

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 Abbasitabar², Zinat Fazlali³

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:
[10.61882/jehe.13.1.20](https://doi.org/10.61882/jehe.13.1.20)

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, Toyserkan

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^۳^۱استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران^۲دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران^۳دانش آموخته کارشناسی علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران

چکیده

*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.

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 فلزات سنگین 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 فلزات سنگین توسط دستگاه جذباتمی اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی ریسک از شاخص‌های EDI، HQ و HI استفاده شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات سنگین مس، روی، آهن، منگنز به ترتیب برابر با ۱۶/۱۲، ۴۷/۴۳، ۸۸/۵۳، ۴۴/۲۵ و سدیم و پتاسیم ۲۸۰/۹ و ۱۸۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج آزمون کرومکال-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 فلزات سنگین و عناصر معدنی وجود دارد. شاخص EDI و HQ برای هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات سنگین برای هر دو رده سنی، کمتر از ۱ و در حد مجاز بود.

نتیجه‌گیری: 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 پایین‌تر بود. فلزات سنگین مورد بررسی بدون ریسک اثرات غیرسرطان‌زایی 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.

واژه‌های کلیدی: گردو، فلزات سنگین، ارزیابی ریسک، تویسرکان

DOI:

[10.61882/jehe.13.1.20](https://doi.org/10.61882/jehe.13.1.20)

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 زیست‌فعال 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 بیماری‌های قلبی عروقی و مرگ و میر نشان داده‌اند.^۳ روغن گردو منبعی غنی از مواد مغذی و اجزای زیست‌فعال مانند اسیدهای چرب، توکوفرول‌ها، استرول‌ها و ترکیبات فنلی 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 تراوتونیک ایجاد کنند.^۵

با این حال، جمعیت‌هایی که گردو مصرف می‌کنند، می‌توانند در معرض سطوح بالایی از فلزات سنگین زمانی که آلوده باشند یا از مناطق آلوده تولید شوند، قرار بگیرند.^۶ امروزه مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، موجب تجمع فلزات سنگین 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 فلزات سنگین به بدن انسان می‌تواند اثرات بهداشتی مختلفی را داشته باشد. نیکل هم منجر به شرایط غیر سرطانی مانند بیماری‌های ریوی و پوست و هم اختلالات سرطانی می‌شود. علاوه بر این، کولیت گوارشی و بیماری‌های 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 می‌شود. 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 می‌تواند 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، آلومینیوم، آرسنیک، کادمیوم، منیزیم و جیوه و شدت علائم اختلال طیف اوتیسم (Autism Spectrum Disorder) نشان داده است.^۹

تجمع فلزات سنگین 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 می‌شوند. بنابراین، نیاز به ارزیابی جنبه‌های سم‌شناسی به طور جامع و آگاه‌سازی مصرف

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 می‌باشد. 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 فلزات سنگین و ارزیابی ریسک بهداشتی آنها در گردوی تولیدی در شهرستان تویسرکان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها :

منطقه مورد مطالعه

شهرستان تویسرکان در استان همدان، در غرب ایران و در مدار ۳۲°۳۲'۵۳" شمالی ۴۸°۲۶'۴۹" شرقی قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان با مساحتی معادل ۱۵۵۶ کیلومتر مربع، ۷۹۸ درصد از مساحت استان همدان را در بر گرفته است. بر اساس گزارش آخرین تقسیمات سیاسی در سال

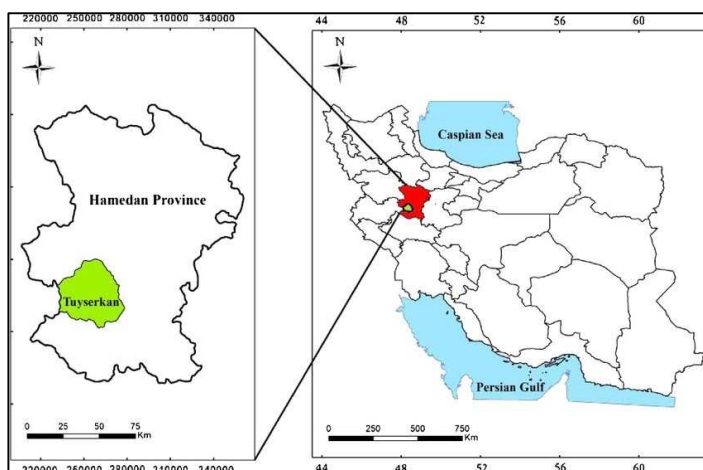
کنندگان نه تنها در مورد جنبه‌های تغذیه‌ای آجیل، بلکه در مورد خطرات بالقوه سلامتی وجود دارد^{۵-۸}.

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 میوه‌ها هستند^۹. (BAŠIĆ et al, 2020) ارزیابی فلزات و میزان تخمینی مصرف روزانه آنها در آجیل‌های مختلف جمع آوری شده از بازارهای ساریو، بوسنی و هرزگوین مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نمونه‌ها شامل بادام، گردوی برزیل، گردو هندی، ماکامیا، 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 (Pb, Cd, As) 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}.

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}

۱۳۹۰ شهرستان تویسرکان دارای ۳ شهر تویسرکان، سرکان و فرسفیج، 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}



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

آنالیز آماری

نرمال بودن داده ها با آزمون شاپیروویک و همبستگی بین غلظت فلزات نیز با آزمون اسپیرمن بررسی گردید. جهت مقایسه میانگین نمونه ها از آزمون کروسکال-والیس و من-وینتی 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 می شود:

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 WAB: میانگین وزن بدن برای جمعیت بزرگسال ایرانی (۷۰ کیلوگرم) و برای کودکان (۱۵ کیلوگرم) را نشان می دهد.^{۱۸،۵}

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 جمع آوری گردید. پس از جمع آوری نمونه ها، در ابتدا وزن و سپس خشک گردیدند. خشک کردن نمونه ها در داخل آن به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد انجام شد. پس از خشک شدن، نمونه ها 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 (H₂O₂) 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 jena Analytic مدل ContrAA700 اندازه گیری شد.

ضریب خطر (Hazard Quotient) HQ

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 (میلی گرم/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 (Hazard Index) HI

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:

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

یافته‌ها:

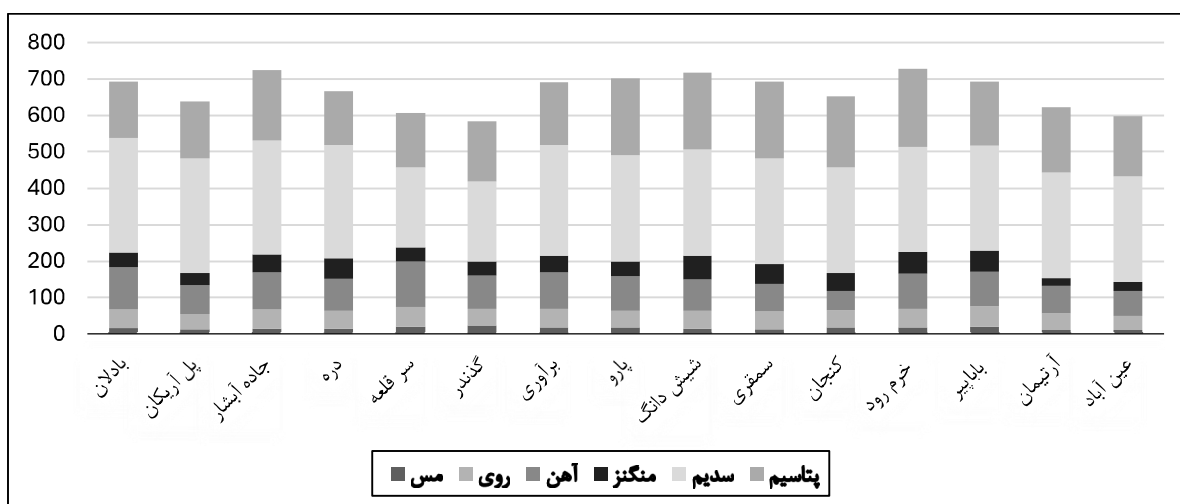
نتایج آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردو جمع‌آوری شده در سطح شهرستان تویسرکان در جدول ۱ آمده است. با توجه به این نتایج حداقل، حداکثر و میانگین غلظت فلزات سنگین مس به ترتیب برابر با ۸/۰۰۱، ۲۹/۸۶ و ۴۶/۸۱، روی ۱۶/۴۵ و ۳۳/۵۷، منگنز ۱۷/۰۲ و ۴۸/۴۶، آهن ۰/۰۶ و ۴۶/۸۱، منگنز ۱۷/۰۲، ۱۰۶/۰ و ۴۵/۲۴ و همچنین سدیم ۳۳/۳، ۳۱۳/۷ و ۲۸۷/۲ و پتاسیم ۱۲۵، ۲۵۰ و ۱۸۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم بود.

با توجه به شکل ۲ و مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردو به تفکیک روستا در شهرستان تویسرکان، روستای پارو، شیش دانگ و سمقری بیشترین روستای دره کمترین غلظت پتاسیم بودند. روستای بادلان و جاده آبشار بیشترین و سرقله و گذندر کمترین غلظت سدیم را نشان دادند. روستای شیش دانگ دارای بیشترین و پل آرتیمان کمترین غلظت منگنز بود. روستای سرقله 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 فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردو در سطح شهرستان تویسرکان

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

na: ارزیابی نشده



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

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

پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار بود. نتایج آزمون من-ویتنی در نمونه های 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.

نتایج آزمون کروسکال-والیس جهت بررسی اختلاف میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو در جدول ۳ آورده شده است. اختلاف میانگین غلظت فلزات سنگین بین ۱۵ روستای نمونه برداری شده محاسبه گردید. با توجه به نتایج این آزمون اختلاف میانگین آهن، منگنز، سدیم و

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 |

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

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

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.

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن 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

جدول ۵. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو

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

** . همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است

* . همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است

فلزات سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات سنگین 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.

نتایج ارزیابی ریسک غیر سرطانزایی غلظت فلزات سنگین در نمونه های 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

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

| HI | پتاسیم | سدیم | منگنز | آهن | روی | مس | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------------------------------------|
| - | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۶۹ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۱۲ | بزرگسال | EDI (میلی گرم/کیلوگرم/روز) |
| - | ۰/۰۶۵ | ۰/۱۰۴ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۶ | کودکان | |
| | ۴۷۰۰-۳۵۰۰ | ۱۵۰۰ | ۲/۳-۱/۸ | ۱۸-۸ | ۱۵-۱۲ | ۱/۳-۱ | بزرگسال | حد مجاز EDI ^{۲۱-۲۲} |
| | ۴۵۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱/۹ | ۱۵-۸ | ۸ | ۰/۷ | کودکان | |
| ۰/۰۷۶ | - | - | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۳۱ | بزرگسال | HQ |
| ۰/۲۳ | - | - | ۰/۱۱۷ | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۱۵ | کودکان | |
| | بدون ریسک | بدون ریسک | بدون ریسک | بدون ریسک | بدون ریسک | بدون ریسک | | سطح ریسک |

بحث

غلظت فلزات سنگین در گردوی تویسرکان :

نتایج آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین 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 فلزات سنگین (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 فلزات سنگین در برخی از آجیل های خشک تایید شده ارگانیک در ترکیه، سطوح مس بین ۸/۲۲ تا ۱۶/۶۲ ppm، روی ۱۵/۰۳ تا ۴۶/۳۷ و آهن ۲۲/۰۶ تا ۶۷/۴۲ ppm به دست آمد. همچنین سرب، جیوه و قلع در آجیل های 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 نشان دهنده خطرات بالقوه سلامتی ناشی از مصرف طولانی مدت است^{۲۴}.

وجود فلزات سنگین در نمونه های گردو نشان دهنده حضور این آلاینده ها در خاک های منطقه مورد مطالعه می باشد که می تواند ناشی از مواد مادری و فعالیت های انسانی مانند کشاورزی و صنایع باشد. جذب فلزات سنگین 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، تنش های محیطی و همچنین نوع و گونه گیاه بستگی دارد^۶.

در پژوهشی Han et al, (2018) با عنوان توزیع، ارتباط و ارزیابی ریسک فلزات سنگین سمی در گردو و خاک رشد انجام دادند. نتایج نشان داد که عمده ترین آلودگی فلزات سنگین در گردو و خاک، سرب و کادمیوم است. روابط مثبتی بین فلزات سنگین و pH و ماده آلی 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 نمونه برداری پیدا شد^۶.

در پژوهش Don-lawson and Okah, (2020) که به مطالعه برخی از فلزات سنگین 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 فعالیت های صنعتی در این منطقه نسبت داده شد. همچنین اهمیت pH خاک را در

همچنین در تحقیقی که Barzin et al, (2015) جهت بررسی آلودگی فلزات سنگین 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 بخش‌هایی از توپسرکان دارای خطرپذیری بالاتری نسبت به فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشد که این خطرپذیری فلزات سنگین احتمالاً ناشی از هوازدگی مواد مادری و فعالیت انسانی است.^{۲۹}

میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردو با غلظت فلزات سنگین 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 پایین‌تر به دست آمد. اما غلظت آهن، روی، منگنز و سدیم نسبت به دیگر نقاط جهان بالاتر به دست آمد.

تأثیرگذاری بر جذب فلزات سنگین 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 جنبه‌های پراکنش منطقه‌ای و شهرنشینی تعیین شد. شهرنشینی مستقیماً بر عناصر سمی تأثیرگذار بود. در نهایت اثر نوع گونه تأیید شد که تمامی ارقام گردو به چهار دسته با ویژگی‌های عناصر کمیاب متفاوت تقسیم شدند.^{۲۶}

در پژوهش Gülsoy et al, (2024) میزان فلزات سنگین و ارزیابی ریسک ژنوتیپ‌های گردو در حوضه رودخانه ارس، ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه به تجزیه و تحلیل سطوح فلزات سنگین در ژنوتیپ‌های مختلف گردو در حوضه ارس ترکیه پرداخت. نتایج این تحقیق تغییرات قابل توجهی در تجمع فلزات سنگین در بین ژنوتیپ‌های مختلف گردو پیدا کرد که اهمیت عوامل ژنتیکی در جذب فلزات سنگین را برجسته می‌کند.^{۲۷} در تحقیقی که Mousavi et al, (2012) در مورد توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های استان همدان انجام دادند، غلظت مس در محدوده شهرستان توپسرکان بین ۲۵ تا ۴۰ میلی‌گرم 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 زمین‌شناسی را عامل موثر بر افزایش غلظت مس دانست.^{۲۸}

جدول ۷. مقایسه غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های گردو در سطح شهرستان تویسرکان با سطح جهان

| سوند | فرانسه | ترکیه | انگلست ان | اسپانیا | اسپانیا | رومانی | نیجریه | چین | مطالعه حاضر | |
|------|--------|-----------|--------------|------------|---------|-----------|--------|-----|----------------|--------|
| ۱۶ | ۳/۸ | - | ۱۵-۱۷ | ۱۰۹-۳۸۱۷ | ۲۰-۲۶ | ۳۲/۲-۱۴/۱ | - | ۸/۸ | ۱۶/۱۲ | مس |
| ۴۱ | ۳۲/۴ | ۱۸-۲۹ | ۲۲-۳۰ | ۴/۹-۲۲ | ۲۰-۲۴ | ۵۹۳-۳۸/۲ | ۳۰ | - | ۸۸/۵۳ | آهن |
| ۵۱۰۰ | ۴۶۲۷/۶ | ۳۷۲۰-۴۸۷۰ | - | ۴۸۰۰-۱۳۷۰۰ | ۱۲-۵۶ | ۳۵۷۱-۴۹۹۶ | ۳۱۱۰ | - | ۱۸۲/۶ | پتاسیم |
| ۳۴ | ۴۶/۳ | ۱۱-۴۳ | ۳۹-۴۲ | ۷/۷-۸۴ | - | ۳۱/۳-۱۷۶ | - | ۱۰ | ۴۴/۲۵ | منگنز |
| ۱/۸ | ۴۴/۷ | ۳-۶۷ | - | - | - | ۱/۳۴-۲۳/۹ | ۷۲ | - | ۲۸۰/۹ | سدیم |
| ۳۳ | ۲۶/۴ | ۱۲-۱۹ | ۲۷-۳۷ | ۱۲-۶۳ | ۲۶-۴۰ | ۱۹/۵-۳۶/۱ | ۱۹ | ۲۰ | ۵۶/۶۶ | روی |
| ۳۸ | ۳۷ | ۳۶ | ۳۵ | ۳۴ | ۳۳ | ۳۲ | ۳۱ | ۳۰ | | منبع |

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 می شوند. همبستگی مثبت آنها ممکن است نشان دهنده منبع مشترک آنها در محیط و مکانیسم مشترک در فرآیند جذب آنها باشد. خاک های غنی از مس اغلب دارای آهن بالاتری هستند که احتمالاً به دلیل فرآیندهای مشترک زمین شناسی 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 می کنند. سطوح بالای پتاسیم می تواند 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 می توانند بر توزیع و جذب فلزات سنگین 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 همبستگی ها ممکن است تمایل به تجمع آلاینده های آجیل را نشان دهد^{۴۰}.

مقایسه میانگین :

نتایج آزمون کروסקال - والیس جهت بررسی اختلاف میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو نشان داد که فلزات سنگین آهن، منگنز، سدیم و پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار بود. یعنی با توجه به اینکه نمونه ها از روستاهای مختلف جمع آوری شده بود، لذا موقعیت مکانی بر میزان غلظت این عناصر تأثیر داشته است. این نشان می دهد 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

فلزات سنگین 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)^{۲۱-۲۲}، 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 فلزات سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات سنگین 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^{۲۲}. 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 ماکادامیا 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. جمع بندی نتایج به دست آمده نشان داد که مصرف روزانه یک بخش استاندارد از آجیل تهدیدی برای سلامت انسان نیست^{۲۳}.

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

فلزات سنگین روی، آهن، منگنز و سدیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی دار بود. این نتایج نشان می دهد که توزیع این عناصر در نمونه های گردوی روستاهای مختلف یکسان نیست. زمین شناسی 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 می توانند بر تحرک و فراهمی زیستی فلزات سنگین تأثیر بگذارند. شیوه های کشاورزی، مانند استفاده از کودها و آفت کش ها و نزدیکی به فعالیت های صنعتی یا مناطق شهری می تواند منجر به سطوح بالاتری از آلودگی فلزات سنگین در خاک شود^{۳۹۶}.

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, Zn و تفاوت معنی داری را بین ارقام نشان داد، در حالی که از نظر سطوح مس و منگنز تفاوت معنی داری 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 فلزات سنگین 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 ارزیابی ریسک غیر سرطان زایی غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردو در سطح شهرستان تویسرکان در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به حد مجاز جذب روزانه

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 فلزات سنگین مورد مطالعه و شاخص HI برای مجموع فلزات سنگین، 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 آفت کش ها می باشد.

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

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 ارزیابی ریسک فلزات سنگین سمی در گردو توسط Han et al, (2018) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی ریسک نشان داد خطرات فلزات سنگین 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 فلزات سنگین 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 فلزات سنگین 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 فلزات سنگین در مقایسه با کشورهای مختلف جهان، نشان داد غلظت آهن، روی، منگنز و سدیم بالاتر و پتاسیم پایین تر از غلظت این فلزات-

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

References

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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
- 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
- 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.
- Angelica CT, Luz OL. Evaluation of Arsenic, Cadmium and Chromium in walnut (*Carya illinoensis*) in an Agricultural Area of Chihuahua Mexico: Carcinogenic Risk Assessment. *J Agriculture Research & Technology Open Access J*. 2023; 27.
- 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.
- Cindric II, Zeiner M, Hlebec D. Mineral Composition of Elements in Walnuts and Walnut Oils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018; 15: 2674.
- 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.
- 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.
- 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.
- <https://irannewspaper.ir/8294/1/69978>
- 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.
- Kazazi Darani S, Akbari Eslami A, Jabbari M, Asefi H. Parking Lot Site Selection Using a Fuzzy AHP-TOPSIS Framework in Tuyserkak, Iran. *J of Urban Planning and Development*. 2018; 144(3): 04018022.
- FAO (2020). Crop statistics are recorded for 173 products. Food and Agriculture Organization.
- Syeda Noor UIA, 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.
- FAO/WHO. Codex Alimentarius; General Standard For Contaminants And Toxins in Food And Feed. CXS 193-1995
- Canada.ca, Health Canada, Food and nutrition, Nutrition and Healthy Eating, Dietary reference intakes, Dietary reference intakes tables: Reference values for elements, 2023.
- <https://healthsupplementsnutritionalguide.com/recommended-daily-allowances/>
- Karcik H, Tasan M. Determination of heavy metal contents in som organic certified dried nuts. *Jurnal of Tecirdag Agricultural Faculty*. 2018; 15(2): 101-111.
- 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>
- 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.
- 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.
- Gülsoy E, Pehlivan 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.
- 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)
- Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An Investigation into Pollution of Selected Heavy Metals of Surface Soils in Hamadan Province Using Pollution Index. *iwss* 2015; 19 (72) :69-80 (In persian)
- 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.
- Ossai EK. Comparative Study on Essential and Trace Metals in Plant Nuts Consumed in Nigeria. *Pakistan J. Nutr*. 2015; 14: 84–87.
- Cosmulescu S, Baciú A, Achim G, Botu M, Ttandafor I. Mineral Composition of Fruits in Different Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars. *Horti Agrobot*. 2009; 37: 156–160.

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, Herbelo-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.