JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(1):20-35 Original Article

Investigation and risk assessment of heavy metals in walnuts produced in Toyserkan County, Hamedan, Iran

Received: 18 December 2024, Accepted: 11 March 2025

Eisa Solgi[1*], Hamid Abbasitabar[2], Zinat Fazlali[3]

[1] *Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*
[2] *Ph.D Student of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*
[3] *BSc Graduated, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*

***Corresponding Author:**
e.solgi@yahoo.com

How to Cite This Article:
Solgi E, Abbasitabar H, Fazlali Z. Investigation and risk assessment of heavy metals in walnuts produced in Toyserkan County, Hamedan, Iran. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(1):20-35.

DOI:

ABSTRACT

Background: Walnut is the most widely distributed tree nut worldwide and has been consumed as a nutrient-rich food for many years. The aim of this study was to investigate the concentration and risk assessment of heavy metals in walnuts produced in Toyserkan County, Hamedan Province.

Materials and Methods: 45 walnut samples were collected from 3 cities and 15 villages of Toyserkan county by systematic-random method. After preparation and digestion of the samples by acid method, the concentration of heavy metals was measured by atomic absorption spectrometry. EDI, HQ and HI indices were used for risk assessment.

Results: The average concentrations of heavy metals Cu, Zn, Fe, Mn, Na and K were 16.12, 47.43, 88.53, 44.25, 280.9, and 182.6 mg/kg, respectively. The results of the Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests showed that the difference between the mean concentrations of iron, manganese, sodium, and potassium was significant with the change in location. Spearman correlation test also showed that there is a significant correlation between heavy metals and mineral elements. The EDI and HQ index for each of the studied heavy metals and the HI index for the total of heavy metals in both age groups were less than 1 and within the permissible limit.

Conclusion: The average concentration of copper and manganese was higher and zinc was lower than the amount recommended by FAO and World Health Organization. Compared to other different countries in the world, the concentration of iron, zinc, manganese and sodium was higher and potassium was lower. The heavy metals studied were considered to be non-carcinogenic for both adults and children and did not pose a significant risk of adverse health effects. Special attention to the contamination of soil and agricultural products, especially walnuts, with heavy metals and the control and reduction of the entry of these pollutants through human sources such as chemical fertilizers and pesticides in Toyserkan County is necessary.

Keywords: Walnut, Heavy Metals, Risk Assessment, Toysercan

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۲۰ تا۳۵
Alborz University of Medical Sciences
مقاله پژوهشی

بررسی و ارزیابی ریسک فلزات سنگین در گردوی تولید شده در شهرستان تویسرکان

تاریخ دریافت : ۱۴۰۳/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

عیسی سلگی[۱*]، حمید عباسی تبار[۲]، زینت فضلعلی[۳]

[۱] استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران

[۲] دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران

[۳] دانش آموخته کارشناسی علوم و مهندسی محیط زیست ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
e.solgi@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:
Solgi E, Abbasitabar H, Fazlali Z. Investigation and risk assessment of heavy metals in walnuts produced in Toyserkan County, Hamedan, Iran. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(1):20-35.

DOI:

چکیده

زمینه و هدف: گردو پر توزیع‌ترین آجیل درختی در سراسر جهان است و سال‌هاست که به عنوان یک غذای غنی از مواد مغذی مصرف می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی غلظت و ارزیابی ریسک فلزات‌سنگین در گردوی تولید شده در شهرستان تویسرکان در استان همدان بود.

مواد و روش‌ها : ۴۵ نمونه گردو از ۳ شهر و ۱۵ روستای شهرستان تویسرکان به روش سیستماتیک-تصادفی جمع‌آوری گردید. پس از آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها به روش اسیدی، غلظت فلزات‌سنگین توسط دستگاه جذب‌اتمی اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی‌ریسک از شاخص‌های EDI، HQ و HI استفاده شد.

یافته ها: میانگین غلظت فلزات‌سنگین مس، روی، آهن، منگنز به ترتیب برابر با ۱۶/۱۲، ۴۷/۴۳، ۸۸/۵۳ و ۴۴/۲۵ سدیم و پتاسیم ۲۸۰/۹ و ۱۸۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج آزمون کروسکال-والیس و من-ویتنی نشان داد که اختلاف بین میانگین غلظت آهن، منگنز، سدیم و پتاسیم با تغییر مکان معنی‌دار بود. آزمون همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که همبستگی معنی‌دار بین فلزات‌سنگین و عناصر معدنی وجود دارد. شاخص EDI و HQ برای هر یک از فلزات‌سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات‌سنگین برای هر دو رده سنی، کمتر از ۱ و در حد مجاز بود.

نتیجه گیری: میانگین غلظت مس و منگنز بالاتر و روی و آهن کمتر از مقدار توصیه شده توسط فائو و سازمان بهداشت جهانی بود. در مقایسه با کشورهای مختلف جهان، غلظت آهن، روی، منگنز و سدیم بالاتر و پتاسیم پایین تر بود. فلزات سنگین مورد بررسی بدون ریسک اثرات غیرسرطان زایی برای دو رده سنی بزرگسال و کودکان بودند و خطر قابل ملاحظه‌ای برای اثرات نامطلوب سلامتی نداشتند. توجه ویژه به آلودگی خاک و محصولات کشاورزی به ویژه آلودگی گردو به فلزات سنگین و کنترل و کاهش ورود این آلاینده‌ها از طریق منابع انسانی مانند کود شیمیایی و آفت‌کش در شهرستان تویسرکان ضروری است.

واژه های کلیدی: گردو، فلزات سنگین، ارزیابی ریسک، تویسرکان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

مقدمه

گردو (Juglans regia. L) پر توزیع‌ترین آجیل درختی در جهان است و سال‌هاست که به عنوان یک غذای غنی از مواد مغذی در سراسر جهان مصرف می‌شود [۱]. در سطح جهانی، گردو پس از بادام در تولید خشکبار رتبه دوم را دارد و چین، آمریکا و ایران به ترتیب بزرگترین تولیدکنندگان این آجیل هستند[۲]. فواید تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی گردو به افزایش تقاضای آن کمک کرده است. گردو دارای بسیاری از خواص تقویت‌کننده سلامتی از جمله زیست‌فعالی ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی است و مطالعات متعدد نشان داده‌اند که گردو اثرات بالقوه‌ای در درمان تومورها، دیابت، چربی خون و بیماری‌های محافظت‌کننده عصبی و قلبی عروقی دارد [۱].

مطالعات اپیدمیولوژیک و کارآزمایی‌های بالینی فواید مصرف گردو را بر کاهش خطر بیماری های قلبی عروقی و مرگ و میر نشان داده اند [۳]. روغن گردو منبعی غنی از مواد مغذی و اجزای زیست‌فعال مانند اسیدهای چرب، توکوفرول‌ها، استرول‌ها و ترکیبات‌فنلی است. روغن گردو به طور گسترده‌ای به عنوان یک ماده خام طبیعی در صنایع غذایی و برای تولید مکمل‌های غذایی طبیعی استفاده می‌شود [۴]. اگرچه بسیاری از این مواد مغذی موجود در گردو برای عملکردهای بیولوژیکی/فیزیولوژیکی انسان ضروری است، اما ممکن است در غلظت‌های بالا یا پایین، پیامدهای بالینی نامطلوبی مانند اثرات سمی، سرطان‌زا و تراتوژنیک ایجاد کنند[۵].

با این حال، جمعیت هایی که گردو مصرف می کنند، می توانند در معرض سطوح بالایی از فلزات سنگین زمانی که آلوده باشند یا از مناطق آلوده تولید شوند، قرار بگیرند[۶]. امروزه مصرف بی رویه کودهای‌شیمیایی و آفت‌کش‌ها، موجب تجمع فلزات‌سنگین در خاک، منابع آب و جذب آنها به وسیله گیاهان و ورود به زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌گردند[۷]. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض عناصر سمی می‌تواند برای انسان مضر باشد. رژیم غذایی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع این ترکیبات در نظر گرفته می‌شود[۸].

ورود فلزات‌سنگین به بدن انسان می تواند اثرات بهداشتی مختلفی را داشته باشد. نیکل هم منجر به شرایط غیر سرطانی مانند بیماری های ریوی و پوست و هم اختلالات سرطانی می شود. علاوه بر این، کولیت گوارشی و بیماری های مغزی و اعصاب مرکزی به دنبال مسمومیت با سرب نشان داده شده است. جدای از سمیت حاد آن، مهمترین اثر قرار گرفتن در معرض سرب، سمیت عصبی مزمن است که به ویژه در کودکان ۲ تا ۳ ساله مشاهده می شود. کروم می‌تواند در ریه‌ها به دنبال قرار گرفتن در معرض رژیم غذایی تجمع یابد. مقدار قابل توجهی از کروم جذب شده توسط استخوان، کبد، کلیه و طحال جذب می‌شود. سمیت روی شامل تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) و آسیب DNA است.

مس می تواند باعث آسیب کلیه و کبد شود. علاوه بر این، فلزات بالقوه سمی می‌توانند چندین عواقب نامطلوب برای سلامتی از جمله سمیت قلبی، سمیت عصبی، سمیت کلیوی، سمیت ژنی و سمیت کبدی ایجاد کنند. قرار گرفتن در معرض بیش از حد منگنز باعث اختلالاتی مانند پارکینسون، سفتی بدن و صورت، ناباروری مردان، نقایص مادرزادی و نقایص استخوانی می‌شود. مطالعات مختلفی همبستگی مثبت و معنی داری را بین سطوح سرب، آلومنیوم، آرسنیک، کادمیوم، منیزیم و جیوه و شدت علائم اختلال طیف اوتیسم (Autism Spectrum Disorder) نشان داده است[۵].

تجمع فلزات‌سنگین بیشتر از حد آستانه نیاز به توجه برای کنترل سطوح آنها در محیط، غذا و غیره دارد. به طور مثال روند افزایش مصرف آجیل با سلامت انسان ارتباط مثبت دارد. در این زمینه، آجیل‌ها باید به طور مرتب از نظر آلاینده‌ها نظارت شوند زیرا تقریباً همیشه بدون هیچ گونه پردازش خاصی مصرف می شوند. بنابراین، نیاز به ارزیابی جنبه‌های سم‌شناسی به طور جامع و آگاه‌سازی مصرف

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

کنندگان نه تنها در مورد جنبه‌های تغذیه‌ای آجیل، بلکه در مورد خطرات بالقوه سلامتی وجود دارد[۵-۸].

در این زمینه مطالعات مختلفی در سطح جهان انجام شده است. به طور **مثال** Angélica and Luz (2023) به ارزیابی خطر سرطان زایی آرسنیک، کادمیوم و کروم در گردو در یک منطقه کشاورزی در Chihuahua مکزیک پرداختند، مشخص شد که As و Cd در گردو بالاتر از حد مجاز در میوه ها هستند[۹]. BAŠIĆ et al, (2020) ارزیابی فلزات و میزان تخمینی مصرف روزانه آنها در آجیل‌های مختلف جمع آوری شده از بازارهای سارایوو، بوسنی و هرزگوین مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نمونه ها شامل بادام، گردوی برزیل، گردو هندی، ماکادمیا، فندق و پسته بود. فلزات کادمیوم، کروم، آهن، منگنز، سرب و روی مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که خطر ابتلا به سرطان به دلیل قرار گرفتن در معرض سرب از طریق مصرف آجیل در محدوده قابل قبولی بود[۱۰].

Cindri et al, (2018) ترکیب معدنی عناصر موجود در گردو و روغن گردو را بررسی کردند. در این مطالعه، بیست و یک عنصر ماکرو، میکرو و کمیاب انتخاب شدند. عناصر کمیاب بالقوه سمی (As، Cd، Pb) کمتر از حداکثر مقادیر مجاز در اکثر نمونه‌های گردو مورد بررسی بود. مقایسه روغن‌ها و آجیل‌ها نشان داد که روغن حاوی غلظت‌های پایین‌تری از تمام عناصر مورد تجزیه و تحلیل به جز آهن و روی است[۱۱]. Liang et al, (2015) به تعیین عناصر کمیاب در آجیل خوراکی در بازار پکن پرداختند. هدف از این مطالعه تعیین محتوای معدنی در آجیل خوراکی و ارزیابی ایمنی غذایی آجیل در بازار پکن بود. سطوح عناصر کمیاب در ۱۱ نوع آجیل و دانه خوراکی، پسته، تخمه آفتابگردان، آجیل کاج، بادام، گردو، شاه بلوط، فندق، بادام هندی و آجیل جینکو و همچنین کشمش تعیین شدند. نتایج اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی سطوح عناصر-کمیاب در آجیل‌های خوراکی در بازار پکن ارائه داد که برای بهبود ایمنی غذا مفید خواهد بود و به حفاظت بهتر از منافع مصرف‌کننده کمک می‌کند[۱۲].

در ایران نیز Taghizadeh et al, (2019) میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها در گردو و خطرات بهداشتی مرتبط را بررسی کردند. غلظت ۱۸ آفت‌کش ارگانوفسفره، کاربامات، پیرتروئید و نیکوتینوئید با استفاده از کروماتوگرافی گازی همراه با اسپکتروفتومتری جرمی در ۶ رقم گردو از پنج منطقه جغرافیایی ایران شامل آذرشهر، دماوند، فاروج، شهمیرزاد و طومیرزاد اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آن بود که در حالی که گردو به طور کلی برای مصرف بی‌خطر است، اما استفاده از سموم فسفره، سموم دفع آفات در کشت گردو در ایران کاملاً بدون خطر نیست، بنابراین باید دستورالعمل‌هایی تدوین و برنامه نظارتی ایجاد شود[۱۳].

بر اساس آمارنامه فائو در سال ۲۰۲۱ میزان تولید گردو در کل دنیا ۳۵۰۰۱۷۲ تن بوده است که بالاترین میزان تولید گردو متعلق به پنج کشور چین، آمریکا، ایران، ترکیه و شیلی می باشد. ایران با تولید ۳۸۶۹۷۶ تن گردو سومین کشور بزرگ تولیدکننده گردو می‌باشد. همچنین سطح زیر کشت گردو در کل دنیا ۱۱۳۷۷۸۸ هکتار بوده که ایران با سطح زیر کشت ۵۳۵۰۴ هکتار در جایگاه ششم بعد از کشورهای چین، آمریکا، ترکیه، مکزیک و بورکینافاسو قرار دارد[۱۴]. بنابراین گردو مهم‌ترین و بیشترین سهم را در بین آجیل‌های بازار دارد و همچنین از آنجایی که ایران رتبه سوم تولید گردو را در جهان دارد و استان همدان و شهرستان تویسرکان قطب تولید گردو در کشور با تولید بیش از ۲۴ درصد گردو رتبه نخست کشور را دارد[۱۵]، لذا ضروری بود تا غلظت فلزات‌سنگین و ارزیابی ریسک بهداشتی آنها در گردوی تولیدی در شهرستان تویسرکان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها :

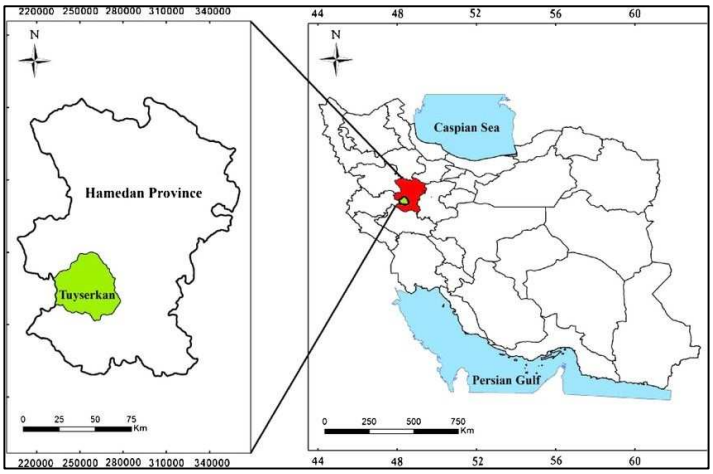
منطقه مورد مطالعه

شهرستان تویسرکان در استان همدان، در غرب ایران و در مدار ۳۴°۳۲'۵۳" شمالی ۴۸°۲۶'۴۹" شرقی قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان با مساحتی معادل۱۵۵۶ کیلومتر مربع، ۷.۹۸ درصد از مساحت استان همدان را در بر گرفته است. بر اساس گزارش آخرین تقسیمات سیاسی در سال

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

۱۳۹۰ شهرستان تویسرکان دارای ۳ شهر تویسرکان، سرکان و فرسفج، دو بخش مرکزی و قلقل رود، ۷ دهستان و ۱۰۵ روستای دارای سکنه است. به خاطر موقعیت کوهستانی و مرتفع بودن، دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است [۱۶].

ارتفاع از سطح دریا ۱۷۸۰ متر است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۵۱۰ متر است که در حدود روستای کارخانه قرار دارد. میانگین بارندگی در بلند مدت ۴۰۸ میلی متر در سال است[۱۷].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

در مجموع تعداد ۴۵ نمونه گردو از شهرستان تویسرکان که شامل ۱۵ نمونه از شهرستان تویسرکان، ۱۵ نمونه از سرکان و ۱۵ نمونه از سرابی به صورت سیستماتیک-تصادفی جمع‌آوری گردید. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، در ابتدا وزن و سپس خشک گردیدند. خشک کردن نمونه‌ها در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای۱۰۵درجه سانتی گراد انجام شد. پس از خشک شدن، نمونه‌ها به وسیله هاون پودر شدند. از هر نمونه به مقدار ۲ گرم برداشت گردید. به همه نمونه ها ۵/۷ میلی لیتر اسید نیتریک، ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک، ۵/۲ میلی لیتر آب اکسیژنه (H_2O_2) اضافه گردید. سپس نمونه ها در دمای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه به مدت ۵ تا ۶ ساعت در دستگاه بن ماری گذاشته شد. پس از سرد شدن، نمونه ها به حجم ۲۵ میلی لیتر رسید. در پایان عناصر آهن(Fe)، منگنز(Mn)، روی (Zn)، پتاسیم(K)، سدیم(Na) و مس(Cu) توسط دستگاه جذب اتمی Analytic jena مدل ContrAA700 اندازه گیری شد.

آنالیز آماری

نرمال بودن داده ها با آزمون شاپیرویلک و همبستگی بین غلظت فلزات نیز با آزمون اسپیرمن بررسی گردید. جهت مقایسه میانگین نمونه ها از آزمون کروسکال-والیس و من-ویتنی استفاده شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و Excel صورت گرفت.

ارزیابی ریسک قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی غیر سرطان زا

تخمین جذب روزانه(EDI (Estimated Daily Intake :

برای تعیین خطرات سلامتی بالقوه ناشی از فلزات موجود در غذاها، EDI با معادله زیر استفاده می‌شود:

معادله ۱ :

$$EDI = \frac{IR \times C}{WAB}$$

در این معادله EDI : تخمین جذب روزانه (میلی-گرم/کیلوگرم/روز)، IR : میزان مصرف گردو (۵/۴۷ گرم در هر نفر در روز)، C : غلظت فلزات سنگین در گردو mg/g و W_{AB} : میانگین وزن بدن برای جمعیت بزرگسال ایرانی (۷۰ کیلوگرم) و برای کودکان (۱۵ کیلوگرم) را نشان می‌دهد [۱۸،۵].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

ضریب خطر HQ (Hazard Quotient)

به عنوان نسبت جذب روزانه (EDI) به دوز مرجع، در نظر گرفته می شود که بالاتر از آن می تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان داشته باشد. مقادیر RFD برای فلزات سنگین مس : ۰/۰۴، روی : ۰/۳، آهن : ۰/۷ و منگنز : ۰/۱۴ (میلی‌گرم/کیلوگرم/روز) تعیین شده است[۲]. اگر عدد ضریب خطر هدف (HQ) کمتر از ۱ باشد، بعید است که جمعیت در معرض هرگونه عواقب منفی قابل تشخیصی را تجربه کند. اگر HQ بیشتر از ۱ باشد، این احتمال وجود دارد که تأثیر نامطلوبی بر سلامتی داشته باشد[۱۹]. HQ بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

معادله ۲ :

$$HQ = \frac{EDI}{RfD}$$

شاخص خطر HI (Hazard Index)

HI جمع مقادیر HQ همه فلزات سنگین است. اگر مقدار HI کمتر از یک باشد، احتمال ریسک غیرسرطان زایی در جمعیت در معرض آلودگی وجود ندارد. در صورتی که مقدار این شاخص بیشتر از یک باشد، ممکن است نگرانی ناشی از اثرات غیر سرطان زایی وجود داشته باشد. HI توسط معادله زیر محاسبه شد[۵]:

معادله ۳ :

$$HI = \sum_{i=0}^{n} HQn$$

یافته‌ها:

نتایج آنالیز آماری غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو جمع‌آوری شده در سطح شهرستان تویسرکان در جدول ۱ آمده است. با توجه به این نتایج حداقل، حداکثر و میانگین غلظت فلزات‌سنگین مس به ترتیب برابر با ۸/۰۰۱، ۲۹/۸۶ و ۱۶/۴۵، روی ۳۳/۵۷، ۵۹/۶۶ و ۴۸/۴۶، آهن ۴۶/۸۱، ۱۸۸/۵ و ۹۰/۱۲، منگنز ۱۷/۰۲، ۱۰۶/۰ و۴۵/۲۴ و همچنین سدیم ۳۳/۳، ۳۱۳/۷ و ۲۸۷/۲ و پتاسیم ۱۲۵، ۲۵۰ و ۱۸۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

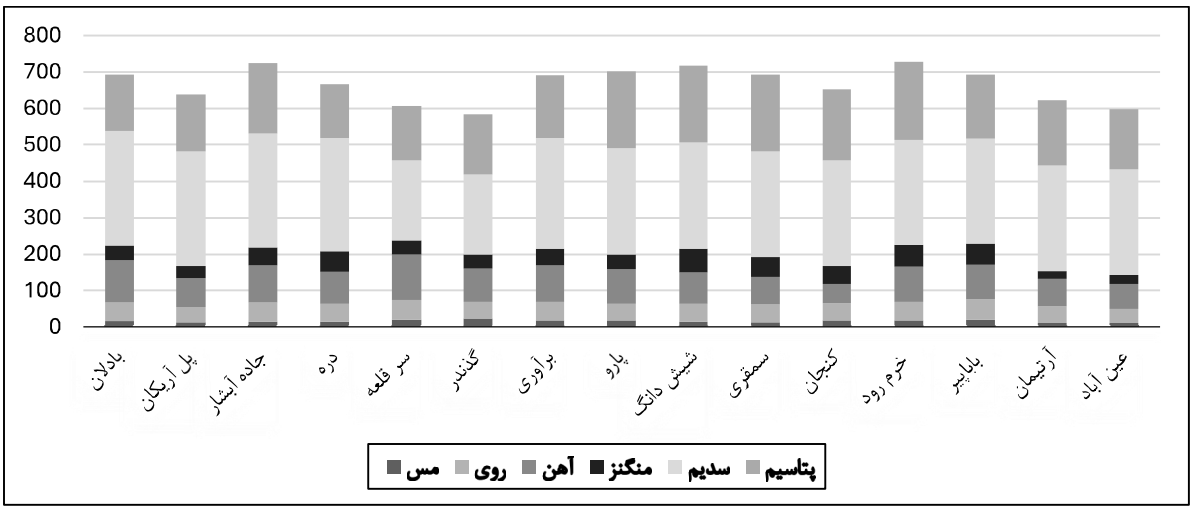
با توجه به شکل ۲ و مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو به تفکیک روستا در شهرستان تویسرکان، روستای پارو، شیش دانگ و سمقری بیشترین و روستای دره کمترین غلظت پتاسیم بودند. روستای بادلان و جاده آبشار بیشترین و سرقلعه وگذندر کمترین غلظت سدیم را نشان دادند. روستای شیش دانگ دارای بیشترین و پل‌آرتیمان کمترین غلظت منگنز بود. روستای سرقلعه بیشترین و کنجان کمترین غلظت آهن را نشان داد. همچنین روستای باباپیر بیشترین و پل آریکان کمترین غلظت روی و روستای گذندر بیشترین و عین آباد کمترین غلظت مس را داشتند.

جدول ۱ . آمار توصیفی غلظت فلزات‌سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردو در سطح شهرستان تویسرکان

	مس	روی	آهن	منگنز	سدیم	پتاسیم
حداقل	۸/۰۰۱	۳۳/۵۷	۴۶/۸۱	۱۷/۰۲	۳۳/۳	۱۲۵
حداکثر	۲۹/۸۶	۵۹/۶۶	۱۸۸/۵	۱۰۶/۶	۳۱۳/۷	۲۵۰
میانگین	۱۶/۴۵	۴۸/۴۶	۹۰/۱۲	۴۵/۲۴	۲۸۷/۲	۱۸۰/۲
انحراف معیار	۴/۸	۶/۸۲	۲۶/۳۴	۱۸/۴۲	۵۶/۵۲	۲۹/۱۳
واریانس	۲۳/۰۸	۴۶/۶۳	۶۹۴/۲	۳۳۹/۶	۳۱۹۵/۱	۸۴۸/۶
چولگی	۰/۸۱	-۰/۳۷	۱/۱۳	۰/۸۵	-۴/۲۷	۰/۷۲۴
کشیدگی	۰/۴۹	-۰/۶۳	۳/۲۱	۱/۴۵	۱۸/۰۰۱	-۰/۳۹۹
FAO/WHO [۲۰]	۱۰	۵۰	۱۵	۲۵	na	na

na : ارزیابی نشده

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]



شکل ۲ . میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های گردو به تفکیک روستا در شهرستان تویسرکان

نتایج آزمون شاپیرو–ویلک جهت بررسی نرمال بودن داده–ها در جدول ۲ آمده است. طبق نتایج این آزمون داده های روی، منگنز و پتاسیم از توزیع نرمال و مس، آهن و سدیم از توزیع غیرنرمال برخوردار بودند.

جدول ۲ . نتایج آزمون شاپیرو–ویلک غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو

	مس	روی	آهن	منگنز	سدیم	پتاسیم
Shapiro-Wilk	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۳۶	۰/۹۶
معنی داری Sig.	۰/۰۴۷	۰/۱۸۶	۰/۰۱۲	۰/۰۶۳	۰/۰	۰/۲۵۸

نتایج آزمون کروسکال-والیس جهت بررسی اختلاف میانگین غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو در جدول ۳ آورده شده است. اختلاف میانگین غلظت فلزات‌سنگین بین ۱۵ روستای نمونه‌برداری شده محاسبه گردید. با توجه به نتایج این آزمون اختلاف میانگین آهن، منگنز، سدیم و پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج آزمون من–ویتنی در نمونه‌های گردو در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج این آزمون، روی، آهن، منگنز و سدیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار بود.

جدول ۳ . نتایج آزمون کروسکال–والیس غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو

فلزات سنگین	کای دو Test Statistic	درجه آزادی	Sig.
مس	۲۰/۱۷۲	۱۴	۰/۱۲۵
روی	۲۰/۱۷۰	۱۴	۰/۱۲۵
آهن	۲۳/۷۳۸	۱۴	۰/۰۴۹
منگنز	۲۳/۵۵۰	۱۴	۰/۰۵۲
سدیم	۳۳/۷۳۵	۱۴	۰/۰۰۲
پتاسیم	۳۰/۸۹۵	۱۴	۰/۰۰۶

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

جدول ۴ . نتایج آزمون من-ویتنی غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو

	مس	روی	آهن	منگنز	سدیم	پتاسیم
من ویتنی U	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۵
ویلکاکسون W	۶	۶	۶	۶	۶	۹/۵
Z	-۱/۹۶۴	-۱/۹۶۴	-۱/۹۶۴	-۱/۹۶۴	-۲/۲۳۶	-۰/۴۴۹
Sig.	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۰۲۵	۰/۶۵۳

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن در نمونه‌های گردو در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج این آزمون بین مس و روی، مس و آهن، آهن و روی ارتباط و معنی داری مثبت و بین پتاسیم و سدیم ارتباط و معنی داری منفی در سطح ۰/۰۱ وجود داشت. همچنین بین آهن و سدیم ارتباط و معنی‌داری مثبت در سطح ۰/۰۵ وجود داشت.

جدول ۵ . نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو

	مس	روی	آهن	منگنز	سدیم	پتاسیم
مس	۱					
معنی‌داری	۰					
روی	**۰/۶۱۲	۱				
معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰				
آهن	**۰/۳۴۱	**۰/۵۵۲	۱			
معنی‌داری	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰	۰			
منگنز	۰/۲۶۱	۰/۲۹۲	۰/۲۲۷	۱		
معنی‌داری	۰/۰۸۳	۰/۰۵۱	۰/۱۳۳	۰		
سدیم	۰/۰۱۲	۰/۱۱۶	*۰/۳۳۳	-۰/۲۴۴	۱	
معنی‌داری	۰/۹۳۷	۰/۴۴۹	۰/۰۲۵	۰/۱۰۷	۰	
پتاسیم	-۰/۰۶۷	-۰/۰۱۵	-۰/۱۳۴	۰/۲۶۴	**-۰/۴۵۱	۱
معنی‌داری	۰/۶۶۳	۰/۹۲۱	۰/۳۷۹	۰/۰۸۰	۰/۰۰۲	۰

** . همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است

* . همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است

نتایج ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو در سطح شهرستان تویسرکان برای دو گروه سنی بزرگسال و کودکان در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به این نتایج، شاخص HQ برای هر یک از فلزات‌سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات‌سنگین در دو رده سنی بزرگسال و کودکان، کمتر از ۱ به دست آمد. همچنین مقادیر به دست آمده برای شاخص EDI نیز در دو گروه سنی پایین تر از حد مجاز بود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

جدول ۶ . نتایج ارزیابی ریسک غیر سرطان زایی فلزات سنگین در نمونه های گردو

		مس	روی	آهن	منگنز	سدیم	پتاسیم	HI
EDI (میلی‌گرم/کیلوگرم/روز)	بزرگسال	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۴	-
	کودکان	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۰/۱۰۴	۰/۰۶۵	-
حد مجاز EDI[۲۱-۲۲]	بزرگسال	۱/۳-۱	۱۵-۱۲	۱۸-۸	۲/۳-۱/۸	۱۵۰۰	۴۷۰۰-۳۵۰۰	
	کودکان	۰/۷	۸	۱۵-۸	۱/۹	۱۵۰۰	۴۵۰۰	
HQ	بزرگسال	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۲۴	-	-	۰/۰۷۶
	کودکان	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۴۶	۰/۱۱۷	-	-	۰/۲۳
سطح ریسک		بدون ریسک	بدون ریسک	بدون ریسک	بدون ریسک	بدون ریسک	بدون ریسک	بدون ریسک

بحث

غلظت فلزات‌سنگین در گردوی تویسرکان :

نتایج آنالیز آماری غلظت فلزات‌سنگین در نمونه های گردو جمع آوری شده در سطح شهرستان تویسرکان در جدول ۱ آمده است. با توجه به مقادیر توصیه شده توسط FAO/WHO برای غلظت فلزات‌سنگین (مس: ۱۰، روی: ۵۰، آهن : ۱۵، منگنز : ۲۵)، میانگین مس و منگنز بالاتر و روی و آهن کمتر از مقدار توصیه شده توسط فائو و سازمان بهداشت جهانی بود. برای سدیم و پتاسیم مقدار عددی توصیه نشده بود[۲۰].

در تحقیق Karcik and Tasan, (2018) برای تعیین محتویات فلزات‌سنگین در برخی از آجیل‌های خشک تایید شده ارگانیک در ترکیه، سطوح مس بین ۸/۲۲ تا ۱۶/۶۲، روی ۱۵/۰۳ تا ۴۶/۳۷ و آهن ۲۲/۰۶ تا ۶۷/۴۲ ppm به دست آمد. همچنین سرب، جیوه و قلع در آجیل‌های دارای گواهی ارگانیک شناسایی نشد[۲۳].

همچنین در پژوهشی Ćwieląg-Drabek et al, (2024) به ارزیابی محتوای کادمیوم، سرب، کروم و نیکل در انواع آجیل: بادام، بادام هندی، فندق، بادام زمینی و گردو و خطر سلامتی مصرف کنندگان لهستانی پرداختند. نتایج نشان داد بادام زمینی دارای بالاترین سطوح کادمیوم و سرب بود که از حد مجاز بالاتر بود، همچنین بادام هندی نیز بیشترین میزان نیکل را داشت که فراتر از حد مجاز بود که نشان‌دهنده خطرات بالقوه سلامتی ناشی از مصرف طولانی مدت است[۲۴].

وجود فلزات سنگین در نمونه‌های گردو نشان دهنده حضور این آلاینده‌ها در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد که می‌تواند ناشی از مواد مادری و فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و صنایع باشد. جذب فلزات‌سنگین توسط درخت گردو به خصوصیات خاک مانند pH، بافت و ساختار خاک، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، پتانسیل ردوکس، رطوبت، دما، وجود سایر عناصر و یونها مانند کلسیم و منیزیم، تنش‌های محیطی و همچنین نوع و گونه گیاه بستگی دارد[۶].

در پژوهشی Han et al, (2018) با عنوان توزیع، ارتباط و ارزیابی‌ریسک فلزات‌سنگین سمی در گردو و خاک رشد انجام دادند. نتایج نشان داد که عمده‌ترین آلودگی فلزات‌سنگین در گردو و خاک، سرب و کادمیوم است. روابط مثبتی بین فلزات‌سنگین و pH و ماده‌آلی خاک وجود داشت. علاوه بر این، یک اثر جذب قابل توجه بین گردو و خاک رشد مشاهده شد. یک همبستگی معنادار بین فاکتورهای غلظت زیستی و طول جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری پیدا شد[۶].

در پژوهش Don-lawson and Okah, (2020) که به مطالعه برخی از فلزات‌سنگین و سنجش pH در گردوهای یافت شده در چهار مکان مختلف در پورت هارکورت، نیجریه انجام دادند، نتایج مقادیر بالای سرب را در گردو نشان داد که به فعالیت‌های صنعتی در این منطقه نسبت داده شد. همچنین اهمیت pH خاک را در

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

تأثیرگذاری بر جذب فلزات‌سنگین برجسته کرد[۲۵]. همچنین Shutian et al, (2020) ارزیابی سطوح خطر عناصر کمیاب در گردو چین و عوامل موثر بر آن را انجام دادند. نتایج نشان داد سطوح خطر عناصر سمی بالقوه و عناصر سمی در محدوده قابل قبول بودند. تأثیر سطح کاشت بر عناصر کمیاب از جنبه های پراکنش منطقه‌ای و شهرنشینی تعیین شد. شهرنشینی مستقیماً بر عناصر سمی تأثیرگذار بود. در نهایت اثر نوع گونه تایید شد که تمامی ارقام گردو به چهار دسته با ویژگی‌های عناصر کمیاب متفاوت تقسیم شدند[۲۶].

در پژوهش Gülsoy et al, (2024) میزان فلزات‌سنگین و ارزیابی‌ریسک ژنوتیپ‌های گردو در حوضه رودخانه ارس، ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه به تجزیه و تحلیل سطوح فلزات‌سنگین در ژنوتیپ‌های مختلف گردو در حوضه ارس ترکیه پرداخت. نتایج این تحقیق تغییرات قابل توجهی در تجمع فلزات‌سنگین در بین ژنوتیپ‌های مختلف گردو پیدا کرد که اهمیت عوامل ژنتیکی در جذب فلزات‌سنگین را برجسته می کند[۲۷]. در تحقیقی که Mousavi et al, (2012) در مورد توزیع مکانی فلزات‌سنگین در خاک‌های استان همدان انجام دادند، غلظت مس در محدوده شهرستان تویسرکان بین ۲۵ تا ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد الگوی توزیع مس به طور کامل با الگوی کشت منطقه و مصرف کودهای شیمیایی مطابقت ندارد و زمین شناسی را عامل موثر بر افزایش غلظت مس دانست[۲۸].

همچنین در تحقیقی که Barzin et al, (2015) جهت بررسی آلودگی فلزات‌سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان انجام دادند، میانگین غلظت مس، روی، نیکل و سرب در کاربری‌های کشاورزی و مرتع از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کمتر بود. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی این احتمال را نشان داد که کاربرد کودهای دامی و شیمیایی در زمین‌های کشاورزی باعث افزایش غلظت مس و روی در خاک شده است. شیل‌ها دارای بیشترین غلظت روی، مس و نیکل در منطقه بودند و به عنوان منبع ورود طبیعی این عناصر به خاک محسوب شدند. نقشه پراکنش شاخص بار آلودگی نیز نشان داد بخش هایی از تویسرکان دارای خطرپذیری بالاتری نسبت به فلزات‌سنگین مورد مطالعه می‌باشد که این خطر پذیری فلزات‌سنگین احتمالا ناشی از هوازدگی مواد مادری و فعالیت انسانی است[۲۹].

میانگین غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو با غلظت فلزات‌سنگین در سطح جهان و کشورهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به این جدول غلظت مس تفاوت چندانی با دیگر نقاط جهان به جزء اسپانیا نداشت. غلظت پتاسیم نیز نسبت به دیگر نقاط جهان بسیار پایین تر به دست آمد. اما غلظت آهن، روی، منگنز و سدیم نسبت به دیگر نقاط جهان بالاتر به دست آمد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

جدول ۷ . مقایسه غلظت فلزات‌سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه های گردو در سطح شهرستان تویسرکان با سطح جهان

	مطالعه حاضر	چین	نیجریه	رومانی	اسپانیا	اسپانیا	انگلستان	ترکیه	فرانسه	سوئد
مس	۱۶/۱۲	۸/۸	-	۳۲/۲-۱۴/۱	۲۰-۲۶	۱۰۹-۳۸۱۷	۱۵-۱۷	-	۳/۸	۱۶
آهن	۸۸/۵۳	-	۳۰	۵۹/۳-۳۸/۲	۲۰-۲۴	۴/۹-۲۲	۲۲-۳۰	۱۸-۲۹	۳۲/۴	۴۱
پتاسیم	۱۸۲/۶	-	۳۱۱۰	۳۵۷۱-۴۹۹۶	۱۲-۵۶	۴۸۰۰-۱۳۷۰۰	-	۳۷۲۰-۴۸۷۰	۴۶۲۷/۶	۵۱۰۰
منگنز	۴۴/۲۵	۱۰	-	۳۱/۳-۱۷۶	-	۷/۷-۸۴	۳۹-۴۲	۱۱-۴۳	۴۶/۳	۳۴
سدیم	۲۸۰/۹	-	۷۲	۱/۳۴-۲۳/۹	-	-	-	۳-۶۷	۴۴/۷	۱/۸
روی	۵۶/۶۶	۲۰	۱۹	۱۹/۵-۳۶/۱	۲۶-۴۰	۱۲-۶۳	۲۷-۳۷	۱۲-۱۹	۲۶/۴	۳۳
منبع		۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸

آنالیز همبستگی

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن و وجود ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج این آزمون بین مس و روی، مس و آهن، آهن و روی ارتباط و معنی داری مثبت و بین پتاسیم و سدیم ارتباط و معنی داری منفی در سطح ۰/۰۱ وجود داشت. همچنین بین آهن و سدیم ارتباط و معنی داری مثبت در سطح ۰/۰۵ وجود داشت. مس، روی و آهن برای گیاهان ضروری هستند که اغلب در منابع مشابه مانند خاک و کودها یافت می‌شوند. همبستگی مثبت آنها ممکن است نشان دهنده منبع مشترک آنها در محیط و مکانیسم مشترک در فرآیند جذب آنها باشد. خاک‌های غنی از مس اغلب دارای آهن بالاتری هستند که احتمالاً به دلیل فرآیندهای مشترک زمین‌شناسی یا تشکیل خاک است. همبستگی آهن و روی ممکن است به دلیل تحرک و تعامل مشابه آنها در محیط خاک باشد. پتاسیم و سدیم در فیزیولوژی گیاه به صورت متضاد عمل می‌کنند. سطوح بالای پتاسیم می‌تواند جذب سدیم را مهار کند. این همبستگی منفی می تواند ناشی از فرآیندهای جذب رقابتی در ریشه گیاه نیز باشد. ترکیب خاک، کودها، فیزیولوژی گیاه و عوامل محیطی می‌توانند بر توزیع و جذب فلزات‌سنگین تأثیر بگذارند[۳۹،۶].

در تحقیقی که Bielecka et al, (2021) جهت ارزیابی مصرف ایمن آجیل از نظر محتوای عناصر سمی با آنالیز کمومتری انجام دادند، نتایج یک همبستگی قوی و منفی بین محتوای As و Hg در آجیل برزیل، بین سرب و جیوه در فندق و آجیل برزیل نشان داد. علاوه بر این، یک همبستگی مثبت قوی بین محتوای Cd و Pb در بادام هندی وجود داشت. این همبستگی‌ها ممکن است تمایل به تجمع آلاینده‌های آجیل را نشان دهد[۸].

مقایسه میانگین :

نتایج آزمون کروسکال – والیس جهت بررسی اختلاف میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو نشان داد که فلزات‌سنگین آهن، منگنز، سدیم و پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود. یعنی با توجه به اینکه نمونه‌ها از روستاهای مختلف جمع آوری شده بود، لذا موقعیت مکانی بر میزان غلظت این عناصر تاثیر داشته است. این نشان می‌دهد که غلظت متوسط این عناصر به طور قابل توجهی در روستاهای مختلف متفاوت است. نتایج این آزمون بین میانگین غلظت مس و روی با توجه به مکان اختلاف معنی داری را نشان نداد. در نتیجه موقعیت جغرافیایی بر غلظت مس و روی اثر نداشته است. نتایج آزمون من–ویتنی برای غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو نیز نشان داد که

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

فلزات‌سنگین روی، آهن، منگنز و سدیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که توزیع این عناصر در نمونه‌های گردوی روستاهای مختلف یکسان نیست. زمین‌شناسی و ترکیبات خاک بر دسترسی و جذب فلزات سنگین توسط درختان گردو تأثیر می گذارد. همچنین عواملی مانند pH، محتوای مواد آلی و سطوح رطوبت می‌توانند بر تحرک و فراهمی‌زیستی فلزات‌سنگین تأثیر بگذارند. شیوه‌های کشاورزی، مانند استفاده از کودها و آفت کش‌ها و نزدیکی به فعالیت‌های صنعتی یا مناطق شهری می‌تواند منجر به سطوح بالاتری از آلودگی فلزات‌سنگین در خاک شود[۳۹،۶].

در تحقیقی که Taghizadeh et al, (2020) برای ارزیابی خطر احتمالی سرطان زا و غیر سرطان زا بلع فلزات سنگین از طریق مصرف ارقام مختلف گردو ایرانی انجام دادند، نتایج مقایسه میانگین با آزمون های ناپارامتری (مان ویتنی و کروسکال–والیس)، سطوح As، Cr و Zn، تفاوت معنی‌داری را بین ارقام نشان داد، در حالی که از نظر سطوح مس و منگنز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد[۵]. همچنین در پژوهش Kalogiouri et al, (2021) که جهت تعیین محتوای عناصر سمی و مغذی بادام، گردو، فندق و پسته صورت گرفته بود، نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین با آنالیز ANOVA، تفاوت آماری معنی داری را بین غلظت فلزات‌سنگین کلسیم، منیزیم، آهن، روی، آلومینیوم، منگنز و مس نشان داد[۴۰]. در پژوهش Solgi et al, (2019) جهت ارزیابی خطر سرطان زایی و غیرسرطانزایی تعدادی از فلزات سنگین در اثر مصرف کشمش تولیدی شهر ملایر، نتایج آزمون کروسکال والیس هیچ گونه اختلاف معنی داری میان غلظت عناصر کادمیوم، نیکل و آرسنیک نشان نداد[۴۱].

ارزیابی ریسک :

نتایج ارزیابی‌ریسک غیر سرطان زایی غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های گردو در سطح شهرستان تویسرکان در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به حد مجاز جذب روزانه فلزات‌سنگین به وسیله بدن (مس (بزرگسال: ۱–۱/۳، کودکان: ۰/۷)، روی (بزرگسال : ۱۲–۱۵، کودکان : ۸)، آهن(بزرگسال : ۸–۱۸، کودکان : ۵–۱۵)، منگنز(بزرگسال : ۳/۸–۲/۱، کودکان : ۱/۹)، سدیم : ۱۵۰۰ و پتاسیم : ۳۵۰۰ – ۴۷۰۰)[۲۲-۲۱]، شاخص EDI برای همه فلزات سنگین برای هر دو گروه بزرگسال و کودکان، پایین تر از حد مجاز بود. همچنین شاخص HQ برای هر یک از فلزات‌سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات‌سنگین برای هر دو گروه سنی، کمتر از ۱ و بدون ریسک به دست آمد که نشان داد خطر قابل ملاحظه ای برای اثرات نامطلوب سلامتی و ریسک غیر سرطان زایی وجود ندارد.

نتایج تحقیق Xie et al, (2024) برای ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در آجیل و دانه ها در استان گانسو چین نشان داد ضریب خطر جیوه، کادمیوم و سرب کمتر از ۱، شاخص خطر نیز زیر یک و خطر سرطان برای کادمیوم در آجیل پایین تر از 10^{-4} و در دانه بالاتر از 10^{-4} بود. در واقع جیوه و سرب موجود در آجیل و دانه ها خطری برای سلامتی نداشتند اما کادمیوم امکان خطر سرطان زایی برای مصرف کنندگان داشت [۴۲]. در تحقیق Bielecka et al, (2021) جهت ارزیابی مصرف ایمن آجیل از نظر محتوای عناصر سمی، نتایج ارزیابی ریسک نشان داد سرب در ۹ نمونه (۷/۵ درصد) بیش از حد تعیین شده مشاهده شد، در حالی که ۳۳ درصد از اسپندهای آزمایش شده دارای سطوح سرب بسیار بالا بودند. کمترین EDI، CR و HQ برای مقادیر Cd در آجیل ماکادمیا دودی یافت شد. کمترین مقادیر شاخص در گردو برای سرب بود. هیچ یک از نمونه های آزمایش شده از مقدار قابل قبول HQ فراتر نبود و مصرف آنها برای سلامت انسان بی خطر بود. جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مصرف روزانه یک بخش استاندارد از آجیل تهدیدی برای سلامت انسان نیست[۸].

نتایج ارزیابی خطر احتمالی سرطان زا و غیر سرطان زا در پژوهش Taghizadeh et al, (2021)برای بلع فلزات سنگین از طریق مصرف ارقام مختلف گردو در ایران نشان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

داد که قرار گرفتن در معرض رژیم غذایی حاوی As از طریق مصرف گردو خطری برای سلامت مصرف کننده ایرانی دارد. با این حال، مقادیر ILCR سایر فلزات سنگین در محدوده قابل قبولی بود، که هیچ نگرانی سم شناسی برای مصرف کنندگان نیست [۲]. همچنین در تحقیق Taghizadeh et al, (2020) جهت ارزیابی احتمالی خطر سرطان از طریق قرار گرفتن در معرض آفلاتوکسین B1 در گردو، سطح خطر سرطان زایی مصرف گردو در طول عمر در مصرف کنندگان ایرانی پایین بود. خطرات سرطان سالانه (خطر ابتلا به سرطان کبد در طول زندگی فردی) ناشی از مصرف گردو در ۱۰۵ نفر مشاهده شد[۵]. در تحقیق دیگر ارزیابی‌ریسک فلزات‌سنگین سمی در گردو توسط Han et al, (2018) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌ریسک نشان داد خطرات فلزات‌سنگین سرب، آرسنیک، کروم، کادمیوم و جیوه برای کودکان و بزرگسالان با مصرف گردو به ترتیب ۴۶/۸ و ۵۶/۲ درصد بود. شاخص HQ هر یک از فلزات سنگین با مصرف گردو برای بزرگسالان از ترتیب $Cr > Cd > Pb > Hg > As$ پیروی کرد. حداکثر HQ برای کودکان کروم :۲۰/۳٪، کادمیوم : ۱۲٪، سرب : ۱۰/۸٪، جیوه : ۹/۹٪ و آرسنیک : ۳/۱٪ بود. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها، سطوح باقیمانده فلزات‌سنگین در گردو از مناطق اصلی تولید چین خطر جدی برای سلامتی بزرگسالان یا کودکان ایجاد نمی‌کرد[۶].

نتیجه گیری :

در این مطالعه، غلظت و ریسک غیر سرطان‌زایی برخی فلزات‌سنگین در گردوی تولید شده در شهرستان تویسرکان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. میانگین غلظت مس و منگنز بالاتر و روی کمتر از مقدار توصیه شده توسط فائو و سازمان بهداشت جهانی بود. همچنین میانگین غلظت فلزات‌سنگین در مقایسه با کشورهای مختلف جهان، نشان داد غلظت آهن، روی، منگنز و سدیم بالاتر و پتاسیم پایین تر از غلظت این فلزات-سنگین در گردو در سطح جهان بود. غلظت مس تفاوت چندانی نشان نداد. نتایج آنالیز مقایسه میانگین نیز نشان داد اختلاف بین میانگین غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز، سدیم و پتاسیم با تغییر مکان معنی دار بود. نتایج ارزیابی ریسک فلزات سنگین نیز نشان داد که شاخص EDI و HQ برای هر یک از فلزات‌سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات‌سنگین، کمتر از ۱ و حد مجاز بود و خطر قابل ملاحظه ای برای اثرات نامطلوب سلامتی و ریسک غیر سرطان‌زایی ندارد. با توجه به وجود فلزات سنگین در نمونه های گردو شهرستان تویسرکان و جایگاه این شهرستان در تولید گردوی کشور، نیازمند توجه ویژه به آلودگی خاک و محصولات کشاورزی به ویژه گردو به فلزات سنگین و همچنین کنترل و کاهش ورود این فلزات از طریق منابع انسانی مانند کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه ملایر جهت حمایت های مادی و معنوی انجام تحقیق حاضر تشکر و قدر دانی می نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی

نویسندگان مقاله اعلام می نمایند که این تحقیق پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان مقاله متعهدند که تمام ملاحظات اخلاقی پژوهش، از جمله رعایت استانداردهای علمی و عدم تقلب در طی انجام این مطالعه رعایت شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله عیسی سلگی، حمید عباسی تبار و زینت فضلعلی در مراحل مختلف انجام تحقیق شامل طراحی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

و ایده، نمونه برداری، عملیات آزمایشگاهی و نگارش مقاله
همکاری متقابل داشتند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

References

1. Gao Y, Hu J, Su X, et al. Extraction, chemical components, bioactive functions and adulteration identification of walnut oils: A review. Grain & Oil Science and Technology. 2020; 7: 30–41.
2. Taghizadeh SF, Rezaee R, Badibostan H, Karimi, Gh. Probabilistic carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metal ingestion through consumption of different walnut cultivars: An Iranian study. Environ Monit Assess. 2020; 192:599.
3. Mo R, Zheng Y, Ni Zh, Shen D, Liu Y. The phytochemical components of walnuts and their application for geographical origin based on chemical. J of Food Quality and Safety. 2022; 6: 1-9.
4. Kalogiouri NP, Manousi N, Zachariadis GA. Determination of the Toxic and Nutrient Element Content of Almonds, Walnuts, Hazelnuts and Pistachios by ICP-AES. 2021; 8-28.
5. Taghizadeh SF, Rezaee R, Badibostan H, Karimi GH. Aflatoxin B1 in walnuts: a probabilistic cancer risk assessment for Iranians. Toxicological & Environmental Chemistry. 2020; 102(9): 506-519.
6. Han Y, Ni Zh, Li Sh, Qu M, Tang F, Mo R, Ye C, Liu Y. Distribution, relationship, and risk assessment of toxic heavy metals in walnuts and growth soil. Environmental Science and Pollution Research. 2018; 25: 17434-17443. DOI : 10.1007/s11356-018-1896-3
7. Pourmoghadas H, Zafarzadeh A. Effect of Applying Chemical Fertilizers on Concentration of Cd, Pb and Zn in Agricultural Soils. J Environmental Health Engineering. 2017; 4(2): 126-138
8. Bielecka J, Pu´scion-Jakubik A, Markiewicz R, et al. Assessment of the Safe Consumption of Nuts in Terms of the Content of Toxic Elements with Chemometric Analysis. J Nutrients. 2021; 13: 3606.
9. Angelica CT, Luz OL. Evaluation of Arsenic, Cadmium and Chromium in walnut (Carya illinoinensis) in an Agricultural Area of Chihuahua Mexico: Carcinogenic Risk Assessment. J Agriculture Research &Technology Open Access J. 2023; 27.
10. Bašić M, Beganović L, Huremović J, Žero S. Assessment of metals and their estimated daily intakes in various nuts. Agriculture and Forestry. 2020; 66 (3): 211-219.
11. Cindric IJ, Zeiner M, Hlebec D. Mineral Composition of Elements in Walnuts and Walnut Oils. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018; 15: 2674.
12. Liang YL, Qing T, Zhang ShX, et al. Determination of Trace Elements in Edible Nuts in the Beijing Market by ICP-MS. Biomed Environ Sci. 2015; 28(6): 449-454.
13. Taghizadeh SF, Badibostan H, Wallace Hayes A, et al. Residues levels of pesticides in walnuts of Iran and associated health risks. Human and Ecological Risk Assessment. 2019; 1080-7039.
14. Davarkhah Z, Hosseinifarahi M, Radi M, Ghoilpour S. The Reaction of Some Qualitative Changes in the kernel of Different Walnut Genotypes in the Storage Period. Sustainable Agricultural Science Research. 2024; 68-85.
15. https://irannewspaper.ir/8294/1/69978
16. Nadalipoor Z, Roozrokh V. Investigating the local communitys attitude towards the social and cultural effects of tourism, a case study of Tuiserkan city. J Tourism and Leisure Time. 2017; 4(8): 68-87.
17. Kazazi Darani S, Akbari Eslami A, Jabbari M, Asefi H. Parking Lot Site Selection Using a Fuzzy AHP-TOPSIS Framework in Tuyserkan, Iran. J of Urban Planning and Development. 2018;144(3): 04018022.
18. FAO (2020). Crop statistics are recorded for 173 products. Food and Agriculture Organization.
19. Syeda Noor UlA, Arshad M, Huma A, et al. Assessment of arsenic in Mangifera Indica (Mango) contaminated by artificial ripening agent: Target hazard quotient (THQ), health risk index (HRI) and estimated daily intake (EDI). Food Chemistry Advances. 2023; 3:100468.
20. FAO/WHO. Codex Alimentarius; General Standard For Contaminants And Toxins in Food And Feed. CXS 193-1995
21. Canada.ca, Health Canada, Food and nutrition, Nutrition and Healthy Eating, Dietary reference intakes, Dietary reference intakes tables: Reference values for elements, 2023.
22. https://healthsupplementsnutritionalguide.com/recommended-daily-allowances/
23. Karcik H, Tasan M. Determination of heavy metal contents in som organic certified dried nuts. Jurnal of Tecirdag Agricultural Faculy. 2018; 15(2): 101-111.
24. Ćwieląg-Drabek M, Nieć-Leśniak J, Białek-Dratwa A et al. Evaluation of Cadmium, Lead, Chromium, and Nickel Content in Various Types of Nuts: Almonds, Cashews, Hazelnuts, Peanuts, and Walnuts – Health Risk of Polish Consumers. Biol Trace Elem Res, 2024. https://doi.org/10.1007/s12011-024-04438-4
25. Don-lawson C, Okah R. Study of some heavy metals and the pH assay in walnuts found in four different locations Port-Harcourt, Nigeria. GSJ. 2020; 8(3):2320-9186.
26. Shutian Wu, Danyu Sh, Ruohui Wa et al. Evaluation of risk levels of trace elements in walnuts from China and their influence factors: Planting area and cultivar. Ecotoxic and Environ Safety 2020; 203(15) 110996.
27. Gülsoy E, Pehluvan M, Şimşek U et al. Heavy Metal Levels and Risk Assessment of Walnut Genotypes (Juglans regia L.) Grown in Aras Basin of Türkiye Mitteilungen Klosterneuburg, 2024; 74: 145-155.
28. Mousavi E, Soffianian A R, Mirghafari N, Khodakarami L. Investigation of Spatial Distribution of Heavy Metals in Surface Soil of Hamadan Province. Journal of Soil Research, 2012; 25 (4) : 323-336 (In persian)
29. Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An Investigation into Pollution of Selected Heavy Metals of Surface Soils in Hamadan Province Using Pollution Index. jwss 2015; 19 (72) :69-80 (In persian)
30. Yin LL, Qing T, Zhang SX, Yin KX, Qin JIQ. Determination of Trace Elements in Edible Nuts in the Beijing Market by ICP-MS. Biomed. Environ. Sci. 2015; 28: 449–454. DOI: 10.3967/bes2015.063.
31. Ossai EK. Comparative Study on Essential and Trace Metals in Plant Nuts Consumed in Nigeria. Pakistan J. Nutr. 2015; 14: 84–87.
32. Cosmulescu S, Baciu A, Achim G, Botu M, Ttandafir I. Mineral Composition of Fruits in Different Walnut (Juglans regia L.) Cultivars. Horti Agrobot. 2009; 37: 156–160.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]

33. Cabrera C, Lloris F, Gimenez R, Olalla M, Lopez MC. Mineral content in legumes and nuts: Contribution to the Spanish dietary intake. Sci. Total Environ. 2003; 308: 1–14.
34. Moreda–Piñeiro J, Herbello–Hermelo P, Domínguez-González R, Bermejo-Barrera P, Moreda-Piñeiro A. Bioavailability Assessment of Essential and Toxic Metals in Edible Nuts and Seeds. Food Chem. 2016; 205:146–154.
35. Arpadjan-Ganeva S, Momchilova S, Blagoeva E, Nikolova M. Investigation of the bioavailability of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in walnut and hazelnut kernels using enzymolysis approach. In Proceedings of the 4th International IUPAC Symposium for Trace Elements in Food (TEF-4), Aberdeen, UK, 19–22 June 2011.
36. Lavedrine F, Ravel A, Villet A, Ducros V, Alary J. Mineral composition of two walnut cultivars originating in France and California. Food Chem. 2000; 68: 347–351.
37. Özcan MM. Some Nutritional Characteristics of Fruit and Oil of Walnut (Juglans regia L.) Growing in Turkey. Iran. J. Chem. Chem. Eng. 2009; 28: 58–69.
38. Rodushkin I, Engstrom E, Sorlin D, Baxter D. Levels of inorganic constituents in raw nuts and seeds on the Swedish market. Science of The Total Environmental. 2008; 392(2-3): 290-304.
39. Liščáková P, Nawaz A, Molnárová M. Reciprocal effects of copper and zinc in plants. Inter J of Environ Sci and Techno, 2022 ; 19: 9297-9312
40. Kalogiouri NP, Manousi N, Zachariadis GA. Determination of the Toxic and Nutrient Element Content of Almonds, Walnuts, Hazelnuts and Pistachios by ICP-AES. 2021; 8-28.
41. Solgi E, Khodadadi T. Evaluation of Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk Assessment of Some Heavy Metals Due to Consumption of Produced Raisin in Malayer City. Hakim Health Sys Res. 2019; 22(3): 199-211.
42. Xei X, Wu W, Wang P, Zhang G. Health risk assessment of heavy metals in nuts and seeds in Gansu Province, China. Journal of Food Composition and Analysis. 2024; 135: 106676.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2025-07-16]