Journal of Food Hygiene, Vol. 10, No. 40, Winter 2021

"Research article" **DOI: 10.30495/JFH.2021.1914926.1295**

Effects of rinsing and cooking methods on concentration of heavy metals (Pb, Cd, Ni, Cr) in rice

Abbasi, A.[1], Sadeghi, S. M.[2*],Tayefe, M.[3]

1. M.Sc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
3. Instructor, Department of Food Science and Technology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

[*]Corresponding Author: sadeghisafa777@yahoo.com

(Received: 202011/14 Accepted: 2021/1/18)

Abstract

Rice is one of the world's most commonly consumed cereals. Consequently, its contamination by food contaminants, including heavy metals, should be taken into consideration. The purpose of this study was to determine the level of heavy metal contamination in rice samples of Hashemi cultivar harvested randomly from three areas of Masal, Shanderman, and Soomehsara in the west of Gilan province. In the second stage, the effect of two factors of soaking time of rice before cooking and cooking method (drained and boiled) on changes of heavy metals in consumed rice was evaluated. Following the preparation and digestion steps, the concentration of heavy metals (lead, cadmium, chromium, and nickel) was determined using induced plasma mass spectrometry (ICP-MS). The results showed that in comparison with the other two regions and the standard limit, the concentrations of Cr and Ni in rice harvested from the Shanderman region (with 2.1 and 1.35 ppm, respectively), were significantly higher contamination. The results showed that washing and soaking the rice were very effective in reducing the heavy metal content. Moreover, cooking rice using the drainage method was more effective in reducing the concentration of heavy metals than the boiled method. Due to the difference in the effect of soaking treatments and different sintering methods in reducing the concentration of metals, using a combination of 3 consecutive washes and 6 hours of soaking and cooking in both methods is introduced as the most effective treatment in reducing the concentration of heavy metals.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: rice, heavy metals, rice cooking, rice soaking

«مقاله پژوهشی» DOI: 10.30495/JFH.2021.1914926.1295

تأثیر روش پخت و زمان خیساندن بر غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، نیکل و کروم) در برنج

آذر عباسی[۱]، سیدمصطفی صادقی[۲*]، ماندانا طایفه

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران
۳. مربی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران
*نویسنده مسئول مکاتبات: sadeghisafa777@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۹۹/۸/۲٤ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۰/۲۹)

چکیده

برنج یکی از پرمصرف‌ترین غلات در جهان است. به‌همین دلیل بررسی میزان آلودگی آن به آلاینده‌های غذایی از جمله فلزات سنگین باید مورد توجه قرار گیرد. هدف از انجام این مطالعه در مرحله اول، تعیین میزان آلودگی به فلزات سنگین در نمونه‌های برنج رقم هاشمی برداشت‌شده به‌صورت تصادفی از سه منطقه ماسال، شاندرمن و صومعه‌سرا در غرب استان گیلان بود. در مرحله دوم تأثیر شرایط عمل‌آوری بر برنج استحصالی از منطقه آلوده، شامل دو عامل مدت‌زمان خیساندن برنج قبل از پخت و نحوه پخت (کته و آبکش) بر تغییرات فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، کروم و نیکل) در برنج مصرفی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از اعمال مراحل آماده‌سازی و هضم، با به‌کارگیری دستگاه طیف‌سنجی جرمی پلاسمایی القایی (ICP-MS) غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که غلظت‌های کروم و نیکل در برنج برداشت شده از منطقه شاندرمن به‌ترتیب با ۲/۱ و ۱/۳۵ ppm، اختلاف معنی‌داری را با دو منطقه دیگر و مقدار استاندارد داشت. طبق نتایج، شستشو و خیساندن برنج به نحو چشمگیری در کاهش محتوای فلزات سنگین مؤثر بود. همچنین پخت برنج به روش آبکش در مقایسه با روش کته در کاهش غلظت فلزات سنگین کارآمدتر عمل نمود. با توجه به تفاوت تأثیر تیمارهای خیساندن و روش‌های پخت مختلف در کاهش غلظت فلزات، به‌کارگیری ترکیبی از ۳ بار شستشو و ٦ ساعت خیساندن و پخت به هر دو روش به‌عنوان مؤثرترین تیمار در کاهش غلظت فلزات سنگین معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: برنج، فلزات سنگین، پخت برنج، خیساندن برنج

مقدمه

برنج از محصولات غذایی مهم و یکی از پرمصرف‌ترین غلات در جهان برای بخش کثیری از جمعیت جهان خصوصاً در آسیا است (Abtahi *et al*., 2017). چین بزرگ‌ترین تولیدکننده برنج در جهان است و بعد از آن کشور هند قرار دارد (Fan *et al*., 2017). بیش از ۹۰ درصد برنج جهان در آسیا تولید می‌شود (Udemezue., 2018, FAO., 2018). مصرف سرانه برنج در دنیا حدود ۵۸/۸ کیلوگرم است (Dehghani *et al*., 2016). مصرف سالانه برنج در کل کشور ۳/۲ میلیون تن بوده و بر اساس مطالعات انجام‌شده تخمین زده می‌شود که مصرف سرانه آن در سال برای هر نفر بین ٤١ تا ٤٢/٥ کیلوگرم باشد (Behrouzi *et al*., 2018, Ziarati *et al*., 2014).

به‌عنوان یکی از منابع اصلی انرژی و کربوهیدرات، آلودگی برنج به فلزات سنگین تبدیل به نگرانی جهانی شده است (Thielecke *et al*., 2018). آلودگی برنج با فلزات سنگین در منابع گوناگونی در کشورهای مختلفی چون چین، هند، نیجریه، فیلیپین، پاکستان و مالزی گزارش‌شده است (Liu *et al*., 2018, Tariq and Rashid., 2013, Otitoju *et al*., 2019, Layosa *et al*., 2018, Jorhem *et al*., 2008, Satpathy *et al*., 2014). در ایران مطالعاتی در این زمینه وجود دارد (Behrouzi *et al*., 2018, Ziarati *et al*., 2014, Jafari *et al*., 2018). اگر چه یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که میزان دریافت هفتگی آلاینده‌های کادمیوم، سرب و نیکل از میزان استاندارد تعیین‌شده توسط FAO/WHO پایین‌تر بوده است. اما باید در نظر داشت که سایر منابع غذایی اصلی تأمین‌کننده انرژی نیز می‌توانند حاوی آلودگی به فلزات سنگین باشند (Vahaji *et al*., 2020). برخلاف آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین در طبیعت تجزیه‌ناپذیر هستند و در خاک و منابع آب انباشته شده و درنتیجه در بخش‌های مختلف گیاه برنج از ریشه گرفته تا دانه‌های برنج تجمع می‌یابند (Arunakumara *et al*., 2013). در واقع رابطه مستقیمی بین وجود فلزات سنگین در خاک و آب و انباشت آن در گیاه پیدا شده است (Thielecke., 2018, Zeng *et al*., 2015). با این‌حال عواملی چون نژاد، توانایی گیاه برای جذب فلزات، pH خاک و خواص فیزیوشیمیایی خاک بر غلظت فلزات سنگین در بخش‌های گیاه نقش دارند (Arunakumara *et al*., 2013, Sharafatichaleshtori *et al*., 2016). انباشت فلزات سنگین در گیاه می‌تواند ناشی از عوامل منابع طبیعی مانند وجود مواد مادر در خاک باشد (Parth *et al*., 2011, Abtahi *et al*., 2017). با این‌حال، آلودگی فلزات سنگین در گیاهان عمدتاً به‌دلیل فعالیت‌های انسانی است (Li *et al*., 2018). فعالیت‌های کشاورزی چون آبیاری با فاضلاب، کود دامی، کود شیمیایی، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب و فعالیت‌های صنعتی چون معدن، افزایش سریع شهرنشینی و دفن زباله جزو منابع انسانی آلودگی گیاهان با فلزات سنگین هستند (Naghipour *et al*., 2016, Ihedioha *et al*., 2016, Rahman *et al*., 2010, Nacke *et al*., 2013, Alfaraas *et al*., 2016, Kong *et al*., 2018, Neerratanaphan *et al*., 2017). دریافت فلزات سنگین از طریق غلات و خصوصاً برنج منجر به خطرات سلامتی برای انسان می‌شود (Liu *et al*., 2018). به‌عنوان مثال، کادمیوم یکی از فراوان‌ترین عناصر در دانه برنج است که باعث آسیب کلیوی، قلبی-عروقی و آسیب‌های عضلانی-اسکتی و افزایش فشار خون می‌شود (Sharafatichaleshotori *et al*., 2016). همچنین، بزرگ‌ترین خطر مصرف کادمیوم بیماری ایستای است که

برای اولین بار در ژاپن گزارش شد. سیستم خون‌رسانی، سیستم عصبی و کلیوی سه بخش اصلی هستند که توسط انباشت سرب در بدن مورد تهدید واقع می‌شوند (Liu *et al*., 2018, Hashemi *et al*., 2017). کروم فلز دیگری است که به دو صورت ۳ و ٦ ظرفیتی در طبیعت وجود دارد و کروم شش ظرفیتی سمی‌تر بوده و قابلیت انباشت زیستی بالاتری دارد. دریافت کروم ٦ ظرفیتی بالاتر از غلظت مجاز، منجر به نامنظمی ضربان قلب، اگزما و التهابات پوستی می‌شود (Gomez *et al*., 2017). نیکل در گستره وسیعی از pH وجود دارد و مصرف بیش از اندازه آن منجر به تأخیر در فعالیت زیستی سلول‌های انسانی، تأخیر در رشد سلول و جذب آهن می‌شود (Mohammadi *et al*., 2014). به‌دلیل این خطرات، محدوده‌های مجاز مصرفی توسط FAO/WHO برای مواد غذایی از جمله برنج تعیین شده است. مطالعات نشان می‌دهد که عواملی چون شستشو، خیساندن و روش‌های پخت می‌تواند غلظت فلزات سنگین در برنج را کاهش دهد (Rahman *et al*., 2006, Thomas *et al*., 2013, Laparra *et al*., 2005). هدف از این تحقیق، تعیین میزان غلظت فلزات سنگین در برنج رقم هاشمی (رقم پرمصرف در گیلان) برداشت‌شده در سه منطقه (ماسال، شاندرمن و صومعه‌سرا) در غرب استان گیلان و بررسی تأثیر نحوه فرآوری برنج خام (روش پخت و مدت‌زمان خیساندن) بر میزان فلزات سنگین باقیمانده در برنج آماده مصرف بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش، برنج رقم هاشمی از پرمصرف‌ترین ارقام محلی در شمال ایران انتخاب گردید. در مرحله اول سه منطقه ماسال، شاندرمن و صومعه‌سرا در غرب استان گیلان در نظر گرفته شد. در هر منطقه، سه مزرعه به‌طور تصادفی انتخاب و جهت تهیه نمونه‌ها از پنج نقطه مزرعه به‌طور تصادفی برداشت انجام شد و مجموعه نمونه‌های برداشت‌شده از هر منطقه از نظر آلودگی به عناصر سنگین (کادمیوم، سرب، کروم و نیکل) پس از سفید کردن با دستگاه ساتاکه، آماده‌سازی و هضم، با استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمایی-جفتی القایی مورد ارزیابی قرار گرفتند (Cheraghi *et al*., 2013).

- آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور رفع آلودگی احتمالی، کلیه ظروف آزمایشگاهی با اسید شست‌وشو و با آب دیونیزه آب‌کشی و در خشک گردیدند. به‌منظور آماده‌سازی بذرهای مورد آزمون، ابتدا بذور با آب مقطر شسته شده و سپس به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آون به‌منظور خشک‌کردن قرار گرفتند. نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب پودر شدند. مقدار ۱ گرم از نمونه خشک‌شده به بالن هضم انتقال داده شد و به هر نمونه ۲۰ سی‌سی اسید نیتریک و اسید پرکلریک ۷۰ درصد به نسبت ۱ به ۳ به ازای هر گرم نمونه برنج اضافه گردید. سپس حرارت‌دهی محلول‌ها به مدت ٤٥ دقیقه روی هیتر انجام گرفت و در نهایت نمونه‌های حرارت دیده، هضم شده، با آب مقطر به حجم ۲۵ سی‌سی رسانده شده و با صافی رفع کدورت و شفاف‌سازی گردید. برای تعیین مقدار عناصر از روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفتی القایی مدل ARCOS FHE 12 استفاده شد که با استفاده از مقایسه سطح زیر منحنی استاندارد با نمونه‌های مورد آزمایش انجام گرفت (Cheraghi *et al*., 2013).

در بخش دوم تحقیق، به‌منظور تعیین اثر نحوه عمل‌آوری برنج‌های مصرفی در کاهش میزان آلودگی فلزات سنگین، بررسی در دو مرحله قبل و بعد از پخت صورت گرفت. به‌طوری که در مرحله قبل از پخت تأثیر دفعات شستشو و خیساندن برنج خام (بدون شستشو، ۳ بار شستشو بدون خیساندن و ۳ بار شستشو، به‌علاوه خیساندن به‌مدت ۲، ٤ و ٦ ساعت و در مرحله پس از پخت، نوع روش پخت کته و پخت آبکش که در این تحقیق به‌ترتیب با نوع ۱ و ۲ معرفی می‌گردند)، به‌عنوان یک عامل علاوه بر عوامل دفعات شستشو و مدت زمان خیساندن مورد بررسی و تأثیر آن بر روی غلظت فلزات سنگین برنج پخته ارزیابی شد.

برای تهیه برنج پخته شده به روش کته ۲۵ گرم برنج خام، ۳ بار به‌وسیله ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر یون‌زدایی شده شستشو داده شد و سپس ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر یون‌زدایی شده به آن اضافه گردید و روی شعله به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد تا به روش کته پخته شود. برنج پخته‌شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا رطوبت آن کاملاً از بین برود. برای تهیه برنج پخته‌شده به‌روش آبکش، ۲۵ گرم برنج خام ۳ بار شستشو به‌وسیله ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه شده شستشو داده و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه‌شده به برنج اضافه شده و پخته شد. برنج پخته‌شده در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا کاملاً خشک شود (Liu *et al*., 2018).

- تعیین میزان دریافت فلزات سنگین

با توجه به اطلاعات ثبت شده از میزان مصرف روزانه برنج در ایران از منابع مختلف، تعیین میزان دریافت روزانه عناصر جزئی از برنج امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین میزان جذب آلاینده‌های فلزی در مواد غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از رابطه زیر مورد ارزیابی قرار گرفت (Cheng *et al*., 2006).

$$EDI=\frac{C\times Cons}{BW}$$

در این رابطه EDI مقدار جذب روزانه آلاینده، C غلظت فلز سنگین در برنج مصرف‌شده برحسب mg/kg (ppm)، Cons متوسط مصرف روزانه برنج بر اساس استاندارد ۱۱۰gr/day و BW متوسط وزن بدن که برحسب کیلوگرم (٦۰ کیلوگرم) می‌باشد.

- نرم‌افزار و آنالیزهای آماری

تمامی اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام گردید. به‌منظور تعیین اختلاف بین تیمارهای مورد استفاده در آزمایش، از تجزیه واریانس (ANOVA) یک‌طرفه و جهت مقایسه میانگین تیمارها از آزمون توکی در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده گردید. برای تجزیه آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

یافته‌ها

- تعیین غلظت فلزات سنگین در برنج مناطق مورد مطالعه

سه منطقه مورد بررسی و گروه کنترل از نظر غلظت فلزات مورد مطالعه اختلاف بسیار معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱). مقایسه میانگین فلزات سنگین یافت شده در نمونه‌های برنج خام در سه منطقه مورد بررسی نشان داد که بالاترین غلظت برای کروم با مقدار ppm ۲/۱ و نیکل با ppm ۱/۳۵ مربوط به منطقه شاندرمن بود. به‌علاوه اختلاف معنی‌داری را با سایر مناطق و هم‌چنین با استاندارد Codex, EU, WHO وجود داشت. غلظت اندازه‌گیری شده برای نیکل در صومعه‌سرا ppm ۰/۷

برآورد گردید که به‌صورت معنی‌داری بیشتر از میزان استاندارد بود (۰/٦ ppm). نمونه‌های برنج مناطق مورد بررسی فلز سرب کمتر از حد استاندارد ارزیابی شد و میزان کادمیوم قابل شناسایی نبود. نمونه‌های برنج منطقه ماسال کمترین آلودگی را به عناصر سنگین نسبت به سایر مناطق به‌صورت معنی‌دار نشان دادند (جدول۲).

جدول (۱)- نتایج آنالیز واریانس فلزات سنگین یافت شده در نمونه‌های برنج خام در سه منطقه مورد ارزیابی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
تیمار	۲	۰/۷۳۵**	۲/۳۱۷**	۰/۱۵۰**	۰/۷۵۰**
خطا	٤	۰/۰۰۰۱	۰/۱۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱

**معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد

جدول (۲)- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین یافت شده در نمونه‌های برنج خام در مناطق مورد ارزیابی و مقایسه با استانداردها برحسب ppm

منطقه/عناصر	نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
شاندرمن	۱/۳۵a	۲/۱۰a	۰/۰۵c	۰
صومعه‌سرا	۰/۷۰b	۰/٦۵b	۰/۱۰b	۰
ماسال	۰/۱۵c	۰/۰۰d	۰/۰۵c	۰
کنترل (Standard CodexEu, WHO)	۰/٦۰d	۱b	۰/۲۰a	۱

- غلظت باقیمانده فلزات سنگین پس از اعمال فرآوری

با توجه به نتایج حاصل از مرحله اول تحقیق، بالاترین غلظت فلزات سنگین مربوط به نمونه‌های برنج شاندرمن بود. لذا نمونه‌های مذکور برای بررسی تأثیر شستشو و مدت زمان خیساندن و نحوه پخت برنج بر میزان غلظت فلزات سنگین برای مرحله دوم تحقیق انتخاب شدند. بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج خام پس از اعمال تیمارهای شستشو و خیساندن، اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) را بین تیمارهای قبل از پخت نشان داد (جدول۳).

جدول (۳)- نتایج آزمون واریانس محتوای فلزات سنگین یافت شده در نمونه‌های برنج قبل از پخت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
تیمار	۵	۰/٤۳۹**	۱/۰۵۸**	۰/۰۱۹**	۰/۵۰۰**
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰٦۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱

**معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد

جدول (٤)- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج قبل پخت با زمان‌های خیساندن مختلف و مقایسه با استانداردها برحسب ppm

تیمار/عناصر	نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
بدون شستشو	۱/۳۵۰a	۲/۱۰۰a	۰/۰۵۰b	۰
۳ بار شستشو بدون خیساندن	۱/۱۵۰b	۱/۷۰۰b	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ۲ ساعت خیساندن	۰/۷۵۰c	۰/۷۰٦c	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٤ ساعت خیساندن	۰/۵۵۰d	۰/۸۵۰c	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٦ ساعت خیساندن	۰/۳۵۰e	۰/٦۵۰c	۰/۰۰۰c	۰
کنترل(Standard codexEu,WHO)	۰/٦۰۰d	۱/۰۰۰c	۰/۳۰۰a	۱

a,b,c,d, e: حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (در سطح احتمال ۵٪).

میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج خام (بدون شستشو، سه بار شستشو بدون خیساندن، ۳ بار شستشو با ۲، ٤ و ٦ ساعت خیساندن) بیانگر کاهش معنی‌دار غلظت سرب پس از شستشو بود، به‌طوری که بعد از سه بار شستشو غلظت سرب در نمونه‌ها قابل‌شناسایی نبود (جدول ٤). بررسی اثر تیمارها بر تغییرات غلظت فلز نیکل نیز نشان داد که پس از ۳ بار شستشو به‌همراه ٤ و ٦ ساعت خیساندن برنج، غلظت آن کاهش‌یافته و میزان آن به کمتر از حد استاندارد رسید. طوری‌که ۳ بار شستشو به همراه ٦ ساعت خیساندن اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها و مقدار حد مجاز ازنظر کاهش غلظت نیکل نشان داد (جدول ٤). بررسی غلظت کروم در نمونه‌ها بیانگر این موضوع است که شستشو به‌تنهایی قادر به کاهش غلظت آن از حد استاندارد نبود ولی خیساندن نقش مؤثری در کاهش آن نشان داد، به این معنی که سه بار شستشو به همراه ٦ ساعت خیساندن بیشترین کاهش را در غلظت کروم باعث گردید (جدول٤). نتایج تجزیه واریانس بر روی غلظت میانگین فلزات سنگین در نمونه‌های برنج پخته‌شده به دو روش پخت کته و آبکش، بیانگر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای موردبررسی ازنظر محتوای فلزات سنگین بود.

جدول (٦)- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج پس از پخت با زمان‌های خیساندن و نوع پخت (آبکش و کته) مختلف و مقایسه با استانداردها برحسب ppm

تیمار	عناصر			
	نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
بدون شستشو	۱/۳۵۰a	۲/۱۰۰a	۰/۰۵۰b	۰
۳ بار شستشو بدون خیساندن و پخت کته	۰/۷۵۰b	۱/٦۰۰b	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو بدون خیساندن و پخت آبکش	۰/۵۵۰c	۱/٤۰۰b	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ۲ ساعت خیساندن و پخت کته	۰/٤۰۰d	۰/۷۰۰c	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ۲ ساعت خیساندن و پخت آبکش	۰/۳۰۰e	۰/۵۰۰cd	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٤ ساعت خیساندن و پخت کته	۰/۲۵۰d	۰/۳۰۰d	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٤ ساعت خیساندن و پخت آبکش	۰/۱۵۰g	۰/۱۰۰e	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٦ ساعت خیساندن و پخت کته	۰/۰۰h	۰/۰۰۰e	۰/۰۰۰c	۰
۳ بار شستشو با ٦ ساعت خیساندن و پخت آبکش	۰/۰۰h	۰/۰۰۰e	۰/۰۰۰c	۰
کنترل (Standard codexEu,WHO)	۰/٦۰۰c	۱/۰۰۰c	۰/۳۰۰a	۱

a,b,c,d, e: حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (در سطح احتمال ۵٪).

جدول (۵)- نتایج آزمون واریانس محتوای فلزات سنگین یافت شده در نمونه‌های برنج پس از پخت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
تیمار	۹	۰/٤۳۷**	۱/۵۸٤**	۰/۱۲۰**	۰/۳۰۰**
خطا	۲۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱

**معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد

غلظت فلزات سنگین در هر دو روش پخت (نوع ۱ و نوع ۲) برای تمامی زمان‌های خیساندن (۰، ۲، ٤ و ٦ ساعت) کاهش یافت (جدول ٦). با این‌حال، پخت با روش نوع ۲ (با آب اضافی و دور ریختن آب برنج) در مقایسه با نوع ۱ (پخت با آب کم تا زمانی که هیچ آب برنجی باقی نماند) در کاهش غلظت فلزات مؤثرتر بود. در هر دو روش پخت، با افزایش مدت زمان خیساندن (٦ ساعت)، کاهش غلظت نیکل و کروم قابل‌توجه بود، طوری‌که میزان این عناصر پس از پخت قابل‌شناسایی نبود. غلظت سرب نیز بعد از اعمال تیمارها در هر دو روش پخت قابل‌اندازه‌گیری نبود (جدول ٦). بر اساس نتایج آزمون توکی، اختلاف معنی‌داری بین محتوای فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) در نمونه‌های برنج خام بدون شستشو و برنج پخته‌شده (نوع ۱ و نوع ۲) در تمامی زمان‌های خیساندن وجود داشت که نشان‌دهنده تأثیر نوع روش پخت برنج بر کاهش محتوای فلزات سنگین آن بود.

- میزان دریافت هفتگی فلزات سنگین

بررسی میزان دریافت هفتگی فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه‌های برنج پخته‌شده با هر دو روش نشان داد که در تمامی موارد، میزان دریافت هفتگی پایین‌تر از حد مجاز قابل‌تحمل از نظر استاندارد بود. به‌علاوه ترکیب

سه بار شستشو و ٦ ساعت خیساندن برنج در پخت با هر دو روش، دریافت هفتگی تمامی فلزات سنگین مورد بررسی را به‌حدی کاهش داد که قابل ردیابی نبودند (جدول ٧).

جدول (٧)- دریافت هفتگی فلزات سنگین در نمونه برنج پخته با زمان‌های خیساندن مختلف

تیمار	غلظت فلزات سنگین (میکروگرم/کیلوگرم وزن بدن/هفته)			
	نیکل	کروم	سرب	کادمیوم
برنج خام	١٧/٣٣	٢٦/٩٥	٠/٦٤	٠
٣ بار شست‌وشو بدون خیساندن (نوع اول پخت)	٩/٦٣	٢٠/٩٣	٠	٠
٣ بار شست‌وشو بدون خیساندن (نوع دوم پخت)	٧/٠٦	١٧/٩٧	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٢ ساعت خیساندن (نوع اول پخت)	٥/١٣	٨/٩٨	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٢ ساعت خیساندن (نوع دوم پخت)	٣/١٩	٦/٤٢	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٤ ساعت خیساندن (نوع اول پخت)	٣/٢١	٣/٨٥	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٤ ساعت خیساندن (نوع دوم پخت)	١/٩٣	١/٢٨	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٦ ساعت خیساندن (نوع اول پخت)	٠	٠	٠	٠
٣ بار شست‌وشو و ٦ ساعت خیساندن (نوع دوم پخت)	٠	٠	٠	٠
استاندارد حد مجاز قابل‌تحمل جذب هفتگی فلزات سنگین	٧٠	٢٣/٣	٢٥	٧

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین ارزیابی شده در سه منطقه شاندرمن، صومعه‌سرا و ماسال نشان داد که بالاترین غلظت متعلق به کروم (٢/١ ppm) متعلق به منطقه شاندرمن بود که بالاتر از حد استاندارد FAO/WHO (١ ppm) قرار داشت. غلظت نیکل در دو منطقه (شاندرمن و صومعه‌سرا) بالاتر از حد مجاز استاندارد FAO/WHO (٠/٦ ppm) به‌دست آمد. همچنین غلظت سرب در تمامی مناطق پایین‌تر از غلظت مجاز استاندارد FAO/WHO (٠/٢ ppm) بود و هیچ ردی از کادمیوم در تمامی نواحی مورد بررسی یافت نشد.

در یک بررسی مروری سیستماتیک، غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج داخلی و وارداتی در کل کشور بررسی شده و مخاطره سلامتی مصرف این برنج‌ها ارزیابی شد. نتایج بررسی آن‌ها که در طی یک دوره ١٧ ساله صورت گرفت، نشان داد که غلظت کروم در بسیاری از نواحی ایران بالاتر از حد مجاز بود (Jafari *et al.*, 2018). فعالیت‌های صنعتی و خصوصاً فعالیت‌های مرتبط با معدن و آبیاری با فاضلاب علل اصلی آلودگی محیط‌زیست با کروم و جذب آن توسط گیاه برنج هستند (Arunakumara *et al.*, 2013, Thomas *et al.*, 2013). کروم بعد از تصفیه فاضلاب هم در آن باقی می‌ماند و می‌تواند وارد زنجیره غذایی شود (Otitoju *et al.*, 2014). بنابراین، به‌نظر می‌رسد آبیاری شالیزارها با آب آلوده به فاضلاب انسانی و یا رودخانه‌هایی که فاضلاب انسانی وارد آن می‌شوند، علل اصلی محتوای بالای کروم در منطقه شاندرمن باشد.

بررسی غلظت فلزات سنگینی چون کادمیوم، سرب، کروم، نیکل و کبالت در مطالعه تأثیر دو روش پخت کته و آبکشی در سه رقم برنج وارداتی در دسترس در شهر شیراز، نشان داد که غلظت تمامی فلزات مذکور بالاتر از حد مجاز است (Naseri *et al*., 2015). وجود مواد مادر در خاک، آبیاری با آب فاضلاب، کودها (خصوصاً کود فسفاته) و خاکستر بادی جزو عوامل اصلی انباشت نیکل در برنج هستند (Arunakumara *et al*., 2013, Nacke *et al*., 2013, Otitoju *et al*., 2014, Zhang *et al*., 2009). بنابراین به نظر می‌رسد آبیاری با آب فاضلاب، خاکستر بادی ناشی از مجاورت شالیزارها به بزرگراه‌های پرترافیک و استفاده بیش از حد از کودهای فسفاته از عوامل اصلی غلظت بالای نیکل در نمونه‌های به‌دست‌آمده در مناطق مورد بررسی بودند. یافته‌های به‌دست آمده از تأثیر شستشو و خیساندن بر غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج خام نشان داد که خیساندن برنج به‌طور کلی محتوای فلزات سنگین آن را کاهش داده و این روند کاهشی با افزایش زمان خیساندن ادامه داشت. همچنین معلوم شد که رابطه معنی‌داری بین محتوای فلزات سنگین و زمان خیساندن وجود داشت که نشان‌دهنده تأثیر مثبت زمان خیساندن بر کاهش غلظت فلزات سنگین در برنج بود. در پژوهشی که بر روی ۸۰۰ نمونه برنج مختلف در استان گیلان انجام شد، نتایج به‌دست آمده هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر بود و نتایج نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین غلظت سرب و کادمیوم قبل و بعد از خیساندن وجود دارد (Ziarati *et al*., 2014). محققان دریافتند که شستشو و خیساندن می‌تواند به‌طور معنی‌داری محتوای سرب و کادمیوم را در نمونه‌های برنج تا حدود ۱٤ درصد کاهش دهد (Liu *et al*., 2018). دلیل آن ناشی از این حقیقت است که لایه سطحی دانه برنج با ضخامتی برابر با ۸۰ میکرومتر غنی‌ترین لایه از نظر وجود فلزات سنگین است. به‌همین دلیل است که شستشو و خیساندن می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی محتوای فلزات سنگین را در دانه‌های برنج کاهش دهد (Mihucz *et al*., 2010).

یافته‌های به‌دست‌آمده در مورد تأثیر روش پخت برنج بر غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج نشان داد که پختن به‌طور کلی محتوای فلزات سنگین را کاهش می‌دهد. با این حال، روش پخت نوع ۲ (پخت با آب اضافی و دور ریختن آب برنج) مؤثرتر از روش پخت نوع ۱ (پخت با آب کم تا زمانی که هیچ آب برنجی باقی نماند) بود. محققان دریافتند که پخت برنج می‌تواند محتوای فلزات سنگین آن‌ها را کاهش دهد که این نتیجه سازگار با نتایج پژوهش حاضر بود (Rezaei *et al*., 2016). علاوه بر آن، در پژوهشی دیگر در مورد بررسی تأثیر فرآیندهای مختلف آبکشی و پخت بر میزان باقیمانده فلزات سنگین سرب و کادمیوم در برنج‌های طارم، بین دو روش پخت کته و آبکش اختلاف معنی‌داری ازلحاظ کاهش مقدار سرب پیدا شد. در حالی‌که اختلاف به‌دست آمده برای فلز کادمیوم بین دو روش پخت معنی‌دار نبود. محققان دلیل اثربخشی بیشتر روش پخت بر کاهش سرب را خاصیت جذب سطحی این فلز عنوان کردند. به‌دلیل این ویژگی سرب، انتظار می‌رود که درصد کاهش سرب طی پخت برنج به همراه شستشوی مکرر نسبت به بقیه فلزات بیشتر باشد. به‌عبارت دیگر نوع فلز سنگین بر میزان کاهش آن در فراوری برنج مؤثر است. هم‌چنین روش پخت آبکشی باعث می‌شود در مقایسه با روش کته، مقدار بیشتری از

این فلزات حین آبکشی کردن از برنج خارج شوند (Rezaei *et al*., 2016). در تحقیقی دیگر، به‌کارگیری روش پخت به شیوه آبکش مؤثرترین روش جهت کاهش غلظت فلزات سنگین بیان نموده‌اند و نتایج تحقیقات آن‌ها حاکی از آن است که پس از اعمال روش پخت کته، بیشترین غلظت فلزات سنگین باقیمانده قابل اندازه‌گیری است (Morekian *et al*., 2013).

نتایج مربوط به دریافت هفتگی فلزات ناشی از مصرف برنج نشان داد که ترکیبی از ۳ بار شستشو و ٦ ساعت خیساندن و پخت به هر دو روش، مؤثرترین تیمار در کاهش غلظت فلزات سنگین بود، به‌طوری که منجر به صفر شدن دریافت هفتگی فلزات سنگین شد. رقم برنج، شکل قابل انتقال، pH، مواد آلی، ظرفیت تبادل یونی، پتانسیل اکسایش-کاهش، مقدار مواد معدنی و اکسیدهای آهن یا منگنز موجود در خصوصیات خاک بر در دسترس بودن فلزات سنگین مؤثرند. مقدار بالای مواد آلی و اسیدیته زیاد در خاک، زیست‌فراهمی، حلالیت و حرکت فلزات سنگین را افزایش می‌دهد. به‌علاوه میزان فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در منطقه نیز ممکن است برافزایش غلظت فلزات سنگین در گیاه مؤثر باشد. ولی به‌طور کلی جذب و تجمع فلزات سنگین به‌وسیله گیاه به‌طور شدیدی به در دسترس بودن فلزات نسبت به سطح کل فلزات در خاک بستگی دارد.

از این‌رو غلظت فلزات در گیاه تابع عواملی مانند نحوه کشت محصول، نوع برنج، فصل، محیط و شرایط جغرافیایی و خاک است، لذا تفاوت‌های مشاهده شده در تحقیق می‌تواند مربوط به این عوامل باشد. به‌علاوه آبیاری با فاضلاب، کودهای فسفاته و خاکستر بادی نیز می‌تواند دلیل انباشت فلزات سنگین در برنج باشد (Vahaji *et al*., 2020). با در نظر گرفتن سهم قابل‌توجه برنج در رژیم غذایی جامعه ما و با توجه به تأثیر متفاوت تیمارهای خیساندن و روش‌های پخت مختلف در کاهش غلظت فلزات سنگین، لازم است با آموزش در جهت به‌کارگیری تیمار مناسب، گامی مؤثر در راستای کاهش دریافت فلزات سنگین از طریق غذای سفره برداشته شود. از طرف دیگر با توجه به نتایج تحقیق حاضر، تأثیر به‌کارگیری تیمارهای پیش از پخت و روش‌های پخت بر میزان کاهش نیکل و کروم که غلظتی بالاتر از میزان استاندارد را در منطقه مورد مطالعه نشان دادند، از حساسیت بیشتری برخوردار است.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Abtahi, M., Fakhri, Y., OliveriConti, G., Keramati, H., Zandsalimi, Y., Bahmani, Z. *et al*., (2017). Heavy metals (As, Cr, Pb, Cd and Ni) concentrations in rice (*Oryza sativa*) from Iran and associated risk assessment: a systematic review. Toxin Reviews, 36(4): 331-341.
- Alfaraas, A.J., Khairiah, J., Ismail, B.S. and Noraini, T. (2016). Effects of heavy metal exposure on the morphological and microscopical characteristics of the paddy plant. Journal of Environmental Biology, 37(5): 955-967.

- Arunakumara, K.K.I.U., Walpola, B.C. and Yoon, M.H. (2013). Current status of heavy metal contamination in Asia's rice lands. Review in Environmental Science and Biotechnology, 12:355–377.
- Behrouzi, R., Marhamatizadeh, M.H., Shoeibi, S., Razavilar, V., Rastegar, H. and Karimane, K. (2014). Study of the Concentration of Arsenic, Cadmium and Lead Heavy Metals in Various Domestic and Imported Rice of Iran. Archive of Hygine Sciences, 7(3): 150-156.
- Cheraghi, M., Afshari Bahmanbeigloo, Z. and Seif, A. (2013). Health assessment of arsenic and zinc in rice cultivated in Fars Province (case study: Firoozabad Fields). Journal of food hygiene, 3(3):67-74. [In Persian]
- Cheng, F., Zhao, N., Xu, H., Li, Y., Zhang, W. and Zhu, Z. (2006). Cadmium and lead contamination in japonica rice grains and its variation among the different locations in southeast China. The Science of the Total Environment, 359(1-3): 156-166.
- Commission of the European Communities (CEC). 2006/1881/ EC Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs. Official Journal of the European Communities. Dec 19, 2006; L364/5.
- Dehghani, M., Mosaferi, F. and Alipour, V. (2016). Heavy Metals in the Imported and Iranian Rice Consumed in Hormozgan Province. Journal of Health Sciences & Surveillance System, 4(3): 106-110.
- Fan, Y., Zhu, T., Li, M., He, J. and Huang, R. (2017). Heavy metal contamination in soil and brown rice and human health risk assessment near three mining areas in central China. Journal of Healthcare Engineering. 2017(3):1-9.
- FAO Rice Market Monitor (RMM), 2018. Available on: http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/
- Gomes, M.A.D., Hauser-Davis, R.A., Suzuki, M.S. and Vitoria, A.P. (2017). Plant chromium uptake and transport, physiological effects and recent advances in molecular investigations. Ecotoxicology and Environmental Safety, 140: 55-64.
- Hashemi, M., Salehi, T., Aminzare, M., Raeisi, M. and Afshari, A. (2017). Contamination of toxic heavy metals in various foods in Iran: A Review, Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 9(10): 1692-1697.
- Ihedioha J.N, Ujam O.T., Nwuche C.O., Ekere N.R. and Chime C.C. (2016). Assessment of heavy metal contamination of rice grains (*Oryza sativa*) and soil from Ada field, Enugu, Nigeria: Estimating the human health risk. Human and Ecological Risk Assessment, 22(8): 1665-1677.
- Jafari, A., Kamarehie, B., Ghaderpoori, M., Khoshnamvand, N. and Birjandi, M. (2018). The concentration data of heavy metals in Iranian grown and imported rice and human health hazard assessment. Data in brief, 16: 453-459.
- Joint FAO/WHO Food Standards Programmer Codex Alimentarius Commission (2011). Thirty-fourth Session Geneva, Switzerland. The Risk Analysis Principles Applied by the Codex Committee on Food Additives and the Codex Committee on Contaminants in Foods. Section 3, para. 20.
- Jorhem, L., Åstrand, C., Sundström, B., Baxter, M., Stokes, P., Lewis, J. and Grawe, K.P. (2008). Elements in rice from the Swedish market: 1. Cadmium, lead and arsenic (total and inorganic). Food Additives and Contaminants, 25(3): 284-292.
- Kong, X., Liu, T., Yu, Z., Chen, Z., Lei, Da., Wang, Z. & *et al.* (2018). Heavy Metal Bioaccumulation in Rice from a High Geological Background Area in Guizhou Province, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(10): 2281.
- Laparra, JM., Vélez, D., Barberá, R., Farré, R. and Montoro, R. (2005). Bioavailability of inorganic arsenic in cooked rice: practical aspects for human health risk assessments. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (22): 8829–8833.
- Layosa, M., Atienza, L. and Felix, A. (2018). Cadmium and lead contents and potential health risk of brown rice (NSIC Rc222 Tubigan 18) cultivated in selected provinces in the Philippines. Malaysian Journal of Nutrition, 24(2): 287-292.

- Li, H., Xu, H., Zhou, S., Yu, Y., Li, H., Zhou, C. *et al*., (2018). Distribution and transformation of lead in rice plants grown in contaminated soil amended with bio char and lime. Ecotoxicology and Environmental Safety, 165: 589-596.
- Liu, K., Zheng, J. and Chen, F. (2018). Effects of washing, soaking, and domestic cooking on cadmium, arsenic, and lead bio accessibilities in rice. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(10): 3829-3835.
- Mihucz, V., Silversmit, G., Szalóki, I., Samber, BD., Schoonjans, T., Tatár, E. and Záray, G. (2010). Removal of some elements from washed and cooked rice studied by inductively coupled plasma mass spectrometry and synchrotron based confocal micro-X-ray fluorescence. Food Chemistry, 121(1): 290-297.
- Mohammadi, M., RiyahiBakhtiari, A. and Khodabandeh, S. (2014). Concentration of Cd, Pb, Hg, and Se in different parts of human breast cancer tissues. Journal of Toxicology, 2014: 1-12.
- Nacke, H., Goncalves, A.C., Schwantes, D., Nava, I.A., Strey, L. and Coelho, G.F. (2013). Availability of heavy metals (Cd, Pb, and Cr) in agriculture from commercial fertilizers. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 64(4): 537-544.
- Naghipour, D., Amouei, A. and Nazmara, S. (2016). A comparative evaluation of heavy metals in the different breads in Iran: A case study of Rasht city. Health Scope Journal, 3(4): 57-70.
- Naseri, M., Rahmanikhah, Z., Beiygloo, V. and Ranjbar, S. (2014). Effects of two cooking methods on the concentrations of some heavy metals (cadmium, lead, chromium, nickel and cobalt) in some rice brands available in Iranian market. Journal of Chemical Health Risks, 4(2): 65–72.
- Naseri, M., Vazirzadeh, A., Kazemi, R. and Zaheri, F. (2015). Concentration of some heavy metals in rice types available in Shiraz market and human health risk assessment. Food Chemistry, 175(2015): 243–248.
- Neeratanaphan, L., Khamma, S., Benchawattananon, R., Ruchuwararak, P., Appamaraka, S. and Intamat, S. (2017). Heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa*) near electronic waste dumps and related human health risk assessment. Human and Ecological Risk Assessment, 23(5): 1086-1098.
- Morekian, R., Rezaee, E., Azadbakht, L., Mirlohi, M. (2013). Cooking elements affecting on heavy metal concentration in rice. Journal of Health System Research, 9(13): 1394-1405. [In Persian]
- Otitoju, O., Otitoju, G.T.O., Iyeghe, L.U. and Onwurah, I.N.E. (2014). Quantification of heavy metals in some locally produced rice (*Oryza Sativa*) from the northern region of Nigeria. Journal of Environment and Earth Science, 4(1):1-13.
- Panda, S.K. and Choudhury, S. (2005). Chromium stress in plants. Braz. J. Plant. Physiol, 17(1):95-102.
- Otitoju, G., Otitoju, O., Omale, E., Abdussalaam, RO. and Ali, JE. (2019). Heavy metal levels in locally produced rice in the south west region of Nigeria. ACTA Scientific Nutritional Health, 3(2), 120-124.
- Parth, V., Murthy, N.N. and Saxena, P.R. (2011). Assessment of heavy metal contamination in soil around hazardous waste disposal sites in Hyderabad city (India): natural and anthropogenic implications. Journal of Environmental Research and Management, 2(2): 27-34.
- Rahman, A.K.M.R., Hossain, SM. and Akramuzzaman, MM. (2010). Distribution of heavy metals in rice plant cultivated in industrial effluent receiving soil. Environment Asia, 3(2):15-19.
- Rahman, M.A., Hasegawa, H. and Miah M.M. (2006). Influence of cooking method on arsenic retention in cooked rice related to dietary exposure. Science of the Total Environment, 370(1): 51-60.
- Rezaei, M., Shokrzadeh, M., Khasi, B., Rouhi, S. and Zaboli, F. (2016). Survey and comparison of different processes effect, rinsing and baking on remaining amount of heavy metals lead and cadmium in cultivated Tarom rice in Qhaemshahr city paddies in northern Iran. Iranian Journal of Research in Environmental Health, 2 (1): 52-59. [In Persian]
- Satpathy, D., Reddy, M.V. and Dhal, SP. (2014). Risk assessment of heavy metals contamination in paddy soil, plants, and grains (*Oryza sativa L*.) at the East Coast of India. BioMed Research International, 2014: 1-11.

- SharafatiChaleshtori, F., RafieianKopaei, M., SharafatiChaleshtori, R. (2016). A review of heavy metals in rice (*Oryza sativa*) of Iran. Toxin reviews, 36 (2): 147–153.
- Tariq, S.R. and Rashid, N. (2013). Multivariate analysis of metal levels in paddy soil, rice plants, and rice grains: a case study from Shakargarh, Pakistan. Journal of Chemistry, 2013: 1-11.
- Thielecke, F. and Nugent, A. (2018). Contaminants in grain—a major risk for whole grain safety. Nutrients, 2018: 10(9): 1-23.
- Thomas, R., Wan-Nadiah, W.A. and Bhat, R. (2013). Physiochemical properties, proximate composition, and cooking qualities of locally grown and imported rice varieties marketed in Penang. Malaysian International Food Research Journal, 20(3): 1345-1356.
- Udemezue, J.C. (2018). Analysis of Rice Production and Consumption Trends in Nigeria. Journal of Plant Sciences and Crop Protection, 1(3): 305-315.
- Vahaji, N., Tayefe, M. and Sadeghi, SM. (2020). Comparison of the concentration of heavy elements and their weekly absorption in consumed rice planted in different regions of Guilan province. Ebnesina - IRIAF Health Administration, 21(4): 51-58. [In Persian]
- World Health Organization (1985). Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants. World Health Organization Offset Publication. 1985; No. 87.
- Zeng, F., Wei, W., Li, M., Huang, R., Yang, F. and Duan, Y. (2015). Heavy metal contamination in rice-producing soils of Hunan province, China and potential health risks. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(12): 15584-15593.
- Zhang, X.Y., Lin, FF., Wong, MT., Feng, X.L. and Wang, K. (2009). Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County China. Environmental Monitoring and Assessment, 154(1): pp.439-449.
- Ziarati, P. and Azizi, N. (2014). Consequences of cooking method in essential and heavy metal contents in brown and polished Alikazemi Rice. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 4(2): 280-287.