مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هجدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۹ تا ۵۸

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

اندازه گیری فلزات سمی و ضروری در ماست و کشک و ارزیابی ریسک ناشی از آن با روش ابر مکعب لاتین

مجتبی موذن[۱]، سید امیر محمد مرتضویان[۲]، نبی شریعتی فر[۳]، سارا سهراب وندی[۱،*]، الهام خان نیری[۴]، سیده مهسا خدائی[۳]

۱- گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران
۲- گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، پژوهشکده تغذیه و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴- گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷

واژگان کلیدی: عناصر سمی، عناصر ضروری، ماست، کشک، ارزیابی ریسک

چکیده

زمینه و هدف: بسیاری از عناصر می‌توانند به طور طبیعی یا غیر طبیعی، وارد غذاهای انسان شوند و مخاطراتی را برای انسان‌ها به وجود آورند. برخی از این عناصر برای انسان سمی و برخی دیگر برای انسان ضروری هستند. هدف از مطالعه حاضر بررسی میزان عناصر سمی (آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)) و ضروری (کبالت (Co)، کروم (Cr)، آهن (Fe)، منگنز (Mn) و روی (Zn)) در نمونه های ماست و کشک بود.

روش بررسی: در این مطالعه غلظت ۱۰ عنصر با استفاده از دستگاه ICP-OES در ۴۸ نمونه (دو بار تکرار) ماست و کشک (جمع آوری شده از شهر تهران) اندازه‌گیری شد و سپس ریسک حاصل از قرار گرفتن انسان در مواجهه با این فلزات با روش شبیه سازی به روش ابر مکعب لاتین مورد محاسبه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در تمامی نمونه ها، بالاترین و پایین ترین میانگین عناصر (µg/kg) ضروری به ترتیب مربوط به آهن (۵۶۷/۵۳) و کبالت (۱۰/۵۸) و بالاترین و پایین ترین میانگین عناصر سمی به ترتیب مربوط به آرسنیک (۲۸/۶۰) و کادمیوم (۱/۰۸) بود.

نتیجه‌گیری: در نهایت می‌توان بیان نمود میانگین غلظت تمامی عناصر به غیر از Pb، Co و Cd در کشک بیشتر از ماست به دست آمد. همچنین میانگین غلظت تمامی عناصر نسبت به استانداردهای موجود کمتر بوده است، ولی نتایج آنالیز ریسک بیانگر آن بود که کودکان نسبت به بزرگسالان به میزان بیشتری در معرض خطرات غیرسرطان‌زایی ماست و خطرات سرطان‌زایی ناشی از مصرف ماست و کشک قرار دارند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
sohrabv@sbmu.ac.ir

Please cite this article as: Moazzen M, Mortazavian AM, Shariatifar N, Sohrabvandi S, Khanniri E, Khodaei SM. Measurement of toxic and essential metal in yogurt and kashk and risk assessment by Latin Hypercube method. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):39-58.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran 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/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

مقدمه

شیر و فرآورده‌های لبنی از منابع مهم تامین مواد مغذی (چربی، پروتئین و کربوهیدرات) و مواد معدنی برای بدن انسان هستند. ماست محصول شناخته شده‌ای است که از تخمیر شیر به دست می‌آید. دو محصول تولید شده مستقیم از ماست دوغ و کشک است. هزاران سال است انسان‌ها به این واقعیت پی برده‌اند که خشک کردن سبب افزایش چشمگیر در طول عمر ماده غذایی می‌شود. به عنوان مثال، هدف اصلی از تهیه ماست به صورت پودر (کشک) نگهداری آسان و پایدار محصول است. کشک همان دوغ یا ماست جوشانده تغلیظ شده است که حاوی افزودنی نمک است که به صورت رول‌های صاف یا گرد در می‌آید و سپس در مجاورت هوا خشک می‌شود (۱-۴). بسیاری از عناصر می‌توانند به طور طبیعی یا غیرطبیعی از طریق فعالیت‌های انسانی مانند پردازش، ذخیره‌سازی و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی وارد غذاهای طبیعی شوند. عناصر ضروری مانند Fe، Zn، مس (Cu)، Cr، Co، Mn برای موجودات زنده ضروری هستند، اما در صورت مصرف بیش از حد می‌توانند باعث مسمومیت شوند. با این حال، عناصر سمی چون As، Pb، Ni، Cd، Al و جیوه (Hg) حتی در مقادیر بسیار کم می‌توانند باعث مسمومیت شوند (۵-۷). اگرچه سازمان جهانی بهداشت/صندوق بین‌المللی اورژانس کودکان (WHO/UNICEF) در سال ۱۹۹۸ گزارش دادند که Cu، Fe، سدیم (Na)، Zn، منیزیم (Mg) و کلسیم (Ca) برای انسان ضروری هستند، ولی سطوح اضافی آن‌ها برای انسان خطرناک است و احتمالاً این عناصر برای انسان سمی هستند. با توجه به مطالعات پیشین، مصرف بیش از حد عناصری چون Al، Pb و As سبب عوارض عصبی، As، Al، Cr، Cu و Pb سبب عوارض کلیوی، Fe و Al سبب عوارض ریوی، Cu سبب سمیت کبدی، As و Pb دارای اثرات سرطان‌زایی و عناصر Fe و Al سبب عوارض جانبی گوارشی برای انسان هستند. در بین عناصر سمی، Pb، Al و Cd از جمله مهمترین این عناصر هستند. مطابق مطالعات مختلف عنصر کروم دارای ویژگی های مختلفی است به طوری که کروم ۳ ظرفیتی عنصری ضروری برای انسان است و در متابولیسم کربوهیدرات ها و چربی ها نقش دارد و از طرفی کروم ۶ ظرفیتی برای انسان سمی است و باعث آسیب به بافت ها و سیستم های بیولوژیکی می شود (۸-۱۰). عناصر سمی آلاینده‌هایی هستند که در محیط زیست ماندگار بوده و اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان دارند. نوزادان و کودکان نسبت به سایر گروه‌های آسیب‌پذیر به فلزات سمی حساس‌تر هستند. عناصر سمی به وفور در محیط از جمله آب، هوا و خاک به دلیل فعالیت‌های طبیعی (آتشفشانی) و انسان (معدن) یافت می‌شوند (۱۱-۱۵). عناصر مختلف عمدتاً از طریق مصرف آب و علوفه آلوده وارد بدن دام‌های شیرخوار می‌شوند. وجود این عناصر (عناصر سمی و ضروری) در فرآورده‌های شیری می‌تواند به دلیل آلودگی اولیه شیر خام، آلودگی محیطی، آلودگی سطوح و ظروف در حین تولید، آلودگی در حین فرآیند و همچنین آلودگی مواد افزودنی به آن‌ها باشد (۱۶-۱۸). تاکنون چندین دستگاه برای تعیین مقدار عناصر در نمونه‌های مواد غذایی مانند طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES)، طیف سنجی جذب اتمی شعله (FAAS) و طیف‌سنجی جذب اتمی کوره گرافیت (GFAAS) استفاده شده است. در بین این روش‌ها ICP-OES ساده‌ترین و حساس‌ترین روش است که سبب صرفه‌جویی در زمان نیز می‌شود. لازم به ذکر است که تهیه نمونه برای تشخیص دقیق آلاینده‌ها بسیار مهم است. روش‌های سنتی آماده‌سازی نمونه علاوه بر اینکه زمان‌بر بوده، به چندین معرف خطرناک و پرهزینه نیاز دارد و امکان آلودگی نمونه توسط تحلیل‌گر وجود دارد. بهبود آماده‌سازی نمونه منجر به توسعه روش هضم اسیدی به کمک مایکروویو، دوغاب و استخراج توسط اولتراسوند و تجزیه و تحلیل مستقیم نمونه‌های مواد غذایی شده است (۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹).

Elsherif و همکاران میزان عناصر Pb، Cu، Cd، Cr و Zn در نمونه‌های شیر و محصولات لبنی (ماست و دوغ) مختلف را

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

مورد ارزیابی قرار دادند و بیان نمودند که بالاترین عنصر یافت شده Zn و پایین ترین عنصر یافت شده Cu بوده است (۲۰). در مطالعات دیگری Ghafari و همکاران میزان عناصر را در کره و پنیر (۲۱) و Molaaei و همکاران، میزان عناصر را در نمونه‌های شیر خشک بررسی نمودند (۲۲).

ارزیابی ریسک فرآیند شناسایی، تجزیه و تحلیل و ارزیابی خطرهای بالقوه مرتبط با یک فعالیت یا موقعیت خاص است. فرآیند ارزیابی ریسک معمولاً شامل سه بخش اصلی است: شناسایی خطر، برآورد ریسک و ارزیابی ریسک. هدف از ارزیابی ریسک کاهش احتمال و شدت آسیب به افراد، اموال یا محیط زیست است. روش ابر مکعب لاتین (Latin Hyper Cube: LHC) یک روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده است که برای نمونه‌برداری از توزیع چند متغیره استفاده می‌کند و هدف از آن بهینه‌سازی روش‌های نمونه‌برداری است. این روش نمونه‌برداری در سال ۲۰۲۳ توسط Khodaei و همکاران برای تعیین متالوئیدها در انواع نان‌های مسطح سنتی توزیع شده در شهر اصفهان مورد استفاده قرار گرفت (۲۳).

از آنجایی که تاکنون مطالعه جامعی در مورد میزان عناصر سمی و ضروری در برخی از نمونه‌های لبنیات در ایران انجام نشده است، همچنین با توجه به مصرف زیاد این محصولات در رژیم غذایی ایرانیان، مطالعه حاضر ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف مطالعه حاضر اندازه‌گیری غلظت ده عنصر ضروری و سمی (شامل Al، As، Cd، Co، Cr، Fe، Mn، Ni، Pb و Zn) با استفاده از دستگاه ICP-OES در نمونه‌های لبنیات (ماست و کشک) در بازار تهران و برآورد ریسک ناشی از مواجهه بزرگسالان و کودکان با متدهای مرتبط بود. ارزیابی کمی ریسک فلزات یکی از حیاتی‌ترین روش‌ها می‌باشد که با هدف ارزیابی میزان مواجهه با خطرات سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی عناصر صورت می‌گیرد. یافته‌های حاصل از ارزیابی ریسک می‌تواند اطلاعات مفیدی برای مدیران ریسک بمنظور اتخاذ تصمیمات مناسب و موثر ارائه دهد. اما نکته حائز اهمیت این است که در بررسی ارزیابی ریسک یکی از تأثیرگذارترین عوامل، محاسبه عدم قطعیت است که می‌توان با استفاده از روش نمونه‌برداری ابر مکعب لاتین این مقادیر را بصورت تصادفی تخمین زد (۲۳).

مواد و روش‌ها

نوع مطالعه

نوع مطالعه در مقاله حاضر از نوع توصیفی - مقطعی بوده است.

مواد شیمیایی و معرف‌ها

در طول آزمایشات از آب یونیزه شده، پراکسید هیدروژن، استاندارد مخلوط (Mix standard)، اسید نیتریک ۱۰ درصد و اسید نیتریک (۶۵ درصد) با گرید HPLC، خریداره شده از شرکت مرک (آلمان)، استفاده شد.

نمونه‌برداری

نمونه برداری به صورت تصادفی از سطح سوپر مارکت های سطح شهر در سال ۱۴۰۳ تهیه شدند. در این مطالعه دو نوع ماده غذایی (ماست و کشک) از ۶ نام تجاری، در ۲ حجم و ۲ فاصله زمانی (تاریخ تولید و تاریخ انقضا) انتخاب شدند. با عنایت به فرمول برآورد تعداد نمونه لازم برای تعیین میانگین یک صفت در یک جامعه و با در نظر گرفتن آلفا معادل ۰/۰۱ و نیز در نظر گرفتن انحراف معیار معادل ۰/۳۶ µg/kg، تعداد نمونه لازم برای ماست و کشک هرکدام ۲۴ عدد محاسبه شده است. بنابراین در مجموع تعداد ۴۸ نمونه بود که به صورت دو بار تکرار انجام شد. که ۶ نمونه نیز برای استاندارد و کنترل کیفیت به آن اضافه شد بنابراین تعداد کل نمونه ها ۵۴ عدد بود. نمونه‌ها (ماست و کشک) دو بار هموژن شدند و به لات‌های ۵ g تقسیم شدند و تا زمان بررسی در دمای اتاق در ظروف در بسته نگهداری شدند. تمام پلاستیک و ظروف شیشه‌ای با استفاده از خیساندن به مدت یک شبانه روز در محلول اسید نیتریک ۱۰ درصد تمیز شده و سپس با آب دیونیزه شسته

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

شدند. در قسمت نتایج منظور از تاریخ تولید ۳ روز اول تولید و منظور از تاریخ انقضا ۳ روز آخر تا زمان انقضای محصولات بوده است تا اثر رهایش طی زمان بررسی شود و نیز منظور از حجم بزرگ بسته بندی های kg ۱ و منظور از بسته های کوچک بسته بندی های g ۵۰۰ بوده است تا اثر نسبت سطح به حجم بسته بندی در میزان آلودگی بررسی شود.

آماده‌سازی نمونه

غلظت ده عنصر سمی و ضروری شامل، Al، As، Cd، Co، Cr، Fe، Mn، Ni، Pb و Zn در تمامی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از تجزیه اسید در سیستم اجاق مایکروویو برای به حداقل رساندن نابودی ماتریکس آلی و همچنین جلوگیری از احتمال آلودگی نمونه و از بین رفتن آنالیت‌ها استفاده شد. در ادامه mL ۲ نمونه از هر نمونه لبنیات (ماست و کشک) به ظرف مایکروویو منتقل شد. سپس، mL ۲۰ مخلوط اسید نیتریک-پراکسید هیدروژن (به نسبت v/v ۱:۹) به هر ظرف اضافه و به خوبی تکان داده شد و به مدت min ۱۰ در دمای اتاق نگهداری شد تا نمونه‌ها همگن شوند. پس از آن، نمونه‌ها در ظروف پلی‌تترافلوئورواتیلن (PTFE) سرپوشیده نگهداری شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها به مدت min ۱۵ (پس از برنامه‌ریزی هضم یک مرحله‌ای) گرم شدند (با ۸۰ درصد توان کل W ۱۸۰۰). پس از خنک شدن، برای از بین بردن اسید اضافی، محلول‌ها به جرم نیمه خشک تبخیر شدند و سپس تا mL ۵۰ در فلاسک‌های حجمی با آب دیونیزه رقیق شدند و به عنوان محلول نمونه ذخیره شدند (۱، ۲، ۱۴).

شرایط طیف سنجی نشر اتمی پلاسما جفت شده القایی

تمام نمونه‌های آماده شده با کمک دستگاه ICP-OES (Spectoro، Arcos، آلمان) با مشعل نوع Torch انتهایی (EOP mL ۲/۵) آنالیز شدند. پارامترهای عملکرد بهینه شامل ژنراتور (RF) W ۱۴۰۰، گاز آرگون درجه ۶ برای پلاسما، نبولایزر و گاز کمکی بود. جریان گاز پلاسما، گاز کمکی و نبولایزر به ترتیب (L/min) ۱۴/۵۰، ۰/۹۰ و ۰/۸۵ بود. پس از آن، زمان تثبیت اولیه، زمان شستشو و زمان جذب نمونه در مجموع s ۲۴۰ و برای پیش فلاش s ۴۵ تنظیم گردید. همچنین زمان بین آنالیز تکرار و زمان تاخیر صفر در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل سه بار تکرار انجام گرفت و فرکانس (فرکانس تشدید) ژنراتور MHz RF ۲۷/۱۲ بود. نوع آشکارساز حالت جامد و محفظه اسپری به ترتیب CCD (آشکارسازهای جفت بار یا charge-coupled detectors) و سیکلونیک (cyclonic) بود. نوع پمپ تحویل نمونه از نوع چهار کاناله و با نرم افزار کنترل می‌گردید. پمپ پریستالتیک (Peristaltic) جریان نمونه دقیق را امکان پذیر می‌کرد. سرعت پمپ پیش شستشو rpm ۶۰ (برای s ۱۵)، rpm ۳۰ (برای s ۳۰) و زمان پیش شستشو s ۴۵ و در نهایت سرعت پمپ تزریق نمونه rpm ۳۰ بود (۱، ۱۴، ۲۴).

اعتبارسنجی روش تحلیلی

اعتبارسنجی روش تحلیلی برای تجزیه و تحلیل کمی عناصر در نمونه‌های محصولات لبنی با ارزیابی گزینش پذیری، محدوده خطی (linear ranges)، LOD، LOQ، تکرارپذیری (repeatability) و قابلیت تکثیر (reproducibility) انجام شد. اثرات ماتریکس با افزودن µL ۲۰۰ محلول استاندارد مخلوط به نمونه های اصلی مورد مطالعه قرار گرفت (CRM استاندارد مخلوط: Supelco LOT BCCB9855 ۹۲۰۹۱، TraceCERT®، ۳۳ عنصر، mg/L ۱۰ در اسید نیتریک). نمودارهای کالیبراسیون برای ۱۰ عنصر از محلول‌های استاندارد در هفت نقطه تهیه شد که از ۰/۰۱ تا µg/kg ۳/۵ متغیر بود. همه عناصر روابط خطی پاسخ ابزاری و محلول‌های حاوی عناصر را با فاصله‌های ناچیز و ضرایب همبستگی ۰/۹۸۸ یا بالاتر نشان دادند. LOD از ۰/۰۱۸ تا µg/kg ۲/۱۶۶ متغیر بود و LOQ از ۰/۰۶۰ تا µg/kg ۷/۲۲۰ متغیر بود. بازیابی‌ها بین ۹۲ تا ۱۰۵ درصد بود که محدوده مناسبی از همه عناصر ضروری و غیرضروری است (جدول ۱).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

جدول ۱- میانگین بازیابی (درصد)، انحراف استاندارد نسبی (درصد)، LOQ و LOD نمونه‌های به‌دست‌آمده با تجزیه و تحلیل ICP-OES

عناصر	LOQ (µg/kg)	LOD (µg/kg)	انحراف استاندارد نسبی (درصد)	بازیابی (درصد)	محدوده کالیبراسیون (µg/kg)	ارزش r^2	طول موج (nm)
As	۰/۰۶۰	۰/۰۱۸	۲/۱	۹۶/۰	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۸۸	۱۸۹/۰۴۲
Cd	۰/۱۶۳	۰/۰۴۰	۱/۷	۱۰۰/۱	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۲	۲۲۸/۸۰۲
Cr^{3+}	۰/۳۲۰	۰/۰۹۶	۲/۰	۹۵/۵	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۸۹	۲۶۷/۷۱۶
Al	۰/۱۴۳	۰/۰۴۰	۱/۸	۹۸/۸	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۵	۲۳۷/۰۹۸
Pb	۷/۲۲۰	۲/۱۶۶	۱/۹	۹۳/۴	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۶	۲۸۳/۳۰۵
Co	۰/۱۴۳	۰/۰۴۳	۲/۲	۱۰۳/۱	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۶	۲۲۸/۶۲۰
Ni	۰/۹۶۷	۰/۲۹۰	۲/۳	۹۸/۳	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۵	۲۳۱/۶۰۴
Fe	۰/۵۳۳	۰/۱۶۰	۱/۹	۹۹/۴	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۶	۲۳۹/۵۶۲
Mn	۰/۲۲۰	۰/۰۶۶	۱/۸	۱۰۱/۸	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۱	۲۶۰/۵۷۳
Zn	۰/۹۰۰	۰/۲۷۰	۲/۱	۹۹/۸	۰/۰۱-۳/۵	۰/۹۹۶	۲۰۶/۱۹۸

ارزیابی خطرات مرتبط با سلامت انسان

ارزیابی خطرات سلامتی مرتبط با مواجهه انسان با مواد غذایی، برای مدت طولانی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب برای شناسایی خطرات مرتبط با سلامت انسان و ارائه پیشنهادهایی برای مدیریت ریسک باشد. در این مطالعه بمنظور ارزیابی خطرات غیرسرطان‌زایی مرتبط با مصرف هر یک از فلزات سنگین ابتدا محاسبه میزان مصرف روزانه انجام شد (معادله ۱) و سپس با در دست داشتن مقادیر دوز مرجع خوراکی (RFD) برای هر عنصر، THQ مطابق با معادله ۲ محاسبه گردید.

$$CDI=\frac{MC\times IR\times EF\times ED}{BW\times AT} \quad (1)$$

که در آن:

مصرف مزمن روزانه یا CDI (Chronic Daily Intake)، MC (Concentration of Metaloid) همان غلظت متالوئید مورد نظر بر حسب dry weight mg/kg است IR (Ingestion Rate) همان میزان مصرف ماست و کشک برحسب dry weight kg/day است که این مقادیر برای ماست و کشک به ترتیب ۷۳ و ۷ g در نظر گرفته شد (۲۵). EF (Frequency of Exposure) همان فراوانی مواجهه است که معادل ۳۶۵ day در سال برای هر دو گروه سنی، ED (Duration of Exposure) همان مدت زمان قرار گرفتن در معرض فلز است به ترتیب ۷۰ و ۶ year برای بزرگسالان و کودکان، BW (Body Weight) همان وزن بدن بر حسب kg است (به ترتیب ۷۰ و ۱۵ kg برای بزرگسالان و کودکان) و AT (Average Lifetime) همان میانگین طول عمر برابر با دفعات و مدت قرار گرفتن در معرض فلز است که به ترتیب معادل با ۲۵۵۵۰ و ۲۱۹۰ day برای بزرگسالان و کودکان در نظر گرفته شد.

بعد از محاسبه شاخص میزان مصرف روزانه، شاخص THQ (Target Hazard Quotient) یا خطرات غیر سرطان‌زایی محاسبه شد. این شاخص از طریق نسبت قرار گرفتن مزمن در معرض عنصر سمی به دوز مرجع آن ماده که در این صورت هیچ اثر نامطلوبی بر سلامتی فرد دیده نمی‌شود محاسبه گردید (۱۷، ۲۳، ۲۶).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

$$THQ= \frac{CDI}{RFD} \quad (۲)$$

RFD همان دوز مرجع خوراکی فلزات سنگین بر حسب واحد (mg/kg.day) است که برای عناصر Al، As، Cd، Co، Cr، Fe، Mn، Ni، Pb و Zn به ترتیب برابر با ۰/۱۴۳، ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۳، ۰/۳، ۰/۱۴، ۰/۰۴، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۳ است (۲۳، ۲۷).

شاخص ضریب کل خطرات غیرسرطان‌زایی (TTHQ یا Total Target Hazard Quotient) با جمع کردن مقادیر THQ برای همه فلزات طبق معادله ۳ به دست آمد. این شاخص حاصل جمع THQ هایی است که برای هر فلز بصورت جداگانه در هر ماده غذایی (کشک و ماست) محاسبه گردید (معادله ۳):

$$TTHQ= \sum THQ \quad (۳)$$

هنگامیکه THQ یا TTHQ کمتر از یک باشد، نشانگر این است که احتمالاً جمعیت، در معرض اثرات نامطلوب سلامتی قرار نمی‌گیرد، اما درصورتیکه مقادیر این دو پارامتر بیشتر از یک باشد نشانگر تهدید جمعیت توسط خطرات غیر سرطان‌زایی است. THQ و TTHQ اثرات واقعی نامطلوب این عناصر را بر سلامتی جمعیت در معرض خطر پیش بینی نمی‌کند، اما نشان‌دهنده یک سیگنال از سطح خطر ناشی از قرار گرفتن انسان در معرض فلزات است.

میزان خطرات سرطان‌زایی ناشی از مواجهه انسان با فلزات سمی از طریق معادله ۴ محاسبه گردید.

$$ILCR= CDI*CSF*ADAF \quad (۴)$$

در این معادله ILCR (Incremental Lifetime Cancer Risk) افزایش خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی است. CDI همان میزان مواجهه مزمن روزانه است که قبلا به آن اشاره شد و مقادیر آن برای محاسبه ارزیابی ریسک خطرات سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی یکسان است. CSF نیز فاکتور شیب سرطان‌زایی است و احتمال مصرف خوراکی آلاینده‌ای را نشان می‌دهد که خطر سرطان‌زایی را افزایش می‌دهد. مقادیر CSF برای عناصر As، Pb و Cd به ترتیب ۱/۵، ۰/۰۰۸۵ و ۶/۳ mg/kg.day است (۲۳). ADAF یا همان Age Dependent Adjustment Factor به‌عنوان عامل سازگاری وابسته به سن تعریف می‌شود که در مطالعات پیشین مقادیر آن برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب ۱ و ۳ در نظر گرفته شد (۲۳).

در گام بعدی شاخص TILCR مطابق با معادله ۵ محاسبه شد. این شاخص حاصل برآورد مجموع خطرات سرطان‌زایی سه عنصر سمی سرب، کادمیوم و آرسنیک است و مقادیر آن گویای برآورد خطرات کلی سه عنصر سمی در نمونه‌های کشک و ماست است. با توجه به اینکه در مقالات ارزیابی ریسک مربوط به مواد غذایی، فقط ریسک مواجهه گوارشی محاسبه می‌شود لذا در این مطالعه منظور از TILCR فقط ارزیابی مواجهه گوارشی بوده است.

$$TILCR= \sum ILCR \quad (۵)$$

یا

$$TILCR= ILCR (As) + ILCR (Cd) + ILCR (Pb)$$

مقادیر ILCR و TILCR در محدوده $۱۰^{-۴}$ تا $۱۰^{-۶}$ قابل قبول است. در مورد خطر سرطانزایی، این بدان معنی است که اگر یک میلیون نفر در معرض غلظت مشخص از فلز سنگین قرار گیرند احتمالاً یک نفر دچار سرطان می‌شود. اگر مقدار دو شاخص کمتر از $۱۰^{-۶}$ باشد، نشان‌دهنده احتمال ضعیف ایجاد خطر سرطان و اگر بیش از $۱۰^{-۴}$ باشد، نشان‌دهنده خطر سرطان‌زایی ناشی از مواجهه انسان با آلاینده‌هاست. در نهایت مقادیر ILCR و TILCR با سطوح قابل قبول پیشنهاد شده توسط USEPA مقایسه شدند (۱۷، ۲۳، ۲۶).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

تحلیل آماری

در این مطالعه میانگین غلظت ± انحراف معیار نتایج بیان شده است. تجزیه‌وتحلیل آماری توسط بسته آماری SPSS نسخه ۱۸ (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام شد. با توجه به نتیجه آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) توزیع داده‌ها غیر نرمال بود و داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری کروسکال والیس (Kruskal-Wallis test) و آزمون مقایسه‌های چندگانه دان (Dunn's test) بررسی شد. در ضمن سطح معنی داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای محاسبه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها در زمانی که سطح عنصر پایین تر از LOD یا یافت نشده بودند، از نیمی از LOD استفاده شد (۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹). ارزیابی ریسک نمونه‌برداری با روش ابر مکعب لاتین توسط نرم‌افزار Crystal Ball (نسخه ۱۱/۱/۲/۴/۶۰۰، Oracle، Denver، Co، USA) در محیط اکسل انجام گرفت. میزان تکرارپذیری روش ۱۰۰۰۰۰ بار با اعداد، seed ۹۹۹ و bin ۵۰۰ صورت پذیرفت. در واقع تخمین خطرات مرتبط با THQ، TTHQ، ILCR و TILCR با در نظر گرفتن توزیع مستقل هر یک از متغیرها انجام شد.

یافته‌ها

میزان عناصر سمی و ضروری در تمامی نمونه‌های کشک و ماست

با توجه به جدول ۲ که میزان عناصر را در تمامی نمونه‌های ماست و کشک نشان می‌دهد، بالاترین و پایین‌ترین میانگین کل عناصر مورد مطالعه به ترتیب مربوط به Fe (۵۶۷/۲۹۶±۵۳/۰۶ µg/kg) و Cd (۱/۰۸±۰/۸۴ µg/kg) بوده است. همچنین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر ضروری به ترتیب مربوط به آهن (۵۶۷/۵۳±۲۹۶/۰۶) و کبالت (۱۰/۵۸±۸/۰۱) بود و بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر سمی به ترتیب مربوط به آرسنیک (۲۸/۶۰±۲۰/۹۸) و کادمیوم (۱/۰۸±۰/۸۴) بود. میانگین سایر عناصر به ترتیب از بیشترین به کمترین شامل Zn (۹۲/۰۳ µg/kg)، Mn (۳۳/۷۰ µg/kg)، Cr (۲۱/۹۹ µg/kg)، Al (۲۰/۴۳ µg/kg)، Ni (۱۷/۲۰ µg/kg) و Pb (۹/۰۳ µg/kg) بود.

جدول ۲- میزان غلظت عناصر در تمامی نمونه‌های ماست و کشک (µg/kg)

تمامی نمونه‌ها	عناصر ضروری					عناصر سمی				
	Zn	Co	Cr	Mn	Fe	Ni	Pb	Cd	As	Al
میانگین	۹۲/۰۳	۱۰/۵۸	۲۱/۹۹	۳۳/۷۰	۵۶۷/۵۳	۱۷/۲۰	۹/۰۳	۱/۰۸	۲۸/۶۰	۲۰/۴۳
میانه	۸۲/۳۹	۱۱/۲۱	۱۹/۰۹	۲۴/۳۸	۴۴۳/۹۹	۱۶/۵۶	۸/۱۲	۰/۸۶	۲۲/۱۵	۱۵/۱۷
کمینه	۲۲/۵۲	۰/۰۸	۱/۵۷	۷/۵۴	۲۲۰/۶۷	۲/۰۴	۲/۱۷	۰/۰۲	۳/۷۶	۱/۵۴
بیشینه	۲۱۱/۰۷	۲۷/۱۶	۷۷/۳۳	۹۶/۱۵	۱۴۳۱/۹۸	۴۱/۴۷	۱۸/۳۷	۳/۴۲	۸۷/۸۵	۵۳/۶۹
انحراف معیار	۵۴/۴۱	۸/۰۱	۱۷/۱۷	۲۴/۱۶	۲۹۶/۰۶	۱۲/۱۵	۵/۱۱	۰/۸۴	۲۰/۹۸	۱۴/۷۳

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

میزان عناصر سمی و ضروری در کشک و ماست به تفکیک

جدول ۳ میزان عناصر را به تفکیک در نمونه‌های ماست و کشک نشان می‌دهد. بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر در کشک و ماست به ترتیب مربوط به Fe و Cd بود (در کشک به ترتیب ۶۹۹/۵۸ و µg/kg ۱/۰۰ و در ماست به ترتیب ۴۵۳/۴۹ و µg/kg ۱/۱۶). همچنین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر (µg/kg) ضروری در ماست و کشک به ترتیب مربوط به آهن (کشک:۶۹۹/۵۸ و ماست:۴۵۳/۴۹) و کبالت (کشک:۱۰/۱۴ و ماست:۱۱/۰۲) بود و بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر سمی به ترتیب مربوط به آرسنیک (کشک: µg/kg ۳۵/۷۴ و ماست: µg/kg ۲۱/۴۶) و کادمیوم (کشک: µg/kg ۱/۰۰ و ماست: µg/kg ۱/۱۶) بود. میانگین عناصر در کشک و ماست به صورت Fe>Zn>Mn>As>Cr>Al>Ni>Co>Pb>Cd به دست آمد.

جدول ۳- میزان غلظت عناصر در نمونه های کشک و ماست به تفکیک (µg/kg)

نوع محصول		عناصر ضروری								عناصر سمی			
		Zn	Co	Mn	Fe	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Al
کشک	میانگین	۱۱۰/۱۹	۱۰/۱٤	٤٤/۰٥	٦۹۹/٥۸	۲٥/٤٦	۱۹/۰٦	۸/۸۹	۱/۰۰	۳٥/۷٤	۲٤/۲۹
	میانه	۱۰۹/۲٦	۱۲/٤٥	۳۱/۹۳	۷۷٦/۷۰	۲٤/٦۳	۲۳/۲۳	۷/۳۳	۰/۷٤	۲٥/۲۷	۱۹/٦۳
	کمینه	۲۲/٥۲	۰/۰۸	۱۳/۲۷	۲۳۱/۹۸	۱/٥۷	۲/۰٤	۲/۱۷	۰/۰۲	۱۰/۰۷	۳/۱٤
	بیشینه	۲۱۱/۰۷	۲۷/۱٦	۹٦/۱٥	۱٤۱۳/۹۸	۷۷/۳۲	٤۱/٤۷	۱۸/۳۷	۳/٤۲	۸۷/۸٥	٥۳/٦۹
	انحراف معیار	٦۸/۳٦	۸/۹۷	۲۷/۲۸	۳٥٥/۱۲	۲۱/۳۸	۱٥/۲۳	٦/۲٤	۰/۳٤	۲٥/۹۲	۱٦/٦۷
ماست	میانگین	۷۳/۸۸	۱۱/۰۲	۲۳/۳٥	٤٥۳/٤۹	۱۸/٥۱	۱٥/۳٥	۹/۱۷	۱/۱٦	۲۱/٤٦	۱٦/٥۷
	میانه	۷۲/٦٤	۱۰/۷۰	۲۰/٥۰	۳٦۳/۱۰	۱٦/۰٤	۱۳/٦۱	۸/٤۲	۱/۰٤	۲۰/٦٦	۱۲/۰٦
	کمینه	۲٥/۸۷	۰/۹۹	۷/٥٤	۲۲۰/٦۷	۳/٤۱	۲/۰۸	۲/۹۷	۰/۰۲	۳/۷٦	۱/٥٤
	بیشینه	۱۲۲/٦٦	۲٤/۷۷	٦۲/۷۷	۸۰٥/٥۱	٤٤/٥٤	۳۱/٥٥	۱٦/٦۰	۳/۱۷	٤۲/۷۷	۳۸/۷٦
	انحراف معیار	۲٦/۲٥	۷/۰۸	۱٤/۹۸	۱٤۷/٤۰	۱۰/۹٦	۷/۹۲	۳/۷۹	۰/۸۸	۱۱/۰۲	۱۱/٦۰
p		۰/۰۲	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱٦	۰/۲۹	۰/۸٥	۰/٥۹	۰/۰۲	۰/۰۷

میزان عناصر سمی و ضروری در تاریخ‌های مختلف در نمونه‌های ماست و کشک

جدول ۴ میزان عناصر را در نمونه‌های لبنی با تاریخ‌های متفاوت (تاریخ تولید و تاریخ انقضا) نشان می‌دهد. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر برای عناصر در زمان تاریخ انقضا و تاریخ تولید به ترتیب Fe و Cd بوده است (در تاریخ تولید به ترتیب ۵۶۲/۰۵ و µg/kg ۰/۹۹ و در تاریخ انقضا به ترتیب ۵۷۳/۰۲ و µg/kg ۱/۱۸). همچنین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر ضروری در تاریخ‌های مختلف به ترتیب مربوط به آهن (تاریخ انقضا: µg/kg ۵۷۳/۰۲) و کبالت (تاریخ تولید: µg/kg ۹/۳۷) بود و بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر سمی به ترتیب مربوط به آرسنیک (تاریخ انقضا: µg/kg ۳۱/۷۰) و کادمیوم (تاریخ تولید: µg/kg ۰/۹۹) بود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

جدول ۴- غلظت عناصر در تاریخ‌های مختلف در نمونه‌های ماست و کشک (µg/kg)

تاریخ‌های مختلف		عناصر ضروری							عناصر سمی			
		Zn	Co	Mn	Fe	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Al
تاریخ تولید	میانگین	۸۵/۸۳	۹/۳۷	۳۲/۱٤	٥٦۲/۰٥	۲۰/۸۰	۹/۳۲	۱٦/۰۷	۰/۹۹	۲٥/٥۰	۱۸/۷۹
	میانه	۷٦/۹۷	۹/٥۹	۲۲/۳٤	٤۱۲/۳۸	۱٦/۰٤	۹/۳۸	۱٥/٤۸	۰/۸٦	۲۱/۳٤	۱٤/۷٤
	کمینه	۲٥/٥٦	۰/۰۸	۷/٥٤	۲٤۱/۱۹	۱/٥۷	۲/۲۷	۲/۰٤	۰/۰۲	۳/۷٦	۱/٥٤
	بیشینه	۲۰۹/۲۷	۲۳/٦٥	۸۲/۰۲	۱٤۳۱/۹۸	٥٥/۹۹	۱۸/۳۷	۳۸/۹۷	۳/۱۷	٦٥/۸۷	٤۷/۸۱
	انحراف معیار	٥۳/۸٥	۷/۲۲	۲۳/٦۹	۳۲۰/۸۰	۱٦/٤۷	٥/۰۳	۱۱/۳٤	۰/۷٦	۱۷/۸٤	۱۳/۷٥
تاریخ انقضا	میانگین	۹۸/۲٤	۱۱/۷۸	۳٥/۲٦	٥۷۳/۰۲	۲۳/۱۷	۸/۷۳	۱۸/۳٤	۱/۱۸	۳۱/۷۰	۲۲/۰٦
	میانه	۸۲/۹۰	۱۱/۲۷	۲٦/۱۰	٥۲۸/۲۱	۲۱/٥۰	۷/۷۰	۱٦/٦۹	۰/۷۹	۲۲/۱٥	۱۹/٦۳
	کمینه	۲۲/٥۲	۰/۱٥	۸/٦٥	۲۲۰/٦۷	۲/۸٤	۲/۱۷	۲/۰٦	۰/۰۲	۱۰/٦٥	۳/۱٤
	بیشینه	۲۱۱/۰۷	۲۷/۱٦	۹٦/۱٥	۱۰۱۱/٦٥	۷۷/۳۲	۱۸/۲۷	٤۱/٤۷	۳/٤۲	۸۷/۸٥	٥۳/٦۹
	انحراف معیار	٥٥/٤۰	۸/۷۱	۲٥/۰۲	۲۷٥/۹۲	۱۸/۱۲	٥/۲۸	۱۳/۰٦	۰/۸۹	۲۳/٦۹	۱٥/۷۸
p		۰/٤٤	۰/۳۰	۰/٦٦	۰/۹۰	۰/٦٤	۰/٦۹	۰/٥۲	۰/٥۳	۰/۳۱	۰/٤٥

غلظت عناصر سمی و ضروری در حجم‌های مختلف بسته‌بندی در نمونه‌های ماست و کشک

جدول ۵ میزان عناصر سمی و ضروری در نمونه‌های ماست و کشک با حجم مختلف نشان می‌دهد. بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر بدست آمده در بسته‌بندی‌های بزرگ و کوچک مربوط به Fe و Cd بود (در نمونه‌های کوچک به ترتیب ۵۷۰/۳۸ و ۰/۹۵ µg/kg و در نمونه‌های بزرگ به ترتیب ۵۶۴/۶۹ و ۱/۲۲ µg/kg). همچنین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر (µg/kg) ضروری در حجم‌های مختلف بسته‌بندی به ترتیب مربوط به آهن (کوچک:۵۷۰/۳۸ و بزرگ:۵۶۴/۶۹) و کبالت (کوچک: ۷/۳۲ و بزرگ:۱۳/۸۴) بود و بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر سمی به ترتیب مربوط به آرسنیک (کوچک:۲۷/۰۵ و بزرگ:۳۰/۱۵) و کادمیوم (کوچک:۰/۹۵ و بزرگ:۱/۲۲) بود.

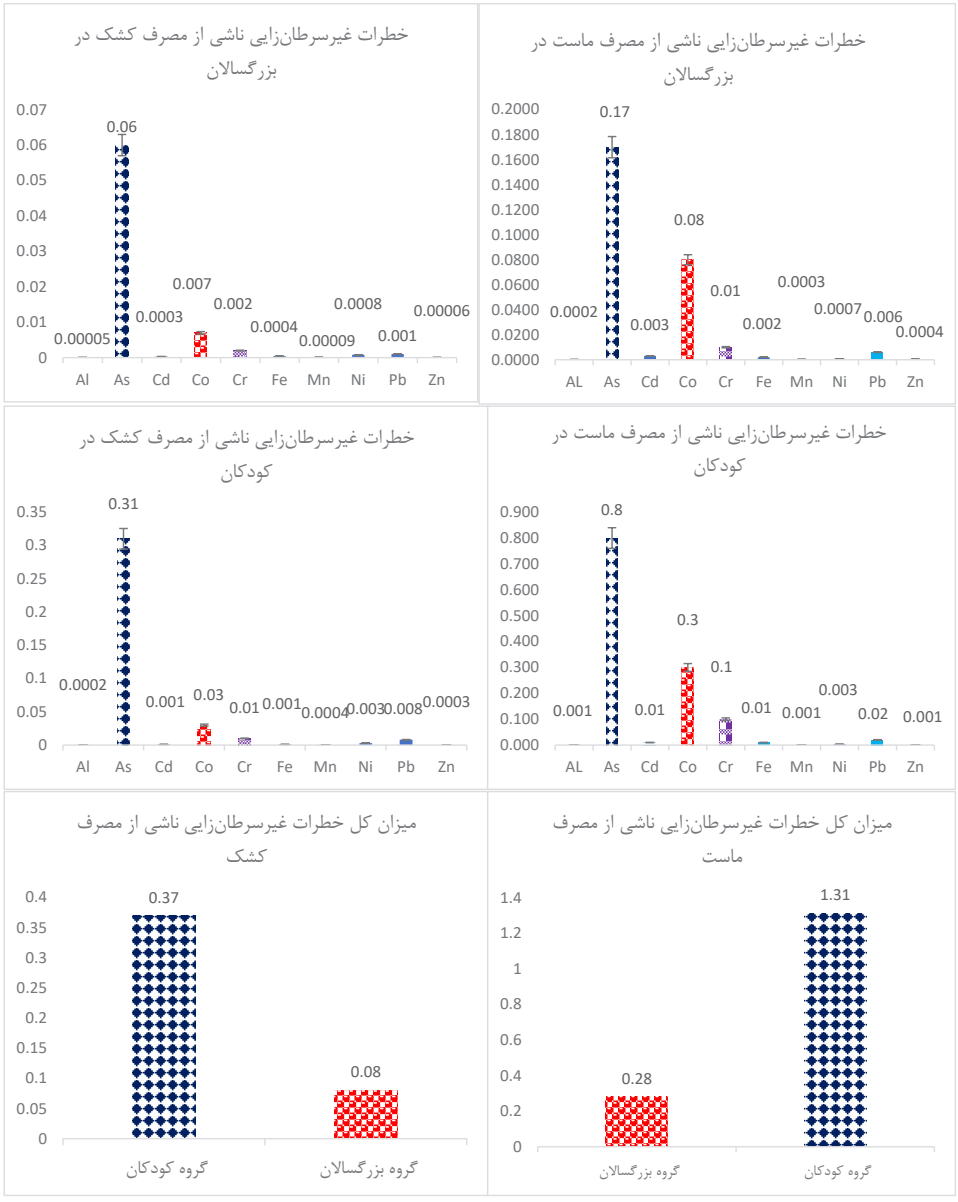
جدول ۵- غلظت عناصر در حجم‌های مختلف بسته‌بندی نمونه‌های ماست و کشک (µg/kg)

حجم		عناصر ضروری							عناصر سمی			
		Zn	Co	Mn	Fe	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Al
کوچک	میانگین	۹۲/۱۷	۷/۳۲	۳۰/٤۸	٥۷۰/۳۸	۱۸/۰۹	۱٦/۰۳	۸/۰۳	۰/۹٥	۲۷/۰٥	۱۸/۱۹
	میانه	۸۲/۳۹	٦/۳۷	۲۲/۳٤	٤٦۳/۳۹	۱۲/۸۹	۱۱/۸۲	۷/۷۷	۰/٥٤	۲۲/۱٥	۹/٤۷
	کمینه	۲۲/٥۲	۰/۰۸	۸/٦٥	۲۲۰/٦۷	۱/٥۷	۲/۰٤	۲/۲۲	۰/۰۲	٦/٤٤	۱/٥٤
	بیشینه	۲۱۱/۰۷	۲۲/٥۰	۸۲/۰۲	۱٤۳۱/۹۸	٥۳/۸۹	٤۱/٤۷	۱۸/۳۷	۳/۱۷	۸۷/۸٥	٥۳/٦۹
	انحراف معیار	٦۳/۲۷	٦/۸۱	۲۲/٥۸	۳۱٦/۳۱	۱٤/۸۱	۱۳/٦۲	٤/۹۲	۰/٥٤	۱۹/۷۷	۱٦/٦٥
بزرگ	میانگین	۹۱/۹۰	۱۳/۸٤	۳٦/۹۲	٥٦٤/٦۹	۲٥/۸۸	۱۸/۳۷	۱۰/۰۲	۱/۲۲	۳۰/۱٥	۲۲/٦۷
	میانه	۸۱/٥٥	۱٥/۰۸	۲٥/۸۸	٤٤۳/۹۹	۲۳/۰۰	۱۷/۹۹	۱۰/٦۱	۱/۰٤	۲۱/۳٤	۱۹/۱۱
	کمینه	۲٥/٥٦	۰/۸۳	۷/٥٤	۲۳۱/۹۸	۳/۷۲	۲/۱۷	۲/۱۷	۰/۰۲	۳/۷٦	٤/٥٦
	بیشینه	۲۰٤/٤۹	۲۷/۱٦	۹٦/۱٥	۱۰۱۱/٦٥	۷۷/۳۲	۳٥/۹۲	۱۸/۲۷	۳/٤۲	۷۳/۹۸	٤٥/٥٤
	انحراف معیار	٤٥/۲٤	۷/۹۰	۲٥/۷۱	۲۸۱/۱٤	۱۸/۷٥	۱۰/٦٦	٥/۲۱	۰/٦٥	۲۲/٤٥	۱۲/٤۹
p		۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۳٦	۰/۹٥	۰/۱۲	۰/٥۱	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/٦۱	۰/۳۰

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

ارزیابی ریسک

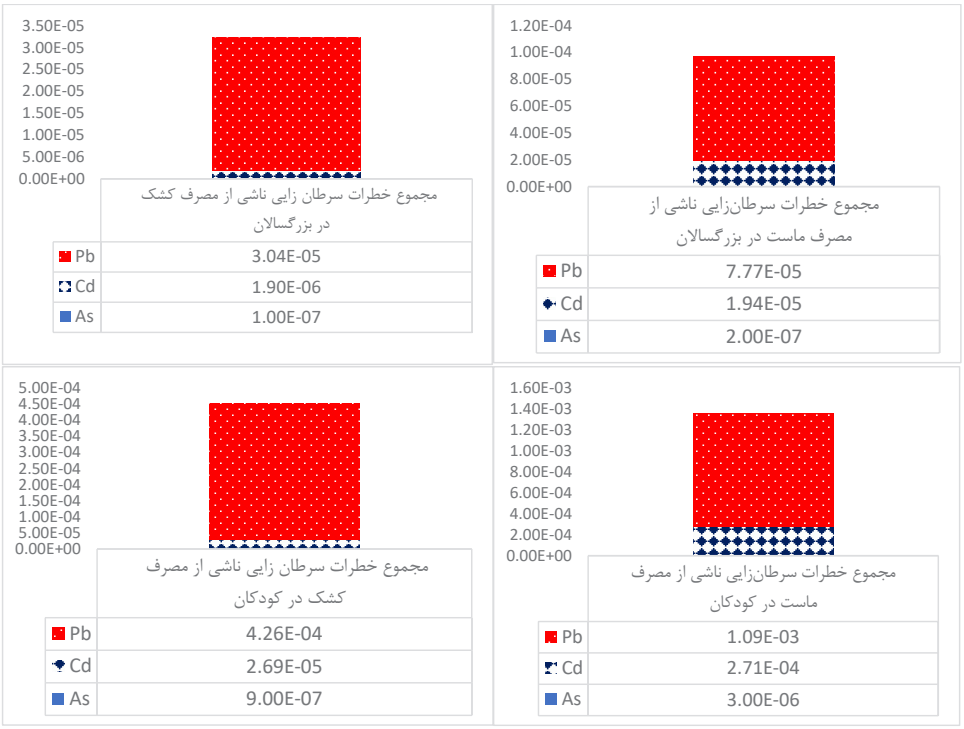
بررسی خطرات غیرسرطان‌زایی در ماده غذایی کشک با متد LHC بیانگر آن بود که شاخص TTHQ برای کودکان برابر با ۰/۳۷ و برای بزرگسالان برابر با ۰/۰۸ است. همچنین بررسی خطرات غیرسرطان‌زایی در ماده غذایی ماست با همین متد بیانگر آن بود که شاخص TTHQ برای کودکان برابر با ۱/۳۱ و برای بزرگسالان برابر با ۰/۲۸ است (نمودار ۱). در ماست و کشک برای هر دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان به ترتیب عناصر As، Co و Cr سبب افزایش TTHQ می‌شوند (نمودار ۱).



نمودار ۱- مقایسه مقادیر حاصل از ارزیابی ریسک خطرات غیرسرطانزایی در دو گروه کودکان و بزرگسالان و نمایش عناصر افزایش‌دهنده خطرات غیرسرطان‌زایی در نمونه‌های کشک و ماست به روش ابر مکعب لاتین با حدود اطمینان ۹۵ درصد

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سرطان‌زایی در نمونه‌های کشک بیانگر آن بود که میزان TILCR در گروه کودکان برابر با ۰/۰۰۰۴ و در بزرگسالان برابر با ۰/۰۰۰۰۳ است (نمودار ۲). تفاسیر خطرات سرطان‌زایی در ماده غذایی ماست بدین صورت است که میزان TILCR در گروه کودکان برابر با ۰/۰۰۱ و در بزرگسالان برابر با ۰/۰۰۰۰۹۷۳ است (نمودار ۲). نتایج ارزیابی ریسک سرطان‌زایی در نمونه‌های کشک و ماست برای هر دو گروه بزرگسالان و کودکان بیانگر آن بود که عنصر Pb بیشترین نقش را در افزایش خطرات سرطان‌زایی دارد (نمودار ۲).



نمودار ۲- مقایسه مقادیر حاصل از ارزیابی ریسک خطرات سرطان‌زایی در دو گروه کودکان و بزرگسالان در ماده غذایی کشک و ماست به روش ابر مکعب لاتین با حدود اطمینان ۹۵ درصد

بحث

آزمون کروسکال والیس نشان داد که تفاوت معناداری بین میزان عناصر سمی و ضروری Zn, As, Fe, Mn در نمونه‌های کشک و ماست به تفکیک وجود دارد (p <۰/۰۵). همچنین این آزمون آماری نشان داد که تفاوت معناداری بین میزان عناصر سمی و ضروری در بین تاریخ‌های مختلف در نمونه‌های ماست و کشک وجود ندارد (p ≥۰/۰۵) و نیز بجز در Co، تفاوت معناداری بین میزان عناصر سمی و ضروری در بین حجم‌های مختلف بسته‌بندی در نمونه‌های ماست و کشک وجود ندارد (p≥ ۰/۰۵).

حدود مجاز ذکر شده برای عناصر Al، As، Cd، Fe، Mn و Pb به ترتیب ۵۰۰، ۱۴۰، ۱۰، ۲۷۰۰، ۱۰۰ و ۲۰ µg/kg است و تاکنون برای سایر فلزات در استانداردهای مذکور حدود مجازی تعیین نشده است. بنابراین با توجه به نتایج بدست

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

آمده در این مطالعه، میانگین عناصر در تمامی نمونه‌ها از استانداردهای موجود کمتر است. با توجه به نتایج جدول ۳ به غیر از میانگین سه عنصر Pb، Co و Cd که کمی در ماست بیشتر از کشک است، میانگین سایر عناصر همگی در کشک به مقدار قابل توجهی بیشتر بودند. با توجه به نتایج بدست آمده میانگین تمامی عناصر در ماست و کشک پایین تر از استانداردهای اشاره شده بود. با توجه به جدول ۴ میانگین همه عناصر در زمان تاریخ انقضا بالاتر از تاریخ تولید بود به غیر از Pb که به میزان بسیار جزئی پایین‌تر به دست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۵، که غلظت عناصر در نمونه محصولات لبنی با ابعاد کوچک و بزرگ را نشان می‌دهد، می‌توان بیان نمود میزان میانگین همه عناصر (به جز Zn و Fe) در نمونه‌های با بسته‌بندی بزرگ‌تر، بیشتر بوده است البته میزان میانگین آن دو عنصر در نمونه‌های کوچک‌تر، به میزان بسیار جزئی بیشتر به دست آمد.

Elsherif و همکاران میزان عناصر Pb، Cu، Cd، Cr و Zn در نمونه‌های شیر و محصولات لبنی (ماست و دوغ) مختلف را مورد ارزیابی قرار دادند و بیان نمودند که آن‌ها به ترتیب ۰/۸۶۰، ۰/۵۶۸، ۰/۸۶۲، ۰/۸۶۷ و ۱۱۵/۹۲ mg/kg بودند (۲۰). در مطالعه دیگری Ghafari و همکاران میزان عناصر Cd، Pb، Cu و Zn را در کره و پنیر مورد ارزیابی قرار دادند و اظهار نمودند که میانگین این عناصر در نمونه‌های پنیر به ترتیب ۰/۷۰، ۱۲/۸۵، ۳۹/۴۳ و ۱۹۸/۰۸ µg/kg و در نمونه‌های کره به ترتیب ۰/۸۳، ۲۱/۷۵، ۶/۲۵ و ۱۳۱/۳۵ µg/kg بود (۲۱). Molaaei و همکاران در سال ۲۰۱۵، تعداد ۲۵ نمونه شیر خشک از ۴ کارخانه مختلف تهیه و برای تعیین میزان Pb و Cd از روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی کوره گرافیتی استفاده نمودند. نتایج حاصل نشان داد میانگین مقدار Pb ng/kg ۳۶/۵۷ (کمینه ng/kg ۱۸/۹۹ و بیشینه ng/kg ۹۰/۱۱۲) و میانگین مقدار Cd ng/kg ۱۱/۱۴ (کمینه ng/kg ۵/۷۳ و بیشینه ng/kg ۴۳/۳۹) بود. در این مطالعه مقدار Pb در همه نمونه‌های شیر خشک کمتر از میزان استاندارد و آلودگی Cd در ۶۸ درصد نمونه‌ها بیش از حد مجاز استاندارد بین‌المللی مشاهده گردید (۲۲). همچنین در سال ۲۰۱۲، میزان فلزات Cd و Pb توسط Dizaji و همکاران را در نمونه‌های شیر خام موجود در مناطق مختلف کشور بررسی شد و نتایج نشان داد Pb تمام نمونه‌ها پایین‌تر از استانداردهای موجود و Cd در ۲۸ درصد نمونه‌ها بیشتر از استانداردهای موجود بود (۲۸). Buldini و همکاران در سال ۲۰۰۲، میزان فلزات Cu، Fe، Pb و Zn را در نمونه‌های شیر بررسی نمودند و نتایج نشان داد میزان این ترکیبات از مقدار یافت نشده (ND) تا µg/kg ۴۶۲۰۰ متغیر است (۲۹). در مطالعه دیگری توسط Reykdal و همکاران که در سال ۲۰۱۱ بر روی میزان فلزات Cu، Fe، Zn و Hg در شیرهای کشور ایسلند انجام شد، میزان این فلزات بین ۴۱ تا µg/kg ۴۳۳۰ گزارش گردید (۳۰). Khan و همکاران در سال ۲۰۱۴، میزان فلزات Cd، As، Zn، Mn، Cu و Pb را در نمونه‌های شیر کشور کره بررسی نمودند و میزان این ترکیبات بین ۱/۹۰ تا µg/kg ۴۷۵۴ و در مواردی بیشتر از استانداردهای موجود بود (۳۱). همچنین Meshref و همکاران در سال ۲۰۱۴، در کشور مصر، نمونه‌های شیر و فرآورده‌های آن را از لحاظ میزان فلزات Cu، Fe، Zn، Cd و Pb ارزیابی کردند و Pb در تمام نمونه‌ها بیشتر از استانداردهای موجود بود (۳۲).

فلزات سمی و ضروری در ماست و کشک به دلیل وجود منابع طبیعی و فرآیندهای تولید این محصولات لبنی ممکن است به وجود بیایند. فلزات ضروری (مانند Mn، Cr، Co، Fe و Zn) برای عملکرد صحیح بدن انسان لازم هستند. این فلزات در محصولات لبنی مانند ماست و کشک به دلیل وجود شیر و فرآورده‌های آن یافت می‌شوند. شیر منبع غنی از این مواد معدنی است که به رشد و سلامت استخوان‌ها، سیستم ایمنی و سایر عملکردهای بیولوژیکی کمک می‌کند (۱، ۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹).

محتوای بیشتر فلزات سنگین در فرآورده‌های لبنی ممکن است ناشی از آلودگی در حین جابجایی، قرار گرفتن در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

معرض تجهیزات فرآوری در طول فرآوری و نگهداری باشد. در طول فرآوری با تجهیزات فولاد و آلومینیوم، ممکن است چنین آلودگی‌هایی ایجاد شود. تفاوت در غلظت فلزات سنگین در مواد غذایی می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند تفاوت گونه‌ها، مشخصات روش‌های تولید و آلودگی احتمالاً توسط تجهیزات در طول فرآیند تولید باشد. تجهیزات و اکسیداسیون ظروف تحت تأثیر چندین مورد مانند کیفیت مواد خام مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، pH و بهبود اکسیداسیون ممکن است سطح فلزات سنگین را در نمونه‌ها افزایش دهد. وجود فلزات سنگین در شیر خام ممکن است بر غلظت فلزات سنگین در ماست و کشک تأثیر بگذارد. افزایش غلظت Pb در ماست و کشک ممکن است به دلیل آلودگی شیر خام مورد استفاده در تولید این محصولات باشد. یکی از علل آلودگی شیر و در نتیجه آلودگی فرآورده‌های آن، قرارگرفتن مزارع در نزدیکی بزرگراه‌ها است که ممکن است منجر به آلودگی آب و خوراک دام شود. محصولات لبنی مانند ماست و کشک حاوی غلظت بسیار کم Cd هستند، به استثنای مواردی که حیوانات روزانه از خوراک و آب آلوده استفاده می‌کنند. علاوه بر این، آلودگی به Cd و سایر فلزات ممکن است در حین نگهداری و حمل و نقل شیر رخ دهد. حرارت یا انجماد تغییرات قابل توجهی در سطح و توزیع Pb در فرآورده‌های شیر و شیر گاو ایجاد نمی‌کند، همچنین غلظت Pb در شیر گاو عمدتاً به سطح کازئین بستگی دارد، درحالیکه با فرآیند خشک کردن، غلظت Pb به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین، میانگین غلظت Al بالاتر از حد استاندارد بود که ممکن است به دلیل مهاجرت Al از مواد بسته‌بندی به شیر باشد. شیر و فرآورده‌های لبنی به طور گسترده‌ای مصرف می‌شوند، بنابراین در نوزادان، غنی سازی شیر می‌تواند بیشتر کمبود مواد مغذی را برای کودکان رفع کند. بنابراین طبق مطالعات متعدد، غلظت بالای Fe و Zn در فرآورده‌های لبنی ممکن است به دلیل غنی‌سازی نمونه توسط Fe و Zn باشد (۱، ۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹).

بالاتر بودن میزان اکثر عناصر در کشک (نسبت به ماست) می‌تواند به این دلیل باشد که کشک محصول جانبی ماست است و نسبت به ماست بسیار غلیظ‌تر بوده و مواد اضافی مانند آرد و غیره به آن اضافه می‌گردد، بنابراین ممکن است این عوامل روی افزایش میزان عناصر در کشک موثر بوده باشد. بالاتر بودن اکثر عناصر در زمان تاریخ انقضا می‌تواند به دلیل مهاجرت عناصر از بسته‌بندی در طول نگهداری و نیز به دلیل تغییرات شیمیایی یا حتی فیزیکی عناصر در طول نگهداری باشد. بالاتر بودن میزان اکثر عناصر در بسته‌بندی‌های با حجم بیشتر می‌تواند به دلیل افزایش مقدار نمونه و نیز نسبت سطح به حجم در آن‌ها باشد که احتمالاً باعث تغییرات جزئی در میزان عناصر شده است. متغیر بودن میزان عناصر در نام‌های تجاری مختلف می‌تواند به دلایل مختلفی مانند استفاده از مواد اولیه با کیفیت متفاوت (مانند شیر، آرد و غیره)، استفاده از مواد بسته‌بندی با کیفیت متفاوت، استفاده از تجهیزات مختلف حین آماده‌سازی محصول و غیره باشد که همه این عوامل می‌تواند روی میزان عناصر بسیار موثر باشند (۱، ۱۴، ۲۴).

در این مطالعه در تمامی نمونه‌ها، بالاترین و پایین‌ترین میانگین عناصر به ترتیب مربوط به Fe و Cd بوده است (جدول ۲) و نتایج ارزیابی ریسک ناشی از خطرات غیرسرطان‌زایی در ماست نشان‌دهنده وجود خطرات برای کودکان در مقایسه با بزرگسالان بود (TTHQ کودکان (۱/۳۱) > بزرگسالان (۰/۲۸)) و این یعنی کودکان ۴/۶۷ برابر بزرگسالان در معرض خطرات غیرسرطان‌زایی ناشی از مصرف ماست قرار می‌گیرند (نمودار ۱). همچنین نتایج ارزیابی ریسک ناشی از خطرات غیرسرطان‌زایی در کشک برای هر دو گروه در حدود ایمن و کمتر از یک بود (TTHQ کودکان (۰/۳۷) > بزرگسالان (۰/۰۸)) (نمودار ۱). بطورکلی نتایج بیانگر این است که با مصرف مواد لبنی ماست و کشک کودکان به میزان بسیار جزئی در معرض خطرات غیرسرطان‌زایی ناشی از مصرف ماست قرار می‌گیرند. عناصری که سبب افزایش TTHQ در ماست و کشک هستند به ترتیب مقدار شامل As>Co>Cr هستند (نمودار ۱) که احتمالاً بدلیل آلودگی ماده اولیه، یعنی شیر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

با تجهیزات و ظروف مورد استفاده در جمع‌آوری نمونه‌ها یا آلودگی‌های حین فرایند می‌باشد. خطرات نتایج ارزیابی ریسک ناشی از خطرات سرطان‌زایی در ماست نشان‌دهنده این بود که TILCR کودکان ۰/۰۰۱ و بزرگسالان ۰/۰۰۰۰۹۷۳ است. با توجه به توصیه USEPA در مورد خطرات سرطان‌زایی درصورتیکه شاخص TILCR مابین اعداد 10^{-4} تا 10^{-6} باشد خطر ناشی از مصرف آن ماده غذایی ناچیز است؛ بنابراین باتوجه به اعداد بدست آمده نتیجه‌گیری می‌شود که خطرات سرطان‌زایی ناشی از مصرف ماست کودکان را تهدید می‌کند این در حالیست که بزرگسالان در معرض خطرات سرطان‌زایی ناشی از مصرف روزانه ماست قرار نمی‌گیرند (نمودار ۲).

همچنین نتایج ارزیابی ریسک ناشی از خطرات سرطان‌زایی در کشک نشان‌دهنده این بود که کودکان در معرض خطرات سرطان‌زایی ناشی از مصرف روزانه کشک قرار می‌گیرند؛ این درحالیست که خطرات سرطان‌زایی بزرگسالان را تهدید نمی‌کند، میزان TILCR کودکان ۰/۰۰۰۴ و بزرگسالان ۰/۰۰۰۰۳ است و کودکان ۱۳/۸۸ برابر بزرگسالان در معرض این خطرات قرار دارند. البته در این مطالعه به ارزیابی ریسک ناشی از دو ماده غذایی ماست و کشک پرداخته شد این در حالیست که رژیم غذایی شامل انواع گروه‌های غذایی است که برآورد ریسک ناشی از فلزات در تمامی موارد باید گزارش شود نه صرفا ماده غذایی کشک و ماست، ولی بطورکلی نتایج این مطالعه بیانگر آن است که مصرف ماست و کشک سبب خطرات سرطان‌زایی در کودکان می‌شود و با مصرف این دو ماده خطری متوجه بزرگسالان نیست (نمودار ۲). در نمونه‌های ماست و کشک در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان عنصر Pb بیشترین نقش را در افزایش خطرات سرطان‌زایی داشت (نمودار ۲) که احتمالاً بدلیل آلودگی غذای دام با آفت‌کش‌های حاوی فلزات سنگین بوده که این فلزات به مرور زمان در شیر تجمع می‌یابند و سبب آلودگی شیر و محصولات مشتق شده ناشی از آن می‌شوند. البته آلودگی شیر با تجهیزات و ظروف مورد استفاده در جمع‌آوری نمونه‌ها یا آلودگی‌های حین فرایند نیز می‌تواند عامل این افزایش باشد. نتایج حاصل از این مطالعه با برخی از مطالعات صورت گرفته همسو و با برخی دیگر غیر همسو است. در مطالعه Kiani و همکاران که با هدف ارزیابی احتمالی خطر سلامتی عناصر در غذای کودک و پودر شیر خشک با استفاده از روش ICP-OES در ایران انجام شد، نتایج شبیه سازی مونت کارلو برای نوزادان نشان داد که میزان خطرات غیر سرطان‌زایی و سرطان‌زایی کمتر از حدود اعلام شده توسط USEPA بود و میزان فلزات سنگین در غذای کودک و شیرخشک کمتر از حدود تعیین شده بود و THQ عناصر Hg> Ni> As> Cd> Al بود. در نتیجه، پودر و غذای کودک فروخته شده در ایران برای نوزادان و کودکان بی‌خطر در نظر گرفته شد (۲). در مطالعه Hashemi و همکاران که با هدف ارزیابی ریسک فلزات سنگین در لبنیات جمع آوری شده از بوشهر صورت گرفت محصولاتی مانند شیر، ماست، پنیر، کره و خامه مورد آنالیز قرار گرفتند و یافته‌های کار به وضوح نشان داد که محصولات لبنی حاوی مقادیر قابل قبولی Pb و Cd بودند. مصرف این لبنیات تقریبا بدون خطرات احتمالی می‌باشد (۳۳). در مطالعه Yasotha و همکاران که با هدف ارزیابی خطرات سلامتی مرتبط با مواجهه با فلزات سنگین از طریق مصرف شیر گاوهای پرورش یافته در اطراف مناطق صنعتی در هند انجام شد، فلزات سنگینی مانند Cu، Zn، Cr، Pb و Cd در آب و علوفه و همچنین در شیر تولید شده توسط گاوهای شیری پرورش یافته در این مکان ها، با استفاده از طیف سنجی پلاسما-جرمی جفت القایی تعیین شدند. در نمونه‌های شیر، بیشترین میزان Cd و Pb به ترتیب ۰/۱۸ mg/L و mg/L ۰/۳۷ بود که بالاتر از حد مجاز بین‌المللی بود. ارزیابی مواجهه نشان داد که مصرف‌کنندگان شیر بخصوص کودکان بیشتر در معرض عناصری چون Zn، Cd و Pb قرار داشتند و میزان شاخص خطرات سرطان‌زایی برای آن‌ها بیشتر از 10^{-4} بود؛ بنابراین این گروه توسط خطرات بالقوه سلامتی تهدید می‌شدند (۳۴). در مطالعه Zafarzadeh و همکاران که با هدف ارزیابی خطرات سلامتی مربوط به عنصر Cd در محصولات لبنی در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

گرگان انجام گرفت، میزان عنصر Cd با دستگاه ICP-OES در محصولاتی چون پنیر و کره اندازه‌گیری شد و میزان آن از ۰/۰۱ تا ۲/۵ mg/g متغیر بود. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک برای این عنصر بیانگر آن بود که THQ این عنصر در برخی نمونه‌ها بالاتر از یک بود و کودکان بیشتر از زنان و مردان در معرض این خطرات بودند و خطرات سلامتی ناشی از این عنصر در محصولات کره و پنیر متوجه تمامی گروه‌های مصرف‌کننده بود (۳۵).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر میزان عناصر سمی و ضروری با روش ICP-OES در نمونه‌های ماست و کشک موجود در شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که Fe در تمامی نمونه‌ها دارای بیشترین مقدار و غلظت عناصر Pb و Cd در تمامی نمونه‌ها دارای پایین‌ترین مقدار بود. همینطور با تعدادی استثنا، میزان میانگین عناصر در کشک بیشتر از ماست بود و نیز در نمونه‌های تاریخ انقضا میزان عناصر کمی بیشتر از نمونه‌های تاریخ تولید و در نمونه‌های با حجم بزرگتر میزان عناصر کمی بیشتر از نمونه‌های با حجم کوچکتر به دست آمد. این نکته شایان توجه است که میانگین تمامی عناصر در تمامی نمونه‌ها پایین تر از استانداردهای موجود بوده است که نشان از کیفیت مناسب این دو محصول در ایران است. اما نتایج ارزیابی ریسک نشان‌دهنده بالا بودن میزان خطرات غیرسرطان‌زایی در ماست برای کودکان و بالابودن میزان خطرات سرطان‌زایی در ماست و کشک برای کودکان می‌باشد که نیاز به نظارت های بیشتر توسط سازمان های مربوطه احساس می شود تا به سطح استانداردهای بین المللی (مانند آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده) برسند. وجود فلزات ضروری در ماست و کشک به دلیل منابع طبیعی و ارزش غذایی این محصولات است، اما وجود فلزات سمی ناشی از آلودگی‌های محیطی و فرآیندهای تولید می‌باشد. برای کاهش خطرات ناشی از فلزات سمی، نظارت بر کیفیت آب و خاک، استفاده از خوراک سالم برای دام‌ها و رعایت استانداردهای بهداشتی در تولید لبنیات ضروری است. از جمله محدودیت‌های این مطالعه، کمبود منابع مالی بوده که بررسی روی تمامی محصولات لبنی صورت نگرفته است. در نهایت پیشنهاد می‌شود که محققان در آینده میزان این عناصر را در سایر محصولات لبنی مانند دوغ، کفیر، کره، پنیر، خامه، بستنی و غیره نیز مورد ارزیابی قرار دهند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. لازم به ذکر است کد اخلاق طرح IR.SBMU.PHARMACY.REC.1402.307 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی میزان استرهای فتالات و فلزهای کمیاب برخی فرآورده های لبنی عرضه شده در بطری‌های پلاستیکی شهر تهران" در سال ۱۴۰۲ با کد ۳۲۴۲۸ است که با حمایت مرکز تحقیقات سلامت غذا دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی اجرا شده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

References

1. Karimi F, Rezaei M, Shariatifar N, Alikord M, Arabameri M, Moazzen M. Probabilistic health risk assessment and concentration of trace elements in meat, egg, and milk of Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2023;103(18):6940-51.

2. Kiani A, Arabameri M, Moazzen M, Shariatifar N, Aeenehvand S, Khaniki GJ, et al. Probabilistic health risk assessment of trace elements in baby food and milk powder using ICP-OES method. Biological Trace Element Research. 2021:1-12.

3. Pourjoula M, Picariello G, Garro G, D'Auria G, Nitride C, Ghaisari AR, et al. The protein and peptide fractions of kashk, a traditional Middle East fermented dairy product. Food Research International. 2020;132:109107.

4. Lee WJ, Lucey J. Formation and physical properties of yogurt. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2010;23(9):1127-36.

5. Moavi Z, Payandeh K, Tadayoni M. Risk assessment of health and ecological some of heavy metals in lettuce, cabbage, and soil of Dezful, Ramhormoz, and Hamidiyeh farms. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(1):23-42 (in Persian).

6. Abbasi N, Mohammadi Galangash M. Investigation of heavy metal concentrations in agricultural topsoil of Miandoab landfill area. Iranian Journal of Health and Environment. 202417(2):343-58; (in Persian).

7. Zarasvandi A, Delphi M, Azizi N, Rastmanesh F, Zarasvandi G. Investigating the factors of pollution and the health risk caused by heavy metals in the dust inside the cabin and air filter of different cars in Ahvaz city. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(3):501-14 (in Persian).

8. Błasiak J, Kowalik J. A comparison of the in vitro genotoxicity of tri-and hexavalent chromium. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2000;469(1):135-45.

9. Chen T, Zhou Z, Xu S, Wang H, Lu W. Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge. Bioresource Technology. 2015;190:388-94.

10. Kerger B, Paustenbach D, Corbett G, Finley B. Absorption and elimination of trivalent and hexavalent chromium in humans following ingestion of a bolus dose in drinking water. Toxicology and Applied Pharmacology. 1996;141(1):145-58.

11. Bati K, Mogobe O, Masamba WR. Concentrations of some trace elements in vegetables sold at Maun market, Botswana.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

Journal of Food Research. 2017;6(1):1927-0887.

12. Ekholm P, Reinivuo H, Mattila P, Pakkala H, Koponen J, Happonen A, et al. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. Journal of Food Composition and Analysis. 2007;20(6):487-95.

13. Shariatifar N, Rezaei M, Alizadeh Sani M, Alimohammadi M, Arabameri M. Assessment of rice marketed in Iran with emphasis on toxic and essential elements; effect of different cooking methods. Biological Trace Element Research. 2020;198:721-31.

14. Kargarghomsheh P, Tooryan F, Sharifiarab G, Moazzen M, Shariatifar N, Arabameri M. Evaluation of trace elements in coffee and mixed coffee samples using ICP-OES method. Biological Trace Element Research. 2023:1-9.

15. Arabameri M, Naghashan M, Ahmadloo M, Moazzen M, Aliabadi AG, Shariatifar N. Analysis of Elements and Physicochemical and Microbial Properties of Iranian Honeys. Biological Trace Element Research. 2023:1-9.

16. Bakircioglu D, Topraksever N, Yurtsever S, Kurtulus YB. ICP-OES determination of some trace elements in herbal oils using a three-phase emulsion method and comparison with conventional methods. At Spectrosc. 2018;39(1):38-45.

17. Eghbaljoo Gharehgheshlaghi H, Shariatifar N, Arab A, Alizadeh Sani M, Sani Karimi I, Asdagh A, et al. The concentration and probabilistic health risk assessment of trace metals in three type of sesame seeds using ICP-OES in Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022;102(17):5936-50.

18. Habibi H, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Sadr MK. Analysis, sources and health risk assessment of trace elements in street dust collected from the city of Hamedan, west of Iran. Arabian Journal of Geosciences. 2022;15(2):168.

19. Karami H, Shariatifar N, Nazmara S, Moazzen M, Mahmoodi B, Mousavi Khaneghah A. The concentration and probabilistic health risk of potentially toxic elements (PTEs) in edible mushrooms (wild and cultivated) samples collected from different cities of Iran. Biological Trace Element Research. 2021;199(1):389-400.

20. Elsherif KM, Khater RAA, Hegaig FA. Determination of major and minor elements in dairy products produced in Misurata city–Libya. Maghrebian Journal of Pure and Applied Science. 2017;3(2):9-17.

21. Ghafari HR, Sobhanardakani S. Contamination and health risks from heavy metals (Cd and Pb) and trace elements (Cu and Zn) in dairy products. Iranian Journal of Health Sciences. 2017;5(3):49-57.

22. Mollaei PM, Karim G, Ahmadi M. Determination of lead and cadmium contamination

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

28. Asadi Dizaji A, Eshaghi A, Golshani Aghajanzadeh A, Nazeradl K, Yari AA, Hoda S. Evaluation and determination of toxic metals (Lead and Cadmium) in cow milk collected from East Azerbaijan, Iran. European Journal of Experimental Biology. 2012;2(1):261-65.

29. Buldini PL, Cavalli S, Sharma JL. Matrix removal for the ion chromatographic determination of some trace elements in milk. Microchemical Journal. 2002;72(3):277-84.

30. Reykdal O, Rabieh S, Steingrimsdottir L, Gunnlaugsdottir H. Minerals and trace elements in Icelandic dairy products and meat. Journal of Food Composition and Analysis. 2011;24(7):980-86.

31. Khan N, Jeong IS, Hwang IM, Kim JS, Choi SH, Nho EY, et al. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Food Chemistry. 2014;147:220-24.

32. Meshref AM, Moselhy WA, Hassan NEHY. Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. Journal of Food Measurement and Characterization. 2014;8:381-88.

33. Hashemi S, Arfaeinia H, Ardashiri S, Karimyan K. Health risk assessment of exposure to heavy metals in dairy products collected from Bushehr, Iran. Annals of Tropical Medicine and Public Health. 2017;10(3).

34. Yasotha A, Dabadé DS, Singh VP, levels in industrial milk powders produced in Tehran. 2015;4(16):69-91 (in Persian).

23. Khodaei SM, Esfandiari Z, Sami M, Ahmadi A. Determination of metal (oids) in different traditional flat breads distributed in Isfahan city, Iran: health risk assessment study by Latin hypercube sampling. Toxicology Reports. 2023;10:382-88.

24. Tooryan F, Moazzen M, Anvar N, Arabameri M, Shariatifar N, Kargarghomsheh P. Analysis of elements and effects of common disinfectants in common salad vegetables. Biological Trace Element Research. 2024:1-12.

25. Moazzen M, Mortazavian AM, Shariatifar N, Sohrabvandi S, Khanniri E, Arabameri M. Investigation of PAEs in some dairy products (yogurt and kashk) using method of MSPE-GC/MS: a health risk assessment study. Environmental Science and Pollution Research. 2024;23:1-3.

26. Marvdashti LM, Milani H, Abdolshahi A, Khodaei SM, Zad SS, Shariatifar N, et al. Evaluation of phthalate acid esters (PAEs) in kefir samples by using magnetic chitosan coated with polyaniline (Fe3O4@ CHI@ PANI)/GC–MS method: A health risk assessment study. Microchemical Journal. 2024;207:111801.

27. Basaran B. Comparison of heavy metal levels and health risk assessment of different bread types marketed in Turkey. Journal of Food Composition and Analysis. 2022;108:104443.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

Sivakumar T. Risk assessment of heavy metals in milk from cows reared around industrial areas in India. Environmental Geochemistry and Health. 2021;43:1799-815.

35. Zafarzadeh A, Bonyadi Z, Feyzi K. Health risk assessment related to cadmium in dairy products in Gorgan, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022;102(16):4058-66.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Measurement of toxic and essential metal in yogurt and kashk and risk assessment by Latin Hypercube method

Mojtaba Moazzen[1], Amir Mohammad Mortazavian[2], Nabi Shariatifar[3], Sara Sohrabvandi[1,*], Elham Khanniri[4], Seyedeh Mahsa Khodaei[3]

1- Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Food Technology, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4- Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 December 2024
Revised: 11 March 2025
Accepted: 16 March 2025
Published: 28 May 2025

Keywords: Toxic elements, Essential elements, Yogurt, Kashk, Risk assessment

***Corresponding Author:**
sohrabv@sbmu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Many elements can naturally or artificially enter human food and pose risks to human health. Some of these elements are toxic, while others are essential for humans. The purpose of this study is to investigate the concentrations of toxic elements (aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), and lead (Pb)) and essential elements (cobalt (Co), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), and zinc (Zn)) in yogurt and kashk samples.

Materials and Methods: In this study, the concentration of 10 elements was measured using an ICP-OES device in 48 samples (with two repetitions each) of yogurt and kashk collected from Tehran. The risk associated with human exposure to these metals was then calculated using the Latin Hypercube method.

Results: The results showed that in all samples, the highest and lowest average concentrations of essential elements (in µg/kg) were attributed to iron (567.53) and cobalt (10.58), respectively. Similarly, the highest and lowest average concentrations of toxic elements were attributed to arsenic (28.60) and cadmium (1.08), respectively.

Conclusion: Finally, it can be concluded that the average concentration of all elements—except for Pb, Co, and Cd—was higher in kashk than in yogurt. Additionally, the average concentration of all elements was below the established standards. However, the risk analysis results indicated that children are more exposed to non-carcinogenic risks from yogurt and carcinogenic risks from the consumption of both yogurt and kashk compared to adults.

Please cite this article as: Moazzen M, Mortazavian AM, Shariatifar N, Sohrabvandi S, Khanniri E, Khodaei SM. Measurement of toxic and essential metal in yogurt and kashk and risk assessment by Latin Hypercube method. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):39-58.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran 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/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-22]