AUMJ Journal Alborz University of Medical Sciences
Alborz University of Medical Sciences Journal, Winter 2026, Vol. 15, No 1: 17- 31

Assessment of heavy metals (cadmium, lead, and arsenic) and essential nutrients in iranian rice and the influence of cooking methods on their concentrations

Meysam Cheraghi[1]
Karim Shahbazi[1*]
Ainaz Tavanamehr[1]
Mehdi Beheshti[1]
Kobra Sadat Hasheminasab Zavareh[1]
Kambiz Bazargan[1]
Mojgan Yeganeh[1]
Mostafa Marzi[1]
Meisam Rezaei[1]

1. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran.

* Corresponding Author:
shahbazikarim@yahoo.com

Abstract

Introduction: Rice (Oryza sativa L.) is one of the most important staple foods in Iran. In addition to meeting nutritional needs, rice may accumulate considerable amounts of heavy metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As). Different cooking methods can influence the concentrations of these metals as well as essential nutrient elements. This study aimed to evaluate the effects of two common rice cooking methods—the draining method (Ābkesh) and the absorption method (Kateh)—on the concentrations of heavy metals and essential nutrients.

Methods: Twenty white rice samples were collected from major rice-producing regions across the country. After preparation, each sample was cooked using both the Ābkesh and Kateh methods. Concentrations of Cd and Pb were determined by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS), As was measured using hydride generation atomic absorption spectrometry (HGAAS), and essential elements (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, and Mn) were analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) in both raw and cooked samples. This study adhered to all ethical principles for non-human research and was conducted under the approved institutional project code 0138-10-100304-034-9901-99053-991459.4.

Results: The mean concentrations of Cd, Pb, and As in raw rice grains were 0.0031 ± 0.0034, 0.030 ± 0.010, and 0.120 ± 0.047 mg/kg, respectively, all below national maximum permissible limits. The Ābkesh method reduced Cd, Pb, and As concentrations by 20.0%, 37.9%, and 30.2%, respectively, whereas the Kateh method resulted in reductions of 10.0%, 13.9%, and 3.3%, respectively. Although the Ābkesh method was more effective in reducing heavy metal concentrations, it caused substantial losses of essential nutrients, including Fe, Mn, K, Ca, Mg, and P, with reductions ranging from 15.6% to 60.6%. In contrast, the Kateh method preserved or slightly increased most nutrient levels (3.5%–14.9%).

Conclusion: Cooking methods significantly influence the concentrations of heavy metals and essential nutrients in rice. While the Ābkesh method is more effective in reducing potential health risks associated with heavy metals, it leads to greater nutrient loss. Conversely, the Kateh method better preserves nutrients and may be preferable when heavy metal concentrations are within safe limits.interpretation of spirometry results in native populations.

Keywords: Food safety, Nutrient, Rice, Oryza, Cooking, Metals, Heavy, Cadmium, Arsenic

How to cite this article: Cheraghi M, Shahbazi K, Tavanamehr A, Beheshti M, Hasheminasab Zavareh K S, Bazargan K, et al . Assessment of heavy metals (cadmium, lead, and arsenic) and essential nutrients in iranian rice and the influence of cooking methods on their concentrations. Alborz University Medical Journal 2026; 15 (2) : 17-31

.Copyright © 2026 The Authors. Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-.nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

AUMJ Journal
Alborz University of Medical Sciences
نشریه دانشگاه علوم‌پزشکی البرز، زمستان ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۱، صفحه‌های ۳۱-۱۷

بررسی وضعیت فلزات سنگین (کادمیم، سرب و آرسنیک) و عناصر غذایی در برنج ایرانی و تأثیر روش های پخت در تغییر غلظت آن‌ها

میثم چراغی[۱]
کریم شهبازی[۱*]
آیناز توانامهر[۱]
مهدی بهشتی[۱]
کبری سادات هاشمی نسب زواره[۱]
کامبیز بازرگان[۱]
مژگان یگانه[۱]
مصطفی مارزی[۱]
میثم رضایی[۱]

چکیده

مقدمه: برنج یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در ایران است که علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای، ممکن است مقدار قابل‌توجهی فلزات سنگین مانند کادمیم، سرب و آرسنیک را در خود تجمع دهد. روش‌های پخت مختلف ممکن است بر غلظت این فلزات و همچنین بر میزان عناصر غذایی ضروری تأثیرگذار باشند. این پژوهش با هدف بررسی اثر دو روش متداول پخت برنج در ایران، شامل آبکش و کته، بر تغییرات غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی انجام شد.

روش کار: بیست نمونه برنج سفید از مناطق برنج‌کاری سطح کشور جمع‌آوری و پس از آماده‌سازی، با دو روش آبکش و کته پخت شدند. سپس غلظت کادمیم و سرب با روش طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیتی، غلظت آرسنیک با روش طیف‌سنجی جذب اتمی تولید هیدرید و غلظت عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز) با روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی در نمونه‌های خام و پخته‌شده اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در دانه برنج خام به ترتیب ۰/۰۳٤±۰/۰۰۳۱، ۰/۰۱۰±۰/۰۳۰ و ۰/۰٤۷±۰/۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از حدود مجاز ملی کمتر بود. روش آبکش میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک را به‌ترتیب ۲۰/۰، ۳۷/۹ و ۳۰/۲ درصد کاهش داد، در حالی که در روش کته این کاهش به‌ترتیب ۱۰/۰، ۱۳/۹ و ۳/۳ درصد بود. با وجود کاهش فلزات سنگین در روش آبکش، غلظت عناصر غذایی مانند آهن، منگنز، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر به میزان ۱۵/٦ تا ٦۰/٦ درصد کاهش یافت. در مقابل، روش کته باعث حفظ یا افزایش خفیف بیشتر عناصر غذایی (۳/۵ تا ۱٤/۹ درصد) شد.

نتیجه‌گیری: روش‌های پخت برنج تأثیر قابل‌توجهی بر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی دارند. روش آبکش در کاهش خطر ناشی از فلزات سنگین مؤثرتر است، اما منجر به افت مواد مغذی می‌شود. در مقابل، روش کته با حفظ بیشتر عناصر غذایی، گزینه مناسب‌تری در شرایطی است که غلظت فلزات سنگین برنج در محدوده خطر تهدید سلامت انسان نباشد.

واژه‌های کلیدی: سلامت غذایی، فلزات سنگین، عناصر غذایی، برنج، فرایند پخت

۱. سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی (AREEO)، موسسه تحقیقات خاک و آب (SWRI)، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول:
shahbazikarim@yahoo.com

مقدمه

حفظ سلامت انسان مهمترین هدف برنامه‌های تولید غذای سالم، کافی و مغذی است. برنج یکی از غلات پر مصرف و مغذی جهان است، که دارای مقدار بالایی از کربوهیدرات‌ها و فیبرها، مقدار متوسطی از ویتامین‌ها و مواد معدنی و مقدار کمی پروتئین می‌باشد. از این‌رو، بیش از نیمی از نیاز کالری جمعیت جهان، به‌ویژه در کشورهای آسیایی مانند چین، هند، مالزی، پاکستان و ایران را تأمین می‌کند (۱). سرانه مصرف برنج در کشورهای آسیایی نسبتاً بالا و در کشور ایران حدود ۳۵ کیلوگرم در سال است (۲). میزان پایین چربی و وجود ویتامین B، ریبوفلاوین و غلظت قابل توجه عناصر ضروری مانند فسفر، آهن، روی، منیزیم، مس و منگنز، برنج را به غذای مناسبی در بسیاری از رژیم‌های غذایی تبدیل کرده است (۳, ٤). با وجود ارزش غذایی بالا، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که دانه برنج ممکن است حاوی فلزات سنگین سمی مانند آرسنیک (As)، سرب (Pb) و کادمیم (Cd) باشد (٦, ۷). با توجه به سرانه مصرف بالای برنج در ایران، مواجهه انسان با این عناصر می‌تواند قابل توجه باشد و در صورت عدم کنترل، سلامت عمومی را تهدید کند.

به‌کارگیری روش‌های مختلف پخت برنج اخیراً به‌عنوان یک راهکار امیدبخش برای کاهش مواجهه با آرسنیک و سایر فلزات سنگین احتمالی، مورد توجه قرار گرفته است (۸, ۹). به‌طور کلی، دو روش رایج یعنی روش پخت کته و روش پخت آبکش، برای آماده‌سازی و پخت برنج در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش پخت کته، آب مصرفی برای پختن برنج دور ریخته نمی‌شود، در مقابل در روش پخت آبکش آب پخت تخلیه می‌شود. در این زمینه، Mihucz و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که فرآیند شست و شو و آبکش کردن برنج قبل از پختن و یا پختن آن با مقادیر بیشتر آب می‌تواند منجر به حذف ۱۰ تا ۲۰ درصدی محتوای آرسنیک آن گردد (۱۰). در مطالعات دیگر میزان حذف آرسنیک در اثر آبکش کردن برنج بین ۷ تا ۲۷ درصد نیز گزارش شده است (۱۳-۱۱). Sharifi و همکاران (۲۰۱۹)، نیز گزارش کردند که شستن برنج قبل از پختن به‌ترتیب منجر به حذف ۵/۸، ۲/۵ و ۱۰/۲ درصدی غلظت آرسنیک، کادمیم و سرب در مقایسه با دانه برنج خام شد. با این وجود، غلظت آرسنیک، کادمیم و سرب در روش کته به‌ترتیب ۲۸/۳، ۱۸/۱ و ۳۲/۸ درصد و در روش آبکش به‌ترتیب ۵۲/٦، ۳۰/۹ و ٤۸/٤ درصد کاهش پیدا کرد. این مشاهدات نشان می‌دهد که نحوه آماده‌سازی و پخت برنج اثر قابل توجهی بر کنترل میزان ورود این عناصر به چرخه غذایی انسان دارد (۷).

نکته قابل توجه اینجاست که روش‌های مختلف آماده‌سازی و پخت و پز، علاوه بر فلزات سنگین، منجر به حذف مقادیر قابل توجه عناصر غذایی ضروری می‌شوند. در مطالعه‌ای توسط Mwale و همکاران (۲۰۱۸)، گزارش شد که پخت برنج با آب اضافی (نسبت برنج به آب ۱:٦) غلظت عناصر ضروری شامل پتاسیم، نیکل مولیبدن، منیزیم، کبالت، منگنز، کلسیم، سلنیوم، آهن، روی و مس را به ترتیب به میزان ۵۰، ٤٤/٦، ۳۸/۵، ۲۲/٤، ۲۱/۲، ۱٦/۵، ۱٤/۵، ۲۱، ۸/۲، ۷/۷ و ۰/۲ درصد کاهش داد (۱٤). در مطالعه‌ای دیگر Sharifi و همکاران (۲۰۱۹) کاهش قابل توجه غلظت آهن، روی و مس در اثر پخت برنج به روش کته و آبکش را گزارش کردند. این نتایج نشان می‌دهد که روشهای مختلف پخت و پز همچنین باعث هدر رفت ارزش غذایی برنج در مرحله مصرف می‌شود. لذا با توجه به اینکه سرانه مصرف برنج در ایران قابل توجه است، ارزیابی روش‌های مختلف پخت و پز و پیدا کردن بهترین روش برای پخت برنج از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

بررسی منابع نشان می‌دهد که اکثر مطالعات تا کنون عمدتاً به اثر روش‌های پخت بر تغییر غلظت آرسنیک تمرکز داشته‌اند و اطلاعات کافی در مورد سایر فلزات سنگین و عناصر غذایی ضروری وجود ندارد. علاوه بر این، هنوز به طور کامل مشخص نیست که اثر روش‌های مختلف پخت بر همه فلزات سنگین و عناصر غذایی یکسان است یا خیر. با توجه به کمبود اطلاعات موجود و همچنین اهمیت این موضوع در رابطه با سلامت انسان، بررسی مزایا (حذف فلزات سنگین) و معایب (حذف عناصر غذایی) روش‌های مختلف آماده‌سازی و پخت برنج ضروری است. مطالعه حاضر با هدف بررسی وضعیت فلزات سنگین و عناصر غذایی در دانه برنج ایرانی و ارزیابی روش‌های پخت بر تغییر غلظت این عناصر انجام شد. فرض بر این بود که اثر هر روش پخت بر کاهش فلزات سنگین و عناصر غذایی بسته به نوع عنصر و روش پخت متفاوت است. در این راستا، اثر دو روش رایج پخت برنج، یعنی آبکش و کته، بر غلظت نهایی آرسنیک، کادمیم، سرب و طیف وسیعی از عناصر غذایی (روی، مس، منگنز، آهن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر) مورد بررسی و با یافته‌های پیشین مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آماده‌سازی

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف پخت بر تغییر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در دانه برنج تولیدی ایران، مجموعاً ۲۰ نمونه برنج از چهار استان‌های اصلی برنج‌کاری شامل گیلان، مازندران، خوزستان و اصفهان جمع‌آوری شد. از هر استان ۵ نمونه انتخاب گردید و معیار انتخاب نمونه‌ها؛ نبود سابقه آلودگی غیرعادی یا تیمارهای خاص زراعی گزارش شده، و قرار داشتن مزارع در مناطق اصلی تولید هر استان بود. قبل از پختن نمونه‌ها، به‌منظور ارزیابی وضعیت فلزات سنگین و عناصر غذایی در دانه برنج خام، همه نمونه‌های برای اندازه‌گیری این عناصر تجزیه شدند. پیش از پخت و اندازه‌گیری، تمامی نمونه‌های برنج سه مرتبه با نسبت ۲:۱ (حجمی/حجمی) آب به برنج شستشو داده شدند. برای پختن، همه نمونه‌ها با دو روش مرسوم پخت برنج، یعنی روش پخت آبکش و روش پخت کته، طبخ شدند و غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در آنها اندازه‌گیری شد. در روش آبکش، ابتدا هر نمونه با نسبت ٤:۱ (حجمی/حجمی) آب به برنج تحت حرارت قرار گرفت. پس از جوشیدن دانه‌های برنج تا زمان نرم شدن (حدود ۲۰ دقیقه برای همه نمونه‌ها)، آب اضافی دور ریخته شد و برنج برای پختن نهایی روی شعله کم قرار داده شد. در روش پخت کته، هر نمونه برنج با نسبت ۲:۱ (حجمی/حجمی) آب به برنج روی حرارت قرار داده شد. در این روش فرآیند جوشیدن آب تا زمان تبخیر کامل و جذب باقیمانده آن در دانه‌های برنج، ادامه پیدا کرد (هیچ آبی دور ریخته نشد). پس از پخت، نمونه‌ها تحت یک فرآیند آماده‌سازی، هضم و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی قرار گرفت.

هضم نمونه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق با روش استاندارد INSO ۱۹۸۲۱ انجام شد. بر اساس این روش، تمام نمونه‌های برنج ابتدا هواخشک شد و بعد از رسیدن به وزن ثابت در آون در دمای ٦٥ درجه سانتیگراد، با استفاده از یک دستگاه خرد کن آسیاب شد و به شکل آرد در آمد. ۰/۵ گرم از آرد برنج به وسل مخصوص دستگاه مایکروویو (Anton Paar, Austria) منتقل شد. ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ٦٥ درصد و ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن اضافه شد. وسل‌های حاوی نمونه به مدت ۳۰ دقیقه به حال خود رها شد تا بخشی از عمل هضم در حضور اسید صورت گرفت. سپس درب وسلها بسته شد و در اجاق مایکروویو قرار گرفتند. پس از اتمام عمل هضم، عصاره به دست با استفاده از آب مقطر، در بالن‌های حجمی تا حجم ۲۵ میلی‌لیتر رقیق شد. در این عصاره، غلظت عناصر غذایی شامل؛ فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز مستقیماً با دستگاه طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (PerkinElmer Optima ۲۱۰۰ DV, United States) اندازه‌گیری شد (۱۵).

غلظت کادمیم و سرب در عصاره تهیه شده با استفاده از دستگاه طیفسنجی جذب اتمی کوره گرافیتی (GFAAS۱ مدل PinAAcle ۹۰۰Z ساخت شرکت PerkinElmer) اندازه‌گیری شد (١٦). در این روش، عصاره نمونه که در مرحله قبل تهیه شده بود، به‌طور مستقیم به داخل تیوپ گرافیتی دستگاه تزریق و پس از انجام مراحل خشک کردن، خاکستر کردن و اتم‌سازی توسط دستگاه، میزان جذب تابش توسط اتم‌های آزاد شده اندازه‌گیری شد. در نهایت غلظت این عناصر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک محاسبه و گزارش شد. اندازه‌گیری غلظت آرسنیک در نمونه‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی تولید هیدرید (HGAAS۲ با استفاده از دستگاه PinAAcle ۹۰۰F) انجام شد (۱۷). در این روش، آرسنیک موجود در نمونه با سدیم بورهیدرید در محیط اسیدی واکنش داده و هیدرید آرسنیک تشکیل می‌دهد که پس از انتقال به اتم‌ساز، اندازه‌گیری می‌شود.

تضمین و کنترل کیفیت نتایج

به‌منظور اطمینان از دقت و تکرارپذیری نتایج تجزیه، دستگاه‌های ICP-OES، GFAAS، HGAAS، ترازوهای وزنی، سمپلرهای اتومات و سایر دستگاه‌ها توسط آزمایشگاه کالیبراسیون، کالیبره شدند. علاوه بر این، دقت دستگاه‌ها بصورت روزانه با استفاده از نمونه‌های چک کنترل شد. برای محاسبه درصد بازیابی و اعتبارسنجی روش اندازه‌گیری فلزات سنگین و عناصر غذایی، از مواد مرجع گواهی‌شده (CRMs) آرد برنج (NIST SRM ١٥٦٨b کشور آمریکا و NCS ZC ۷۳۰۰۹ کشور چین) استفاده شد. مواد مرجع در کنار سایر نمونه‌های برنج، تحت شرایط یکسان، مورد هضم و اندازه‌گیری قرار گرفتند. نمونه‌های CRM با استفاده از همان روش اندازه‌گیری نمونه‌ها، با ۵ تکرار آنالیز شد که نتایج آن در

1 Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry

2 Hydride Generation Atomic Absorption Spectrophotometry

جدول ۱ گزارش شده است. به‌طور کلی، درصد بازیابی برای عناصر مختلف در دامنه ۹۶ تا ۱۰۰/۱ درصد قرار داشت که نشان‌دهنده صحت مطلوب روش بود. همچنین مقدار تکرارپذیری (RSD٪) برای تمامی عناصر مورد بررسی کمتر از ۵ درصد گزارش شد که بیانگر تکرارپذیری مناسب روش‌های به‌کاررفته است. در مجموع، این نتایج تأیید می‌کند که روش‌های اندازه‌گیری از دقت، صحت و قابلیت اطمینان کافی برخوردار هستند

جدول ۱– مقادیر درصد بازیابی و تکرارپذیری مربوط به فلزات سنگین و عناصر غذایی در مواد مرجع گواهی شده (انحراف معیار ± میانگین)

محصول	ماده مرجع	عنصر	مقدار گواهی شده ($gk\ gm^{-1}$)	مقدار بازیابی شده	درصد بازیابی	تکرارپذیری (RSD٪)
آرد برنج	NIST SRM 1568b	کادمیم	۰/۰۲۲٤ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۲۲۳٦	۹۹/۸	۲/٤۳
		آرسنیک	۰/۲۸۵ ±۰/۰۱٤	۰/۲۸۵	۱۰۰	٤/۳۲
	NCS ZC 73009	کادمیم	۰/۰۱۸ ±۰/۰۰٤	۰/۰۱۸۰۲	۱۰۰/۱	۲/۸۹
		سرب	۰/۰٦۵ ±۰/۰۲٤	۰/۰٦۳۷۰	۹۸	۳/۷۹
	NCS ZC 73009	روی	۱۱/٦ ±۰/۷	۱۱/٦۰	۱۰۰	۲/۲٤
		آهن	۱۸/۵ ±۳/۱	۱۷/۷٦	۹٦	۱/۵٤
		مس	۲/۷ ±۰/۲	۲/۷۰	۱۰۰	۳/۱٦
		منگنز	۵/٤ ±۰/۳	۵/۲۹	۹۸	۲/٦۷
		پتاسیم	۱٤۰۰ ± ٦۰	۱٤۰۰	۱۰۰	۲/۱۲
		کلسیم	۳٤۰ ± ۲۰	۳۳۳/۲۰	۹۸	۳/۰٦
		منیزیم	۷۰ ±٤۵۰	٤۵۰	۱۰۰	۳/۱۲

حد تشخیص (LOD) و حد کمی‌سازی (LOQ) از دیگر پارامترهای ارزیابی عملکرد روش در مطالعه حاضر بودند. برای تعیین LOD، سیگنال جذب نمونه شاهد (Blank) ده بار اندازه‌گیری شد و انحراف استاندارد قرائت‌ها به‌عنوان Sb محاسبه گردید (۱۸). حد تشخیص با استفاده از رابطه استاندارد زیر تعیین شد:

$$LOD = \frac{3Sb}{m}$$

که در آن m شیب منحنی درجه‌بندی است. حد کمی‌سازی نیز مطابق توصیه دستورالعمل‌های آنالیزی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$LOQ = \frac{10Sb}{m}$$

بر اساس محاسبات انجام‌شده، LOD روش برای کادمیوم، سرب و آرسنیک به ترتیب ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۱۵ میلیگرم بر کیلوگرم و LOQ آنها به‌ترتیب ۰/۰۰٤۹، ۰/۰۰۹۹ و ۰/۰۰٤۹ میلیگرم بر کیلوگرم به دست آمد.

آنالیز نتایج

پیش از انجام مقایسه‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro–Wilk در نرم‌افزار Minitab ۱٦ ارزیابی شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، مقایسه میانگین غلظت عناصر در دو روش پخت (آبکش و کته) با استفاده از آزمون t جفت‌شده انجام شد. سطح معنی‌داری برای تمامی آزمون‌ها $\alpha = ۰,۰۵$ در نظر گرفته شد. محاسبات اولیه با نرم‌افزار Microsoft Excel ۲۰۱٦، انجام آزمون‌های آماری با Minitab ۱٦ و ترسیم نمودارها با GraphPad Prism ۸ صورت گرفت.

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در دانه‌های برنج مور مطالعه

میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در نمونههای برنج موردمطالعه از بیشینه غلظت مجاز تعیین شده در استاندارد ملی ایران کمتر بود (جدول ۲). بیشینه غلظت کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های برنج به‌ترتیب ۱۵۹/۰

و ۲۲۶/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از بیشینه حد مجاز استاندارد ملی ایران بیشتر بود. در مقابل غلظت سرب در همه نمونه‌های مورد بررسی از بیشینه حد مجاز استاندارد کمتر بود (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که غلظت عناصر غذایی در نمونه‌های برنج، بسته به نوع عنصر بسیار متفاوت بود. کمترین غلظت مربوط به عنصر مس (۰۳/۱ میلیگرم بر کیلوگرم) و بیشترین غلظت مربوط به فسفر (۲۱۰۲ میلیگرم بر کیلوگرم) بود. میانگین غلظت عناصر در دانه برنج به‌ترتیب از بیشترین به کمترین مربوط به فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، روی، منگنز، آهن و مس بود (جدول ۲). برای برخی عناصر، انحراف معیار بزرگتر از میانگین است، که نشان‌دهنده پراکندگی بالای غلظت در نمونه‌هاریمست.

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در نمونه‌های برنج خام ایرانی (انحراف معیار ± میانگین، mg/kg)

نوع عنصر	عناصر	کمینه	بیشینه	میانه	میانگین	بیشینه حد مجاز استاندارد[1]
فلزات سنگین	کادمیم	۰/۰۰٤	۰/۱۵۹	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳۱ ± ۰/۰۳۴	۰/۰۶۰
	سرب	۰/۰۱۰	۰/۰۴۷	۰/۰۰۲۸	۰/۰۳۰ ± ۰/۰۱۰	۰/۱۵۰
	آرسنیک	۰/۰۵۰	۰/۲۲۶	۰/۱۱۷	۰/۱۲۰ ± ۰/۰۴۷	۰/۱۵۰
عناصر غذایی ضروری	فسفر	۱۱۱۸/۰۴	۲۱۰۲/۸۳	۱۴۵۳/۹۱	۱۴۷۳/۴ ± ۲۳۷/۷	–
	پتاسیم	۶۶۴/۴۴	۱۴۶۸/۱۵	۸۴۶/۹۳	۹۴۴/۷ ± ۲۴۸/۶	–
	کلسیم	۲۲/۹۹	۶۸۶/۶۷	۶۱/۲۴	۹۰/۵ ± ۱۴۱/۳	–
	منیزیم	۱۹۳/۹۸	۵۶۱/۸۱	۳۳۷/۲۱	۳۳۲/۴ ± ۸۸/۷	–
	آهن	۲/۵۴	۱۵/۵۶	۶/۲۲	۶/۳۸ ± ۳/۶۸	–
	روی	۴/۰۸	۱۷/۹۹	۱۴/۴۴	۱۳/۲۸ ± ۴/۷	–
	مس	۱/۰۳	۲/۹۸	۲/۰۱	۲/۰۲ ± ۰/۵۲	–
	منگنز	۱/۵۸	۱۹/۰۶	۱۰/۰۱	۱۰/۴۲ ± ۴/۷۴	–

۱. بر اساس استاندارد ملی ایران (۱۹) (INSO-۱۲۹۶۸, ۲۰۲۱)

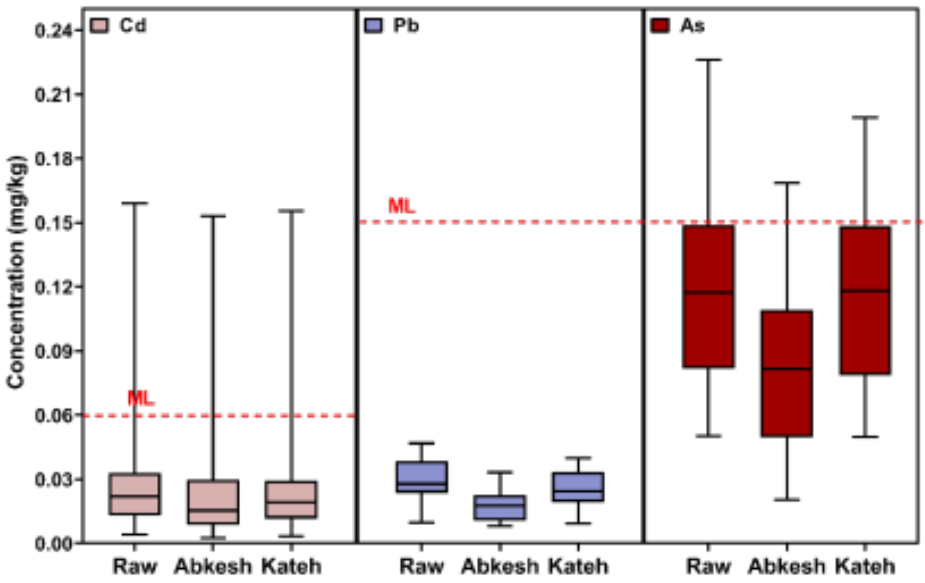
تغییرات غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در روش‌های مختلف پختن

نتایج نشان داد که هر دو روش پخت آبکش و کته غلظت فلزات سنگین دانه برنج را به طور قابل توجهی کاهش داد (جدول ۳). میزان حذف فلزات سنگین از دانه برنج بسته به نوع عنصر و روش پخت متفاوت بود و در دامنهٔ ۳/۳٤ درصد برای آرسنیک در روش پخت کته تا ۳۷/۹٤ درصد برای کادمیم در روش پخت آبکش متغییر بود. به‌طور کلی، روش پخت آبکش کارایی بیشتری در حذف فلزات سنگین از دانه برنج داشت، به‌گونه‌ای که غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک را بهترتیب ۲۰، ۳۷/۹٤ و ۳۰/۲ درصد نسبت به دانه خام و ۱۱/۱۱، ۲۸/۰۰ و ۱۷/۳۰ درصد نسبت به روش پخت کته کاهش داد (جدول ۳). توزیع غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در همه نمونه‌های برنج تجزیه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین مقدار تغییرات مربوط به کاهش غلظت سرب و آرسنیک در روش پخت آبکش بود.

جدول ۳- غلظت عناصر سنگین در دانه برنج خام و برنج پخته شده به روش آبکش و روش کته

روش پخت	کادمیم		سرب		آرسنیک	
	غلظت (mg/kg)	درصد حذف	غلظت (mg/kg)	درصد حذف	غلظت (mg/kg)	درصد حذف
دانه برنج بدون پختن	۰/۰۳۰a	–	۰/۰۲۹a	–	۰/۱۲a	–
روش آبکش	۰/۰۲٤c	۲۰/۰۰	۰/۰۱۸c	۳۷/۹٤	۰/۰۸۱b	۳۰/۲۰
روش کته	۰/۰۲۷b	۱۰/۰۰	۰/۰۲۵b	۱۳/۹۸	۰/۱۱٦a	۳/۳٤

اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون مقایسه میانگین (P < ۰,۰۵) هستند.



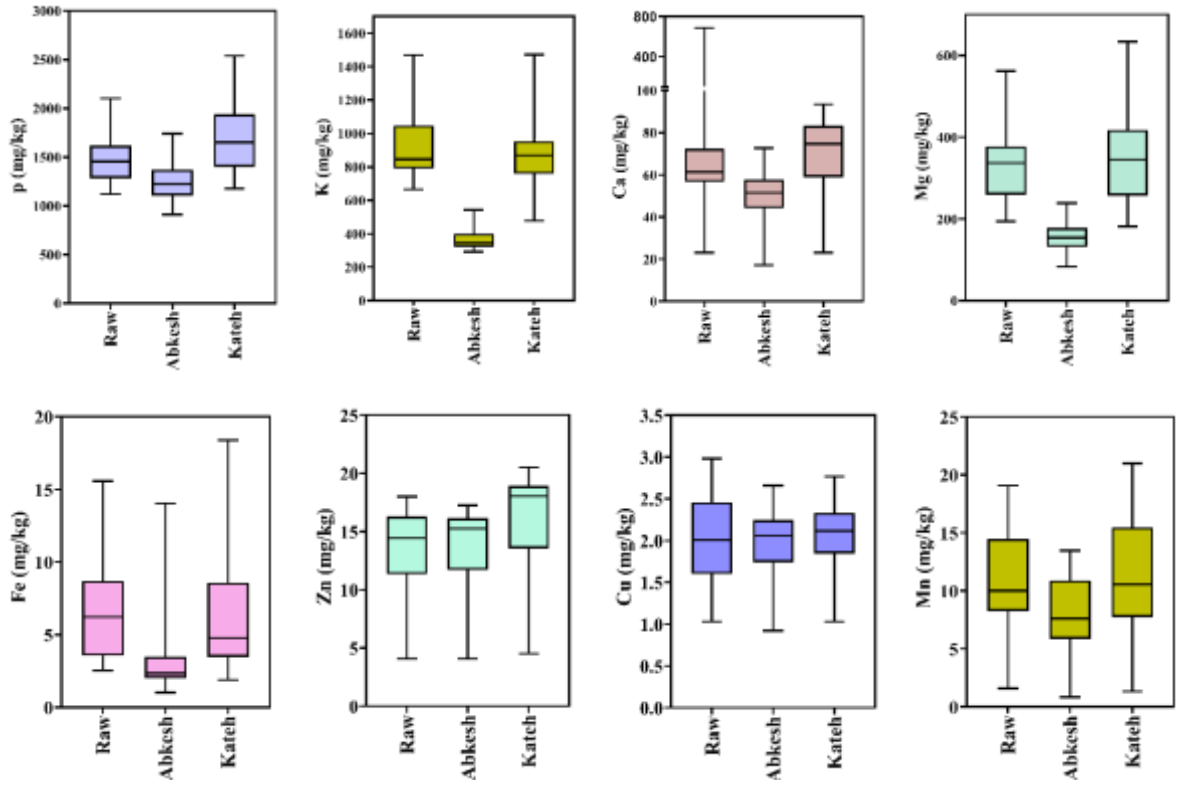
شکل ۱- توزیع غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در نمونه‌های برنج خام (Raw) و برنج پخته شده به روش آبکش (Abkesh) و کته (Kateh).

بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی در برنج پخته شده با روش آبکش و کته نشان داد که میزان تغییر غلظت عناصر از دانه برنج، بسته به نوع روش پختن و نیز نوع عنصر مورد بررسی، به طور قابل توجهی متفاوت بود (جدول ٤). به‌طورکلی، روش پخت آبکش در مقایسه با روش کته اثر نسبتاً بیشتری در حذف عناصر غذایی از دانه برنج داشت. بر اساس نتایج، پختن برنج به روش آبکش غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز را به ترتیب ۱۵/٦، ٦۰/٦، ٤٦/۵، ۵۳/۲، ۳٦/٤، ۰/٦۱، ٤/۹ و ۲٤/۲ درصد کاهش داد (جدول ٤). در مقابل، غلظت فسفر، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز در روش پخت کته بین ۳/٤ تا ۱٤/۹ درصد افزایش یافت و غلظت پتاسیم و کلسیم نیز به ترتیب ۲/۲، ۲۵/۳ درصد کاهش یافت. توزیع غلظت عناصر غذایی در همه نمونههای برنج تجزیه شده در شکل ۲ نشان داده شده است که نشان می‌دهد که روش آبکش بیشترین تأثیر را در کاهش قابل توجه غلظت عناصر غذایی دانه برنج داشت.

جدول ٤- غلظت عناصر غذایی در دانه برنج خام و برنج پخته شده به روش آبکش و روش کته

روش پخت	فسفر		پتاسیم		کلسیم		منیزیم	
	غلظت (mg/kg)	درصد تغییرات	غلظت (mg/kg)	درصد تغییرات	غلظت (mg/kg)	درصد تغییرات	غلظت (mg/kg)	درصد تغییرات
دانه برنج بدون پختن	١٤٧٣ b	–	٩٤٤/٧ a	–	٩٠/٥a	–	٣٣٢/٤ a	–
روش آبکش	١٢٤٤ c	-١٥/٦	٣٧١/٨ b	-٦٠/٦	٤٨/٤c	-٤٦/٥	١٥٥/٤ b	-٥٣/٢
روش کته	١٦٧٧ a	+١٣/٨	٩٢٤/٠ a	-٢/٢	٦٧/٧b	-٢٥/٣	٣٤٤/٧ a	+٣/٧
روش پخت	آهن		روی		مس		منگنز	
دانه برنج بدون پختن	٨/٦٨ a	–	١٣/٢٧ b	–	٢/٠٢ a	–	١٠/٤٢ a	–
روش آبکش	٤/٦٦ b	-٤٦/٣٢	١٣/١٩ b	-٠/٦١	١/٩٢ a	-٤/٩٦	٧/٩٠ b	-٢٤/١٩
روش کته	٨/١٥ a	-٦/١١	١٥/٦٦ a	+١٤/٩٠	٢/٠٩ a	+٣/٤٦	١١/٠٩ a	+٦/٤٣

اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون (برای هر عنصر) بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون مقایسه میانگین ($P < ٠,٠٥$) هستند.



شکل ۲- توزیع غلظت عناصر غذایی در نمونه‌های برنج خام (Raw) و برنج پخته شده به روش آبکش (Abkesh) و کته (Kateh).

بحث

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر فرایند پخت بر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در دانه برنج انجام شد. یافته‌ها نشان داد که تغییرات غلظت این ترکیبات به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش پخت و نوع عنصر قرار داشت. به طور کلی، روش آبکش بیشترین کارایی را در کاهش غلظت فلزات سنگین سمی از دانه برنج نشان داد، هرچند که این مزیت با کاهش قابل توجه عناصر غذایی ضروری همراه بود. در مقابل، روش کته با وجود اثربخشی کمتر در حذف فلزات سنگین، نقش مهمی در حفظ ترکیبات معدنی و ارزش غذایی برنج ایفا کرد. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب روش پخت می‌تواند یک توازن میان کاهش ریسک ناشی از فلزات سنگین و حفظ ارزش غذایی در دانه برنج ایجاد کند. در چنین شرایطی، چنانچه نتایج ارزیابی ریسک نشان دهد که مصرف برنج با غلظت‌های بیان شده برای عناصر سنگین، خطری برای مصرف کننده ندارد، در این صورت می‌توان با توجه به حفظ ارزش غذایی در روش پخت کته، این روش را توصیه نمود، در غیر صورت برای کاهش ریسک مواجه با فلزات سنگین ناشی از مصرف برنج، روش پخت آبکش توصیه میگردد.

ارزیابی وضعیت فلزات سنگین در برنج‌های موردمطالعه

ارزیابی وضعیت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج خام مورد مطالعه نشان داد که میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک برنج‌های تولیدی کشور به‌ترتیب به‌ترتیب ۰/۰۳۱، ۰/۰۳۰ و ۱۲۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از حد مجاز استاندارد ملی ایران کمتر بود (جدول ۳). و Cheraghi همکاران (۲۰۲۵)، با جمع‌بندی مطالعات انجام شده در ایران میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در برنج‌های تولیدی ایران را به‌ترتیب ۰/۰۳٦۷، ۰/۰۷۲٦ و ۰/۰۸۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند که مقادیر آن تفاوت اندکی با نتایج مطالعه حاضر داشت. همچنین، غلظت کادمیم در برنج‌های ایرانی کمتر از مقادیر گزارش‌شده در کشورهای تولیدکننده عمده مانند استرالیا (۰/۰۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ایتالیا (۰/۰٦۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و چین (۰/۰۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (۲۰). و Shi همکاران (۲۰۲۰) در یک پایش جهانی با بررسی ۲۲۷۰ نمونه از ۳۲ کشور، دامنه غلظت کادمیم را ۰/۰۰٤۹—۳/۷۱ و میانه ۰/۰۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۵). بر این اساس، میانگین غلظت کادمیم در برنج‌های مورد مطاله در محدوده جهانی قرار داشت. در خصوص سرب، میانگین غلظت آن در برنج‌های مورد مطالعه از مقادیر گزارش‌شده برای بنگلادش، فرانسه، آمریکا و تایلند (به ترتیب ۰/۰۳۲، ۰/۰۱۱، ۰/۰۱۱ و ۰/۰۱۰ میلیگرم بر کیلوگرم) بالاتر بود (۲۱). در مقابل کمتر از مقدار گزارش شده آن در چین (۰/۱۱۰ میلیگرم بر کیلوگرم) و مطالعات قبلی ایران (۰/۰۷۲٦ میلیگرم بر کیلوگرم) بود (۲۲).

به طور مشابه، میانگین غلظت آرسنیک در برنج‌های مورد مطالعه با مقدار گزارش شده در برنج تولیدی تایلند (۰/۱٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، چین (۱۵۰/۰ میلیگرم بر کیلوگرم) و ایتالیا (۰/۱۵٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مطابقت داشت (۲۳, ۲٤). در مطالعه‌ای جامع توسط Zavala و همکاران (۲۰۰۸)، وضعیت غلظت آرسنیک در برنج‌های تولیدی آسیا (شامل بنگلادش، چین، هند، پاکستان، سریلانکا، و تایلند)، اروپا (ایتالیا و اسپانیا)، و آمریکا، بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ بررسی شد. نتایج نشان داد که در ۵۰ درصد از نمونه‌ها غلظت آرسنیک در دامنه ۰/۰۸۲ تا ۰/۲۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت که به‌عنوان محدوده جهانی غلظت آرسنیک در دانه برنج پیشنهاد شد. در این مطالعه، غلظت آرسنیک در اکثر برنج‌های آسیایی کمتر از ۰/۰۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ٤۰ درصد از نمونه‌های آمریکایی و ۲۰ درصد از نمونه‌های اروپایی بالاتر از این دامنه نرمال بود. همچنین، میانگین غلظت آرسنیک در برنج‌های ایالات متحده و اروپا (۰/۱۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌طور معناداری بالاتر از کشورهای آسیایی (۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (۲۵).

ارزیابی وضعیت عناصر غذایی در برنج‌های موردمطالعه

مقایسه غلظت عناصر غذایی ضروری در برنج‌های مورد مطالعه با مقدار گزارش شده آن در سایر کشورها نشان داد که این محصول از نظر محتوای عناصر غذایی ضروری در وضعیت مطلوبی قرار داشت. نتایج ما نشان داد که میانگین غلظت عناصر پر مصرف شامل؛ فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم دانه برنج به‌ترتیب ۱٤۷۳، ۹٤٤، ۰۹ و ۳۳۲ میلیگرم بر کیلوگرم بود که مقادیر آنها مشابه یا اندکی بالاتر از برنج‌های تولیدی در استرالیا (به‌ترتیب ۱۱۲۲، ۸۲۳، ۵۹ و ۲۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ویتنام (به‌ترتیب ۱٤۲۹، ۱۰٤٤، ٦٦ و ٤۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، آمریکا (به‌ترتیب ۹۳۰، ٦۵۰، ۷۵ و ۲٤۰ میلیگرم بر کیلوگرم) و مکزیک (به‌ترتیب ۹۵۰ و ۸۸ میلیگرم بر کیلوگرم برای پتاسیم و کلسیم) گزارش شد (۲۸–۲٦). همچنین، ترتیب غلظت این عناصر در برنج ایرانی (فسفر > پتاسیم > منیزیم > کلسیم) با الگوی گزارش‌شده در سایر کشورها مانند استرالیا، مکزیک، ویتنام و آمریکا مطابقت داشت (۲۸–۲٦). در مورد ریزمغذی‌ها نیز، میانگین غلظت آهن، روی، مس و منگنز به‌ترتیب به‌ترتیب ۷/۳، ۱۳/۳،

۲/۰ و ۱۰/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که با محدوده‌های گزارش شده در سایر کشورها مانند آمریکا (به‌ترتیب ۳/٦، ۱۳/۵، ۱/۹ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، استرالیا (٤، ۱۸/۵، ۲/۲ و ۱۳/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ژاپن (۳/۲ و ۱٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب برای آهن و روی)، ویتنام (به‌ترتیب ٦/۵، ۱۹/۸، ۲/٦ و ۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و هند مطابقت داشت (۲۷). بر اساس نتایج، عناصر روی، منگنز، آهن و مس به‌ترتیب بیشترین غلظت را در دانه برنج داشتند.

از منظر ارزش تغذیه‌ای، سهم برنج ایرانی در تأمین بخشی از نیاز روزانه به عناصر معدنی قابل توجه است. به‌طور مثال، با توجه به سرانه مصرف برنج در ایران (۳۹ کیلوگرم در سال؛ معادل ۱۰۷ گرم در روز)، یک فرد بالغ به‌طور میانگین روزانه حدود ۱۷۲ میلی‌گرم فسفر، ۸۰ میلی‌گرم پتاسیم، ۱۰۸ میلی‌گرم کلسیم و ۲۹ میلی‌گرم منیزیم از طریق برنج دریافت می‌کند. اگرچه این مقادیر به‌تنهایی نمی‌توانند نیاز روزانه به این عناصر (به‌ویژه پتاسیم و منیزیم) را پوشش دهند، اما در ترکیب با سایر منابع غذایی بخش قابل‌توجهی از نیازهای تغذیه‌ای را تأمین می‌کنند (۳۳). با این حال، نتایج نشان داد که برنج ایرانی از نظر آهن و روی در آستانه مقادیر حداقل برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای قرار دارد. میانگین غلظت آهن در دانه‌ها (۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ۹۵ درصد نمونه‌ها کمتر یا برابر با ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود؛ سطحی که نمی‌تواند ۳۰ درصد نیاز متوسط تخمینی انسان را برآورده کند (۳٤). در مورد روی نیز، حدود ۲۵ درصد از نمونه‌ها در دسته متوسط (۲۵–۱٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و حدود ۷۵ درصد دیگر در دسته کم (۱٦> میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار گرفتند (۳۵). این یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه برنج ایرانی به‌طور کلی از نظر عناصر غذایی در وضعیت قابل‌قبول است، اما ارتقای محتوای آهن و روی از طریق اصلاح ژنتیکی و مدیریت تغذیه‌ای می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت تغذیه‌ای این محصول داشته باشد.

دلیل غلظت پایین آهن و روی در دانه برنج تا حدود زیادی به pH قلیایی اکثر اراضی کشاورزی کشور و نیز کمبود غلظت کم این عناصر در خاک مزارع کشاورزی کشور نسبت داده می‌شود. در این رابطه، شهبازی و بشارتی (۱۳۹۲) با ارزیابی وضعیت حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی سطح کشور گزارش کردند که در بین عناصر کم‌مصرف، کمبود آهن و روی حادتر از سایرین است، به گونه‌ای که ٥٦ و ٤۰ درصد از اراضی کشور بهترتیب کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و کمتر از ٤/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن قابل استفاده دارند. نتایج آنها همچنین نشان داد که ۹۷ درصد از خاک‌های اراضی کشاورزی قلیایی (pH > ۷) هستند که خود یکی از اصلی‌ترین عوامل بازدارندگی جذب و بروز کمبود این عناصر در دانه است (۳٦).

اثر فرایند پختن بر تغییر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی

فرآیند پختن برنج، به ویژه به روش‌های سنتی مانند کته و آبکش، نقش مهمی در تغییر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی دانه برنج دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پخت به روش آبکش منجر به کاهش قابل توجه غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی شد، در حالی که روش پخت کته اثر کمتری بر کاهش فلزات سنگین داشت و در مورد عناصر غذایی بسته به نوع عنصر، باعث افزایش یا کاهش آنها شد (جدول ۳ و ٤). مقایسه کارایی روش‌های کته و آبکش در این مطالعه با مقادیر گزارش شده در سایر تحقیقات نشان داد که روش آبکش کارایی بهمراتب بیشتری در حذف فلزات سنگین از دانه برنج داشت. اختلاف در میزان کاهش فلزات و عناصر غذایی در هر روش پخت را می‌توان به عوامل متعددی نسبت داد، از جمله مقاومت لایه سطحی دانه برنج در برابر نفوذ آب، محتوای ترکیبات آلی و پروتئین‌های دانه که توانایی تشکیل کمپلکس با عناصر را دارند، و سطح آلودگی داخلی یا سطحی دانه برنج (۷). روند تغییرات غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در مطالعه حاضر با یافته‌های Sharafi و همکاران (۲۰۱۹) و Mihucz و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی داشت (۷).

در فرآیند پخت آبکش، میزان حذف فلزات سنگین به ترتیب از بیشترین تا کمترین به شرح زیر بود: سرب > آرسنیک > کادمیم. این الگو احتمالاً ناشی از ماهیت سطحی آلودگی با سرب در محصولات گیاهی است، در حالی که فلزات دیگر مانند آرسنیک و کادمیم می‌توانند به عمق دانه نفوذ کنند و بنابراین حذف آن‌ها دشوارتر است (۷). بنابراین، فرایندهای شست‌وشو، پختن و آبکش کردن می‌توانند این فلز را به‌راحتی از دانه‌های برنج حذف کنند. بررسی‌های پیشین نشان داده است که خیساندن برنج قبل از شستشو و پخت می‌تواند میزان حذف فلزات سنگین و به تبع آن عناصر غذایی را افزایش دهد و این میزان با طول مدت خیساندن رابطه مستقیم دارد (۳۸). با توجه به این موضوع، احتمالاً شستشوی ساده تنها موجب تماس سطحی دانه برنج با آب می‌شود، در این حالت، برخلاف روش پخت آبکش، آب نمی‌تواند به لایه‌های داخلی که حاوی مقادیر

بیشتری از فلزات هستند، نفوذ کند. بنابراین، با افزایش مدت‌زمان تماس برنج با آب میزان نفوذ آب به داخل دانه برنج افزایش یافته و در نتیجه مقدار بیشتری از فلزات می‌تواند در آب حل شده و دفع گردد. در این راستا، Adibi و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که شستشو همراه با ۳ ساعت خیساندن می‌تواند به‌ترتیب منجر به حذف ۱۵ درصد سرب، ۱۸ درصد آرسنیک و ۷/۲ درصد کادمیم شود (۳۸).

نتایج حاضر همچنین نشان داد که میزان حذف تمام عناصر، چه سمی و چه ضروری، در روش آبکش بیشتر از روش کته بود. به‌طور مشابه، Rezaei و همکاران (۲۰۱٦) نیز گزارش کردند که روش آبکش در کاهش میزان فلزات سمی مؤثرتر از روش کته است (۳۹). تفاوت اصلی بین این دو روش ناشی از دور ریختن آب جوشیده پس از پخت در روش آبکش و نسبت بالای آب به برنج در این روش (٤:۱ در آبکش و ۲:۱ در کته) است که نفوذ آب به داخل دانه و در نتیجه حذف فلزات و عناصر محلول را افزایش می‌دهد (٤۱ ,٤۰). روش کته با حجم کمتر آب، بیشتر منجر به حفظ ویتامین‌ها و عناصر غذایی محلول در دانه می‌شود، اگرچه از نظر حذف فلزات سنگین کارایی کمتری دارد (٤۲).

عناصر غذایی موجود در دانه برنج، به ویژه فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز، کلسیم، آهن، روی و مس، نقش حیاتی در سلامت انسان دارند و روند تغییرات آن‌ها طی پخت اهمیت ویژه‌ای دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که روش پخت آبکش بیشترین تأثیر را بر کاهش غلظت عناصر غذایی داشت. در واقع، افزایش دما در فرایند پخت موجب نفوذ بیشتر آب به درون دانه برنج و لایه‌های عمقی‌تر شده و در نتیجه مقدار بیشتری از فلزات در آب حل و در روش آبکش دفع می‌گردد در مطالعه‌ای ترتیب حذف عناصر غذایی در روش پخت آبکش به صورت: پتاسیم (۵۰ درصد)> منیزیم (۲۲/٤ درصد) > منگنز (۱٦/۵ درصد) > کلسیم (۱٤/۵ درصد) > آهن (۸/۲ درصد) > روی (۷/۷ درصد) > مس (۰/۲ درصد) گزارش شد (٤٤). این ترتیب در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد و درصد حذف پتاسیم (٦۰/٦ درصد) در مقایسه با سایر عناصر بیشتر بود (جدول ٤). این الگو نشان می‌دهد که پتاسیم، به‌عنوان یکی از عناصر محلول در آب، بیشترین حساسیت را به فرآیند پخت آبکش دارد، در حالی که مس و روی نسبتاً مقاوم‌تر هستند.

برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که اثر پخت بر تغییر غلظت عناصر ضروری دو ظرفیتی مانند روی، مس و منیزیم کمتر از فلزات سنگین است که احتمالاً ناشی از حضور اسید فیتیک به عنوان بازدارنده قوی استخراج این عناصر است (Demirezen, ۲۰۰٦; Mihucz, ۲۰۱۰). افزایش حرارت و زمان تماس در فرآیند آبکش موجب نفوذ بیشتر آب به لایه‌های عمقی دانه برنج شده و بنابراین مقدار بیشتری از فلزات در آب حل و دفع می‌گردند (۱۰، ٤۳) .

حساسیت بالای برخی عناصر غذایی به فرآیند آبکش را می‌توان به محل قرارگیری آن‌ها در لایه سطحی دانه برنج نسبت داد. مطالعات با استفاده از تکنیک‌های اشعه ایکس نشان داده‌اند که منطقه‌ای به ضخامت حدود ۸۰ میکرومتر در سطح دانه غنی از عناصر غذایی است، که با نفوذ آب و شستشو به راحتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۰). در مقابل، عناصر دوظرفیتی مانند روی، مس و منیزیم، تحت تأثیر اسید فیتیک موجود در دانه قرار دارند، که به عنوان یک مهارکننده طبیعی میزان استخراج این عناصر را کاهش می‌دهد و بنابراین حساسیت آن‌ها نسبت به حذف کمتر است (۱۰, ٤۵). مقایسه اثر روش‌های پخت آبکش و کته نشان داد که در روش کته، میزان حذف عناصر غذایی کمتر و حفظ آن‌ها بهتر است، زیرا آب مورد استفاده برای پخت برنج که سرشار از عناصر غذایی است دور ریخته نمیشود. در نتیجه، انتخاب روش پخت مناسب می‌تواند تعادل میان کاهش فلزات سنگین و حفظ عناصر غذایی را تحت کنترل درآورد، بطوری که روش آبکش برای کاهش مؤثر فلزات سنگین و روش کته برای حفظ عناصر غذایی توصیه می‌شود (۳۹, ٤٦).

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر وضعیت غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی در نمونه‌های برنج موردمطالعه و تأثیر فرایندهای پخت بر تغییر غلظت آنها را مور بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیم، سرب و آرسنیک در برنج‌های مورد مطالعه از بیشینه حدود مجاز استاندارد ملی ایران کمتر بود. با این حال، غلظت در بعضی از نمونه‌ها با حد تعیین شده برای بیشینه رواداری این فلزات در استاندارد ملی مطابقت نداشت. علاوه بر این، بررسی اثر روش‌های مختلف پخت نشان داد که فرایند پختن می‌تواند به طور معنی‌داری بر غلظت فلزات سنگین و عناصر غذایی دانه برنج تأثیر بگذارد. پخت آبکش در مقایسه با دانه خام و روش کته، بیشترین کاهش را در غلظت فلزات سنگین ایجاد کرد. در عین حال، این روش موجب کاهش قابل توجه عناصر غذایی ضروری نیز شد. بر خلاف آن، روش کته تأثیر محدودتری در حذف فلزات سنگین داشت، اما در حفظ

عناصر غذایی عملکرد مطلوب‌تری نشان داد. این نتایج به‌طورکلی بیانگر آن است که انتخاب روش پخت باید بر اساس شرایط منطقه‌ای و وضعیت آلودگی برنج صورت گیرد. در مناطقی که احتمال آلودگی به فلزات سنگین بالاست، روش آبکش به دلیل توانایی بالای آن در کاهش غلظت آلاینده‌ها توصیه می‌شود، حتی اگر با کاهش عناصر غذایی همراه باشد. در مقابل، در مناطقی که ریسک آلودگی کمتر است، استفاده از روش کته می‌تواند ضمن حفظ ارزش تغذیه‌ای برنج، نگرانی‌های مرتبط با کاهش عناصر ضروری را برطرف سازد.

اعلان‌ها

تشکر و قدردانی: نویسندگان از حمایت مالی و اجرایی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج در قالب پروژه «پایش وضعیت فلزات سنگین و عناصر غذایی در محصولات برنج و گندم مناطق عمده تولید کشور» (کد طرح: ۰۱۳۸-۱۰-۱۰۰۳۰۴-۰۳۴-۹۹۰۱-۹۹۰۵۳-۹۹۱۴۵۹) و همکاری ارزشمند کارشناسان بخش آزمایشگاه‌ها قدردانی می‌نمایند.

حمایت مالی: این پژوهش با حمایت مالی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج و تحت پروژه مصوب با کد ۰۱۳۸-۱۰-۱۰۰۳۰۴-۰۳۴-۹۹۰۱-۹۹۰۵۳-۹۹۱۴۵۹ اجرا شد.

تعارض منافع: نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافع در ارتباط با این مطالعه وجود ندارد.

استفاده از هوش مصنوعی: نویسندگان اظهار می‌دارند که در فرایند نگارش این مقاله از هیچ گونه فناوری‌های هوش مصنوعی برای تولید محتوا، ایده، تجزیه و تحلیل و سایر موارد استفاده نشده است.

مشارکت نویسندگان: میثم چراغی: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحقیق و بررسی، نرم‌افزار، اعتبارسنجی، نوشتن – پیشنویس اصلی، نوشتن – بررسی و ویرایش. کریم شهبازی: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، نظارت، اعتبارسنجی، نوشتن – بررسی و ویرایش. آیناز توانامهر: جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، نوشتن – پیشنویس اصلی. مهدی بهشتی: تحقیق و بررسی، جمع‌آوری دادهها، روششناسی، نظارت، نوشتن – بررسی و ویرایش. کبری سادات هاشمی نسب زواه، کامبیز بازرگان، مژگان یگانه، مصطفی مارزی و میثم رضایی: تحلیل رسمی، نظارت، منابع، اعتبارسنجی، نوشتن – بررسی و ویرایش.

ملاحظات اخلاقی: این پژوهش شامل جمع‌آوری و آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های برنج تولیدی ایران بوده و هیچ‌گونه مداخله‌ای بر انسان یا حیوان نداشته است؛ بنابراین مطابق «آیین‌نامه کمیته ملی اخلاق در پژوهش‌های زیست‌پزشکی ایران (مصوب ۱۳۹۶)» دریافت کد اخلاق برای چنین مطالعاتی الزامی نیست. با این وجود، تمامی موازین اخلاقی مرتبط با پژوهش‌های غیرانسانی رعایت شد.

برای حفظ محرمانگی، از ذکر نام تجاری محصولات، نام شرکت‌های تولیدکننده، فروشگاه‌ها یا آزمایشگاه‌های همکار خودداری شد تا هرگونه شائبه تبلیغ یا ضدتبلیغ منتفی باشد. فرایند نمونه‌برداری، آماده‌سازی، تحلیل آزمایشگاهی و گزارش نتایج مطابق استانداردهای علمی، بدون هرگونه سوگیری و با رعایت اصول صداقت پژوهشی و امانت‌داری علمی انجام گرفت. تمامی منابع علمی استفاده‌شده به‌طور دقیق و شفاف استناد داده‌شده‌اند.

References

1. Shi Z, Carey M, Meharg C, Williams PN, Signes-Pastor AJ, Triwardhani EA, et al. Rice grain cadmium concentrations in the global supply-chain. Exposure and health. 2020;12(4):869-76.
2. Sen S, Chakraborty R, Kalita P. Rice-not just a staple food: A comprehensive review on its phytochemicals and therapeutic potential. Trends in Food Science & Technology. 2020;97:265-85.
3. Cheraghi M, Shahbazi K, Marzi M, Yeganeh M, Hasheminasab KS, Fathi-Gerdelidani A, et al. Geochemistry of arsenic in paddy soils and its accumulation in rice grains: An updated analysis with human health perspectives. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2025;302:118667.
4. Kennedy G, Burlingame B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. Food Chemistry. 2003;80(4):589-96.
5. Yang S, Kaur A, Page S, Ai Y, Zamani S, Smith M, et al. A comparative nutrient analysis of multiple Saskatchewan wild rice (Zizania palustris L.) populations and commercially available grains. Journal of Agriculture and Food Research. 2025;21:101866.
6. Cheraghi M, Shahbazi K, Fathi-Gerdelidani A, Marzi M, Hosseini B, Srivastava S. Geochemistry of arsenic in soils with a focus on calcareous soils: control strategies and perspectives. Environmental Science and Pollution Research. 2025:1-30.
7. Sharafi K, Yunesian M, Mahvi AH, Pirsaheb M, Nazmara S, Nodehi RN. Advantages and disadvantages of different pre-cooking and cooking methods in removal of essential and toxic metals from various rice types-human health risk assessment in Tehran households, Iran. Ecotoxicology and environmental safety. 2019;175:128-37.
8. Abu-Almaaly RA. Effect of cooking method on the content of heavy metals in rice that available in local market. Plant Archives. 2020;20(2):2976-81.
9. Menon M, Dong W, Chen X, Hufton J, Rhodes EJ. Improved rice cooking approach to maximise arsenic removal while preserving nutrient elements. Science of the Total Environment. 2021;755:143341.
10. Mihucz VG, Silversmit G, Szalóki I, De Samber B, Schoonjans T, Tatár E, et al. 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. 2010;121(1):290-7.
11. Chakravarty I, Sinha R, Ghosh K. Arsenic in food chain—study on both raw and cooked food. Arsenic contamination: Bangladesh perspective Dhaka: ITN-Bangladesh, Bangladesh University of Engineering and Technology. 2003:227-40.
12. Khan SI, Ahmed AM, Yunus M, Rahman M, Hore SK, Vahter M, et al. Arsenic and cadmium in food-chain in Bangladesh—an exploratory study. Journal of health, population, and nutrition. 2010;28(6):578.
13. Sengupta M, Hossain M, Mukherjee A, Ahamed S, Das B, Nayak B, et al. Arsenic burden of cooked rice: traditional and modern methods. Food and chemical toxicology. 2006;44(11):1823-9.
14. Mwale T, Rahman MM, Mondal D. Risk and benefit of different cooking methods on essential elements and arsenic in rice. International journal of environmental research and public health. 2018;15(6):1056.
15. Amorim FA, Ferreira SL. Determination of cadmium and lead in table salt by sequential multi-element flame atomic absorption spectrometry. Talanta. 2005;65(4):960-4.
16. Luvonga C, Rimmer CA, Lee LY, Lee SB. Determination of total arsenic and hydrophilic arsenic species in seafood. Journal of Food Composition and Analysis. 2021;96:103729.
17. Klesta EJ, Bartz JK. Quality assurance and quality control. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods. 1996;5:19-48.
18. Strawn DG, Mohotti D, Carp E, Liang X, Chen J,

Schroeder K, et al. Cadmium concentrations in Idaho wheat grain and soil. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2022;5(3):e20288.

19. Norton GJ, Williams PN, Adomako EE, Price AH, Zhu Y, Zhao F-J, et al. Lead in rice: analysis of baseline lead levels in market and field collected rice grains. Science of the total environment. 2014;485:428-34.
20. 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. Science of the total environment. 2006;359(1-3):156-66.
21. Zavala YJ, Gerads R, Gürleyük H, Duxbury JM. Arsenic in rice: II. Arsenic speciation in USA grain and implications for human health. Environmental Science & Technology. 2008;42(10):3861-6.
22. Cheraghi M, Shahbazi K, Fathi-Gerdelidani A, Yeganeh M, Hasheminasab Zavareh KS, Marzi M, et al. Investigation of heavy metals (Cadmium, Lead, and Arsenic) status in Iranian agricultural products and a critique of published studies–(a review study). Iranian Journal of Soil and Water Research. 2025.
23. Meharg AA, Williams PN, Adomako E, Lawgali YY, Deacon C, Villada A, et al. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. Environmental science & technology. 2009;43(5):1612-7.
24. Lien K-W, Pan M-H, Ling M-P. Levels of heavy metal cadmium in rice (Oryza sativa L.) produced in Taiwan and probabilistic risk assessment for the Taiwanese population. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28(22):28381-90.
25. Li X, Xie K, Yue B, Gong Y, Shao Y, Shang X, et al. Inorganic arsenic contamination of rice from Chinese major rice-producing areas and exposure assessment in Chinese population. Science China Chemistry. 2015;58:1898-905.
26. Lu Y, Dong F, Deacon C, Chen H-j, Raab A, Meharg AA. Arsenic accumulation and phosphorus status in two rice (Oryza sativa L.) cultivars surveyed from fields in South China. Environmental Pollution. 2010;158(5):1536-41.
27. Rahman MA, Rahman MM, Reichman SM, Lim RP, Naidu R. Heavy metals in Australian grown and imported rice and vegetables on sale in Australia: health hazard. Ecotoxicology and environmental safety. 2014;100:53-60.
28. Heitkemper D, Kubachka K, Halpin P, Allen M, Shockey N. Survey of total arsenic and arsenic speciation in US-produced rice as a reference point for evaluating change and future trends. Food Additives and Contaminants. 2009;2(2):112-20.
29. Meharg A, Adomaco E, Lawgali Y, Deacon C, Williams P. Levels of arsenic in rice–literature review. Food Standards Agency contract C. 2007;101045.
30. Sotelo A, Sousa V, Montalvo I, Hernandez M, Hernandez-Aragon L. Chemical composition of different fractions of 12 Mexican varieties of rice obtained during milling. Cereal chemistry. 1990;67(2):209-12.
31. Wolnik KA, Fricke FL, Capar SG, Meyer MW, Satzger RD, Bonnin E, et al. Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmium, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions, rice, spinach, and tomatoes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1985;33(5):807-11.
32. Phuong T, Chuong P, áTong Khiem D. Elemental content of Vietnamese ricePart 1. Sampling, analysis and comparison with previous studies. Analyst. 1999;124(4):553-60.
33. Haytowitz DB, Ahuja JK, Wu X, Somanchi M, Nickle M, Nguyen QA, et al. USDA National nutrient database for standard reference, legacy release. Retrieved from website. 2019.
34. Bouis HE, Hotz C, McClafferty B, Meenakshi J, Pfeiffer WH. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. Food and nutrition bulletin. 2011;32(1_suppl1):S31-S40.

35. Maganti S, Swaminathan R, Parida A. Variation in iron and zinc content in traditional rice genotypes. Agricultural research. 2020;9(3):316-28.

36. 36. Shahbazi K, Besharati H. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Management Journal. 2013;1(1):1-15.

37. Tsukada H, Hasegawa H, Takeda A, Hisamatsu S. Concentrations of major and trace elements in polished rice and paddy soils collected in Aomori, Japan. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. 2007;273(1):199-203.

38. Adibi H, Mazhari M, Bidoki SK, Mahmoodi M. The effect of washing and soaking on decreasing heavy metals (Pb, Cd and As) in the rice distributed in Kermanshah in 2011. Journal of Kermanshah university of medical sciences. 2014;17(10).

39. Rezaei Malidareh R, Shokrzadeh M, Khasi B, Rouhi S, Zaboli F. 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. Journal of Research in Environmental Health. 2016;2(1):52-9.

40. Hajeb P, Sloth JJ, Shakibazadeh S, Mahyudin NA, Afsah-Hejri L. Toxic elements in food: occurrence, binding, and reduction approaches. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2014;13(4):457-72.

41. Wang C, Duan H-Y, Teng J-W. Assessment of microwave cooking on the bioaccessibility of cadmium from various food matrices using an in vitro digestion model. Biological trace element research. 2014;160(2):276-84.

42. Raab A, Baskaran C, Feldmann J, Meharg AA. Cooking rice in a high water to rice ratio reduces inorganic arsenic content. Journal of Environmental Monitoring. 2009;11(1):41-4.

43. Morekian R, Mirlohi M, Azadbakht L, Maracy MR. Heavy metal distribution frequency in Iranian and imported rice varieties marketed in central Iran, Yazd, 2012. International journal of environmental health engineering. 2013;2(1):36.

44. Carey A-M, Scheckel KG, Lombi E, Newville M, Choi Y, Norton GJ, et al. Grain unloading of arsenic species in rice. Plant Physiology. 2010;152(1):309-19.

45. Demirezen D, Aksoy A. Heavy metal levels in vegetables in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb. Journal of food quality. 2006;29(3):252-65.

46. Naito S, Matsumoto E, Shindoh K, Nishimura T. Effects of polishing, cooking, and storing on total arsenic and arsenic species concentrations in rice cultivated in Japan. Food chemistry. 2015;168:294-301.

47. Rahman MA, Hasegawa H, Rahman MA, Rahman MM, Miah MM. Influence of cooking method on arsenic retention in cooked rice related to dietary exposure. Science of the Total Environment. 2006;370(1):51-60.

48. Meharg A, Williams P, Schekel K, Lombi E, Feldmann J, Raab A, et al. Speciation of arsenic differs between white and brown rice grain. Environ Sci Technol. 2008;42:1051-7.

49. Fontanella MC, Martin M, Tenni D, Beone GM, Romani M. Effect of milling and parboiling processes on arsenic species distribution in rice grains. Rice Science. 2021;28(4):402-8.

50. Welch RM, editor Zinc concentrations and forms in plants for humans and animals. Zinc in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on 'Zinc in Soils and Plants' held at The University of Western Australia, 27–28 September, 1993; 1993: Springer.

51. Shahriar S, Paul AK, Rahman MM. Removal of toxic and essential nutrient elements from commercial rice brands using different washing and cooking practices: human health risk assessment. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(5):2582.