

Assessment of Potential Health Risks Caused by Heavy Metal Accumulation in Rice Crops of Ramhormoz Farms, Iran

Abbas Kord Zanganeh¹, Hamid Reza Pourkhabbaz^{2✉}, Ali Reza Pourkhabbaz³

1. Department of Environment Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. E-mail: abbaskordzanganeh@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environment Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. E-mail: pourkhabbaz@yahoo.com
3. Department of Environment Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: apourkhabbaz@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 4 January 2025
Received in revised form: 20 April 2025
Accepted: 1 May 2025
Available online: 10 June 2025

Keywords:
*Health risk assessment,
Heavy metals,
Ramhormoz city,
Rice,
Water sources.*

ABSTRACT

Objective: Given that rice is one of the most important food sources for humans, monitoring contaminants in this crop is essential to safeguarding consumer health. Due to the expansion of vast rice cultivation areas across various parts of Ramhormoz, Iran, it is necessary to conduct a health risk assessment of heavy metals in irrigation water sources and rice products.

Method: To determine the concentration of heavy metals, three composite samples were collected from each of the irrigation water sources, including wells, springs, and rivers, as well as from the rice products irrigated by each of the mentioned water resources separately. Subsequently, all water samples were digested with 65% nitric acid and the rice samples were digested with 70% perchloric acid, sulfuric acid, and 70% nitric acid, and analyzed by an atomic absorption spectrometer. The health risk index was applied to determine the impact of heavy metals on consumer health.

Results: The results showed that the highest average concentrations of heavy metals in river water samples were as follows: cadmium (0.049 mg/L), lead (0.149 mg/L), zinc (0.304 mg/L), and iron (76.150 mg/L). There was a significant difference at the 1% level between cadmium levels in well water and river water samples compared to the WHO standard (0.01 mg/L). For this metal, there was also a significant difference at the 5% level in spring and well water samples compared to global standard levels. Also, there was a significant difference at the 1% level for Lead in spring and river water samples compared to the global standard (0.05 mg/L) and for zinc in well, spring, and river water samples compared to the global standard (5 mg/L). There is a significant difference ($p < 0.05$) in the level of iron metal in the water of these three water sources compared to the World Health Organization's standard.

Comparison of the water samples obtained from these three sources to the global standard indicated that the highest average concentrations of these metals in rice irrigated with river water were: cadmium (0.0030 mg/kg), lead (0.279 mg/kg), zinc (0.963 mg/kg), and iron (317.25 mg/kg). According to the results, the average daily intake of elements and the health risk index indicated that in all samples, the health index for Lead for children was above one, which was deemed hazardous for consumption.

Conclusions: According to the results of the present study, the main reason for the high concentration of the heavy metals was found to be the discharge of wastewater from agricultural lands and various surrounding industries into water resources in the region. Therefore, given the presence of certain heavy metals in the rice crop and the high health risk index, its consumption, particularly for children, should be restricted.

Cite this article: Kord Zanganeh, A., Pourkhabbaz, H. R., & Pourkhabbaz, A. R. (2025). Assessment of Potential Health Risks Caused by Heavy Metal Accumulation in Rice Crops of Ramhormoz Farm, Iran. *Journal of Environmental Studies*, 51 (1), 59- 73. <http://doi.org/10.22059/JES.2025.387054.1008558>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2025.387054.1008558>

Introduction

Rice is an essential food source for humans. Therefore, it is crucial to conduct extensive studies on the contamination of this crop to ensure consumer health. Due to the expansion of vast rice cultivation areas across various regions of Ramhormoz, Iran, it is necessary to conduct a health risk assessment of heavy metals in irrigation water sources and rice products. Compared to other food products, rice has attracted special attention from researchers due to its greater ability to absorb heavy metals. Due to specific cultivation conditions, this plant allows heavy metals to be easily absorbed by the roots from water and soil, which will be eventually stored in rice grains. Thus, the consumption of rice contaminated with these toxic metals is one of the sources of risk to human health. Therefore, a high concentration of heavy metals and their compounds above the maximum permissible limit in food and beverages has harmful effects on human health, and the toxic, mutagenic, carcinogenic, and non-carcinogenic effects are related to the characteristics of the element. The expected effects of these substances are evaluated through a health risk assessment. In general, the health risk index is a model developed to estimate the potential risk of pollutants to human health.

With about 45,000 to 50,000 hectares of rice cultivation area, Khuzestan province of Iran is the hub for rice production in the south of the country and ranks third nationally in rice production in terms of quality. Rice cultivation in the mountainous areas of Khuzestan, including Midavood, Ramhormoz, and Izeh, is practiced through seedling cultivation, while in the plains of the province, including Shushtar, Ahvaz, Shush, Khorramshahr, and Dasht Azadegan, it is mainly carried out through direct sowing. The rice cultivation area in Ramhormoz County is larger than in other regions of Khuzestan Province, and the main food for the people in these areas is the Champa variety of rice. In the rice cultivation areas in this region, various water sources including wells, springs, and rivers, are used for irrigation purposes, which should be investigated concerning water resources and the relevant rice variety, with an emphasis on health risk assessment. Thus, the present study aims to investigate the concentration status of heavy metals, including cadmium, lead, zinc, and iron, in the irrigation water and Champa rice variety in selected areas of Ramhormoz County and conducting the human health risk assessment on them.

Method

This study was carried out using a completely randomized design. In order to reduce errors in the research, all sampling containers were washed with nitric acid and distilled water. Nitric acid was added to the water samples to prevent hydrolysis, precipitation of heavy metals, and absorption of metals by the sampling containers.

To determine the concentration of heavy metals, three composite samples were taken separately from each irrigation water source (well, spring, and river) and from the corresponding rice product in the Ramhormoz area. For sampling the irrigation water resources (including wells, springs, and rivers) in Ramhormoz, samples were collected in polyethylene bottles, which had been previously washed with 1% nitric acid and distilled water. Care was taken to prevent sediment from entering the sampling container during the collection from the water inlet to the agricultural land. Subsequently, all water samples were digested with 10 milliliters of 65% nitric acid and then analyzed using an atomic absorption device. Rice grain samples corresponding to each station (farm) were collected in clusters from three points within the agricultural lands. After combining them, a portion was separated, placed in a plastic bag, and sent to the laboratory for drying, husking (hand whitening), and other testing stages. In total, to evaluate the concentration of heavy metals and compare them with the World Standards Organization in irrigation water sources (wells, springs, and rivers) and rice irrigated from these sources in Ramhormoz, 3 samples of well water, 3 samples of spring water, and 3 samples of river water were taken separately from the irrigation water sources. For rice crop sampling, 3 composite samples of rice irrigated by well water, 3 composite samples of rice irrigated by spring water, and 3 composite samples of rice irrigated by river water were taken for testing. In order to digest the water samples, first 250 ml of each sample was poured into the flask, and then 10 ml of 65% nitric acid was added to the sample. The next step was to evaporate the water, and when its volume reached 15 to 20 ml, 5 ml of 65% nitric acid was added to the sample. In the next stage, the solution was passed through Whatman 42 filter paper, and the volume was adjusted to 50 ml using distilled water. The resulting solution was kept in a dark and cold place (temperature 10-4 °C) until the heavy metals was measured by atomic absorption. About one gram of each dry and sieved sample was

prepared by dissolution with three acids (H_2SO_4 : HNO_3 : HClO_4 , 1:3:1), and the acidic digestion was performed following the EPA 3050B guidelines. Finally, after the preparation of the mother solution and the standards of cadmium, lead, zinc, and iron, the concentration of elements in the samples was determined in 3 replicates by atomic absorption spectrometry (AAS, Spectra 220 FS, Varian, Palo Alto, CA, USA). It should be noted that all the standard solutions used were prepared from the mother standard (Merck) with a concentration of 1000 ppm. In general, 18 samples in the study area from irrigation water sources and rice crops irrigated by well, spring, and river water sources were analyzed. To determine the impact of heavy metals on consumer health, the health risk index was utilized.

Results

The results showed that the highest average concentrations of heavy metals were related to cadmium (0.049 mg/kg), lead (0.149 mg/kg), zinc (0.304 mg/kg), and iron (76.150 mg/kg), which were associated with river water. There was a significant difference at the 1% level between the cadmium levels in well water and river water compared to the WHO standard (0.01 mg/L). For this metal, there was also a significant difference at the 5% level in spring and well water concerning global standard levels (exceeding permissible global standards). A significant difference was found at the 1% significance level for lead in spring and river water compared to the global standard (0.05 mg/L) and for zinc in well, spring, and river water compared to the global standard (5 mg/L). A significant difference existed at the 5% level for iron in water from these three sources compared to the global standard (2 mg/L), indicating that the highest average concentrations of these metals in rice irrigated with river water were related to cadmium (0.0030 mg/kg), lead (0.279 mg/kg), zinc (0.963 mg/kg), and iron (317.25 mg/kg). Meanwhile, the analysis indicated a significant difference at the 5% level for cadmium in rice irrigated with water from well, spring, and river water compared to the global standard (0.3-0.4 mg/kg). There was no significant difference for lead in rice from spring and river water versus the global standard (0.3 mg/L); however, a significant difference at the 1% significance level existed for Pb in rice product irrigated with water from wells. A significant difference was noted at the 1% level for zinc in rice irrigated with water from well, spring, and river water compared to the global standard (50 mg/L), and for iron in rice irrigated with water from well and river sources compared to the global standard (40 mg/L) at the 5% level of significance, while for rice irrigated with water from spring, a significant difference at the 1% level compared to global standards was also observed (exceeding permissible levels). According to the results, the average daily intake of elements and the health risk index indicated that the health index of lead for children was above 1 in all samples, indicating a hazardous level for consumption.

Khoorie, Arianfar and khoorie (2022) investigated the concentration of heavy metals and the health risk index associated with consumption of various types of rice available in the Iranian market. In this study, based on the daily estimation of toxic elements intake from rice consumption, it was concluded that the intake of all heavy metals through the consumption of different rice crops was less than the ADI defined by the World Health Organization. Therefore, according to the present investigation, the consumption of the rice under study did not cause toxicity in the consumer, except for lead, which posed a health risk to children.

Conclusion

Considering the daily intake levels of zinc, cadmium, lead, and iron from rice consumption, the health risk index in the present study was below 1 and within acceptable limits, indicating no risk for the general population of rice consumers. However, the concentration of lead in the samples for the children's health index exceeded 1. According to these results, the consumption of this rice sample for children should be limited so that the level of lead contamination in the samples is reduced to the permissible level. Otherwise, it will cause negative consequences for children, as research has shown that children are more exposed to this risk than adults, especially to lead, which is a serious threat to them. According to these results, the main reason for the high concentration of these metals is the entry of wastewater from surrounding agricultural lands and various industries into water resources in the region. Therefore, considering the presence of some heavy metals in the rice product and the high health risk index, its consumption should be limited, especially for children.

Author Contributions

Abbas Kord Zanganeh: Conceptualization, Hamid Reza Pourkhabbaz: software and Data collections, methodology, writing, review and editing; Ali Reza Pourkhabbaz: methodology, formal analysis and supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgments

We sincerely thank all individuals and institutions who contributed to this article. Thanks to Behbahan Khatam Alanbia University of Technology (Iran) for providing resources and facilities. We also acknowledge the researchers and technicians involved in data collection and analysis.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



University of Tehran Press

نشریه محیط شناسی

دوره ۵۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

شاپای چاپی: ۸۶۲۰-۱۰۲۵
شاپای الکترونیکی: ۶۹۲۲-۲۳۴۵

Homepage: <http://Jes.ut.ac.ir>

ارزیابی ریسک بالقوه سلامت ناشی از تجمع فلزات سنگین در محصول برنج مزارع رامهرمز، ایران

عباس کردزنگنه^۱، حمیدرضا پورخباز^{۲*}، علی رضا پورخباز^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: abbaskordzangenh@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: pourkhabbaz@yahoo.com
۳. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: apourkhabbaz@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک سلامت، برنج، شهر رامهرمز، فلزات سنگین، منابع آبی.	هدف: با توجه به این که برنج منبع غذایی مهمی برای انسان است، لازم است پایش آلودگی‌های موجود در این محصول جهت حفظ سلامت مصرف‌کنندگان صورت گیرد. بر این اساس، با توجه به گسترش اراضی وسیع برنج‌کاری در مناطق مختلف رامهرمز، تعیین ارزیابی ریسک سلامت افراد ناشی از تجمع میزان فلزات سنگین Zn, Pb, Cd و Fe در آب و گیاه برنج ضروری است. روش پژوهش: برای تعیین غلظت فلزات سنگین، از هر یک از منابع آبیاری شامل چاه، چشمه و رودخانه و همچنین محصول برنج وابسته به هر منبع به صورت جداگانه، سه نمونه ترکیبی گرفته شد. در ادامه، تمامی نمونه‌های آب توسط اسید نیتریک ۶۵ درصد و برنج جمع‌آوری شده با کمک اسید پرکلریک ۷۰ درصد، اسید سولفوریک و اسید نیتریک ۷۰ درصد هضم شدند و سپس توسط دستگاه جذب اتمی مورد آنالیز قرار گرفتند. برای تعیین تأثیر فلزات سنگین بر سلامت مصرف‌کننده از شاخص مخاطره سلامت استفاده شد. یافته‌ها: نتایج نشان داد که بالاترین میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم (۰/۰۴۹)، سرب (۰/۱۴۹)، روی (۰/۳۰۴) و آهن (۷۶/۱۵۰) (mg/L) مربوط به آب رودخانه است. بین فلز کادمیوم در آب چاه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۰/۰۱ mg/L) در سطح $p < ۰/۰۱$ اختلاف معنی‌دار و برای این فلز در آب چشمه و چاه نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی در سطح $p < ۰/۰۵$ نیز اختلاف معنی‌دار است. بین فلز سرب در آب چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۰/۰۵ mg/L) و فلز روی در آب چاه، چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۵ mg/L) در سطح $p < ۰/۰۱$ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین، بین فلز آهن در آب این سه منبع آبی نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی در سطح $p < ۰/۰۵$ اختلاف معنی‌دار می‌باشد. به تبع آن بالاترین میانگین غلظت این فلزات در محصول برنج آبیاری شده توسط آب رودخانه به میزان کادمیوم (۰/۰۳۰)، سرب (۰/۲۷۹)، روی (۰/۹۶۳) و آهن (۳۱۷/۲۵) (mg/kg) تعیین شد. نتایج حاصل از تعیین شاخص مخاطره سلامت نشان داد که شاخص سلامت عنصر سرب برای کودکان در تمامی نمونه‌ها، بیشتر از یک است و برای مصرف، خطرناک تشخیص داده شد. نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، دلیل اصلی بالا بودن غلظت این فلزات، ورود پساب‌های اراضی کشاورزی و صنایع مختلف اطراف به منابع آبی در منطقه است. لذا با توجه به وجود برخی فلزات سنگین در محصول برنج و بالا بودن شاخص مخاطره سلامت، مصرف آن به‌ویژه برای کودکان باید محدود شود.

استناد: کردزنگنه، عباس؛ پورخباز، حمیدرضا؛ و علی‌رضا پورخباز (۱۴۰۴). ارزیابی ریسک بالقوه سلامت ناشی از تجمع فلزات سنگین در محصول برنج

مزارع رامهرمز. نشریه محیط‌شناسی، ۵۱(۱)، ۵۹-۷۳. <http://doi.org/10.22059/JES.2025.387054.1008558>

© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.



<http://doi.org/10.22059/JES.2025.387054.1008558>

۱. مقدمه

جهت حفظ سلامتی انسان در برابر انواع آلودگی‌های محیط زیستی، مصرف منابع غذایی از جمله غلات، دانه‌های روغنی و صیفی‌جات که در رژیم غذایی روزانه نقش عمده‌ای دارند، ضروری است (Sharma et al., 2016). در میان آلاینده‌های محیط زیستی، پایش فلزات سمی به دلیل آن‌که در محیط تجزیه نشده و تجمع زیستی دارند، بسیار مهم می‌باشد (Yan et al., 2013). فلزات سنگین سمی (کادمیوم، سرب، روی و آهن)، از طریق مصرف آب‌های آشامیدنی و محصولات غذایی زمین‌های کشاورزی و آبیاری شده با منابع آبی آلوده، به بافت‌های هدف در بدن انسان نفوذ کرده و خطر سلامتی را به‌دنبال دارند. برخی از فلزات سنگین برای سیستم‌های زیست‌شناختی بدن موجودات، ضروری هستند و به عنوان مولکول‌های ساختاری و کاتالیزوری، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها عمل می‌کنند، اما وقتی که سیستم ایمنی از بین می‌رود، در غلظت‌های بسیار کم ممکن است سمی و مضر باشند و بر سلامتی موجودات زنده از جمله انسان تأثیر گذارند (Mondal & Polya, 2008).

به علت جذب بالای عناصر سمی توسط محصولات مختلف برنج، این ماده مهم غذایی توجه بسیاری از محققان را به‌خود جلب نموده است (Park et al., 2011). کشت گیاه برنج در شرایط ویژه آبی باعث شده که فلزات سمی از خاک و آب جذب شوند و در دانه این محصول تجمع پیدا کنند (Khan et al., 2010). بنابراین، با مصرف این برنج آلوده، سلامت مصرف‌کنندگان به خطر می‌افتد (He et al., 2013). در هر صورت، افزایش بیش از حد مجاز میزان فلزات سمی در منابع مختلف غذایی، بر سلامت انسان اثرات منفی گذاشته، که پیامدهای منفی از جمله تأثیرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی دارند که این اثرات سوء، به خصوصیات و میزان جذب روزانه عناصر بستگی دارد. از پیامدهای مربوطه به عنوان مخاطره سلامت یاد می‌شود، که این شاخص بیان‌کننده اثرات احتمالی انواع آلودگی‌ها بر سلامت انسان می‌باشد (Rodenbeck & Crellin, 2008).

یکی از راه‌های ورود این فلزات به منابع غذایی از طریق منابع طبیعی شامل فرسایش مواد مادری خاک بوده و بنابراین به زمین‌شناسی منطقه مرتبط می‌باشد. از طرف دیگر صنایع آهن و فولاد، معدن‌کاری، حمل‌ونقل جاده‌ای، تولید سوخت، انتقال انرژی، کشاورزی متراکم، آبیاری با فاضلاب، انباشتن لجن، سوزاندن پسماند و به ویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی از منابع انسانی بسیار مهم ورود فلزات سنگین به محیط‌زیست هستند (Yan et al., 2013).

محصول شالیکاری به دلیل جذب انواع آلودگی‌ها و این که منبع غذایی مهم و جذابی برای انسان می‌باشد، باید جهت حفظ سلامت مصرف‌کننده مورد بررسی قرار گیرد. بزرگ‌ترین تولیدکننده برنج در جنوب کشور، استان خوزستان (با سطح زیر کشت ۵۰ هزار هکتار) است که به دو صورت کشت نشائی (در رامهرمز و ایذه) و کشت مستقیم (در شوشتر و دشت آزدگان) انجام می‌شود. در این میان بزرگ‌ترین تولیدکننده برنج استان با بیشترین سطح زیر کشت شالیکاری (رقم چمپا) شهرستان رامهرمز است، که جهت آبیاری شالیزارهای این منطقه از منابع آبی چاه، چشمه و رودخانه استفاده می‌شود (Kolahkaj & Battalebloe, 2018). با توجه به این که منابع آبی مذکور در منطقه تحت تأثیر ورود آلاینده‌های مختلف از جمله پساب کشاورزی، فاضلاب شهری-روستایی و صنعتی می‌باشد که خود باعث آلودگی محصول برنج می‌گردد، لذا ضروری است پایش غلظت فلزات سنگین و تعیین شاخص ریسک سلامت در محصول برنج منطقه رامهرمز انجام شود. اهداف تحقیق حاضر سنجش میزان فلزات سنگین تجمع یافته در منابع آبیاری و محصول برنج تولیدی و به دنبال آن تعیین میزان ریسک سلامت ناشی از مصرف برنج در منطقه مورد مطالعه است.

۲. پیشینه پژوهش

از مطالعات داخلی انجام شده در این زمینه می‌توان به بررسی خطر بهداشتی فلزات سنگین کادمیوم و سرب در نمونه‌های برنج منطقه میداوود استان خوزستان اشاره نمود، نتایج این بررسی نشان داد که میزان کادمیوم کمتر، و میزان سرب بیشتر از حد استاندارد WHO می‌باشد. علاوه بر این، مصرف هفتگی کادمیوم و سرب از طریق برنج در حد مجاز مصرف روزانه قابل تحمل (PTDI) رژیمی کل پیشنهاد شده به وسیله WHO/FAO، ارزیابی گردید (Kolahkaj & Battalebloe, 2018). همچنین می‌توان به مطالعه ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزات سنگین کادمیوم، سرب و کروم در منطقه کامفیروز استان فارس اشاره کرد، در این تحقیق میزان ریسک

غیرسرطانی مردم منطقه برآورد گردید (Cheraghi et al., 2024).

در تحقیق دیگری تاثیر تغییرات جغرافیایی بر غلظت فلزات کادمیوم و آرسنیک در محصول برنج در کشور چین مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت کادمیوم از سطوح پایین در شمال تا سطوح بالا در جنوب چین افزایش می‌یابد، که یک الگوی جغرافیایی متمایز را نمایش می‌دهد. ولی در مقابل غلظت آرسنیک در تمامی نمونه‌ها، در عرض‌های جغرافیایی مختلف، به‌طور کلی کم می‌باشد (Chen et al., 2018). خطرات بهداشتی آلودگی فلزات سنگین در محصول برنج پنجاب هند نشان داد که همه نمونه‌های گرفته شده از خاک حاوی کادمیوم و کبالت بودند، در حالی که در نمونه‌های گرفته شده از محصولات برنج، درصد بالایی از کروم و سرب یافت شد (Sharma et al., 2018). ارزیابی تجمع فلزات سنگین و خطرات محیط زیستی آن‌ها در شالیکاری شهر هان‌ژونگ چین از نمونه مطالعات خارجی دیگر در این زمینه است، نتایج حاکی از آن بود که آلاینده‌های اصلی سرب، آرسنیک و روی به طور طبیعی در خاک‌های منطقه وجود دارند و همچنین مقدار کادمیوم و آرسنیک با توجه به تحرک و جابه‌جایی بالا و نسبت به محتوای متوسط این فلزات در دانه‌های برنج، کمی بالاتر از آستانه مجاز بود (Xiao et al., 2019).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳-۱. محدوده مورد مطالعه

شهرستان رامهرمز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی در جهت شرقی استان خوزستان واقع شده است، این شهرستان دارای منابع آبی مختلف جهت آبیاری اراضی کشاورزی (رودخانه جره، چشمه‌های طبیعی و چاه‌های حفر شده) می‌باشد.

۳-۲. منابع نمونه‌برداری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شده است. جهت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین، نمونه‌هایی از منابع آبی مختلف همراه با محصول برنج آن در منطقه رامهرمز برداشت گردید. ابتدا از منبع آبی رودخانه و گیاه برنج آبیاری شده توسط آن در سه نقطه نمونه‌برداری انجام گردید، سپس نمونه‌برداری از منبع آبی چشمه و گیاه برنج مربوط به آن انجام شد. در انتها نمونه‌برداری از منابع آبی چاه و گیاه برنج در سه نقطه (نقطه اول در نزدیکی محور تردد اهواز (تقریباً ۳۰۰ متری) و دو نقطه دیگر نیز در نزدیکی و حاشیه شهر) صورت گرفت.

۳-۳. روش نمونه‌برداری

این روش پژوهش تصادفی بوده و برای جلوگیری از خطاهای احتمالی، ابتدا با کمک اسید HNO_3 و آب مقطر، ظروف مورد استفاده شسته شدند و سپس به نمونه‌های آب، اسید نیتریک اضافه گردید تا از رسوب فلزات سنگین جلوگیری شود (Zhang et al., 2015).

۳-۴. نمونه‌برداری از منابع آبی

برداشت نمونه از محل ورودی آب به کانال آبیاری در ظروف پلی‌اتیلنی (شسته شده با اسید HNO_3 یک درصد و آب مقطر) از منابع آبی مختلف مورد مطالعه انجام شد. نمونه‌های برداشت شده به‌صورت سه ترکیبی آماده گردید و برای جلوگیری از رشد موجودات زنده ریز و حفظ ترکیب اصلی نمونه‌ها در حین انتقال به آزمایشگاه، شرایط شیمیایی تمامی نمونه‌ها، اسیدی (pH زیر ۲) شد (Zhang et al., 2015).

۳-۵. نمونه‌برداری دانه‌های برنج

از محصول برنج هر مزرعه شالیکاری، سه نمونه به صورت ترکیبی در داخل پلاستیک گذاشته شد و پس از خشک نمودن و پوست کردن، به آزمایشگاه منتقل شد.

در نهایت برای اجرای تحقیق حاضر، در خصوص پایش میزان فلزات سنگین در نمونه‌های آب و برنج منطقه رامهرمز، به صورت جداگانه از منابع آب آبیاری ۳ نمونه از آب چاه، ۳ نمونه از آب چشمه و ۳ نمونه از آب رودخانه گرفته شد، همچنین برای نمونه‌برداری از دانه‌های برنج ۳ نمونه ترکیبی از برنج آبیاری شده توسط آب چاه، ۳ نمونه ترکیبی از برنج آبیاری شده توسط آب چشمه و ۳ نمونه ترکیبی از برنج آبیاری شده توسط آب رودخانه برداشت شد.

۳-۶. هضم نمونه‌های آب

جهت آماده‌سازی نمونه‌های آب، مقداری از نمونه‌های جمع‌آوری شده (۲۵۰ ml) را داخل بالن قرار داده شد و به آن ۱۰ ml اسید ۶۵٪ HNO₃ اضافه گردید. سپس نمونه را روی هیتر حرارت داده تا به آرامی به جوش آید و تبخیر شود. حرارت تا زمانی که حجم نمونه به ۱۵ الی ۲۰ میلی‌لیتر برسد، ادامه یافت. عمل حرارت با افزودن ۵ ml اسید ۶۵٪ HNO₃ به نمونه، تا زمانی که نمونه شفاف و هضم کامل شود، انجام شد. البته بایستی توجه شود که در طول عمل هضم، نمونه نباید خشک شود. با عبور نمونه از کاغذ صافی و در مرحله بعد اضافه نمودن آب مقطر، حجم محلول به ۵۰ ml رسید. این محلول در دمای ۱۰-۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و برای تعیین غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی (AAS, Spectra 220 FS, Varian, Palo Alto, CA, USA) به آزمایشگاه منتقل شد (Radojevec & Baskin, 1999).

۳-۷. هضم دانه‌های برنج

پس از شستن نمونه‌های برنج با آب مقطر، نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت خشک شد، سپس در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید تا زمانی که وزن نمونه‌ها ثابت شد. نمونه‌های خشک شده برنج، آسیاب و از الک ۱۴۹ میلی‌متر عبور داده شد. سپس حدود یک گرم از هر نمونه برنج، به روش انحلال توسط سه اسید (H₂SO₄: HNO₃: HClO₄, 1:3:1) آماده‌سازی شد و با دستورالعمل EPA 3050B هضم اسیدی انجام گرفت، به‌طوری که نمونه‌ها به تدریج بی‌رنگ و شفاف شدند. در ادامه، با اضافه کردن آب مقطر دوبار تقطیر حجم محلول به ۵۰ ml رسانده شد و با کمک کاغذ صافی واتمن ۴۲ جهت حذف هرگونه ناخالصی صاف گردید (Mansouri et al., 2015).

۳-۸. تعیین غلظت فلزات سنگین

ابتدا محلول استاندارد فلزات Zn, Pb, Cd و Fe تهیه و سپس میزان فلزات سنگین در محلول‌های آماده شده، توسط دستگاه جذب اتمی (AAS, Spectra 220 FS, Varian, Palo Alto, CA, USA) با سه بار تکرار اندازه‌گیری گردید. لازم به ذکر است تمامی محلول‌های استاندارد مصرفی از استاندارد مادر (Merk) با غلظت ۱۰۰۰ ppm تهیه شد. به‌طور کلی، تعداد ۱۸ نمونه در ایستگاه‌های موردنظر (منابع آبیاری و مزارع برنج) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳-۹. تعیین شاخص ریسک سلامت

جهت سنجش تأثیر فلزات سنگین حاصل از مصرف برنج مزارع رامهرمز، از شاخص ریسک سلامت با کمک روابط زیر استفاده گردید (Apau et al., 2014; Zhao et al., 2014).

$$EADI = \frac{C \times F}{W \times D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه:

EADI = میانگین جذب تخمینی روزانه فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز)

C = میانگین غلظت هر عنصر در ماده غذایی مورد مطالعه (میلی گرم در کیلوگرم)

D = تعداد روزهای سال (۳۶۵ روز)

F = میانگین مصرف سالانه ماده غذایی توسط هر فرد

W = میانگین وزن بدن (به ترتیب ۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان و ۱۵ کیلوگرم برای کودکان)
 میزان میانگین مصرف روزانه ماده غذایی (برنج) توسط هر فرد (F) ۱۱۰ گرم در روز می‌باشد (Kolahkaj and Battalebloie, 2018).
 شاخص مهم دیگر جهت بررسی میزان اثرگذاری، شاخص مخاطره سلامت^۱ می‌باشد، که از نسبت برآورد میانگین جذب روزانه هر عنصر به شاخص دیگری به نام جذب روزانه قابل قبول، محاسبه می‌شود (رابطه ۲). اگر شاخص مخاطره سلامت به دست آمده کوچک‌تر از ۱ باشد، ماده اثر سوء سلامتی برای مصرف‌کننده ندارد و اگر بزرگ‌تر از ۱ باشد، دارای اثر سوء سلامتی برای مصرف‌کننده است.

$$HI = \frac{EADI}{ADI} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه:

$EADI$ = میانگین جذب تخمینی روزانه هر عنصر (میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز)

ADI = جذب روزانه قابل قبول هر عنصر (میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) (Kolahkaj and Battalebloie, 2018).

۳-۱. تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز میانگین میزان فلزات سنگین نمونه‌ها در محیط SPSS ورژن ۲۶ انجام شد. با کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توزیع نرمال داده‌ها تعیین و با آزمون تی تست تک نمونه‌ای، میانگین غلظت فلزات سنگین با رهنمود WHO مقایسه شد. در نهایت، شاخص ریسک سلامت مصرف‌کنندگان با روابط مذکور محاسبه گردید.

۴. یافته‌ها و بحث

۴-۱. تعیین توزیع نرمال غلظت فلزات سنگین

پس از تحلیل مقادیر میانگین فلزات Fe و Zn , Pb , Cd در نمونه‌های مورد مطالعه در مناطق مختلف رامهرمز با کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مشخص شد که سطح معنی‌داری برای کل عناصر سنگین مذکور به صورت $P > 0.05$ می‌باشد، بنابراین نرمال بودن تمامی داده‌ها نتیجه می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. تحلیل داده‌های حاصل از میانگین میزان فلزات سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

محل نمونه‌برداری	عنصر	تعداد	مقدار آماره	سطح معنی‌داری
چاه	کادمیوم	۱۸	۰/۸۷۳	۰/۴۳۲
	سرب	۱۸	۱/۱۶۹	۰/۱۳۰
	روی	۱۸	۰/۹۲۱	۰/۳۶۴
	آهن	۱۸	۱/۵۱۸	۰/۰۲۰
چشمه	کادمیوم	۱۸	۰/۶۲۶	۰/۸۲۸
	سرب	۱۸	۰/۸۴۲	۰/۴۷۸
	روی	۱۸	۰/۷۸۷	۰/۵۶۵
	آهن	۱۸	۱/۱۳۰	۰/۱۵۵
رودخانه	کادمیوم	۱۸	۰/۶۴۷	۰/۷۹۶
	سرب	۱۸	۰/۶۳۶	۰/۸۱۳
	روی	۱۸	۰/۸۰۵	۰/۵۳۶
	آهن	۱۸	۰/۸۱۰	۰/۵۲۹

۲-۴. تعیین تأثیر منابع آبی بر مقادیر عناصر

با کمک جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که تأثیر منابع آبی مختلف بر میزان غلظت فلزات مورد مطالعه، از نظر آماری با احتمال $P < 0.05$ معنی‌دار نیست.

جدول ۲. تأثیر منابع آبی مختلف بر مقادیر عناصر با کمک تجزیه واریانس (منبع: یافته‌های تحقیق)

مجموع مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
Fe	Zn	Pb	Cd		
۱/۲۱۵ ^{ns}	۱/۲۱۵ ^{ns}	۳/۰۵ ^{ns}	۰/۱۷۳ ^{ns}	۲	اثر محل
۱۶۴۶/۵۳	۰/۰۲۶	۰/۰۰۷	۰	۶	خطای کل
۱/۷۶۲	۱/۴۲۷	۱/۱۰۴	۱/۲۱۰	-	ضریب تغییرات

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$

۳-۴. تعیین تأثیر منابع آبی بر میزان فلزات سنگین در نمونه‌های برنج

میانگین مقادیر فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های برنج متأثر از منابع آبی مختلف با تحلیل واریانس یک‌طرفه (جدول ۳) مشخص نمود که میزان این فلزات در نمونه‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال $P < 0.05$ ندارند.

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه تأثیر منابع آبی بر میزان فلزات سنگین در نمونه‌های برنج (منبع: یافته‌های تحقیق)

مجموع مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
Fe	Zn	Pb	Cd		
۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۵۵۰ ^{ns}	۲/۱۹۸ ^{ns}	۰/۷۹۴ ^{ns}	۲	اثر محل
۱۴۹۴۸/۶۲	۰/۰۸۸	۰/۰۱۵	۰	۶	خطای کل
۰/۱۳۷	۰/۱۱۲	۰/۱۴۵	۱/۵	-	ضریب تغییرات

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح $P < 0.05$

۴-۴. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های آب و برنج رامهرمز با میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)

نتایج حاصل از آزمون تی‌تست تک نمونه‌ای در منابع آبی منطقه رامهرمز در جدول (۴) نشان می‌دهد که بین فلز کادمیوم در آب چاه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد WHO (0.01 mg/L) در سطح $P < 0.01$ اختلاف معنی‌دار و برای این فلز در آب چشمه و چاه نسبت به میزان استاندارد WHO در سطح $P < 0.05$ اختلاف معنی‌دار (بیشتر از حد مجاز استاندارد بهداشت جهانی) وجود دارد. بین فلز سرب در آب چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد مورد نظر (0.05 mg/L) و فلز روی در آب چاه، چشمه و رودخانه نسبت به میزان این استاندارد (5 mg/L) در سطح $P < 0.01$ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بین فلز آهن در آب این سه منبع آبی نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (2 mg/L) در سطح $P < 0.05$ اختلاف معنی‌دار (بیشتر از حد مجاز استاندارد مربوطه) وجود دارد.

از طرفی بین فلز کادمیوم در برنج منابع آبی چاه، چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد WHO ($0.3-0.4 \text{ mg/kg}$) در سطح $P < 0.05$ اختلاف معنی‌دار (کمتر از حد مجاز استاندارد مربوطه) وجود دارد. بین فلز سرب در برنج منابع آبی چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد سازمان بهداشت جهانی (0.3 mg/kg) اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، اما بین فلز سرب در برنج منبع آبی چاه در سطح $P < 0.05$ اختلاف معنی‌دار (کمتر از حد مجاز استاندارد جهانی) وجود دارد. بین فلز روی در برنج منابع آبی چاه، چشمه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد WHO (50 mg/kg) در سطح $P < 0.01$ اختلاف معنی‌دار (کمتر از حد مجاز استاندارد جهانی) وجود دارد و بین فلز آهن در برنج منابع آبی چاه و رودخانه نسبت به میزان استاندارد WHO (40 mg/kg) در سطح $P < 0.05$ و در برنج منبع آبی چشمه نسبت به

میزان استاندارد WHO در سطح $P < 0.01$ اختلاف معنی‌دار (بیشتر از حد مجاز استاندارد جهانی) وجود دارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین نمونه‌های آب (mg/L) و برنج (mg/kg) رامهرمز با میزان استاندارد WHO (منبع: یافته‌های تحقیق)

نمونه	محل نمونه برداری	فلز کادمیوم	فلز سرب	فلز روی	فلز آهن
آب	چاه	۰/۰۴۷**	۰/۱۳۴*	۰/۲۸۱**	۷۰/۳۰۰*
	چشمه	۰/۰۴۶*	۰/۱۰۱**	۰/۲۳۴**	۵۸/۶۷۵*
	رودخانه	۰/۰۴۹**	۰/۱۴۹**	۰/۳۰۴**	۷۶/۱۵۰*
برنج	چاه	۰/۰۰۲**	۰/۲۷۵**	۰/۸۷۵**	۳۱۱/۰۸*
	چشمه	۰/۰۰۲**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۹۵۰**	۳۱۷**
	رودخانه	۰/۰۰۳**	۰/۲۷۹ ^{ns}	۰/۹۶۳**	۳۱۷/۲۵*

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} اختلاف معنی‌دار نیست

مهم‌ترین راه ورود آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین به خاک، آب و محصول مزارع کشاورزی، کودهای شیمیایی مصرفی توسط کشاورزان منطقه است (Street, 2012)، که باعث بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی می‌شود. در این میان برنج به عنوان منبع غذایی بسیار مهم برای مردم ایران به حساب می‌آید. تحقیق حاضر به دلیل بارش کم در فصل پاییز انجام شد و این موضوع باعث استفاده از پساب‌های کشاورزی پایین دست جهت آبیاری مزارع برنج بوده است، علاوه بر این، عوامل دیگری همچون پساب مناطق صنعتی (Buragohain et al., 2010) نزدیک به منابع آبیاری، استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای مختلف، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، خرد شدن سنگ‌ها به دلیل تغییرات آب و هوایی (Hou et al., 2013)، ریختن پساب‌های مختلف به منابع آبی، نزدیکی مکان‌های دفع پساب شهری و روستایی و نزدیکی به جاده‌های تردد بین شهری در آلودگی منابع آبی و به تبع آن آلودگی مزارع برنج به فلزات سنگین دخیل می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات محققان که فعالیت‌های انسانی را منبع اصلی ورود عناصر سرب و روی به خاک و آب، و منابع طبیعی را دلیل وجود آهن در منابع آبی و خاک دانسته‌اند (Likuku et al., 2013)، مطابقت داشته و همچنین با نتایج پژوهشی که آلودگی منابع آبی مختلف و نمونه‌های برنج در شهر رشت به عناصر کادمیوم، مس، سرب و روی را به دلیل ورود پساب‌های مختلف کشاورزی، خانگی و صنایع به منابع آبی و کاربرد کود فسفره دانستند (Khaledian et al., 2014)، همخوانی دارد. ضمناً، در تحقیق دیگری با تعیین میزان فلزات سنگین در برنج چمپا مناطق مختلف شهرستان باغملک در استان خوزستان، به این نتیجه رسیدند که علت بالا بودن غلظت این فلزات در دانه‌های برنج نزدیکی مزارع به کارخانه‌های صنعتی، تجمع پساب‌ها و آلاینده‌ها در کشتزارها، آلوده شدن آب‌های این مناطق، فاضلاب‌های وابسته به آن‌ها و استفاده از آفت‌کش‌ها در مزارع می‌باشد (Moradi et al., 2022)، که نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند. در نهایت نتایج مطالعات محققان در محصول برنج منطقه کامفیروز استان فارس همانند تحقیق حاضر نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین کمتر از حد استاندارد جهانی است (Cheraghi et al., 2024).

۴-۵. تعیین شاخص ریسک سلامت نمونه‌های برنج

غلظت عناصر کادمیوم، روی، سرب و آهن و نتایج شاخص مخاطره سلامت در نمونه‌های گیاه برنج منطقه رامهرمز در جدول (۵) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میانگین غلظت کادمیوم برنج 0.003 mg/kg در محل نمونه برداری رودخانه و کمترین مقدار آن 0.002 mg/kg در محل نمونه چاه می‌باشد، در ضمن شاخص مخاطره سلامت برای فلز کادمیوم کوچک‌تر از ۱ است، که نشان‌دهنده عدم خطر سلامت برای مصرف‌کننده (بزرگسالان و کودکان) نسبت به این عنصر در گیاه برنج می‌باشد.

جدول ۵. غلظت‌ها و شاخص سلامت مصرف گیاه برنج بر اساس پتانسیل خطر فلزات سنگین در منطقه رامهرمز (منبع: یافته‌های تحقیق)

منابع آبیاری برنج	میانگین جذب تخمینی روزانه و شاخص مخاطره سلامت						
	غلظت عناصر (mg/kg)	HI		EADI		فلزات	
		کودکان	بزرگسالان	کودکان	بزرگسالان		
چاه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۱	۴/۶۸*۱۰ ^{-۶}	۱*۱۰ ^{-۶}	کادمیوم
	۰/۰۰۳۶	۰/۲۷۵	۱/۵۳۵	۰/۳۲۹	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۱۱	سرب
	۰/۳	۰/۸۷۵	۰/۰۵۸	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۳۷	روی
	۱۸	۳۱۱/۰۸	۰/۳۴۷۲	۰/۰۷۴۴	۶/۲۵۰	۱/۳۳۹	آهن
چشمه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۴۴۸	۰/۰۰۹۶	۴/۴۸*۱۰ ^{-۵}	۹/۶۱*۱۰ ^{-۶}	کادمیوم
	۰/۰۰۳۶	۰/۳۳۲	۱/۸۵۸	۰/۳۹۸۱	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۱۴	سرب
	۰/۳	۰/۹۵۰	۰/۰۶۳	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۹۱	۰/۰۰۴۰	روی
	۱۸	۳۱۷	۰/۳۵۳۸	۰/۰۷۵۸	۶/۳۶۸۹	۱/۳۶۴	آهن
رودخانه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۶۱۶	۰/۰۱۳۲	۶/۱۶*۱۰ ^{-۵}	۱/۳۲*۱۰ ^{-۵}	کادمیوم
	۰/۰۰۳۶	۰/۲۷۹	۱/۵۵۸	۰/۳۳۳۹	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۱۲	سرب
	۰/۳	۰/۹۶۳	۰/۰۶۴	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۹۳	۰/۰۰۴۱	روی
	۱۸	۳۱۷/۲۵	۰/۳۵۴۸	۰/۰۷۶۰	۶/۳۸۷	۱/۳۶۸	آهن

بیشترین مقدار میانگین عنصر سرب در برنج $0/332 \text{ mg/kg}$ در محل نمونه‌برداری چشمه و کمترین مقدار سرب به دست آمده mg/kg $0/275$ در محل نمونه چاه می‌باشد، با توجه به نتایج شاخص مخاطره سلامت برای این فلز، در تمامی نمونه‌ها، برای کودکان، شاخص سلامت بیشتر از ۱ بود و برای مصرف‌کننده خطرناک تشخیص داده شد. به طور کلی بیشترین درصد آلودگی ناشی از فلز سرب از طریق سیستم گوارشی (آب و غذا) بین ۱۰ تا ۲۰ درصد برآورد شده است. ضمناً، مسمومیت و عواقب ناشی از ورود سرب به بدن در انسان می‌تواند اتفاق بیفتد که در کودکان رایج‌تر و خطرناک‌تر است (Synzynys et al., 2004).

همچنین بالاترین میانگین غلظت فلز روی در برنج $0/963 \text{ mg/kg}$ مربوط به منبع آبی رودخانه و به دنبال آن در منبع آبی چاه، نمونه برنج کمترین میزان غلظت این فلز ($0/8753 \text{ mg/kg}$) را داشته است. برای فلز روی میزان شاخص ریسک سلامت نمونه‌ها برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان کمتر از ۱ بود که برای مصرف‌کننده بی‌خطر تشخیص داده شد. در منبع رودخانه، نمونه برنج دارای بالاترین میانگین غلظت فلز آهن $317/916 \text{ mg/kg}$ و برعکس در منبع آبیاری چاه، نمونه برنج دارای کمترین میزان این فلز $311/08 \text{ mg/kg}$ بود، بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که شاخص مخاطره سلامت برای عنصر آهن در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ بود، که برای مصرف‌کننده از نظر این عنصر بی‌خطر می‌باشد.

در تحقیقی غلظت فلزات سنگین و شاخص مخاطره سلامت ناشی از مصرف انواع برنج مصرفی در بازار ایران مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، براساس برآورد روزانه جذب عناصر سمی از طریق مصرف برنج، مشخص شد که جذب تمام فلزات سنگین از طریق مصرف برنج‌های مختلف، کمتر از ADI تعریف شده توسط سازمان بهداشت جهانی بود (Khoorie et al., 2022). بنابراین، مطابق تحقیق حاضر مصرف برنج مورد بررسی باعث سمیت در مصرف‌کننده نمی‌شود، به استثناء فلز سرب که در تحقیق حاضر برای کودکان مخاطره سلامت را در برداشت.

۵. نتیجه‌گیری

در تحقیق بر روی نمونه‌هایی از منابع آب و محصول برنج مناطق مختلف شهرستان رامهرمز جهت تعیین میانگین غلظت فلزات سنگین Fe ، Zn ، Pb ، Cd و ریسک ناشی از مصرف برنج این منطقه، مشخص شد که میانگین Zn در همه نمونه‌ها، از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی پایین‌تر بود و همچنین در مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، میانگین

غلظت Fe در تمامی نمونه‌های آب و برنج بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط این سازمان بود. میانگین غلظت Pb در منابع آبی، بیشتر از حد مجاز WHO و در نمونه‌های برنج، کمتر از این حد بود. علاوه بر این، میانگین غلظت Cd در منابع آبی بیشتر از حد مجاز WHO است. با توجه به میزان جذب روزانه فلزات روی، کادمیوم، سرب و آهن از مصرف برنج، شاخص ریسک سلامت کمتر از ۱ و در حد مجاز بود، که نشان‌دهنده عدم مخاطره برای مصرف‌کنندگان برنج می‌باشد، ولی با توجه به میزان غلظت سرب در نمونه‌ها، شاخص سلامت برای کودکان بیشتر از ۱ بود. با توجه به این نتایج، مصرف این نمونه برنج برای کودکان بایستی با محدودیت‌هایی در میزان استفاده مواجه شود، تا زمانی که میزان آلودگی نمونه‌ها به فلز سرب به حد مجاز تغییر پیدا کند، در غیر این صورت باعث پیامدهای منفی بر روی کودکان می‌گردد، زیرا تحقیقات نشان داده که کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض این خطرپذیری به‌ویژه نسبت به فلز سرب می‌باشند، که تهدیدی جدی برای آن‌ها است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

مشارکت نویسندگان

عباس کردزنگنه: جمع‌آوری داده و تحلیل نرم‌افزاری
حمیدرضا پورخباز: استاد راهنمای پایان‌نامه، ارائه روش کار، نوشتن، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
علی‌رضا پورخباز: استاد مشاور پایان‌نامه، تحلیل آماری داده‌ها و ارائه روش کار

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش از هیچ‌گونه حمایت مالی برخوردار نبوده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- خالدیان، محمدرضا؛ معتمد، محمدکریم؛ رضایی، مجتبی؛ قره شیخ بیات، محسن؛ و ملک‌نیا، برهان (۱۳۹۳). تاثیر غلظت عناصر سنگین منابع مختلف آب آبیاری بر آلودگی خاک شالیزار. *نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱ (۴)، ۲۷۵-۲۸۵.
- خوری، عصمت؛ آریان‌فر، اکرم؛ و خوری، مرضیه (۱۴۰۱). بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مختلف برنج با استفاده از جذب اتمی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۹ (۱۲۲)، ۲۴۷-۲۵۵.
- کلاه‌کج، مرضیه؛ و بطل‌بلویی، صدیقه (۱۳۹۵). بررسی خطر بهداشتی و مقدار کادمیوم و سرب در نمونه‌های برنج در منطقه میداوود، استان خوزستان. *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، ۴ (۲)، ۳۹-۴۶.
- منصوری، برهان؛ آزادی، نمامعلی؛ و رضائی، زاهد (۱۳۹۴). بررسی غلظت فلزات سرب، کادمیوم و کروم در برنج‌های هندی و پاکستانی وارداتی توزیع شده در شهر سنجند. *مجله علوم پزشکی زانکو، دانشگاه علوم پزشکی کردستان*، ۱۶ (۴۹)، ۴۴-۴۹.
- مرادی، زینب؛ تدینی، مهرنوش؛ و گیلانی، عبدالعلی (۱۴۰۰). بررسی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، کیفیت پخت و میزان فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) برنج چمپا. *مجله فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۳ (۳)، ۱۳۳-۱۵۰.

References

- Apau, J., Acheampong, A., Appiah, J. A. & Ansong, E. (2014). Levels and health risk assessment of heavy metals in tubers from markets in the Kumasi metropolis, Ghana. *Int J Sci Technol*, 3 (9): 534-539. <https://www.researchgate.net/publication/280232308>
- Buragohain, M., Bhuyan, B. & Sarma, H. P. (2010). Seasonal variations of lead, arsenic, cadmium and aluminium contamination of groundwater in Dhemaji district, Assam, India. *Environmental monitoring and assessment*, 170 (1-4): 345-51. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1237-6>
- Chen, H., Tang, Z., Wang, P. & Zhao, F. J. (2018). Geographical variations of cadmium and arsenic concentrations and arsenic speciation in Chinese rice. *Envi Poll*, 238 (12): 482-490. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.048>
- Cheraghi, M., Abdeslahi, A. & Mehrab, N. (2024). Health Risk Assessment of Heavy Metals (Cd, Pb, and Cr) in Cultivated Rice of Kor River Basin in Kamfiruz District, Fars Province, Iran. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 7 (1): 79-86. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5015037>
- He, B., Yun, Z., Shi, J. & Jiang, G. (2013). Research progress of heavy metal pollution in China: sources, analytical methods, status, and toxicity. *Chi Sci Bu*, 58 (2): 134-140. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5541-0>
- Hou, D., He, J., Lu, C., Ren, L., Fan, Q. & Wang, J. (2013). Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in water and sediments from Lake Dalinouer, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 93:135-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.03.012>
- Khaledian, M. R., Motamed, M. K., Rezaei, M., Ghareh Sheikh Bayat, M. & Maleknia, B. (2014). Effects of heavy metals concentration of irrigation water from different sources on the contamination of paddy field soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21 (4): 275-285. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2020.html [In Persian]
- Khan, S., Rehman, S., Khan, A. Z., Khan, M. A. & Shah, M.T. (2010). Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Eco envi saf*, 73 (7): 1820-1827. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.016>
- Khoorie, E., Arianfar, A. & khoorie, M. (2022). Assessment of heavy metals in different rice samples by atomic absorption. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 19 (122): 247-255. <https://doi.org/10.52547/fst.19.122.247> [In Persian]
- Kolahkaj, M., & Battalebloie, S. (2018). Health Risk of Cadmium and Lead in the Rice Cultivated in Meydavood, Khoozestan Province, Iran. *J Health Res Commun*, 4 (2): 39-46. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24236772.1397.4.2.5.2> [In Persian]
- Likuku, A. S., Mmolawa, K. B. & Gaboutloeloe, G. K. (2013). Assessment of heavy metal enrichment and degree of contamination around the copper-nickel mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana. *Environment and Ecology Research*, 1 (2): 32-40. <https://doi.org/10.13189/eer.2013.010202>
- Mansouri, B., Azadi, N. A. & Rezaei, Z. (2015). Survey of Pb, Cd, and Cr concentrations in imported Indian and Pakistan rice distributed in Sanandaj city. *J Med Sci*, 16 (49): 44-49. <http://zanko.muk.ac.ir/article-1-78-fa.html> [In Persian]
- Mondal, D. & Polya, D. A. (2008). Rice is a major exposure route for arsenic in Chakdaha block, Nadia district, West Bengal, India: A probabilistic risk assessment. *App Geo*, 23 (11): 2987- 2998. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.06.025>
- Moradi, Z., Tadayoni, M. & Gilani, A. A. (2022). Evaluation of physicochemical properties, cooking quality and heavy metals (lead and cadmium) of Champa rice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13 (3), 133-150. DOI: 10.22069/ejfp.2022.16216.1524 [In Persian]
- Park, B. J., Lee, J. H. & Kim, W. I. (2011). Influence of soil characteristics and arsenic, cadmium, and lead contamination on their accumulation levels in rice and human health risk through intake of rice grown nearby abandoned mines. *Jou Kor Soc for App Bio Chem*, 54 (4): 575-582. <http://dx.doi.org/10.3839/jksabc.2011.087>
- Radojevec, M., & Baskin, V. N. (1999). *Practical environmental analysis* (457 p.). Science Park, Cambridge, UK: Royal School of Chemistry, Thomas Graham House. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2668677>
- Rodenbeck, S. E. & Crellin, J. R. (2008). Public Health Assessment, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Publ of Mis*, 96 (2): 14-28. <http://www.atsdr.cdc.gov>
- Sharma, S., Nagpal, A. K. & Kaur, I. (2018). Heavy metal contamination in soil, food crops and associated health risks for residents of Ropar wetland, Punjab, India and its environs. *Food chem*, 255, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.037>
- Synzynyns, B. I., Tjantova, E. N., Melehova, O. P. & Pavlova, N. N. (2004). *Ecological risk, the manual at the rate, Ecology and safety of ability to live*. Under G.V. Koz'min's edition – Obninsk, IATE; P. 81. <https://doi.org/10.3390/ijerph2005020003>

- Sharma, S., Kaur, J., Nagpal, A. K. & Kaur, I. (2016). Quantitative assessment of possible human health risk associated with consumption of arsenic contaminated groundwater and wheat grains from Ropar Wetand and its environs. *Envi Mon Ass*, 188 (9):506-8. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5507-9>
- Street, R. A. (2012). Heavy metals in medicinal plant products—An African perspective. *South African Journal of Botany*, 82, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.07.013>
- Xiao, R., Guo, D., Ali, A., Mi, S., Liu, T., Ren, C. & Zhang, Z. (2019). Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. *Environmental Pollution*, 248 (16): 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.045>
- Yan, X., Gao, D., Zhang, F., Zeng, C., Xiang, W. & Zhang, M. (2013). Relationships between heavy metal concentrations in roadside topsoil and distance to road edge based on field observations in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Int j of env res pub hea*, 10 (3): 762-775. <https://doi.org/10.3390/ijerph10030762>
- Zhang, L. E., Mo, Z., Qin, J., Li, Q., Wei, Y., Ma, S. & Yang, X. (2015). Change of water sources reduces health risks from heavy metals via ingestion of water, soil, and rice in a riverine area, South China. *Scie Total Envi*, 530 (26):163-170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.100>
- Zhao, Q., Wang, Y., Cao, Y., Chen, A., Ren, M., Ge, Y. & Ruan, L. (2014). Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary liver, lung and gastric cancer, in Anhui province, Eastern China. *Sci Envi*, 470 (25): 340-347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.086>