

Cadmium, Lead and Chromium contents in rice (champa) produced in the Mobarakeh County in 2009

Amir Shadborestan¹, Elahe Khaksar², Mohamad Shokrzadeh^{3*}, Mahmoud Taghavi⁴

¹ Pharmaceutical Sciences Research Center, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

² Department of Environmental Health, Faculty of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Pharmaceutical Sciences Research Center, Department of Toxicology and Pharmacology, Faculty of Pharmacy, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

⁴ Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

(Received December 18, 2012; Accepted February 21, 2013)

Abstract

Introduction: Since, rice is the main source of food for the majority of people in the world, including Iran, determine of concentration and distribution of heavy metals in rice plants is important. The aim of this study was to determine cadmium, chromium and zinc concentrations in rice produced of the Mobarakeh County.

Material and Method: Sampling was conducted based on stratified random method from 10 cities and villages. Three samples were taken from any place and then mixed together. The samples were prepared based on ASTM (2000) method and the concentrations of cadmium, lead and chromium were determined. In order to perform calculations, describe and analyze of the data, Excel and SPSS 15 software's and T-Test statistical test was used.

Results: The mean concentration of cadmium in samples was 0.178 ± 0.048 mg / kg. Cadmium concentration in the 40 percent of combined samples was equal to or greater than the standard rate. Average concentrations of lead and chromium in the samples were 0.176 ± 0.056 and 0.148 ± 0.055 mg/kg dry weight respectively. Lead and chromium concentrations were less than the FAO/WHO standards in all samples and this difference was statistically significant ($P < 0.001$).

Discussion and Conclusion: Only in few cases, the concentration of cadmium was upper than standard rate but lead and chromium concentration in all samples were below standards. Weekly intake of cadmium, chromium and lead were below the acceptable or tolerable levels recommended by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. So, the serious risk does not threat the public health.

Keywords: Heavy metal, Rice, Weekly Intake.

بررسی غلظت کادمیوم، کروم و سرب در برنج چمپا شهرستان مبارکه در سال ۱۳۸۸

امیر شادبورستان^۱، الهه خاکسار^۲، محمد شکرزاده^۳، محمود تقوی^۴

چکیده

سابقه و اهداف: از آنجایی که برنج منبع اصلی غذایی برای اکثریت مردم دنیا از جمله ایران را تشکیل می‌دهد، تعیین غلظت و توزیع فلزات سنگین در گیاه برنج اهمیت زیادی دارد. هدف از این تحقیق، برآورد میزان فلزات سنگین کادمیوم، کروم و سرب در برنج تولیدی شهرستان مبارکه است.

مواد و روشها: این مطالعه از نوع توصیفی - مقطعی بوده است. نمونه برداری با روش تصادفی طبقه بندی شده، از ۱۰ شهر و دهستان شهرستان مبارکه صورت گرفت. از هر شهر و یا دهستان، سه نمونه برداشت شد و سپس با هم مخلوط گردید. آماده سازی نمونه‌ها براساس روش ذکر شده در (A.S.T.M(2000 صورت گرفت و غلظت کروم، سرب و کادمیوم تعیین شد. به منظور انجام محاسبات، توصیف و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای Excel و SPSS 15 و آزمون آماری T-Test استفاده شد.

یافته ها: میانگین غلظت کادمیوم در نمونه‌های برداشتی 0.048 ± 0.178 mg/kg بود. غلظت کادمیوم در ۴۰ درصد از نمونه‌های مرکب، برابر و یا بیشتر از میزان استاندارد بود. میانگین غلظت سرب و کروم در نمونه‌ها به ترتیب برابر 0.059 ± 0.176 و 0.148 ± 0.055 برحسب وزن خشک بود. غلظت سرب و کروم در تمامی نمونه‌ها، کمتر از حد استاندارد تعیین شده توسط FAO/WHO بودند و این اختلاف از نظر آماری معنادار بود ($P < 0.001$).

استنتاج: تنها در برخی موارد غلظت کادمیوم از حد استاندارد گذشته بود و تمامی نمونه‌ها از نظر سرب و کروم پایین تر از حد استاندارد بودند. میزان دریافت هفتگی کادمیوم، کروم و سرب پایین تر از حد استاندارد تعیین شده توسط کمیته قانون گذاری افزودنی‌ها و آلاینده‌های غذایی FAO/WHO بود. لذا خطر جدی سلامت عمومی را تهدید نمی‌کند.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، برنج، دریافت هفتگی

مقدمه

کادمیوم و سرب را به محیط‌های طبیعی وارد کرده‌اند که سبب آلودگی گسترده به فلزات سنگین در سطح جهانی شده است (۱-۲). علاوه براین، به دلیل استفاده

بسیاری از فعالیت‌های انسانی، نظیر آماده‌سازی چرم، آبکاری فلزات و تولید باتری‌های نیکل-کادمیوم و غیره، مقادیر زیادی از فلزات سنگین نظیر کروم،

مؤلف مسئول: محمد شکرزاده - ساری: کیلومتر ۱۸ جاده خزر آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم- دانشکده داروسازی E-mail: mslamuk@yahoo.com

۱. گروه سم‌شناسی و فارماکولوژی، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. گروه بهداشت محیط، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. گروه سم‌شناسی و فارماکولوژی، مرکز تحقیقات علوم دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۴. گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۲۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۲/۳

نادرست از پساب‌های صنعتی، لجن فاضلاب و کودهای غیر آلی حاوی فلزات سنگین، خاک‌های کشاورزی نیز در بسیاری از مناطق آلوده شده‌اند. این فلزات توسط گیاهان جذب می‌شوند و قادرند از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان نیز راه یابند و در نتیجه به عنوان یک تهدید بزرگ برای سلامتی مطرح شوند (۱، ۳). دریافت فلزات سنگین، حتی در مقادیر اندک، در دراز مدت منجر به اختلال در عملکرد ارگان‌های بدن و بیماری‌های مزمن می‌شود. در پستانداران کادمیوم در بدن وجود ندارد و با گذشت زمان در بدن به ویژه در کبد و کلیه تجمع می‌یابد. کادمیوم در طبیعت وجود دارد و از طریق زنجیره غذایی وارد بدن شده و باعث آنمی، افزایش فشار خون و آسیب جدی به کلیه، ریه و استخوان‌ها می‌شود (۴).

اگرچه استنشاق نقش مهمی در مواجهه با فلزات سنگین در مکان‌های بسیار آلوده دارد، اما جذب از طریق رژیم غذایی، اصلی‌ترین راه مواجهه با فلزات سنگین برای اکثر مردم است (۳، ۵). بنابراین آگاهی در خصوص غلظت فلزات سنگین در فرآورده‌های غذایی و میزان جذب آن‌ها از طریق رژیم غذایی، به منظور ارزیابی خطر آن‌ها برای سلامت انسان بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۵). برنج غذای اصلی برای بیش از ۴۰ درصد از جمعیت جهان محسوب می‌شود (۶). در کشورهای آسیایی نیز برنج از اصلی‌ترین غذاها محسوب می‌شود و دومین غذای پر مصرف در بین ایرانیان می‌باشد (۷). در حدود ۶۳۰۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی در ایران زیر کشت برنج با تولید ۳/۲ میلیون تن در سال می‌باشند (۸). از این رو تعیین میزان فلزات سنگین در برنج مصرفی در ایران اهمیت زیادی دارد. تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است. غلظت کادمیوم در برنج تولیدی در تایلند در محدوده ۰/۰۲۵-۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۶). Cao و همکاران غلظت کروم، مس، روی، کادمیوم، جیوه و سرب در برنج منطقه جیانگ‌سو را به

ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۶۴، ۱۲، ۰/۱۴، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش کردند (۵). میزان کادمیوم و سرب در برنج اوریزا ساتیوا تولیدی در شمال ایران به ترتیب برابر با ۰/۴۱ و ۲/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود (۴). براساس تحقیق ززولی و همکاران متوسط دریافت هفتگی کادمیوم از طریق برنج در قائمشهر ۷/۷ میکروگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در هفته بود که تقریباً ۱۰ درصد بیش از حداکثر دریافت هفتگی توصیه شده توسط WHO/FAO بود (۹).

با توجه به ضرورت بررسی میزان فلزات سنگین در برنج، این مطالعه با هدف تعیین میزان کادمیوم، کروم و سرب در برنج تولیدی شهرستان مبارکه و محاسبه میزان دریافت روزانه و هفتگی این فلزات با توجه به غلظت آن‌ها در برنج انجام شد.

مواد و روشها:

این مطالعه یک مطالعه توصیفی-مقطعی می‌باشد که در پائیز سال ۱۳۸۸ بر روی محصول برنج‌های تولیدی در شهرستان مبارکه انجام شد. نمونه‌برداری از ۱۰ بخش شهرستان مبارکه (از هر کرت مزرعه برنج تولیدی در هر منطقه تولید برنج در این شهرستان) صورت گرفت. از هر بخش، سه نمونه ۱۰۰ گرمی، از سه مزرعه متفاوت واقع در ناحیه مرکزی کشت برنج در محل برداشت، که شرایط یکسان داشته‌اند تهیه و سپس از هر نمونه، ۲ گرم برای سایر مراحل آماده سازی توزین شد. برنج مورد مطالعه در این تحقیق از نوع چمپا بود (۱۰، ۷، ۶، ۵). نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌ها به وسیله روش هضم اسیدی نیتریک پرکلریک اسید براساس روش استاندارد ASTM هضم شدند (۱۱، ۹). نمونه برنج در یک محلول غلیظ اسید نیتریک و پرکلریک (۷۰٪) با نسبت ۳:۱ مخلوط شد (به میزان ۲۰ میلی‌لیتر به ازای هر گرم از نمونه). ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به ازای هر گرم از نمونه افزوده شد. نمونه زمانی که کمتر از ۳ میلی‌لیتر

جدول شماره ۱: میزان فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های برنج برداشت شده از مناطق مختلف شهرستان مبارکه (N=30)

| ردیف | محل نمونه برداری | تعداد نمونه | سرب | کادمیوم | کروم |
|------|------------------|-------------|------|---------|------|
| ۱ | وزیر آباد | ۳ | ۰/۲۱ | ۰/۰۹ | ۰/۲۵ |
| ۲ | کلماران | ۳ | ۰/۲۷ | ۰/۱۵ | ۰/۱۷ |
| ۳ | دیزیچه | ۳ | ۰/۱۱ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ |
| ۴ | دهنو | ۳ | ۰/۲۳ | ۰/۲ | ۰/۰۹ |
| ۵ | کوشکیچه | ۳ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۶ |
| ۶ | سرخه | ۳ | ۰/۱۹ | ۰/۲۳ | ۰/۱۹ |
| ۷ | آسیاباد | ۳ | ۰/۲۲ | ۰/۱۹ | ۰/۲ |
| ۸ | درچه | ۳ | ۰/۱۶ | ۰/۱۵ | ۰/۰۸ |
| ۹ | نوگرونی | ۳ | ۰/۱۱ | ۰/۲۲۶ | ۰/۱ |
| ۱۰ | دهنومرکزی | ۳ | ۰/۰۹ | ۰/۲۴ | ۰/۱۳ |

کمیسیون قانون گذاری افزودنی های غذایی و آلاینده های مواد غذایی، میزان دریافت هفتگی مجاز (PTWI) برخی از فلزات سنگین در حیوانات نظیر برنج را پیشنهاد کرده است. JECFA میزان دریافت هفتگی مجاز را برای کادمیوم، سرب و کروم به ترتیب ۰/۷، ۲۳/۳ و ۲۵ میکروگرم به ازای وزن بدن تعیین کرده است (۱۱-۹). دریافت هفتگی کادمیوم، سرب و کروم در این مطالعه در جدول شماره ۲ ارائه شده است. براساس این مطالعه میانگین دریافت هفتگی برای کادمیوم، کروم و سرب، به ترتیب، ($\mu\text{g/kg body weight/week}$) 42/3 و 85/2 و ۳/۳۸ محاسبه شد. جدول شماره ۲ نشان می دهد دریافت کادمیوم و سرب در برنج در این مطالعه در مقایسه با مطالعات مشابه در کشورهای دیگر کمتر بوده است.

جدول شماره ۲: میزان دریافت کادمیوم، سرب و کروم از طریق مصرف برنج

| کادمیوم | سرب | کروم |
|---------------------------------------|-----------|-----------|
| ۰/۱۷۸ | ۰/۱۷۶ | ۰/۱۴۸ |
| میزان در برنج ($\mu\text{g/g}$) | | |
| دامنه | | |
| ۰/۰۹-۰/۲۴ | ۰/۰۹-۰/۲۷ | ۰/۰۸-۰/۲۵ |
| جذب هفتگی | | |
| ($\mu\text{g/kg body weight/week}$) | | |
| ۳/۴۲ | ۳/۳۸ | ۲/۸۵ |
| دامنه | | |
| ۱/۶۶-۴/۹۸ | ۱/۶۶-۵/۶۱ | ۱/۴۷-۵/۱۹ |

محلول شفاف به دست آمد تا دمای جوش حرارت داده شد و رقیق شد (۴). به منظور سنجش فلزات از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی استفاده شد. به منظور اطمینان از صحت اندازه گیری، غلظت فلزات در نمونه ها با دوبار تکرار تعیین شد. مصرف روزانه برنج در کشورهای آسیایی در دامنه ای از ۱۷۸-۱۵۸ و به طور میانگین ۱۶۰ گرم به ازای هر شخص در روز بوده است که این مقدار به منظور محاسبه دریافت هفتگی فلزات (PTWI) کادمیوم، کروم و سرب) از طریق برنج لحاظ شد (۱۳، ۱۲). به منظور توصیف و تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS 15 و آزمون آماری T-Test One-Sample استفاده شد.

میانگین غلظت کادمیوم، سرب و کروم در نمونه های برداشت شده از شهرستان مبارکه در جدول شماره ۱ آمده است. بطور کلی میانگین غلظت کادمیوم در نمونه های برداشتی $048/0 \pm 178/0$ mg/kg بود. کمیته قانون گذاری افزودنی ها و آلاینده های غذایی FAO/WHO استاندارد کادمیوم در برنج را $2/0$ mg/kg تعیین کرده است (۱۰). غلظت کادمیوم در ۴۰ درصد از نمونه های مورد بررسی، برابر یا بیشتر از میزان استاندارد بود. اختلاف معناداری در میانگین با استاندارد مربوطه مشاهده نشد. ($P=0.178$)

میانگین غلظت سرب و کروم در نمونه ها به ترتیب برابر $059/0 \pm 176/0$ mg/kg و 0148 ± 0055 بر حسب وزن خشک بود. حداقل و حداکثر غلظت آن ها در نمونه ها به ترتیب برای سرب $09/0 - 27/0$ mg/kg و برای کروم $008/0 - 25$ mg/kg بود. در مورد سرب و کروم، کمیته قانون گذاری افزودنی ها و آلاینده های غذایی FAO/WHO، به ترتیب میزان $3/0$ mg/kg و ۱ را به عنوان استاندارد تعیین کرده است (۵-۴). غلظت سرب و کروم در تمامی نمونه ها، کمتر از حد استاندارد تعیین شده توسط FAO/WHO بودند و این اختلاف از نظر آماری معنادار بود ($P<0.001$).

| | | | |
|---|-----|-----|------|
| جذب هفتگی قابل تحمل محلی ($\mu\text{g/kg body weight/week}$) | ۷ | ۲۵ | ۲۳/۳ |
| میزان استاندارد FAO/WHO در برنج (mg/kg) | ۰/۲ | ۰/۳ | ۱ |

طبق نتایج این مطالعه ۴۰ درصد از نمونه‌ها دارای میزان کادمیوم بالاتر از استاندارد بودند ولی تمامی نمونه‌ها از نظر سرب و کروم پایین تر از حد استاندارد بودند. یکی از دلایل احتمالی میزان بالای کادمیوم در نمونه‌های برنج، می‌تواند مصرف نادرست کودهای شیمیایی فسفات، لجن فاضلاب و کمپوست در مزارع برنج باشد (۱۶-۱۴). افشار و همکاران، میزان کادمیوم در برنج آمل (یک نوع برنج ایرانی) را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که غلظت کادمیوم در برنج آمل mg/kg 09/0 بوده است. بررسی‌های خانی و همکاران نیز نشان داد که غلظت کادمیوم در برنج خام تولید شده در شمال ایران بطور میانگین mg/kg 34/0 و در دامنه‌ای از ۰/۲۵ تا mg/kg 45/0 بوده است که نسبت به نتایج مطالعه حاضر مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. این مطالعات همچنین نشان دادند که میزان کادمیوم خاک به تدریج از mg/kg 33 در سال ۱۹۹۸ تا mg/kg 34 در سال ۱۹۹۹ افزایش یافته است (۴).

میزان دریافت هفتگی کادمیوم، کروم و سرب در مطالعه حاضر به ترتیب، ($\mu\text{g/kg body weight/week}$) 42/3، 85/2 و ۳/۳۸۸ تعیین شد که پایین تر از حد استاندارد تعیین شده توسط کمیته قانون‌گذاری افزودنی‌ها و آلاینده‌های غذایی FAO/WHO بودند. براساس مطالعه جاهد و همکاران، میزان دریافت هفتگی کادمیوم و سرب در ایران (از طریق مصرف برنج تولید شده در شمال ایران) به ترتیب $\mu\text{g/kg body weight/week}$ 89/7 و ۴۲/۲۳ و بیشتر از حداکثر میزان جذب هفتگی توصیه شده، بوده است. میزان جذب هفتگی کادمیوم از طریق برنج، برای مردم تایوان تنها ۳ درصد از کل رژیم غذایی است در حالی که این

میزان در ژاپن ۳۲-۷ درصد است. تقریباً ۵۰ درصد جذب روزانه کادمیوم مردم اندونزی از طریق برنج است (۴). طبق بررسی‌های Fangmin و همکاران در مناطق مختلفی از جنوب چین بر روی غلظت سرب در برنج ژاپنی، مشخص شد که ۱۵/۲ درصد از کل نمونه‌ها دارای غلظتی فراتر از حداکثر غلظت مجاز تعیین شده در استاندارد ملی ($\mu\text{g/kg}$ 2/0) در برنج آسیاب شده بودند (۱۷). میزان جذب روزانه کادمیوم و سرب از طریق برنج در ژاپن در طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰، به ترتیب $\mu\text{g/g}$ 191/8 و ۳۶۳ بوده است (۱۲). میانگین دوز دریافتی روزانه سرب و کادمیوم (ADD) برای بزرگسالان بومی در یکی از ایالت‌های غربی چین از طریق مصرف خوراکی شامل برنج و آب آشامیدنی و بلع تصادفی خاک، به ترتیب $\mu\text{g/(kg.d)}$ 7/7 و ۰/۱۱۹ برآورد شد (۱۸).

در سال ۱۳۸۵ میزان انباشت کادمیوم و سرب در زمین‌های کشاورزی شهرستان مبارکه مورد بررسی قرار گرفت، در این مطالعه فعالیت‌های کشاورزی نظیر استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، لجن فاضلاب و کمپوست به عنوان مسیرهای ورود فلزات سنگین در نظر گرفته شدند. میانگین میزان ورود کادمیوم به خاک از طریق کودهای حیوانی و کودهای فسفره به ترتیب ۱/۲۴ و ۳/۸۸ گرم در هکتار در سال، گزارش شده است و میزان ورود کادمیوم به خاک این شهرستان از طریق کمپوست و لجن فاضلاب نسبت به سایر ورودی‌ها ناچیز بود. به طور کلی سهم هریک از مسیرهای کودهای حیوانی، کودهای فسفره، کمپوست و لجن فاضلاب به ترتیب ۰/۲۴، ۲۴/۲۱، ۰/۷۵ و ۰/۰۴ درصد بوده است (۱۶). میزان تجمع کادمیوم ۳/۱۸ گرم در هکتار در سال گزارش شد. کارخانه‌های ذوب و تصفیه فلزات نیز از منابع اصلی ورود غیرطبیعی فلزات سنگین به جو به شمار می‌روند که در نهایت منجر به آلودگی منابع آب و خاک در منطقه تحت تاثیر این کارخانه‌ها می‌شود (۱۵). شاید بتوان گفت افزایش میزان

غلظت آن در خاک خطی نیست، با افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک، جذب و ورود این فلزات به زنجیره غذایی از طریق محصولات کشاورزی، در آینده افزایش خواهد یافت (۱۶). نتایج این مطالعه نشان داد به جز تعداد کمی از نمونه‌ها، در بقیه موارد غلظت کادمیوم از حد استاندارد تعیین شده توسط FAO/WHO کمتر بوده است. میزان بالای کادمیوم در برخی نمونه‌ها را می‌توان به استفاده از کمپوست و لجن فاضلاب توسط تعداد معدودی از کشاورزان و آلودگی نقطه‌ای به کادمیوم نسبت داد. میزان سرب و کروم نیز در تمامی مناطق مورد بررسی شهرستان مبارکه از حد استاندارد تعیین شده کمتر بوده است. میزان دریافت هفتگی کادمیوم، سرب و کروم از طریق مصرف برنج تولید شده در شهرستان مبارکه بسیار پایین تر از حداکثر مقدار قابل قبول دریافت هفتگی می‌باشد و از این نظر خطر جدی سلامت عمومی را تهدید نمی‌کند. با این وجود، از آنجائی که روند رو به رشد تجمع فلزات سنگین در خاک مناطق مختلف اصفهان و شهرستان مبارکه گزارش شده است، می‌توان انتظار داشت که میزان ورود این فلزات از طریق محصولات کشاورزی به زنجیره غذایی افزایش یابد. لذا توصیه می‌شود میزان فلزات سنگین و میزان دریافت هفتگی آنها از طریق سایر محصولات کشاورزی همانند سبزیجات بطور دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد.

کادمیوم در برخی نمونه‌ها نسبت به حد استاندارد به این دلیل است که کودهای حیوانی، لجن فاضلاب و کمپوست تنها توسط برخی از کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان ورود کادمیوم از طریق کمپوست و لجن فاضلاب ناچیز گزارش شده است، اما این میزان در مقیاس مزرعه، می‌تواند قابل توجه باشد (۱۶).

میزان ورود سرب به خاک شهرستان مبارکه از طریق کودهای حیوانی، کودهای فسفوره، کمپوست و لجن فاضلاب به ترتیب ۱۱/۷، ۴/۷۱، ۰/۰۴ و ۰/۱۱ گرم در هکتار در سال گزارش شده است. بر همین اساس میزان تجمع سرب ۱۲/۲۶ گرم در هکتار در سال برآورد شده است. در مورد سرب، بالاترین سهم (۷۰/۶۵ درصد) مربوط به کودهای حیوانی مورد استفاده بوده است (۱۶). اغلب آفت کش‌های مورد استفاده در این منطقه، آلی بوده و میزان سرب و کادمیوم در آن‌ها ناچیز گزارش شده است. علاوه بر مسیرهای ورودی فلزات سنگین که قبلاً گزارش شده است، میزان ورود فلزات سنگین از طریق ریزش‌های جوی نیز در مقیاس منطقه قابل توجه است. از سوی دیگر، با توجه به قلیایی بودن خاک منطقه، میزان خروج فلزات سنگین از لایه شخم از طریق آبشویی بسیار پایین بوده و تاثیر کمی بر توازن کادمیوم و سرب دارند. بنابراین میزان تجمع فلزات سنگین در خاک، بیشتر از مقدار گزارش شده خواهد بود و غلظت این عناصر در خاک حالت بحرانی دارد (۱۶-۱۵). با توجه به این که ارتباط بین غلظت عناصر در گیاه و

References

- Zeng F, Mao Y, Cheng W, Wu F, Zhang G. Genotypic and environmental variation in chromium, cadmium and lead concentrations in rice. *Environ Pollut* 2008;153(2):309-314.
- Weldegebriel Y, Chandravanshi BS, Wondimu T. Concentration levels of metals in vegetables grown in soils irrigated with river water in Addis Ababa, Ethiopia. *Ecotoxicol Environ Saf* 2012;77:57-63.
- Wang Y, Qiao M, Liu Y, Zhu Y. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. *J Environ Sci (China)*. 2012;24(4):690-8.
- Jahed Khaniki GR, Zazoli M. A. Cadmium and Lead Contents in Rice (*Oryza sativa*) in the North of Iran. *Int J Agr Biol* 2005;7(6):1026-9.
- Cao H, Chen J, Zhang J, Zhang H, Qiao L, Men Y. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *J Environ Sci (China)* 2010;22(11):1792-9.
- Parengam M, Judprasong K, Srianujata S, Jittinandana S, Laoharajanaphand S, Busamongko A. Study of nutrients and toxic minerals in rice and legumes by

-
- instrumental neutron activation analysis and graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *J Food Compos Anal* 2010;23(4):340-5.
7. Fakoor Janati SS, Beheshti HR, Feizy J, Khoshbakht Fahim N. Determinations of Cadmium, Lead, Arsenic and Mercury in Rice from Iran. *Int J Ind Chem* 2011;2(4):196-200.
 8. Bahmanyar MA, Hasanzade E, Mohammadi A. Determination Of Heavy Metals Content In Soil And Rice Plant After Three Years Application Of Municipal Solid Waste Compost (Mswc). *International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng; 2012; Valencia, Spain.*
 9. Zazouli M A, Shokrzadeh M, Izanloo H, Fathi S. Cadmium content in rice and its daily intake in Ghaemshahr region of Iran. *Afr J Biotechnol* 2008;7(20):3686-3689.
 10. Zazoli M A, Bazerafshan E, Hazrati A, Tavakoli A. Determination and estimation of Cadmium intake from Tarom rice. *J Appl Sci Environ* 2006;10(3):147- 150.
 11. ASTM, Annual Book of ASTM standards, water and Environmental technology. Standard Guide for preparation of Biological samples for inorganic chemical Analysis, Vol. 11.01, D 4638-95a (Reapproved 1999); 2000.
 12. Shimbo S, Zhang Z-W, Watanabe T, Nakatsuka H, Matsuda-Inoguchi N, Higashikawa K, et al. Cadmium and lead contents in rice and other cereal products in Japan in 1998-2000. *Sci Total Environ* 2001;281(1-3):165-175.
 13. Zhang Z-W, Watanabe T, Shimbo S, Higashikawa K, Ikeda M. Lead and cadmium contents in cereals and pulses in north-eastern China. *Sci Total Environ* 1998;220(2-3):137-45.
 14. Wang MY, Chen AK, Wong MH, Qiu RL, Cheng H, Ye ZH. Cadmium accumulation in and tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) varieties with different rates of radial oxygen loss. *Environ Pollut* 2011;159(6):1730-1736.
 15. Houdji M, Jalalian A. Distribution of Nickel, Manganese and Cadmium in soils and crops in the area of Mobarakeh Steel Plant. *J Sci Tech Agr Nat Resour* 2004;8(3):55-66(persian).
 16. Amini M, Afyouni M, Khademi H. Modeling of Cadmium and Lead Balances in Agricultural land of Esfahan area. *J Sci Tech Agr Nat Resour* 2007;10(4):77-89 (Persian).
 17. Fangmin C, Ningchun Z, Haiming X, Yi L, Wenfang Z, Zhiwei Z, et al. Cadmium and lead contamination in japonica rice grains and its variation among the different locations in southeast China. *Sci Total Environ* 2006;359(1-3):156-66.
 18. Sun H-F, Li Y-h, Ji Y-f, Yang L-s, Wang W-y, Li H-r. Environmental contamination and health hazard of lead and cadmium around Chatian mercury mining deposit in western Hunan Province, China. *T Nonferr Metal Soc* 2010;20(2010):308-314.