15(1) 309-322, Spring 2023

Journal of Animal Environment

(AEJ)

Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Human health risk assessment and contamination of heavy metals and organophosphate pesticides accumulated in rice crop of northern Iran

Mahboubeh Nozari [1], Abbas Esmaili Sari [2], Ali Mashinchian Moradi [3], Nader Bahramifar [1], Lobat Taghavi [1]*

[1] *Department of Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran*
[3] *Department of Marine and Fisheries Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

Key Words

Heavy metals
Organophosphate toxins
Human health risk assessment
Carcinogenic risk
Non-carcinogenic risk

Abstract

Introduction: Environmental pollution has become one of the main problems of today's societies in a way that in addition to natural ecosystems, it also endangers human health. Therefore, in this study, the contamination of heavy metals and organophosphate toxins accumulated in two different types of rice consumed by humans was measured. The risk of carcinogenicity and non-carcinogenicity associated with these toxins for children and adults in rice fields in northern Iran was also assessed.

Materials & Methods: For this purpose, 17 stations were selected for sampling rice consumption from farms in Mazandaran province in the first and second cultivation groups. After sampling, rice samples were wrapped in foil to measure toxins and placed in plastic packs to measure heavy metals. Heavy metals were measured using ICP-MS and toxins were measured using GC-MS and mercury was measured using mercury autoanalyzer. Carcinogenic and non-carcinogenic risk indices for both groups of children and adults in the first and second culture groups were evaluated and calculated.

Results: The results showed that nickel and lead showed the highest values in the collected samples at station 14 at 0.38 and at station 6 at 0.17 mg/kg, respectively. In addition, the toxic and carcinogenic metals arsenic, cadmium and mercury in stations 6, 5 and 6 showed values of 0.094, 0.017 and 0.001 mg/kg, respectively. Station 1 and Station 2 have the highest and lowest values of diazinon in the range of 0.038 and 0.004, respectively, and chloroprifus have the highest and lowest values in stations 8 and 14, respectively, in the range of 0.019 and 0.001 mg/kg. The non-carcinogenic risk of the first and second cultures was highest for children and adults for safe toxins and for nickel metal. THQ levels also showed a high risk for consumers.

Conclusion: The risk of carcinogenicity for the target groups was highest in different concentrations of chromium and in the second group for children the group had high risk levels. The results of this study showed that rice produced in farms in northern Iran contains different amounts of toxins and heavy metals that have carcinogenic and non-carcinogenic potential for consumers.

* Corresponding Author's email: esmaili@modares.ac.ir
Received: 15 December 2021; Reviewed: 13 January 2022; Revised: 16 March 2022; Accepted: 16 April 2022
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.335275.2781

مقاله پژوهشی

سنجش آلودگی فلزات سنگین و سموم ارگانوفسفره تجمع یافته در دو نوع برنج و ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مربوطه برای کودکان و بزرگسالان در مزارع برنج شمال ایران

محبوبه نوذری[۱]، عباس اسماعیلی‌ساری[۲]، علی ماشینچیان‌مرادی[۳]، نادر بهرامی‌فر[۱]، لعبت تقوی[۱]*

[۱] گروه محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] گروه علوم دریایی و شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
سموم ارگانوفسفره
ارزیابی ریسک سلامت انسان
ریسک سرطان‌زایی
ریسک غیرسرطان‌زایی

چکیده

مقدمه: آلودگی محیط زیست به یکی از مشکلات اساسی جوامع امروزی تبدیل شده است به‌نحوی‌که علاوه بر اکوسیستم‌های طبیعی، سلامت انسان را نیز مورد مخاطره قرار داده است. بنابراین، در این مطالعه آلودگی فلزات سنگین و سموم ارگانوفسفره تجمع یافته در دو نوع متفاوت برنج مصرفی انسان سنجش شد. هم‌چنین ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مرتبط با این مواد سمی برای کودکان و بزرگسالان در مزارع برنج شمال ایران مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌همین منظور تعداد ۱۷ ایستگاه برای‌نمونه‌برداری از برنج موردمصرف از مزارع موجود در استان‌مازندران در دو گروه کشت اول و دوم انتخاب گردید. نمونه‌های برنج پس از نمونه‌برداری برای سنجش سموم داخل فویل پیچیده شد و برای سنجش فلزات سنگین داخل پک‌های پلاستیکی قرار گرفت. سنجش فلزات‌سنگین با استفاده از دستگاهICP-MS و سنجش سموم با استفاده از دستگاه GC-MS و سنجش جیوه با استفاده از اتوآنالایزر مخصوص جیوه انجام شد. شاخص‌های ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای دو گروه کودکان و بزرگسالان در دو گروه کشت اول و دوم مورد ارزیابی و محاسبه قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که فلز نیکل و سرب بالاترین مقدار را در نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌ترتیب در ایستگاه ۱۴ به‌میزان ۰/۳۸ و در ایستگاه ۶ به‌میزان ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. علاوه بر این فلزات سمی و سرطان‌زا آرسنیک، کادمیوم و جیوه به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۶، ۵ و ۶ مقادیر ۰/۰۹۴ ، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان دادند. ایستگاه ۱ و ایستگاه ۲ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر دیازینون درمحدوده ۰/۰۳۸ و ۰/۰۰۴ و کلروپریفوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر را درایستگاه‌های ۸ و ۱۴ با مقادیر۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم برکیلوگرم نشان داد. ریسک‌غیرسرطان‌زایی کشت اول و دوم برای کودکان و بزرگسالان برای سموم بی خطر و برای فلز نیکل دارای بالاترین خطر بود. هم‌چنین مقادیر THQ خطر بالایی را برای مصرف‌کنندگان نشان داد.

بحث و نتیجه‌گیری: خطر سرطان‌زایی برای گروه‌های هدف در غلظت‌های مختلف کروم بالاترین مقدار و درکشت دوم برای گروه کودکان دارای سطوح پر خطر بود. نتایج این تحقیق نشان داد که برنج تولید شده در مزارع شمال ایران حاوی مقادیر مختلفی از سموم و فلزات سنگین است که دارای پتانسیل سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای مصرف‌کنندگان می‌باشند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: esmaili@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۴۰۰؛ تاریخ داوری: ۲۳ دی ۱۴۰۰؛ تاریخ اصلاح: ۲۵ اسفند ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۲۷ فروردین ۱۴۰۱
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.335275.2781

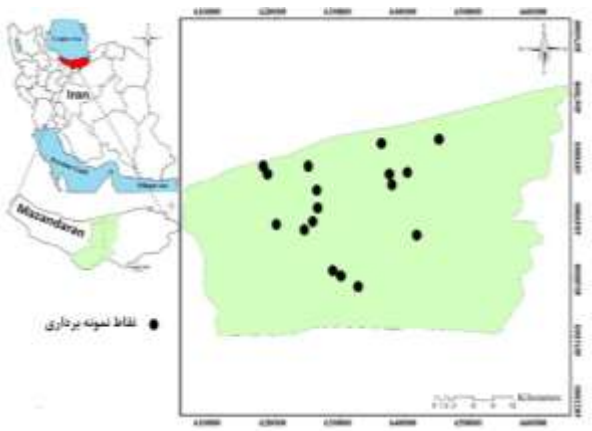
مقدمه

فعالیت‌ها و اقدامات ناشی از عوامل انسانی به‌عنوان زمینه اصلی ورود ترکیبات شیمیایی و سمی به محیط زیست جانوری و انسانی می‌باشد. این ترکیبات که از طریق فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی، شهری، کارخانجات و مناطق مسکونی روانه محیط زیست می‌شوند می‌توانند مقادیر زیادی ترکیبات سمی نظیر فلزات سنگین، کودهای شیمیایی، سموم کشاورزی، داروها و شوینده‌ها را وارد اکوسیستم‌های آبی و خشکی کنند (۱). یکی از منابع اصلی آلاینده‌ها در محیط زیست، مزارع و زمین‌های کشاورزی می‌باشند که با استفاده بیش از حد از سموم حشره‌کش و کودهای شیمیایی باعث انتشار فلزات سنگین و سموم ارگانوفسفره و ارگانوکلره در محیط می‌شوند. فلزات سنگین نظیر سرب، جیوه، آرسنیک، کادمیوم، روی و مس دارای قابلیت سمی بسیار بالایی برای گیاهان و جانوران هستند و با نفوذ به بافت‌های بدن باعث بروز انواع سمیت‌ها و مسمومیت‌ها می‌گردند (۲). Esmaeilbeigi و همکاران اشاره کردند که فلزات سنگین در محیط زیست می‌توانند طیف وسیعی از جانوران آبزی را تحت تاثیر قرار دهند. آن‌ها عنوان کردند که ترکیبات جیوه در محیط زیست با ماندگاری و پایداری طولانی مدت می‌توانند خطر جدی علیه سلامت انسانی نیز باشند (۳). فلزات سنگین دارای ساختارهای بسیار پایداری هستند که در محیط‌های آبی و خشکی تا سالیان طولانی باقی‌مانده و دارای قابلیت سمی و خطرناک می‌باشند. این ترکیبات از طریق آبیاری در خاک نفوذ کرده و با انتقال به بدن جانوران و گیاهان علاوه بر به خطر انداختن سلامت آن‌ها، باعث ایجاد تهدید علیه سلامت سایر جانوران اعم از آبزیان، میکروارگانیزم‌های خشکی‌زی و آبزی، گیاهان بومی و گونه‌های ارزشمند در محیط زیست می‌گردد (۴). هم‌چنین انسان به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین گونه‌های جانوری که در راس هرم غذایی محیط زیست است همواره مورد تهدید و سمیت این ترکیبات قرار دارد. از نظر شیمیایی فلزات سنگین بسیار نفوذ پذیر بوده و به‌راحتی از غشاء سلولی جانوران و دیواره سلولی گیاهان عبور کرده و با تجمع در اندام‌های حیاتی و مهم باعث ایجاد اختلال می‌گردد. مطالعات بسیار زیادی به‌میزان و نحوه تجمع فلزات سنگین در گونه‌های جانوری و گیاهی نظیر ماهی‌ها، دوزیستان، کرم‌ها، ریز جلبک‌ها و دام‌های اهلی و وحشی پرداخته‌اند. فلزات سنگین نظیر جیوه، سرب، روی، مس، کادمیم و آرسنیک با ورود به بافت‌های گیاهی و جانوری باعث ایجاد اختلال در عملکرد رشد، نمو، تولیدمثل و زنده‌مانی موجودات شده و در نهایت تنوع زیستی محیط را نیز دستخوش تغییرات ناخوشایند می‌کند (۵). استفاده از سموم مبارزه با آفات گیاهی در مزارع کشاورزی در سطوح بسیار وسیع با هدف کنترل و دفع موجودات مزاحم به شکل فزاینده‌ای توسعه یافته است. سموم ارگانوفسفره و ارگانوکلره نظیر دیازینون، کلرپیریفوس، پروفنوفوس و آترازین کاربرد بسیار وسیعی در مزارع کشاورزی و محیط زیست پیدا کرده‌اند به‌نحوی‌که بدون استفاده از این ترکیبات عملاً تولید و کشت و پرورش در مزارع امکان‌پذیر نمی‌باشد (۶). سموم کشاورزی دارای نفوذپذیری بسیار بالایی بوده و به سرعت از سطح برگ‌ها، ساقه و ریشه گیاه جذب شده و با از بین بردن عامل آفت و ایجاد ایمنی‌زایی در گیاهان باعث کنترل آفات می‌گردند. با این‌حال این سموم به‌علت دارا بودن قابلیت ماندگاری طولانی و عدم تجزیه‌پذیری در محیط به منبع سمی و استرس خطرناک برای سایر گروه‌های جانوری غیرهدف اعم از موجودات سودمند و غیرسودمند در محیط زیست می‌گردند (۷). این ترکیبات سمی قادرند پس از ورود به بدن انسان از غشاهای سلولی بافت‌ها عبور کرده و علاوه بر تجمع در بافت‌ها موجب ایجاد آسیب‌های بافتی و ژنتیکی در ساختار اندام‌ها شود. انواع بیماری‌های مزمن گوارشی، کلیوی، پوستی، سرطان‌ها و توده‌های بدخیم در اثر تجمع و سمیت آلاینده‌های فلزی و سموم کشاورزی موجود در آب و غذا بسیار رایج و شایع می‌باشد (۸). تامین مواد غذایی پایدار برای انسان نقش حیاتی در سلامت و توسعه جوامع بشری دارد. استفاده از اقلام غذایی اساسی و استراتژیک اعم از گندم، جو، برنج و ذرت جهت تامین پایدار غذای سالم و سودمند برای انسان مورد توجه جدی قرار دارد. در این بین حفظ سلامت مواد غذایی عاری از هر گونه ماده شیمیایی و خارجی اعم از سموم و فلزات سنگین برای انسان از اولویت نخست برخوردار است. برنج همواره به‌عنوان یک غذای محبوب و پرطرفدار در بین کشورهای زیادی در سراسر دنیا مورد مصرف قرار می‌گیرد. برنج در کشورهای آسیایی نظیر ایران، چین، تایلند، کره، هند، ژاپن و کشورهای عربی به‌عنوان غذای غالب مورد مصرف قرار می‌گیرد (۹). با توجه به این‌که روند افزایشی استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در مزارع برنج در حال توسعه است، لذا این ترکیبات سمی نگرانی‌هایی را از بعد سلامت انسان و موجودات محیط زیست ایجاد نموده است. برنج به دلیل دارا بودن مواد غذایی ارزشمند اعم از ویتامین‌ها و مواد معدنی نقش مهمی را در تامین ریزمغذی‌های بدن انسان ایفا می‌کند. کیفیت و سلامت برنج تولیدی در مزارع رابطه مستقیمی با سلامت انسان و گروه‌های مصرف‌کننده حساس نظیر کودکان و زنان باردار دارد. در این خصوص اثرات ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی به عنوان مدل‌های ارزیابی خطرات احتمالی سموم و آلاینده‌ها می‌توانند وضعیت سلامتی این مواد غذایی را مشخص کنند (۱۰). استان مازندران در شمال ایران به‌عنوان اولین استان تولیدکننده برنج از نظر کیفی و کمیت نقش مهمی در تامین برنج داخل کشور و صادرات

دارد. دارا بودن زمین‌های کشاورزی مستعد، منابع آبی مناسب، تجربه و تخصص کشاورزان و درآمدزایی فراوان این محصول باعث گردیده است که بخش اعظمی از زمین‌های این استان به کشت برنج تعلق گیرد (۱۱). در این بین روش‌های متعددی برای کاشت برنج در این استان اتخاذ گردیده است که می‌توان از روش‌های کشت اول، دوم و رتون نام برد. از روش‌های کشت اول و دوم با هدف بالابردن میزان بهره‌وری، کمیت و کیفیت برنج تولید شده در مزارع استفاده می‌گردد. با توجه به این‌که مطالعه ارزیابی ریسک سلامت برنج مورد مصرف مردم در دوره‌های مختلف کشت برای سلامت مصرف‌کنندگان اهمیت دارد، لذا این مطالعه سعی دارد با سنجش غلظت فلزات سنگین و سموم و ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مربوط به آن‌ها وضعیت سلامتی این ماده غذایی را برای گروه‌های هدف مصرف‌کننده مورد بررسی قرار دهد. بنابراین هدف از این مطالعه سنجش آلودگی فلزات سنگین و سموم ارگانوفسفره تجمع یافته در محصول برنج کشت اول و دوم و ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی برای کودکان و بزرگسالان در مزارع برنج شمال ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در این مطالعه نمونه‌برداری از برنج کشت اول و دوم در پنج شهرستان محمودآباد، آمل، فریدونکنار، بابل و بابلسر استان مازندران انجام شد. استان مازندران با دارا بودن اقلیم مناسب و منابع آب نسبتاً کافی، حدود ۳۷ درصد برنج کشور را تولید می‌کند که نشان‌دهنده نقش محوری این استان در تامین برنج مصرفی داخل کشور است. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از برنج نشان داده شده است.



شکل ۱. نقاط نمونه‌برداری برنج کشت اول و دوم در مزارع برنج استان مازندران، شمال ایران

نمونه‌برداری از برنج: تعداد ۱۷ عدد نمونه برنج در دوره‌های زمانی بعد از برداشت اول و بعد از برداشت دوم برنج جمع‌آوری شد. نمونه‌های برنج سپس جهت جلوگیری از تجزیه سموم و آفت‌کش‌ها در فویل‌های آلومینیومی بسته‌بندی شد. به‌منظور آنالیز فلزات سمی نمونه‌ها در داخل پلاستیک قرار داده شد و سپس نمونه‌ها در جعبه‌های محتوی یخ خشک در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های برنج بعد از انتقال به آزمایشگاه در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا قبل از آنالیز نگه‌داری گردید (۱۲).

مواد مورد استفاده: تمام مواد مورد استفاده شامل اسیدپرکلریک ۷۰ درصد، اسیدنیتریک ۶۵ درصد و اسیدهیدروفلوئوریک در مطالعه حاضر از شرکت مرک آلمان و شارلو تهیه گردید. آب مورد استفاده در تمام مراحل مطالعه از آب دیونیزه (EC<۰/۰۵ میکروموس بر سانتی‌متر) استفاده شد.

سنجش فلزات سنگین و سموم در نمونه‌های برنج

آماده‌سازی نمونه‌ها: ابتدا نمونه‌های برنج پودر شده و با الک مش ۳۰ الک شد. سپس مقدار ۳۰ گرم نمونه را با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول آب و استونیتریل با نسبت ۷ به ۱۳ به‌مدت ۱ ساعت مخلوط گردید. در ادامه مخلوط نمونه به‌کمک فیلتر GFF فیلتر شد و به دکانتور منتقل گردید (۱۳). در مرحله بعدی ۱۰ میلی‌لیتر پترولیوم اتر و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر نمک NaCl اشباع به دکانتور اضافه شد و به‌مدت ۲ دقیقه به‌شدت مخلوط گردید. بعد از جدا شدن فازها، بخش پایینی دکانتور که آب و استونیتریل است جدا شد و مجدداً ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه گردید و به مدت ۱ دقیقه محلول به‌شدت مخلوط گردید. به‌همین ترتیب بعد از جدا شدن فازها بخش پایینی جدا شد. این کار دوبار تکرار گردید تا استخراج به‌صورت کامل انجام شود. بعد از جدا کردن آب و استو نیتریل، محلول پترولیوم اتر و نمونه را جداکرده و برای حذف آب باقی‌مانده به آن نمک سدیم سولفات اضافه گردید. سپس پترولیوم اتر جدا و حلال پرانی شد. در انتها به نمونه ۱ میلی‌لیتر هگزان اضافه گردید و مقدار یک میکرولیتر برای آنالیز به دستگاه GC-MS تزریق شد (۱۴، ۱۵).

سنجش غلظت فلزات سنگین: ۰/۲۵ گرم از نمونه‌های خشک و الک شده درون ظروف مخصوص ماکروویو ریخته شد. سپس ۴ میلی‌لیتر از اسیدنیتریک غلیظ و ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ به آن اضافه گردید. در ادامه درب ظروف بسته و مطابق دستورالعمل دستگاه در حداقل دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه نمونه‌ها هضم شدند. بعد از خنک‌شدن، نمونه‌ها به کمک آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند. سپس قبل از آنالیز تا چهار

برابر با محلول اسیدنیتریک ۱٪ حجمی/حجمی رقیق شدند.در نهایت میزان فلزات سنگین به‌کمک دستگاه ICP-MS (HP-4500 ساخت آمریکا) مجهز به اتوسمپلر Asx-520 اندازه‌گیری شدند (۱۵، ۱۶). به منظور حذف آلاینده‌های فلزی در سطح ظروف تمام ظروف مورد استفاده در تحقیق، از قبل به‌مدت ۲۴ ساعت در اسیدنیتریک ۵٪ قرار داده شدند سپس با آب مقطر شستشو و خشک گردیدند. در نهایت غلظت عناصر و فلزات سنگین با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۱۶).

رابطه (۱):
$$M\ (\mu g/g) = \frac{C \times V}{W \times A}$$

که M غلظت نهایی عناصر و فلزات سنگین نمونه براساس میکروگرم بر گرم، C غلظت به‌دست‌آمده از دستگاه برحسب میکروگرم بر لیتر، V حجم نهایی نمونه برحسب لیتر (۰/۰۲۵ لیتر)، w وزن نمونه اولیه برای هضم اسیدی (g) و A ضریب رقت است.

سنجش غلظت جیوه: برای اندازه‌گیری جیوه در نمونه‌های برنج از دستگاه آنالیز پیشرفته جیوه Leco مدل AMA 254 استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا با دستگاه فریز درایر به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌ها الک شده و مقدار ۰/۱ گرم از هر نمونه توزین و در داخل قایقک در درون‌دستگاه سنجش‌جیوه قرار داده شد. زمان تجزیه هر نمونه، به‌مدت ۳۵۰ ثانیه و مراحل علمیات دستگاه شامل زمان خشک کردن ۶۵ ثانیه، زمان تخریب ۲۰۰ ثانیه، زمان انتظار ۴۵ ثانیه در نظر گرفته شد. هم‌چنین جهت افزایش دقت و تمیز شدن مسیر خوانش، دستگاه پس از هر ۱۰ آنالیز یک‌بار شاهد و یک بار کامل شستشو شد (۱۵).

سنجش غلظت سموم: برای سنجش غلظت سموم دیازینون و کلرپیریفوس از دستگاه GC شرکت اجیلنت مدل N 7890 مجهز به آشکارساز MS مدل C5975 و ستون مویینه‌ای HP-5MS به طول ۳۰ متر با ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر و قطر ستون ۰/۲۵ میلی‌متر برای جداسازی و آشکارسازی آفت‌کش‌ها استفاده‌شد. برنامه دمایی دستگاه GC-MS به این صورت بود که ابتدا ستون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک دقیقه نگه‌داری شد سپس با نرخ ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه دما تا محدوده ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش‌یافت درآخر به‌مدت ۶ دقیقه در این‌دما نگه‌داشته شد. دمای محل تزریق در محدوده ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. از گاز هلیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد و سرعت‌جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. حجم یک میکرولیتر از نمونه استخراج شده نهایی به دستگاه GC-MS تزریق شد (۱۴).

کنترل کیفی و حد تشخیص: برای محاسبه حد تشخیص (LOD) ابتدا میزان جذب ده اندازه‌گیری تکراری نمونه بلانک توسط دستگاه قرائت شد. سپس انحراف معیار جذب محاسبه و براساس رابطه ۲ حد تشخیص محاسبه گردید. در جدول ۱ حد تشخیص دستگاه برای عناصر مورد مطالعه آورده شده است.

رابطه (۲):
$$LOD = \frac{3SD\ Blank}{m}$$

که در این رابطه SDblank انحراف معیار محلول شاهد و m شیب منحنی درجه‌بندی می‌باشد.

جدول ۱: حد تشخیص دستگاهی فلزات سنگین مورد مطالعه برحسب (میکروگرم بر کیلوگرم)

نوع آنالیز	روی	مس	کروم	آرسنیک	جیوه	سرب	کادمیوم	نیکل
LOD	۴/۲۸	۰/۲۹	۴/۴۱	۰/۳۲	۱	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۸۸

ارزیابی ریسک سلامت غیرسرطان‌زایی: اثرات بالقوه غیر سرطان‌زایی بر سلامت انسان که ناشی از مشکل مواجهه با مواد شیمیایی است؛ معمولاً به‌وسیله پارامتر خطر (Hazard Quotient) بیان می‌شود. HQ به‌وسیله رابطه ۳ محاسبه گردید (۱۷، ۱۸).

رابطه (۳)
$$HQi = \frac{CDIi}{ADIi\ or\ RfDi}$$

که در این رابطه HQi (Hazard Quotient) یا مقدار خطر، CDIi (Chronic Daily Intake) یا جذب روزانه مزمن برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز، RfDi (Reference Dose) یا دوز مرجع بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است که مقادیر توصیه شده از سوی USEPA برای فلزات کرم، مس، نیکل، سرب، روی، جیوه، کادمیوم و آرسنیک به‌ترتیب‌معادل ۰.۰۰۳، ۰.۰۴، ۰.۰۲، ۰.۰۰۳۵، ۰.۳، ۰.۰۰۰۱۶، ۰.۰۰۱ و ۰.۰۰۰۳ درنظر گرفته شد (۱۹، ۲۰، ۲۱) و ADIi (Acceptable Daily Intake) یا جذب روزانه قابل قبول بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است که مقادیر توصیه شده از سوی USEPA برای دیازینون و کلرپیریفوس به‌ترتیب معادل ۰.۰۰۵ و ۰.۰۱ در نظر گرفته شد (۲۲، ۲۳).

برای‌محاسبه‌شاخص‌خطر کل (Total Hazard Quotient) برای اثرات خطرات غیرسرطان‌زایی بر سلامت انسان از رابطه ۴ استفاده گردید (۱۷).

رابطه (۴):
$$THQ = \sum_{i=0}^{n} HQi$$

ارزیابی ریسک سلامت سرطان‌زایی: برای سرطان‌زاهای بالقوه، خطر سرطان‌زایی به‌وسیله رابطه ۵ محاسبه گردید (۱۷، ۱۸).

رابطه (۵):
$$CRi = CDIi * SFi$$

که در این رابطه CRi (Carcinogenic Risk) یا خطر سرطان‌زایی، CDIi (Chronic Daily Intake) یا جذب روزانه مزمن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و SFi (slope Factor) یا فاکتور شیب برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است که برای فلزات کرم، نیکل، سرب، جیوه، کادمیوم و آرسنیک به‌ترتیب معادل ۰.۵، ۱.۷، ۰.۰۰۸۵، ۱۵، ۱۵ و ۱.۵ در نظر گرفته شد (۲۴، ۲۵، ۲۶). برای محاسبه شاخص کل خطر سرطان‌زایی برای سلامت انسان از رابطه ۶ استفاده گردید (۱۷).

رابطه (۶): $Total\ CR = \sum_{i=0}^{n} \mathrm{CRi}$

جذب روزانه مزمن (Chronic Daily Intake): این برای ارزیابی خطرات غیرسرطان‌زایی و هم سرطان‌زایی استفاده می‌شود که از طریق رابطه ۷ محاسبه گردید (۱۷، ۱۸).

رابطه (۷): $CDIi = \frac{EF*ED*IR*Ci}{BW*AT}$

که در این رابطه CDIi (Chronic Daily Intake) یا جذب روزانه مزمن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز، IR (Ingestion Rate) یا نرخ بلع بر حسب گرم بر روز که معادل ۱۱۰ گرم بر روز در نظر گرفته شد (۱۷)، Ci (Chemical Concentration) یا میانگین غلظت ماده شیمیایی آلاینده برحسب میلی‌گرم بر گرم، BW (Body Weight) یا وزن بدن که در این‌جا برای بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان ۳۵ کیلوگرم درنظر گرفته شد (۲۲)، ED (Exposure Duration) یا مدت مواجهه برحسب سال که برای بزرگسالان ۷۰-۱۴ سال معادل ۵۶ سال و برای کودکان ۱۴-۱ سال معادل ۱۳ سال در نظر گرفته شد (۱۷، ۲۲) و EF (Exposure Ferequency) یا تکرار مواجهه معادل ۳۶۵ روز سال در نظر گرفته شد، AT (Average Time) یا میانگین زمان که برای محاسبه ریسک غیرسرطان‌زایی معادل EF*ED و برای محاسبه ریسک سرطان‌زایی معادل EF*LT درنظر گرفته شده و LT (Lifetime) یا طول عمر که معادل ۷۰ سال در نظر گرفته شد (۱۷).

روش‌های آماری: برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این تحقیق از نرم‌افزار SPSS (version ۲۲) و Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. درابتدا برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرووویک استفاده شد. پس از تایید نتایج این آزمون مبنی بر نرمال بودن داده‌ها (sig>۰/۰۵) در مرحله بعد، برای مقایسه میزان فلزات با استاندارد تعیین شده از آزمون تی تک نمونه‌ای استفاده شد. سطح معنی‌داری در این مطالعه در سطح ۵ درصد بررسی شد. هم‌چنین برای رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار تخصصی ArcGIS نسخه ۱۰.۸.۱.۱ استفاده گردید.

نتایج

غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برنج: نتایج حاصل از سنجش غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده و حالات مختلف کشت اول و دوم در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: غلظت فلزات سنگین سنجش شده در نمونه‌های برنج (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

ایستگاه	وضعیت کشت	کروم	مس	روی	نیکل	آرسنیک	کادمیوم	جیوه	سرب
۱	اول و دوم	۰/۰۲۴	۱/۸۰	۲۱/۵۰	۰/۲۶	۰/۰۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۱۳
۱	اول و دوم	۰/۰۲۰	۱/۶۹	۱۷/۸۰	۰/۱۹	۰/۰۴۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۱۳
۳	اول و دوم	۰/۰۱۶	۱/۸۳	۱۷/۳۲	۰/۱۲	۰/۰۴۵	۰/۰۰۳	ND	۰/۰۹
۳	اول و دوم	۰/۰۵۳	۱/۳۳	۱۰/۹۲	۰/۱۵	۰/۰۶۵	۰/۰۰۵	ND	۰/۱۶
۴	اول و دوم	۰/۰۲۵	۲/۲۲	۱۶/۱۸	۰/۲۲	۰/۰۳۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۱۴
۴	اول و دوم	۰/۰۳۶	۱/۸۸	۱۳/۷۰	۰/۱۱	۰/۰۴۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۱۸
۵	اول و دوم	۰/۰۴۴	۲/۶۴	۲۰/۴۵	۰/۳۱	۰/۰۶۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۹
۵	اول و دوم	۰/۰۷۲	۲/۸۲	۱۴/۲۷	۰/۲۶	۰/۰۸۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵	۰/۱۳
۶	اول و دوم	۰/۰۲۸	۲/۲۶	۱۶/۹۳	۰/۲۴	۰/۰۶۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۱۰
۶	اول و دوم	۰/۰۷۵	۲/۹۰	۱۲/۶۰	۰/۳۵	۰/۰۹۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۰/۱۷
۷	اول	۰/۰۱۶	۲/۳۹	۱۳/۵۴	۰/۱۹	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۷
۸	اول و دوم	۰/۰۰۴	۲/۰۵	۱۷/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۵۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۷
۸	اول و دوم	۰/۰۰۵	۱/۰۳	۱۳/۷۹	۰/۲۰	۰/۰۵۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۵
۹	اول و دوم	۰/۰۳۵	۲/۴۸	۱۶/۰۶	۰/۲۱	۰/۰۳۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۵
۱۰	اول	۰/۰۱۵	۱/۸۸	۱۴/۸۶	۰/۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۶
۱۲	اول و دوم	۰/۰۳۹	۲/۰۶	۱۸/۳۸	۰/۱۹	۰/۰۶۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۷
۱۲	اول و دوم	۰/۰۵۲	۱/۲۲	۱۸/۳۲	۰/۱۵	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۳
۱۳	اول	۰/۰۱۵	۱/۹۷	۱۴/۵۲	۰/۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۷
۱۴	اول و دوم	۰/۰۲۱	۲/۲۴	۱۸/۳۱	۰/۱۸	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۸
۱۴	اول و دوم	۰/۰۱۵	۲/۸۹	۱۹/۳۳	۰/۳۸	۰/۰۴۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۱۶
۱۶	اول و دوم	۰/۰۵۷	۱/۶۹	۱۷/۴۴	۰/۱۷	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۱۴
۱۶	اول و دوم	۰/۰۳۴	۱/۴۲	۱۰/۹۱	۰/۳۲	۰/۰۴۸	۰/۰۱۷	ND	۰/۰۳
۱۷	اول و دوم	۰/۰۰۷	۱/۶۸	۱۶/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	ND	۰/۰۷
۱۷	اول و دوم	۰/۰۲۷	۱/۴۰	۱۳/۵۱	۰/۲۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۱۵

براساس نتایج مشخص گردید که فلز روی بیش‌ترین مقادیر را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده داشته است. مقدار این فلز بین ۱۰/۹۱ در ایستگاه ۱۶ (کشت اول و دوم برنج) و ۲۱/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۱ (کشت اول و دوم برنج) متغیر بوده است. هم‌چنین فلز سمی کروم مقادیر بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد. فلز نیکل بالاترین مقدار را در نمونه‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه ۱۴ به‌میزان ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. فلز سرب نیز بالاترین مقدار را در نمونه‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه ۶ به‌میزان ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. علاوه بر این فلزات سمی و سرطان‌زا آرسنیک، کادمیوم و جیوه به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۶، ۵ و ۶ مقادیر ۰/۰۹۴ ، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان دادند.

غلظت سموم در نمونه‌های برنج: نتایج حاصل از سنجش سموم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده و حالات مختلف کشت اول و دوم در جدول ۳ آورده شده است. براساس نتایج مشخص گردید که ایستگاه ۱ و ایستگاه ۲ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر دیازینون در محدوده ۰/۰۳۸ و ۰/۰۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده‌اند. هم‌چنین مقادیر سم کلرپیریفوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر را در ایستگاه‌های ۸ و ۱۴ با مقادیر ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد.

جدول ۳: غلظت فلزات سموم سنجش شده در نمونه‌های برنج (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

ایستگاه	وضعیت کشت	دیازینون	کلرپیریفوس
۱	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۱	اول و دوم	۰/۰۳۸	۰/۰۰۸
۳	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۳	اول و دوم	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰
۴	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۴	اول و دوم	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰
۵	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۵	اول و دوم	۰/۰۳۰	۰/۰۰۸
۶	اول و دوم	ND	۰/۰۰۳
۶	اول و دوم	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱
۷	اول	ND	-
۸	اول و دوم	ND	۰/۰۰۵
۸	اول و دوم	۰/۰۰۷	۰/۰۱۹
۹	اول و دوم	ND	۰/۰۰۴
۱۰	اول	ND	۰/۰۰۴
۱۲	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۱۲	اول و دوم	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷
۱۳	اول	ND	۰/۰۰۵
۱۴	اول و دوم	ND	۰/۰۰۱
۱۴	اول و دوم	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
۱۶	اول و دوم	ND	۰/۰۰۴
۱۶	اول و دوم	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶
۱۷	اول و دوم	ND	۰/۰۰۲
۱۷	اول و دوم	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷

ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانزایی

برنج مصرفی کشت اول: نتایج میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان (HQ-Child) و کل غیرسرطان‌زایی (THQ) در برنج کشت اول در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر کروم، مس، روی، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و کلرپیریفوس در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان برای کروم بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۶، مس ۰/۱۳۲ تا ۰/۲۰۸، روی بین ۰/۱۲۸ تا ۰/۲۲۵، نیکل بین ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۵۳، آرسنیک بین ۰/۱۶۱ تا ۰/۷۱۹، کادمیوم بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۴۷، جیوه بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۱۹، سرب بین ۰/۰۵۱ تا ۰/۱۱۹ و کلرپیریفوس بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۱۶ اندازه‌گیری شد. میزان THQ برای فلزات در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۵، ۶، ۸، ۱۲و ۱۶ بالای یک (رنگ قرمز) اندازه‌گیری شد و برای دیگر ایستگاه‌ها زیر یک (رنگ سبز) محاسبه گردید. هم‌چنین میزان THQ برای سموم در تمام ایستگاه‌ها زیر یک (رنگ سبز) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در بزرگسالان برای کروم بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۳، مس ۰/۰۶۶ تا ۰/۱۰۴، روی بین ۰/۰۶۴ تا ۰/۱۱۳، نیکل بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۲۶، آرسنیک بین ۰/۰۸۱ تا ۰/۳۵۸، کادمیوم بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۲۴، جیوه بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۵۹، سرب بین ۰/۰۲۶ تا ۰/۰۶۲ و کلرپیریفوس بین ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۸ اندازه‌گیری شد. میزان THQ برای فلزات و سموم در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه زیر یک (رنگ سبز) به‌دست آمد (جدول ۵).

برنج مصرفی کشت دوم: نتایج میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان (HQ-Child) در برنج کشت دوم در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر کروم، مس، روی، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، دیازینون و کلرپیریفوس در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان برای کروم بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۷۵، مس ۰/۰۹۵ تا ۰/۲۲۷، روی بین ۰/۰۶۶ تا ۰/۲۰۳، نیکل بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۶، آرسنیک بین ۰/۰۹۶ تا ۰/۸۵۹، کادمیوم بین ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۵۹، جیوه بین ۰/۰۳۱ تا ۰/۲۲، سرب بین ۰/۱۱ تا ۰/۱۵۹، دیازینون بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۴ و کلرپیریفوس بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۶ اندازه‌گیری شد. میزان THQ برای فلزات در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۱۴ بالای یک (رنگ قرمز) اندازه‌گیری شد و برای دیگر ایستگاه‌ها زیر یک (رنگ سبز) محاسبه گردید. هم‌چنین میزان THQ برای سموم در تمام ایستگاه‌ها زیر یک (رنگ سبز) اندازه‌گیری شد. نتایج میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در بزرگسالان در برنج کشت دوم در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر کروم، مس، روی، نیکل، آرسنیک،

کادمیوم، جیوه، سرب، دیازینون و کلرپیریفوس در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک غیر سرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان برای کروم بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۳۹، مس ۰/۰۴۸ تا ۰/۱۱۹، روی بین ۰/۰۵۷ تا ۰/۱۰۱، نیکل بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۳، آرسنیک بین ۰/۰۴۸ تا ۰/۴۹۲، کادمیوم بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۲۷، جیوه بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۱۱، سرب بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۸، دیازینون بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱۲و کلرپیریفوس بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳ اندازه‌گیری‌شد.میزان THQ برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه زیر یک (رنگ سبز) محاسبه گردید. هم‌چنین میزان THQ برای‌سموم در تمام ایستگاه‌ها زیر یک (رنگ سبز) اندازه‌گیری شد.

جدول ۴: میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان (HQ-Child) در برنج کشت اول

ایستگاه	Cr	Cu	Zn	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	THQ	Chlorpyrofos	THQ
۱	۰/۰۲۵	۰/۱۴۱	۰/۲۲۵	۰/۰۴۱	۰/۵۳۶	۰/۰۱۷	۰/۰۷۶	۰/۱۷۷	۱/۱۷۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۲	۰/۰۴۰	۰/۱۷۹	۰/۱۸۹	۰/۰۵۳	۰/۵۶۴	۰/۰۲۴	۰/۰۷۵	۰.۰۷۶	۱/۱۸۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۳	۰/۰۱۶	۰/۱۴۴	۰/۱۸۱	۰/۰۱۸	۰/۴۷۶	۰/۰۱۰	-	۰.۰۸۲	۰/۹۲۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۴	۰/۰۲۶	۰/۱۷۴	۰/۱۷۰	۰/۰۳۴	۰/۳۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۸۸	۰/۱۲۳	۰/۹۳۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۵	۰/۰۴۶	۰/۲۰۸	۰/۲۱۴	۰/۰۴۹	۰/۶۸۳	۰/۰۴۰	۰/۰۵۲	۰/۰۸۳	۱/۳۷۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۶	۰/۰۲۹	۰/۱۷۸	۰/۱۷۷	۰/۰۳۸	۰/۷۱۹	۰/۰۱۹	۰/۱۱۹	۰/۰۸۸	۱/۳۶۸	۰.۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹
۷	۰/۰۱۷	۰/۱۸۸	۰/۱۴۲	۰/۰۳۰	۰/۳۳۵	۰/۰۴۷	۰/۰۸۷	۰/۰۶۰	۰/۹۰۶	-	۰.۰۰۰۰
۸	۰/۰۰۵	۰/۱۶۱	۰/۱۷۹	۰/۰۱۷	۰/۵۹۰	۰/۰۱۲	۰/۰۸۹	۰/۰۶۴	۱/۱۱۷	۰.۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶
۹	۰/۰۳۶	۰/۱۹۵	۰/۱۶۸	۰/۰۳۳	۰/۳۵۴	۰/۰۴۰	۰/۰۶۳	۰/۰۶۴	۰/۹۵۴	۰.۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳
۱۰	۰/۰۱۶	۰/۱۴۸	۰/۱۵۶	۰/۰۲۷	۰/۱۶۱	۰/۰۴۴	۰/۰۳۰	۰/۰۵۱	۰/۶۳۳	۰.۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳
۱۱	۰/۰۱۰	۰/۱۶۶	۰/۱۲۸	۰/۰۱۲	۰/۳۹۴	۰/۰۰۲	۰/۰۵۶	۰/۰۶۳	۰/۸۳۲	۰.۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶
۱۲	۰/۰۴۱	۰/۱۶۲	۰/۱۹۳	۰/۰۳۰	۰/۷۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۵۴	۰/۰۶۲	۱/۲۵۹	۰.۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۱۳	۰/۰۱۶	۰/۱۵۵	۰/۱۵۲	۰/۰۳۶	۰/۲۵۴	۰/۰۲۳	۰/۰۳۳	۰/۰۶۵	۰/۷۳۳	۰.۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶
۱۴	۰/۰۲۲	۰/۱۷۶	۰/۱۹۲	۰/۰۲۸	۰/۳۶۲	۰/۰۱۷	۰/۰۴۱	۰/۰۶۹	۰/۹۰۶	۰.۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۱۵	۰/۰۱۱	۰/۱۴۵	۰/۱۸۹	۰/۰۱۸	۰/۲۸۶	۰/۰۱۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸	۰/۷۷۶	۰.۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹
۱۶	۰/۰۶۰	۰/۱۳۳	۰/۱۸۳	۰/۰۲۷	۰/۴۲۸	۰/۰۱۷	۰/۰۷۴	۰/۱۲۵	۱/۰۴۷	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳
۱۷	۰/۰۰۷	۰/۱۳۲	۰/۱۷۰	۰/۰۱۵	۰/۲۴۹	۰/۰۰۵	-	۰/۰۶۵	۰/۶۴۳	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۶

جدول ۵: میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در بزرگسالان (HQ-Adult) در برنج کشت اول

ایستگاه	Cr	Cu	Zn	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	THQ	Chlorpyrifos	THQ
۱	۰/۰۱۳	۰/۰۷۱	۰/۱۱۳	۰/۰۲۰	۰/۲۶۸	۰/۰۰۸	۰/۰۳۸	۰/۰۵۹	۰/۵۸۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۲	۰/۰۲۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۴	۰/۰۲۶	۰/۲۷۳	۰/۰۱۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۵۹۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲
۳	۰/۰۰۸	۰/۰۷۲	۰/۰۹۱	۰/۰۰۹	۰/۲۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۴۱	۰/۴۶۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۴	۰/۰۱۳	۰/۰۸۷	۰/۰۸۵	۰/۰۱۷	۰/۱۵۶	۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۶۲	۰/۴۶۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۵	۰/۰۲۳	۰/۱۰۴	۰/۱۰۷	۰/۰۲۴	۰/۳۴۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۶	۰/۰۴۱	۰/۶۸۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۶	۰/۰۱۵	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۱۹	۰/۳۵۹	۰/۰۱۰	۰/۰۵۹	۰/۰۴۴	۰/۶۸۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵
۷	۰/۰۰۸	۰/۰۹۴	۰/۰۷۱	۰/۰۱۵	۰/۱۶۸	۰/۰۲۴	۰/۰۴۳	۰/۰۳۰	۰/۴۵۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
۸	۰/۰۰۲	۰/۰۸۱	۰/۰۹۰	۰/۰۰۹	۰/۲۹۵	۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۵۵۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸
۹	۰/۰۱۸	۰/۰۹۷	۰/۰۸۴	۰/۰۱۷	۰/۱۷۷	۰/۰۲۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۲	۰/۴۷۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۱۰	۰/۰۰۸	۰/۰۷۴	۰/۰۷۸	۰/۰۱۳	۰/۰۸۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۳۱۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۸۳	۰/۰۶۴	۰/۰۰۶	۰/۱۹۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۳۲	۰/۴۱۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸
۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۸۱	۰/۰۹۶	۰/۰۱۵	۰/۳۵۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲۷	۰/۰۳۱	۰/۶۲۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۷۷	۰/۰۷۶	۰/۰۱۸	۰/۱۲۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۳۶۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸
۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۶	۰/۰۱۴	۰/۱۸۱	۰/۰۰۹	۰/۰۲۰	۰/۰۳۵	۰/۴۵۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲
۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۷۳	۰/۰۹۵	۰/۰۰۹	۰/۱۴۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۹	۰/۳۸۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵
۱۶	۰/۰۳۰	۰/۰۶۶	۰/۰۹۱	۰/۰۱۴	۰/۲۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۳۷	۰/۰۶۲	۰/۵۲۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶
۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۶۶	۰/۰۸۵	۰/۰۰۸	۰/۱۲۴	۰/۰۰۲	-	۰/۰۳۲	۰/۳۲۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳

جدول ۶: میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان (HQ-Child) در برنج کشت

ایستگاه	Cr	Cu	Zn	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	THQ	Diazinon	Chlorpyrifos	THQ
۱	۰/۰۲۱	۰/۱۳۳	۰/۱۸۷	۰/۰۲۹	۰/۴۲۲	۰/۰۲۸	۰/۱۳۸	۰/۱۱۸	۱/۰۷۵	۰/۰۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷۱
۳	۰/۰۵۶	۰/۱۰۵	۰/۱۱۴	۰/۰۲۳	۰/۶۸۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۱۴۶	۱/۱۴۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴۷
۴	۰/۰۳۷	۰/۱۴۸	۰/۱۴۴	۰/۰۱۷	۰/۴۴۳	۰/۰۱۸	۰/۰۸۸	۰/۱۵۹	۱/۰۵۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱۴
۵	۰/۰۷۵	۰/۲۲۲	۰/۱۴۹	۰/۰۴۱	۰/۸۵۹	۰/۰۵۴	۰/۰۹۲	۰/۱۱۴	۱/۶۰۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱۹
۶	۰/۰۳۹	۰/۱۱۴	۰/۰۶۶	۰/۰۲۸	۰/۴۹۲	۰/۰۲۰	۰/۱۰۰	۰/۰۷۷	۰/۶۳۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶۲
۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹۶	۰/۰۳۲	۰/۲۲۰	۰/۰۱۱	۰/۳۶۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱۰
۱۲	۰/۰۵۴	۰/۰۹۵	۰/۱۹۲	۰/۰۲۳	۰/۵۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷	۰/۹۷۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹۳
۱۴	۰/۰۱۶	۰/۲۲۷	۰/۲۰۳	۰/۰۶۰	۰/۴۵۱	۰/۰۲۲	۰/۰۶۹	۰/۱۴۶	۱/۱۹۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵۵
۱۶	۰/۰۳۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۴	۰/۰۵۰	۰/۴۹۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۸۹۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸۸
۱۷	۰/۰۲۸	۰/۱۱۰	۰/۱۴۲	۰/۰۳۲	۰/۳۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۵۶	۰/۱۳۹	۰/۸۲۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹۶

جدول ۷: میزان ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات و سموم در بزرگسالان (HQ-Adult) در برنج کشت دوم

ایستگاه	Cr	Cu	Zn	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	THQ	Diazinon	Fenitrothion	Chlorpyrifos	THQ
۱	۰/۰۱۰	۰/۰۶۶	۰/۰۹۳	۰/۰۱۵	۰/۲۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۶۹	۰/۰۵۹	۰/۵۳۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴
۳	۰/۰۲۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۱۲	۰/۳۴۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۷۳	۰/۵۷۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۲	/۰۰۷
۴	۰/۰۱۹	۰/۰۷۴	۰/۰۷۲	۰/۰۰۸	۰/۲۲۲	۰/۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۸۰	۰/۵۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶
۵	۰/۰۳۸	۰/۱۱۱	۰/۰۷۵	۰/۰۲۱	۰/۴۳۰	۰/۰۲۷	۰/۰۴۶	۰/۰۵۷	۰/۸۰۳	۰/۰۱۰	-	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱
۶	۰/۰۳۹	۰/۱۱۴	۰/۰۶۶	۰/۰۲۸	۰/۴۹۲	۰/۰۲۰	۰/۱۰۰	۰/۰۷۷	۰/۹۳۷	۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴۸	۰/۰۱۶	۰/۱۱۰	۰/۰۰۵	۰/۱۸۳	۰/۰۰۲	-	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
۱۲	۰/۰۲۷	۰/۰۴۸	۰/۰۹۶	۰/۰۱۲	۰/۲۷۰	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۴۸۹	۰/۰۰۳	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
۱۴	۰/۰۰۸	۰/۱۱۴	۰/۱۰۱	۰/۰۳۰	۰/۲۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۷۳	۰/۵۹۶	۰/۰۰۲	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۵۶	۰/۰۵۷	۰/۰۲۵	۰/۲۴۹	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۴۴۶	۰/۰۰۷	-	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۵۵	۰/۰۷۱	۰/۰۱۶	۰/۱۵۴	۰/۰۰۶	۰/۰۲۸	۰/۰۶۹	۰/۴۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵

ارزیابی ریسک سلامت سرطان‌زایی

برنج مصرفی کشت اول: در جدول ۸ نتایج میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در کودکان (CR-Child) و کل سرطان‌زایی (TCR) در برنج کشت اول در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر مورد مطالعه آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در کودکان برای کروم بین $1/3\times10^{-6}$ تا $6/1\times10^{-4}$، نیکل بین $7/9\times5^{-10}$ تا $3/4\times10^{-2}$، آرسنیک بین $1/4\times10^{-5}$ تا $1/6\times10^{-3}$، کادمیوم بین $5/6\times10^{-6}$ تا $1/3\times10^{-4}$، جیوه بین $4/6\times10^{-6}$ تا $5/3\times10^{-5}$ و سرب بین $2/8\times10^{-7}$ تا $4/6\times10^{-3}$ اندازه‌گیری شد. میزان TCR برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $1/3\times10^{-4}$ تا $4/1\times10^{-2}$ به‌دست آمد. در مورد احتمال ریسک به بیماری‌های سرطانی، سطح پایین ولی قابل قبول برای خطرناک بودن منابع آلاینده برای سلامت انسان برابر و پایین‌تر از $1/0\times10^{-6}$ (رنگ سبز)، سطح متوسط $1/0\times10^{-5}$ (رنگ زرد) و سطح بسیار خطرناک به بالاتر $1/0\times10^{-4}$ (رنگ قرمز) می‌باشد (بدین معنا که بین ۱۰۰۰۰ نفر ۱ نفر احتمال دارد به سرطان مبتلا شود). در جدول ۹ نتایج میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان و کل سرطانزایی (TCR) در برنج کشت اول در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر مورد مطالعه آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان برای کروم بین $2/7\times10^{-6}$ تا $3/6\times10^{-5}$، نیکل بین $1/7\times10^{-4}$ تا $7/2\times4^{-10}$، آرسنیک بین $2/9\times10^{-5}$ تا $1/3\times10^{-4}$، کادمیوم بین $1/2\times10^{-5}$ تا $2/8\times10^{-4}$، جیوه بین $2/9\times10^{-5}$ تا $1/1\times10^{-4}$ و سرب بین $6/1\times10^{-7}$ تا $1/5\times10^{-6}$ اندازه‌گیری شد. میزان TCR برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $2/9\times10^{-4}$ تا $1/1\times10^{-3}$ به دست آمد.

جدول ۸: میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در کودکان (CR-Child) در برنج کشت اول

ایستگاه	Cr	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	TCR
	۷/۰۳۳×۱۰$^{-۶}$	۲/۵۹×۱۰$^{-۴}$	۴/۴۹×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۷×۱۰$^{-۵}$	۳/۴۵×۱۰$^{-۵}$	۶/۴۷×۱۰$^{-۷}$	۳/۹۲×۱۰$^{-۴}$
۱	۱/۱۲×۱۰$^{-۵}$	۳/۳۳×۱۰$^{-۴}$	۴/۵۶×۱۰$^{-۵}$	۶/۰۶×۱۰$^{-۵}$	۳/۳۵×۱۰$^{-۵}$	۴/۲۲×۱۰$^{-۷}$	۴/۹۰×۱۰$^{-۴}$
۲	۴/۵۳×۱۰$^{-۶}$	۱/۱۶×۱۰$^{-۴}$	۳/۹۸×۱۰$^{-۵}$	۲/۸۰×۱۰$^{-۵}$	–	۴/۵۵×۱۰$^{-۷}$	۱/۸۸×۱۰$^{-۴}$
۳	۷/۳۳×۱۰$^{-۶}$	۲/۱۷×۱۰$^{-۴}$	۲/۶۱×۱۰$^{-۵}$	۳/۲۶×۱۰$^{-۵}$	۳/۹۲×۱۰$^{-۵}$	۶/۸۱×۱۰$^{-۷}$	۳/۲۳×۱۰$^{-۴}$
۴	۶/۱۰×۱۰$^{-۴}$	۳/۴۴×۱۰$^{-۴}$	۱/۵۸×۱۰$^{-۳}$	۵/۰۵×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۲×۱۰$^{-۶}$	۴/۶۴×۱۰$^{-۷}$	۴/۱۳×۱۰$^{-۲}$
۵	۸/۱۴×۱۰$^{-۶}$	۲/۴۰×۱۰$^{-۴}$	۶/۰۱×۱۰$^{-۵}$	۵/۳۲×۱۰$^{-۵}$	۵/۳۰×۱۰$^{-۵}$	۴/۸۸×۱۰$^{-۷}$	۴/۱۵×۱۰$^{-۴}$
۶	۴/۶۲×۱۰$^{-۶}$	۱/۸۶×۱۰$^{-۴}$	۲/۸۰×۱۰$^{-۵}$	۱/۳۲×۱۰$^{-۴}$	۳/۸۷×۱۰$^{-۵}$	۳/۳۳×۱۰$^{-۷}$	۳/۹۰×۱۰$^{-۴}$
۷	۱/۲۷×۱۰$^{-۶}$	۱/۰۹×۱۰$^{-۴}$	۴/۹۳×۱۰$^{-۵}$	۳/۲۷×۱۰$^{-۵}$	۳/۹۵×۱۰$^{-۵}$	۳/۵۵×۱۰$^{-۷}$	۲/۳۲×۱۰$^{-۴}$
۸	۱/۰۱×۱۰$^{-۵}$	۲/۱۱×۱۰$^{-۴}$	۲/۹۶×۱۰$^{-۵}$	۱/۱۲×۱۰$^{-۴}$	۲/۸۰×۱۰$^{-۵}$	۳/۵۶×۱۰$^{-۷}$	۳/۹۰×۱۰$^{-۴}$
۹	۴/۳۷×۱۰$^{-۶}$	۱/۷۰×۱۰$^{-۴}$	۱/۳۵×۱۰$^{-۵}$	۱/۲۲×۱۰$^{-۴}$	۱/۳۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۸۲×۱۰$^{-۷}$	۳/۲۴×۱۰$^{-۴}$
۱۰	۲/۹۳×۱۰$^{-۶}$	۷/۸۸×۱۰$^{-۵}$	۳/۲۹×۱۰$^{-۵}$	۵/۶۲×۱۰$^{-۶}$	۲/۵۱×۱۰$^{-۵}$	۳/۴۹×۱۰$^{-۷}$	۱/۴۶×۱۰$^{-۴}$
۱۱	۱/۱۳×۱۰$^{-۵}$	۱/۸۷×۱۰$^{-۴}$	۵/۸۷×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۰×۱۰$^{-۵}$	۲/۴۵×۱۰$^{-۵}$	۳/۴۴×۱۰$^{-۷}$	۳/۲۷×۱۰$^{-۴}$
۱۲	۴/۳۵×۱۰$^{-۶}$	۲/۲۶×۱۰$^{-۴}$	۲/۱۲×۱۰$^{-۵}$	۶/۲۷×۱۰$^{-۵}$	۱/۴۸×۱۰$^{-۵}$	۳/۶۱×۱۰$^{-۷}$	۳/۲۹×۱۰$^{-۴}$
۱۳	۶/۰۴×۱۰$^{-۶}$	۱/۷۴×۱۰$^{-۴}$	۳/۰۳×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۷×۱۰$^{-۵}$	۱/۷۲×۱۰$^{-۵}$	۳/۸۳×۱۰$^{-۷}$	۲/۷۷×۱۰$^{-۴}$
۱۴	۳/۰۶×۱۰$^{-۶}$	۱/۱۳×۱۰$^{-۴}$	۲/۳۲×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۳۱×۱۰$^{-۵}$	۳/۲۱×۱۰$^{-۷}$	۴/۱۰×۱۰$^{-۴}$
۱۵	۱/۶۷×۱۰$^{-۵}$	۱/۷۱×۱۰$^{-۴}$	۳/۵۸×۱۰$^{-۵}$	۴/۸۰×۱۰$^{-۵}$	۳/۳۲×۱۰$^{-۵}$	۶/۸۹×۱۰$^{-۷}$	۳/۰۵×۱۰$^{-۴}$
۱۶	۲/۰۷×۱۰$^{-۶}$	۹/۶۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۰۸×۱۰$^{-۵}$	۳/۳۴×۱۰$^{-۵}$	–	۳/۵۹×۱۰$^{-۷}$	۱/۳۳×۱۰$^{-۴}$
۱۷	۷/۰۳×۱۰$^{-۶}$	۲/۵۹×۱۰$^{-۴}$	۴/۴۹×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۷×۱۰$^{-۵}$	۳/۴۰×۱۰$^{-۵}$	۶/۴۷×۱۰$^{-۷}$	۳/۹۲×۱۰$^{-۴}$

جدول ۹: میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان (CR-Adult) در برنج کشت اول

ایستگاه	Cr	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	TCR
۱	۱/۵۰×۱۰$^{-۵}$	۵/۵۷×۱۰$^{-۴}$	۹/۶۵×۱۰$^{-۵}$	۱/۰۰×۱۰$^{-۴}$	۷/۳۲×۱۰$^{-۵}$	۱/۳۹×۱۰$^{-۶}$	۸/۴۳×۱۰$^{-۴}$
۲	۲/۴۲×۱۰$^{-۵}$	۷/۱۷×۱۰$^{-۴}$	۹/۸۲×۱۰$^{-۵}$	۱/۴۲×۱۰$^{-۴}$	۷/۲۰×۱۰$^{-۵}$	۹/۰۸×۱۰$^{-۷}$	۱/۰۵×۱۰$^{-۳}$
۳	۹/۷۶×۱۰$^{-۶}$	۲/۹۴×۱۰$^{-۴}$	۸/۵۶×۱۰$^{-۵}$	۶/۰۳×۱۰$^{-۵}$	–	۹/۷۸×۱۰$^{-۷}$	۴/۰۶×۱۰$^{-۴}$
۴	۱/۵۸×۱۰$^{-۵}$	۴/۶۷×۱۰$^{-۴}$	۵/۶۲×۱۰$^{-۵}$	۷/۰۲×۱۰$^{-۵}$	۸/۴۳×۱۰$^{-۵}$	۱/۴۷×۱۰$^{-۶}$	۶/۹۵×۱۰$^{-۴}$
۵	۲/۷۶×۱۰$^{-۵}$	۶/۶۴×۱۰$^{-۴}$	۱/۲۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۴۱×۱۰$^{-۴}$	۵/۰۴×۱۰$^{-۵}$	۹/۸۳×۱۰$^{-۷}$	۱/۱۱×۱۰$^{-۳}$
۶	۱/۷۵×۱۰$^{-۵}$	۵/۱۶×۱۰$^{-۴}$	۱/۲۹×۱۰$^{-۴}$	۱/۱۴×۱۰$^{-۴}$	۱/۱۴×۱۰$^{-۴}$	۱/۰۵×۱۰$^{-۶}$	۸/۹۳×۱۰$^{-۴}$
۷	۹/۹۵×۱۰$^{-۶}$	۴/۰۱×۱۰$^{-۴}$	۶/۰۳×۱۰$^{-۵}$	۲/۸۴×۱۰$^{-۴}$	۸/۳۳×۱۰$^{-۵}$	۷/۱۷×۱۰$^{-۷}$	۸/۴۰×۱۰$^{-۴}$
۸	۲/۷۴×۱۰$^{-۶}$	۲/۳۵×۱۰$^{-۴}$	۱/۰۶×۱۰$^{-۴}$	۷/۰۳×۱۰$^{-۵}$	۸/۵۰×۱۰$^{-۵}$	۷/۶۵×۱۰$^{-۷}$	۵/۰۰×۱۰$^{-۴}$
۹	۲/۱۸×۱۰$^{-۵}$	۴/۵۴×۱۰$^{-۴}$	۶/۳۶×۱۰$^{-۵}$	۲/۴۰×۱۰$^{-۴}$	۶/۰۳×۱۰$^{-۵}$	۷/۶۵×۱۰$^{-۷}$	۸/۴۰×۱۰$^{-۴}$
۱۰	۹/۴۰×۱۰$^{-۶}$	۳/۶۶×۱۰$^{-۴}$	۲/۹۱×۱۰$^{-۵}$	۲/۶۳×۱۰$^{-۴}$	۲/۸۷×۱۰$^{-۵}$	۶/۰۷×۱۰$^{-۷}$	۶/۹۷×۱۰$^{-۴}$
۱۱	۶/۳۰×۱۰$^{-۶}$	۱/۷۰×۱۰$^{-۴}$	۷/۰۹×۱۰$^{-۵}$	۱/۲۱×۱۰$^{-۵}$	۵/۳۹×۱۰$^{-۵}$	۷/۵۷×۱۰$^{-۷}$	۳/۱۴×۱۰$^{-۴}$
۱۲	۲/۴۴×۱۰$^{-۵}$	۴/۰۳×۱۰$^{-۴}$	۱/۲۶×۱۰$^{-۴}$	۹/۹۰×۱۰$^{-۵}$	۵/۱۶×۱۰$^{-۵}$	۷/۴۰×۱۰$^{-۷}$	۷/۰۵×۱۰$^{-۴}$
۱۳	۹/۳۶×۱۰$^{-۶}$	۴/۸۶×۱۰$^{-۴}$	۴/۵۷×۱۰$^{-۴}$	۱/۳۵×۱۰$^{-۴}$	۳/۱۹×۱۰$^{-۵}$	۷/۷۱×۱۰$^{-۷}$	۷/۰۹×۱۰$^{-۴}$
۱۴	۱/۳۰×۱۰$^{-۵}$	۳/۷۵×۱۰$^{-۴}$	۶/۵۱×۱۰$^{-۵}$	۱/۰۳×۱۰$^{-۴}$	۳/۹۲×۱۰$^{-۵}$	۸/۲۵×۱۰$^{-۷}$	۵/۹۶×۱۰$^{-۴}$
۱۵	۶/۵۹×۱۰$^{-۶}$	۲/۴۴×۱۰$^{-۴}$	۵/۱۵×۱۰$^{-۵}$	۹/۹۶×۱۰$^{-۵}$	۴/۹۸×۱۰$^{-۵}$	۶/۹۱×۱۰$^{-۷}$	۴/۵۲×۱۰$^{-۴}$
۱۶	۳/۵۹×۱۰$^{-۵}$	۳/۶۸×۱۰$^{-۴}$	۷/۷۰×۱۰$^{-۵}$	۱/۰۳×۱۰$^{-۴}$	۷/۱۵×۱۰$^{-۵}$	۱/۴۸×۱۰$^{-۸}$	۶/۵۷×۱۰$^{-۴}$
۱۷	۴/۴۵×۱۰$^{-۶}$	۲/۰۷×۱۰$^{-۴}$	۴/۴۸×۱۰$^{-۵}$	۲/۸۸×۱۰$^{-۵}$	–	۷/۷۲×۱۰$^{-۷}$	۲/۸۶×۱۰$^{-۴}$

برنج مصرفی کشت دوم: نتایج میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در کودکان (CR-Child) و کل سرطانزایی (TCR) در برنج کشت دوم در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر مورد مطالعه در جدول ۱۰ آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان

ریسک سرطان‌زایی فلزات در کودکان برای کروم بین $1/5\times10^{-6}$ تا $2/2\times10^{-5}$، نیکل بین $8/1\times10^{-6}$ تا $3/8\times10^{-4}$، آرسنیک بین $8/1\times10^{-6}$ تا $8/2\times10^{-5}$، کادمیوم بین $3/4\times10^{-5}$ تا $1/5\times10^{-4}$، جیوه بین $1/4\times10^{-5}$ تا $9/8\times10^{-5}$ و سرب بین $6/1\times10^{-8}$ تا $8/8\times10^{-7}$ اندازه‌گیری شد. میزان TCR برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $2/1\times10^{-4}$ تا $6/6\times10^{-4}$ به‌دست آمد.

جدول ۱۰: میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات و سموم در کودکان (CR-Child)در برنج کشت دوم

ایستگاه	Cr	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	TCR
۱	$5/80\times10^{-6}$	$1/90\times10^{-4}$	$3/50\times10^{-5}$	$7/80\times10^{-5}$	$6/20\times10^{-5}$	$6/50\times10^{-7}$	$3/07\times10^{-4}$
۳	$1/60\times10^{-5}$	$1/50\times10^{-4}$	$5/70\times10^{-5}$	$4/50\times10^{-5}$	–	$8/10\times10^{-7}$	$2/60\times10^{-4}$
۴	$1/00\times10^{-5}$	$1/10\times10^{-4}$	$3/70\times10^{-5}$	$5/10\times10^{-5}$	$3/90\times10^{-5}$	$8/80\times10^{-7}$	$2/40\times10^{-4}$
۵	$2/10\times10^{-5}$	$2/60\times10^{-4}$	$7/20\times10^{-5}$	$1/50\times10^{-4}$	$7/10\times10^{-5}$	$6/30\times10^{-7}$	$5/40\times10^{-4}$
۶	$2/20\times10^{-6}$	$3/50\times10^{-4}$	$8/20\times10^{-5}$	$1/10\times10^{-4}$	$9/10\times10^{-5}$	$8/50\times10^{-7}$	$6/60\times10^{-4}$
۸	$1/50\times10^{-6}$	$8/10\times10^{-4}$	$8/10\times10^{-5}$	$8/90\times10^{-5}$	$9/80\times10^{-5}$	$6/10\times10^{-7}$	$2/10\times10^{-4}$
۱۲	$1/50\times10^{-5}$	$1/50\times10^{-4}$	$4/50\times10^{-5}$	$4/40\times10^{-5}$	$1/40\times10^{-5}$	$1/50\times10^{-7}$	$2/60\times10^{-4}$
۱۴	$4/30\times10^{-6}$	$3/80\times10^{-4}$	$3/80\times10^{-5}$	$6/00\times10^{-5}$	$3/10\times10^{-5}$	$8/10\times10^{-7}$	$5/10\times10^{-4}$
۱۶	$9/90\times10^{-6}$	$3/10\times10^{-4}$	$4/20\times10^{-5}$	$1/50\times10^{-4}$	–	$1/60\times10^{-7}$	$5/20\times10^{-4}$
۱۷	$7/80\times10^{-6}$	$2/40\times10^{-4}$	$2/6\times10^{-5}$	$3/40\times10^{-5}$	$2/50\times10^{-5}$	$7/70\times10^{-7}$	$3/40\times10^{-4}$

نتایج میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان (CR-Adult) و کل سرطانزایی (TCR) در برنج کشت دوم در ایستگاه‌های مختلف برای عناصر مورد مطالعه در جدول ۱۱ آورده شده است. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهد میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان برای کروم بین $3/3\times10^{-6}$ تا $4/7\times10^{-5}$، نیکل بین $1/8\times10^{-5}$ تا $8/1\times10^{-4}$، آرسنیک بین $1/7\times10^{-5}$ تا $1/8\times10^{-4}$، کادمیوم بین $7/3\times10^{-5}$ تا $3/3\times10^{-4}$، جیوه بین $3/0\times10^{-5}$ تا $2/1\times10^{-4}$ و سرب بین $1/3\times10^{-7}$ تا $1/9\times10^{-6}$ اندازه‌گیری شد. میزان TCR برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $4/4\times10^{-4}$ تا $1/4\times10^{-3}$ به‌دست آمد.

جدول ۱۱: میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان (CR-Adult) در برنج کشت دوم

ایستگاه	Cr	Ni	AS	Cd	Hg	Pb	TCR
۱	$1/20\times10^{-5}$	$4/00\times10^{-4}$	$7/60\times10^{-5}$	$1/70\times10^{-4}$	$1/30\times10^{-4}$	$1/40\times10^{-6}$	$7/90\times10^{-4}$
۳	$3/40\times10^{-4}$	$3/10\times10^{-4}$	$1/20\times10^{-4}$	$9/80\times10^{-5}$	–	$1/70\times10^{-6}$	$5/70\times10^{-4}$
۴	$2/20\times10^{-4}$	$2/30\times10^{-4}$	$8/00\times10^{-5}$	$1/10\times10^{-4}$	$8/40\times10^{-5}$	$1/90\times10^{-6}$	$5/30\times10^{-4}$
۵	$4/50\times10^{-5}$	$5/60\times10^{-4}$	$1/50\times10^{-4}$	$3/20\times10^{-4}$	$8/80\times10^{-5}$	$1/40\times10^{-6}$	$1/20\times10^{-4}$
۶	$4/70\times10^{-5}$	$7/50\times10^{-4}$	$1/80\times10^{-4}$	$2/40\times10^{-4}$	$1/90\times10^{-4}$	$1/80\times10^{-6}$	$1/40\times10^{-3}$
۸	$3/30\times10^{-6}$	$1/80\times10^{-5}$	$1/70\times10^{-5}$	$1/90\times10^{-4}$	$2/10\times10^{-4}$	$1/30\times10^{-7}$	$4/40\times10^{-4}$
۱۲	$3/20\times10^{-5}$	$3/20\times10^{-4}$	$9/70\times10^{-5}$	$9/40\times10^{-5}$	$3/00\times10^{-7}$	$3/20\times10^{-7}$	$5/70\times10^{-4}$
۱۴	$9/40\times10^{-6}$	$8/10\times10^{-4}$	$8/10\times10^{-5}$	$1/30\times10^{-4}$	$6/70\times10^{-5}$	$1/70\times10^{-6}$	$1/10\times10^{-4}$
۱۶	$2/10\times10^{-5}$	$6/80\times10^{-4}$	$9/00\times10^{-5}$	$3/30\times10^{-4}$	–	$3/40\times10^{-7}$	$1/10\times10^{-3}$
۱۷	$1/70\times10^{-5}$	$4/40\times10^{-4}$	$5/50\times10^{-5}$	$7/30\times10^{-5}$	$5/30\times10^{-5}$	$1/70\times10^{-6}$	$6/40\times10^{-4}$

بحث

فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی از جمله مهم‌ترین عوامل استرس‌زای محیطی هستند که باعث ایجاد مشکلات زیادی در انواع اکوسیستم‌های طبیعی گردیده است. در این خصوص این ترکیبات سلامت بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی را در طبیعت تحت تاثیر قرار داده و باعث بروز انواع سمیت‌ها و اثرات زیست محیطی گردیده است. استفاده از کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات نباتی در سال‌های اخیر بسیار توسعه یافته است و کشاورزان در سطح‌های بسیار وسیع از این ترکیبات سمی برای مبارزه با آفات و افزایش بهره‌وری در مزارع استفاده می‌کنند. در این راستا Lu و همکاران اقدام به مطالعه و بررسی ریسک ناشی از فلزات سنگین در برنج

مورد مصرف افراد ساکن در فوجیان چین کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر فلزات سنگین آرسنیک و مس بالاتر از حدود استاندارد ملی بود. در مطالعه پیش‌رو مقدار فلز مس بین ۱۰/۹۱ در ایستگاه ۱۶ (کشت اول و دوم برنج) و ۲۱/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۱ (کشت اول و دوم برنج) متغیر بوده است (۲۷). هم‌چنین فلز سمی کروم مقادیر بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد. فلز نیکل بالاترین مقدار را در نمونه‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه ۱۴ به‌میزان ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. فلز سرب نیز بالاترین مقدار را در نمونه‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه ۶ به‌میزان ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. علاوه بر این فلزات سمی و سرطان‌زا آرسنیک، کادمیوم و جیوه به ترتیب در ایستگاه‌های ۶، ۵ و ۶ مقادیر ۰/۰۹۴ ، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان دادند. فلزات سنگین ازجمله مهم‌ترین و سمی‌ترین ترکیبات موجود در محیط‌زیست می‌باشند که در مقادیر بالا و خارج از حدود استاندارد می‌توانند حیات جانوران و از جمله انسان را تحت تاثیر قرار دهند. فلز مس با این‌که یکی از عناصر ضروری رشد و نمو و تکامل در جانوران می‌باشد ولی در مقادیر بالا می‌تواند به‌عنوان یک سم برای موجودات عمل کند. با توجه به این که محیط زیست استان مازندران به‌شدت تحت تاثیر پساب‌های صنعتی، فاضلاب‌های شهری و خانگی و فعالیت‌های تولیدی قرار گرفته است لذا آب‌های سطحی به‌شدت آلوده به فلزات سنگین بوده که می‌توانند مواد غذایی مورد مصرف انسان و دام‌ها را آلوده کنند. در همین راستا Baruah و همکاران عنوان کردند که بین غلظت فلزات سنگین موجود در محیط زیست با مقادیر تجمع یافته آن‌ها در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (۲۸). این امر موید آن است که در مزارعی که بیش‌تر با آب‌های آلوده به سموم و فلزات سنگین آبیاری می‌شوند احتمال آلودگی برنج و گیاهان مورد مصرف انسان و دام‌های اهلی بیش از سایر نقاط است. در بین فلزات مورد مطالعه در این تحقیق فلز سمی و سرطان‌زا کروم مقادیر بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان داد. فلز کروم در مقادیر بالا می‌تواند انواع سرطان‌ها را در بدن مصرف‌کنندگان ایجاد کند. این فلز به‌علت پایداری بالا و قدرت انتقال به‌راحتی از غشای سلولی جانوران عبور کرده و با تبدیل به متابولیت‌های ثانویه قادر است انواع اختلالات درون‌سلولی و بافتی را در اندام‌هایی مثل کبد، کلیه، طحال، مغز و سیستم عصبی ایجاد کند. فلز جیوه نیز ازجمله عناصر سمی و سرطان‌زا مورد مطالعه در این تحقیق بود که در بیش‌تر ایستگاه‌ها مقادیر پایینی را نشان داد. با توجه به این‌که مزارع برنج شمال ایران عمدتاً توسط آب‌های سطحی و آب‌بندان‌ها آبیاری می‌شود لذا آلودگی این منابع آبی با فاضلاب‌های صنعتی و خانگی می‌تواند باعث انتقال یون‌های جیوه، متیل جیوه و کلرید جیوه به مواد غذایی و در نهایت انسان و دام‌های اهلی شود. در این زمینه Zakaria و همکاران اقدام به مطالعه آلودگی فلزات سنگین کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As) و سرب (Pb) و جذب، انتقال و تجمع در برنج و خطرات سلامتی این فلزات برای انسان کردند (۲۸). نتایج آن‌ها نشان داد که فلزات سنگین نه تنها باعث کاهش کیفیت و سلامت مواد غذایی و خوراکی می‌شود بلکه سلامت مصرف کنندگان را به‌شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. طی سال‌های اخیر استفاده از سموم ارگانوفسفره و ارگانوکلره در محیط زیست و مزارع شمال ایران به‌شدت افزایش یافته است. ظهور گونه‌های جدید آفت، گیاهان‌هرز، هجوم گونه‌های مهاجم و غیربومی، افزایش عوامل استرس‌زای محیطی، تنش‌های آبی و دمایی باعث افزایش استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در مزارع برنج شده است. این درحالی است که کشاورزان جهت افزایش بهره‌وری و حفظ کیفیت و سودآوری تولید مجبور به استفاده از طیف وسیعی از سموم هستند. در مطالعه پیش‌رو دو نوع سم بسیار پرمصرف دیازینون و کلرپیریفوس در محیط زیست استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفت. میزان این سموم در نمونه‌های برنج مورد مصرف گروه‌های کودکان و بزرگسالان سنجش گردید. نتایج نشان داد که ایستگاه ۱ و ایستگاه ۲ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر دیازینون در محدوده ۰/۰۳۸ و ۰/۰۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. هم‌چنین مقادیر سم کلرپیریفوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر را در ایستگاه‌های ۸ و ۱۴ با مقادیر ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد. سم دیازینون ازجمله سموم حشره‌کش و ارگانو فسفره می‌باشد که با دارا بودن قدرت بالا می‌تواند طیف وسیعی از حشرات را از بین ببرد. میزان ماندگاری این سم در آب و خاک بسیار زیاد است و می‌تواند سال‌ها در خاک تجمع پیدا کند. در این مطالعه ایستگاه ۱ واقع در مزارع مازندران مقادیر بالاتری را نشان داد. این احتمال وجود دارد که برخی از کشاورزان به‌علت شیوع بیش‌تر آفات در دفعات بیش‌تری از سموم استفاده کنند و لذا میزان تجمع آن در موادغذایی و برنج بیش‌تر از سایر مزارع باشد. هم‌چنین آب مزارع نیز می‌تواند منبع مهمی برای تامین سموم باشد که در اثر پدیده آبشویی ایجاد می‌گردد. در این خصوص Jelodar و همکاران اقدام به سنجش سموم آفت‌کش در رودخانه بابل رود کردند. نتایج نشان داد که میزان شاخص ریسک برای بزرگسالان بر اساس غلظت مرجع به‌ترتیب ۳/۴، ۰/۳ و ۰/۱ و برای کودکان ۸/۶، ۰/۰۸ و ۰/۰۳ برای دیازینون، بوتاکلر و کاربارل سنجش گردید (۳۰). این مطالعه موید آن است که دیازینون در محیط زیست می‌تواند خطر و تهدید جدی علیه جانوران و گیاهان باشد. سم کلرپیریفوس نیز از جمله دیگر سموم پرمصرف در مزارع و محیط زیست شمال ایران است که

در مقادیر بسیار گسترده علیه آفات مزارع استفاده می‌گردد. این سم نیز همانند دیازینون از گروه سموم ارگانوفسفره بوده و دارای ماندگاری بسیار طولانی در محیط از جمله آب، خاک و مواد غذایی است. در مطالعه پیش‌رو این سم مقادیر کم‌تری را در مقایسه با دیازینون نشان داد و بیش‌ترین مقدار در ایستگاه شماره ۸ سنجش گردید. کلرپیریفوسبا تجمع در مواد غذایی و انواع صیفی‌جات نظیر برنج، گندم، جو، خیار، سبزیجات و سیب‌زمینی می‌تواند تهدید جدی علیه سلامت انسان در گروه‌های حساس نظیر کودکان، افراد پیر و زنان باردار باشد. AhmedSumon و همکاران مطالعه‌ای را روی سموم آفت‌کش در مزارع برنج بنگلادش انجام دادند (۳۱). نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین فراوانی سموم برای کلرپیریفوس، دیازینون و کوینالفوس در آب‌های سطحی بود. با افزایش طول دوره پرورش در محیط آلوده مزارع، احتمال انتقال و تجمع سموم و ترکیبات شیمیایی در محصولات و گیاهان افزایش می‌یابد. لذا این احتمال وجود دارد که با افزایش تعداد دوره‌های پرورش تجمع و سمیت سموم در محصول نهایی نیز افزایش یابد که به‌مراتب می‌تواند تهدید بیش‌تری علیه سلامت انسان ایجاد کند. سلامت انسان یکی از مهم‌ترین مباحث محیط زیست و اکوسیستم کره‌زمین می‌باشد که تقریباً همه جنبه‌های آن را در بر می‌گیرد. با توجه به قرارگیری انسان در بالاترین سطح هرم غذایی در محیط زیست لذا مطالعه اثرات سموم و مواد شیمیایی در محیط زیست اهمیت بالایی برای سلامت انسان دارد. به‌همین منظور مدل‌های متنوعی از ارزیابی ریسک سلامت در دو گروه ترکیبات با ظرفیت سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی توسط آژانس حفاظت محیط زیست امریکا تعریف گردیده است. در این مطالعه نتایج نشان داد که ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از فلزات و سموم موجود در برنج کشت اول در گروه کودکان برای سموم زیر ۱ و برای فلزات در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۵، ۶، ۸، ۱۲ و ۱۶ بالای ۱ ارزیابی گردید. با توجه به این‌که ریسک غیرسرطان‌زایی به شکل معیاری از عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود لذا مقادیر بالای ۱ دارای خطر غیرسرطان‌زایی بوده‌و مقادیر زیر ۱ فاقد خطر می‌باشند. در این خصوص Tao و همکاران ارزیابی ریسک تعداد زیادی از آفت‌کش‌ها را در مزارع گندم مناطقی از پکن در چین انجام دادند (۳۲). نتایج نشان داد که میزان ریسک غیرسرطان‌زایی برای کودکان در مقایسه با بزرگسالان همواره بالاتر از عدد ۱ بود. در مطالعه حاضر خطر غیر سرطان‌زایی برای گروه بزرگسالان مصرف‌کننده برنج کشت اول در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها مقادیر بالای ۱ را نشان نداد. در مطالعه مشابهی که Vatanpour و همکاران روی ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی برنج کشت شده در حوزه رودخانه تجن انجام دادند نتایج نشان داد که میانگین مقادیر ضریب خطر کل (THQ) برای سرب، آهن، کروم و کادمیوم به‌ترتیب ۱۳/۸، ۷/۷، ۵/۵ و ۱/۵ بود که نشان‌دهنده خطر قابل توجهی برای سلامت مصرف‌کنندگان برنج در این منطقه است (۳۳). درخصوص کشت دوم در این مطالعه نتایج نشان داد که میزان ریسک غیرسرطان‌زایی سموم برای گروه کودکان زیر ۱ ولی برای فلزات در ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۱۴ بالای ۱ بود. با این‌حال این مقادیر برای گروه بزرگ‌سالان در سموم و فلزات همه زیر ۱ ارزیابی شدند. رابطه مستقیمی بین میزان سموم موجود در مواد غذایی و ریسک آن برای سلامتی انسان و جانوارن وجود دارد. هرچقدر غلظت سموم و فلزات سنگین بالاتر باشد میزان خطر غیرسرطان‌زایی آن برای گروه‌های هدف مود مطالعه بالاتر می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه ریسک سرطان‌زایی برای کودکان در کشت اول سطوح قابل قبولی را برای فلز سرب نشان داد. هم‌چنین این مقادیر برای فلز نیکل دارای بیش‌ترین خطر سرطان‌زایی برای گروه کودکان بود. سایر فلزات مورد مطالعه خطر سرطان‌زایی معنی‌داری برای کودکان نشان نداد. علاوه بر این مجموع ریسک سرطان‌زایی فلزات برای گروه کودکان در محدوده خطرناک و با ریسک بالا ارزیابی گردید. سرب، نیکل، جیوه، آرسنیک، کادمیوم و کروم ازجمله مهم‌ترین فلزات دارای قابلیت سرطان‌زایی می‌باشند که در مقادیر بالا می‌توانند باعث بروز سرطان در اندام‌های داخلی بدن انسان و جانوران شوند. تحقیقات نشان داده است که مقادیر بالای آرسنیک در نمونه‌های برنج مورد مصرف گروه‌های مختلف مصرف‌کننده می‌تواند زمینه‌های بروز سرطان روده و معده را افزایش دهد. میزان ریسک سرطان‌زایی فلزات در بزرگسالان برای کروم بین $۲/۷\times۱۰^{-۶}$ تا $۳/۶\times۱۰^{-۵}$، نیکل بین $۱/۷\times۱۰^{-۴}$ تا $۷/۲\times۱۰^{-۴}$، آرسنیک بین $۲/۹\times۱۰^{-۵}$ تا $۱/۳\times۱۰^{-۴}$، کادمیوم بین $۱/۲\times۱۰^{-۵}$ تا $۲/۸\times۱۰^{-۴}$، جیوه بین $۲/۹\times۱۰^{-۵}$ تا $۱/۱\times۱۰^{-۴}$ و سرب بین $۶/۱\times۱۰^{-۷}$ تا $۱/۵\times۱۰^{-۶}$ اندازه‌گیری شد. میزان TCR برای فلزات در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بین $۲/۹\times۱۰^{-۴}$ تا $۱/۱\times۱۰^{-۳}$ به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که هم‌چنان فلز نیکل دارای بالاترین قدرت سرطان‌زایی در گروه بزرگسالان است و مجموع ریسک سرطان‌زایی فلزات مورد مطالعه نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی برای این گروه از مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. در یک مطالعه نتایج نشان داد که سم دیازینون به‌عنوان آفت‌کش قالب در کل نمونه‌های برنج شناسایی شد. هم‌چنین این سم برای گروه‌های کودکان، بزرگسالان و زنان باردار خطر جزئی غیرسرطان‌زایی نشان داد. برنج به‌عنوان ماده غذایی اصلی مردم ایران به‌شمار می‌رود به‌خصوص افراد و اهالی ساکن در شهرهای شمالی از جمله استان مازندران که در طول سال سرانه مصرف بالایی از برنج دارند. بنابراین کیفیت این ماده غذایی مهم و با ارزش از نظر دارا بودن سموم و آفت‌کش‌ها نقش مهمی در سلامت جامعه ایفا می‌کند. در گروه نمونه‌های کشت دوم نیز ریسک

سرطان‌زایی بالاترین میزان خطر را برای فلز نیکل در گروه کودکان نشان داد و فلز سرب نیز کم‌ترین میزان ریسک سرطان‌زایی را برای این گروه داشت. هم‌چنین در گروه بزرگسالان نیکل، آرسنیک، جیوه و کادمیوم بیش‌ترین میزان خطر سرطان‌زایی را نشان‌دادند و مجموع ریسک سرطان‌زایی فلزات نیز در سطح خطرناک برای این گروه ارزیابی شد.

محیط زیست جانوری ازجمله مهم‌ترین بسترهای زیست انسان است که می‌تواند توسط عوامل خارجی ازجمله سموم و فلزات تحت تاثیر قرار گرفته و دچار آسیب شود. با توجه به این‌که برنج به‌عنوان یک ماده غذایی با ارزش و پرمصرف برای انسان محسوب می‌گردد لذا سلامت این نوع ماده غذایی برای مصرف‌کنندگان بسیار مهم است. از طرفی با توجه به این‌که استان‌های شمالی کشور ایران به عنوان تامین کننده اصلی برنج مورد مصرف مردم ایران هستند و از زمین‌های حاصلخیز و آب و هوای خوب نیز برخوردارند بنابراین کیفیت برنج تولیدی در این استان‌ها بسیار مهم می‌باشد. استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها در محیط مزارع و بهره‌مندی از انواع کودهای شیمیایی باعث شیوع انواع سموم و فلزات در مزارع شده و لذا موجب افزایش سمیت و تجمع این مواد در محصول برنج می‌گردد. ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی این ترکیبات برای گروه‌های کودکان و بزرگسالان بسته به‌میزان غلظت این ترکیبات متفاوت بود و با افزایش غلظت سموم و فلزات سنگین در نمونه‌های برنج میزان خطرات آن برای انسان افزایش یافت. هم‌چنین بین دو نوع کشت و نمونه‌های دو دوره مختلف ریسک‌های سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی متفاوتی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که کودکان گروه حساس‌تری در مقابل اثرات سرطان‌زایی سموم و فلزات‌سنگین می‌باشند. با توجه به این‌که کشت‌های مختلفی در مزارع برنج انجام می‌گردد و لذا طیف وسیعی از سموم و کودهای شیمیایی استفاده می‌شود بنابراین توجه به کیفیت برنج تولیدی مورد مصرف انسان باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. **Mirzaei, R., Ghorbani, H., Moghaddas, N.H. and Martín, J.A.R., 2014.** Ecological risk of heavy metal hotspots in topsoils in the Province of Golestan, Iran. J Geochemical Explor. 147: 268-276.
2. **Elbehiry, F., Elbasiouny, H., Ali, R. and Brevik, E.C., 2020.** Enhanced immobilization and phytoremediation of heavy metals in landfill contaminated soils. Water, Air, Soil Pollut. 231(5): 1-20.
3. **Esmaeilbeigi, M., Behzadi Tayemeh, M. and Johari, S.A., 2022.** In silico modeling of the antagonistic effect of mercuric chloride and silver nanoparticles on the mortality rate of zebrafish (*Danio rerio*) based on response surface methodology. Environ Sci Pollut Res. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19693-y
4. **Keshavarzi, A. and Kumar, V., 2019.** Ecological risk assessment and source apportionment of heavy metal contamination in agricultural soils of Northeastern Iran. Int J Environ Health Res. 29(5): 544-560.
5. **Ahmadi Doabi, S., Karami, M. and Afyuni, M., 2016.** Regional-scale fluxes of zinc, copper, and nickel into and out of the agricultural soils of the Kermanshah province in western Iran. Environ Monit Assess. 188(4): 1-18.
6. **Sharafati Chaleshtori, F., Rafieian Kopaei, M. and Sharafati Chaleshtori, R., 2017.** A review of heavy metals in rice (*Oryza sativa*) of Iran. Toxin Rev. 36(2): 147-153.
7. **Amozad, A., Mirab Baloo, b. and Nazari, A., 1400.** Population changes of two species of Haplothrips in rice fields of Ilam province with different climatic conditions, Journal of Animal Environment. 13(1): 407-414. (In Persian)
8. **Parang, H. and Esmaeilbeigi, M., 2022.** Total mercury concentration in the muscle of four mostly consumed fish and associated human health risks for fishermen and non fishermen families in the Anzali Wetland, Southern Caspian Sea. Reg Stud Mar Sci. 52: 102270. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022. 102270.
9. **Rostami, S., Kamani, H., Shahsavani, S. and Hoseini, M., 2021.** Environmental monitoring and ecological risk assessment of heavy metals in farmland soils. Hum Ecol Risk Assess An Int J. 7(2): 392-404.
10. **Ghahari, H., 2016.** Study of species diversity of parasitoids in rice fields of northern Iran with emphasis on rice stem borer parasitoids. Journal of Animal Environment. 9(4): 289-298. (In Persian)
11. **Ghahari, H., 2017.** Investigation of species diversity of Ichneumonoidea (Hymenoptera) bees in rice fields of Mazandaran province. Journal of Animal Environment. 9(3): 371-378. (In Persian)
12. **Trinh, H.T., Duong, H.T., Le, G.T., Marcussen, H. and Strobel, B.W., 2018.** Pesticide and element release from a paddy soil in central Vietnam: Role of DOC and oxidation state during flooding. Geoderma. 310: 209.
13. **Horwitz, R., Li, W., Xu, B., Song, Q., Liu, X., Xu, J. and Brookes, P.C., 2014.** The identification of 'hotspots' of heavy metal pollution in soil-rice systems at a regional scale in eastern China. Sci Total Environ. 472: 407-420.
14. **AOAC. 2010.** Heavy metal contaminations in a soil-rice system: identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields. J Hazard Mater. 181(1-3): 778-787.
15. **Walkley, T., Lin, J., Sun, D., Zhang, Z., Duan, Z. and Dong, J., 2021.** Heavy metals and health risk of rice sampled in Yangtze River Delta, China. Food Addit Contam Part B. 14(2): 133-140.
16. **Asante-Duah, E., Kalantari, M.R., Shokrzadeh, M., Ebadi, A.G., Mohammadizadeh, C., Choudhary, M.I. and Rahman, A., 2006.** Soil pollution by heavy metals and remediation (Mazandaran, Iran). Appl Sci. 6: 2110-2116.
17. **USEPA. 1989.** Interim methods for development of inhalation reference doses (EPA/600/8-88/066F). Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC.
18. **Tang, U., Ihedioha, J.N., Abugu, H.O., Ujam, O.T. and Ekere, N.R., 2021.** Ecological and human health risk evaluation of potential toxic metals in paddy soil, rice

plants, and rice grains (*Oryza sativa*) of Omor Rice Field, Nigeria. Environ Monit Assess. 193(9): 1-17.

19. **Huang, S. and Hakanson, L., 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Res. 14(8): 975-1001.
20. **USEPA. 2000.** Risk-based concentration table. United States Environmental Protection Agency. Washington DC, Philadelphia.
21. **Ghanbari, R., Gimeno-García, E., Andreu, V. and Boluda, R., 1996.** Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environ Pollut. 92(1): 19-25.
22. **Elgueta, F., Cheng, W., Zhang, G., Yao, H., Dominy, P., Wu, W. and Wang, R., 2004.** Possibility of predicting heavy-metal contents in rice grains based on DTPA-extracted levels in soil. Commun Soil Sci Plant Anal. 35(19-20): 2731-2745.
23. **OEHHA. 2016.** OEHHA Chemical Database. California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment.
24. **Sofuoglu, P., 14Fu, Y., Liu, F., Zhao, C., Zhao, Y., Liu, Y. and Zhu, G., 2015.** Distribution of chlorpyrifos in rice paddy environment and its potential dietary risk. J Environ Sci. 35: 101-107.
25. **Mao, D., Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y. and Zhuang, D., 2018.** Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China. Process Saf Environ Prot. 113: 204-208.
26. **Lu, S., Teng, Y., Wang, Y., Wu, J. and Wang, J., 2015.** Research on the ecological risk of heavy metals in the soil around a Pb-Zn mine in the Huize County, China. Chinese J geochemistry. 34(4): 540-549.
27. **Baruah, E.C., Slaughter, L., Singh, B.R., Steffan, J.J., Collier, D. and Barnhart, P., 2020.** Soil and human health: current status and future needs. Air, Soil Water Res. 13: 1178622120934441.
28. **Zeng, F., Mao, Y., Cheng, W., Wu, F. and Zhang, G., 2008.** Genotypic and environmental variation in chromium, cadmium and lead concentrations in rice. Environ Pollut. 153(2): 309-314.
29. **Jelodar, A., Kumar, V., Ertunç, G. and Brevik, E.C., 2021.** Ecological risk assessment and source apportionment of heavy metals contamination: an appraisal based on the Tellus soil survey. Environ Geochem Health. 43(5): 2121-2142.
30. **AhmedSumon, D.C., 2001.** Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer. 860 p.
31. **Tao, E.C., Slaughter, L., Singh, B.R., Steffan, J.J., Collier, D. and Barnhart, P., 2020.** Soil and human health: current status and future needs. Air, Soil Water Res. 13: 1178622120934441.
32. **Vatanpour, F., Atar, N., Yazıcıoğlu, D. and Olgun, A., 2011.** Biosorption of lead from aqueous solutions by *Bacillus* strains possessing heavy-metal resistance. Chem Eng J. 173(2): 422-428.