعه حاضر بالاتر از حد مجاز استاندارد تعیین شده به‌دست آمد و تنها میزان غلظت سرب پایین‌تر از حد مجاز گزارش گردید. (Sargoli & *et al*. 2018).

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Abdul, K., Mangala, P. and Desilva, C. (2015). Arsenic and human health Effects: A review. Journal of environmental Toxicology and pharmacology, 40(3): 828-846.
- Bilo, F.,Lodolo, M., Borgese, L., Bosio, A., Bontempi, E. (2015). Evaluation of heavy metals contamination from environment to food matrix by txrf: the case of rice and rice husk. Journal of Chemistry, 34:81-92.

- Hindarwati, Y., Retnaningsih, T. and Sudarno, M. (2018). Heavy metal content in terraced rice fields at srawen tengran Semarang Indonesia. Journal of Accumulation in foods and crops, 31: 99-104.
- Holdway, J.,Wuyi,W. and Halm, S. (2018). From soil pollution to "cadmium Rice"to public health Impacts: An international analysis of influencing factors and possible responses. Journal of Resource and Ecology, 5(1): 1-2.
- Ihedioha, J., Ujam, O., Nwuche, C. and Chime, C. (2016). Assessment of heavy metal contamination of rice rains (*Oryza sativa*) and soil from ada fiel, Enugn, Nigeria: Estimating the human health risk. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 22(8): 1665-1677.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI), (2016). ISIRI No. 12968. [In Persian]
- Liu, Z., zhang, Q., Han,T., Ding, Y. and Zhu, C. (2016). Heavy metal pollution in a soil-rice system in the Yangtze River Region of china.International Journal of Environmental Research and public health. 13(1):63-71.
- Rastmanesh, F., Hosna, Z. and Zarasvandi, A. (2017). Evaluation of Heavy Metals Pollution in Soil Field of Agriculture of Ahwaz and Bawi, Proceedings of the Fourth Scientific-Research Congress on the Development and Promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran, Tehran: Tehran University, pp. 762-753. [In Persian]
- Rezai Tabar S., Esmaili Sari A. and Bahrami Far, N. (2015). Investigation of mercury concentration in soil and most cultured rice of Mazandaran province and most consumed imported rice and assess potential health risk. Food Science and Technology, 13(53): 25-32. [In Persian]
- Sargoli, M.R., Shams, K. and Kobraee, S. (2018). Measurement of Heavy Metals, Lead, Cadmium and Arsenic in the Imported Rice Consumed in Dezful. Scientific Research Applied Biology, 8(29): 31-38. [In Persian]
- Shraim, A., Amjad,M. and Dana, S. (2017). Rice is Potential dietary source of not only arsenic but also other toxic elements like lead and chromium. Arabian Journal of chemistry, 10(2):3434-3443.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1996). Method 3050B: Acid digestion of sediments, Aludges and Soils (Revision 2).
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2011). Risk Assessment Guidance for Superfund (Part E, Part F); EPA: Washington, DC, USA.
- World Health organization (WHO). (1993). Evaluation of certain food additives and contamination (41 st report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives). WHO tech report series. No 837.
- Yan, X., Liu, M., Zhong, J. and Wu, W. (2018). How human activities affect heavy metal contamination of soil and sediment in a long term reclaimed area of the liaohe river delta, North china. Journal of Sustainability. 10(2):46-53.
- Zambelli, B., Sadan, S. and Jian, N. (2016). Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. Journal of Human and Health. 2(5):89-95.
- Zazouli, M.A., Mohsenibandpei, A., Ebrahimi, M. and Izanloo, H. (2010). Investigation of Cadmium and Lead contents in Iranianrice cultivated in Babol Region. Asian Journal Chemistry. 22 (2):1369-1376.
- Ziarati, P. and Moslehisahd, M. (2017). Determination of Heavy Metals (Cd, Pb, Ni) in Iranian and Imported Rice Consumed in Tehran. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology. 12(2): 97-104. [In Persian]