مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره نوزدهم ، شماره اول، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۵۷ تا ۷۰

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

تاثیر تولید سنتی بر غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی در مقایسه با شیر خام و ارزیابی ریسک بهداشتی آن

حمیده اکبری[۱]، آیدا جسور[۲]، حسن رسولزاده[۳]، علی ظفرزاده[۴]، روژان فیضی[۵*]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی ممسنی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
۲- گروه پرستاری سلامت جامعه، دانشکده پرستاری، دانشکده علوم پزشکی مراغه، مراغه، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی مراغه، مراغه، ایران
۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۵-گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی بهبهان، بهبهان، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

واژگان کلیدی: ریسک سرطان‌زایی، ریسک غیر سرطان‌زایی، ایمنی غذایی، لبنیات، فلزات سنگین

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به نگرانی های بهداشتی مرتبط با احتمال آلودگی شیر و محصولات لبنی به فلزات سنگین، هدف این مطالعه ارزیابی غلظت سرب، کادمیوم، مس، و روی در شیر خام و محصولات لبنی تهیه شده از آن به شیوه سنتی و ارزیابی ریسک مرتبط با آن بود.

روش بررسی: ۳۰ نمونه شیر خام و محصولات لبنی شامل ماست، پنیر، و دوغ از ده مرکز تهیه و عرضه سنتی لبنیات در استان خوزستان جمع آوری شد. پس از هضم اسیدی، غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه پلاروگراف ۷۹۷ اندازه گیری شد. Hazard Quotient (HQ) و Hazard Index (HI) برای محاسبه ریسک غیرسرطان‌زایی و Estimated Daily Intake (EDI) به عنوان شاخص ریسک سرطان‌زایی با بکارگیری شبیه سازی مونت کارلو محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میانگین غلظت سرب، کادمیوم، روی، و مس در لبنیات مورد مطالعه به ترتیب ۰/۰۶۶۸، ۰/۰۰۶۹، ۳۰/۰۹۵۲، و ۱/۸۷۵۶ mg/kg بود. مجموع غلظت فلزات سنگین در ماست، دوغ، و پنیر به ترتیب ۱۳۴/۰۸، ۲۸/۱۹، و ۴/۱۷ درصد بالاتر از مجموع فلزات در شیر خام بود. HI ناشی از مصرف محصولات لبنی مورد مطالعه $۵۲/۸۲\times۱۰^{-۲}$ بود. EDI مرتبط با سرب و کادمیوم در محصولات لبنی به ترتیب در دامنه $۱۰^{-۴}$ و $۱۰^{-۸}$ بود.

نتیجه‌گیری: علیرغم نگرش عمومی به کیفیت بهتر محصولات لبنی سنتی، فرآیند سنتی تولید موجب افزایش چشمگیر غلظت برخی فلزات سنگین نسبت به شیر خام می شود. پایش فلزات سنگین در محصولات لبنی سنتی و تعریف برنامه کاهش آن توصیه می شود.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
rozhanfeizi@behums.ac.ir

Please cite this article as: Akbari H, Jasour A, Rasoulzadeh H, Zafarzadeh A, Feizi R. Effect of traditional production on the heavy metal concentration in dairy products compared to raw milk and its health risk assessment. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):57-70.

Copyright © 2026 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 2026-06-24]

مقدمه

رشد صنعتی و شهرنشینی علاوه بر پیامدهای اقتصادی، تاثیر چشمگیری بر سبک زندگی و همچنین مواجهه با آلودگی داشته است (۱). یکی از پیامدهای صنعتی و جهانی شدن شامل افزایش صنایع غذایی و تولید چشمگیر غذاهای فرآوری شده بوده است (۲). هر چند این پدیده تاثیر مثبتی در تامین امنیت غذایی داشته است، با این حال تولید غذا در فرآیندهای صنعتی نیازمند کنترل های بهداشتی سختگیرانه برای اطمینان از عدم انتقال آلاینده‌ها به مصرف کننده است (۳). محدودیت های اقتصادی و فنی کشورهای در حال توسعه در ارزیابی مواد غذایی صنعتی یکی از نگرانی های عمومی است که سبب تردید مصرف کنندگان به ویژه در استفاده از نشان‌های تجاری جدید و کمتر شناخته شده است. علاوه بر این استفاده از مواد غذایی تولید شده به روش‌های سنتی به دلایلی مانند قیمت کمتر، تناسب بیشتر با ذائقه مصرف کننده، نگرش مثبت به غذاهای سنتی و تصور ارزش تغذیه ای بالاتر، مدنظر مصرف کنندگان به ویژه در کشورهای در حال توسعه است (۴).

هرچند در نظارت بهداشتی مواد غذایی برای اطمینان از ایمنی غذا توجه به عوامل زیستی مانند انواع باکتری و قارچ اولویت دارد (۵)، با این حال آلاینده های شیمیایی از جمله فلزات سنگین نیز به عنوان یکی از نگرانی های مهم در ایمنی غذا هستند (۶). شواهد متعددی در مطالعات قبلی از آلودگی مواد غذایی به فلزات سنگین نشان دهنده وجود ریسک بهداشتی و سرطان‌زایی ناشی از فلزات سنگین در غذا است (۷). به عنوان مثال، گزارش هایی از غلظت های متفاوت انواع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی و شیلات در دسترس است (۸، ۹) . بنابراین، با درنظر گرفتن ویژگی تجمیع فلزات سنگین در غذا و انتقال در زنجیره غذایی (۷)، پایش این آلاینده‌ها در محصولات غذایی دامی از جمله گوشت و لبنیات از الزامات ایمنی غذایی است.

محصولات لبنی از جمله شیر، ماست، پنیر، دوغ و کره دارای اهمیت ویژه‌ای در تغذیه هستند زیرا سرشار از ترکیبات فعال زیستی و نوترینت های حیاتی هستند (۱۰). شیر و محصولات تهیه شده از آن مانند ماست، کره، و پنیر حاوی لیپیدها، پروتئین‌هایی مانند کازئین، ویتامین های محلول در چربی و اسیدهای چرب زنجیره کوتاه هستند (۱۱، ۱۲). به همین دلیل مصرف مقادیر معین محصولات لبنی به عنوان یک توصیه تغذیه ای و معیار امنیت غذایی از سوی نهادهای بین المللی پیشنهاد شده است (۱۲). با این حال احتمال تجمیع فلزات سنگین در محصولات لبنی به دلیل انتقال در زنجیره غذایی یا در طی مراحل تولید وجود دارد.

هرچند اغلب مطالعات قبلی در ارزیابی آلاینده های محصولات لبنی شامل انواع صنعتی لبنیات بوده است (۱۳)، ولی لبنیات مهمترین غذای قابل تهیه به روش سنتی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران است. در سال های اخیر تعداد فروشگاه های لبنیات سنتی در ایران افزایش چشمگیری داشته است. مهمترین محصولات لبنی عرضه شده در این مراکز علاوه بر شیر شامل دوغ، ماست و پنیر است. در این شرایط، نگرش مثبت شهروندان به محصولات لبنی سنتی نسبت به انواع پاستوریزه و تسهیل مجوزهای لازم برای توسعه مراکز تهیه و توزیع لبنیات سنتی، سهم این نوع لبنیات به انواع پاستوریزه را در مصرف روزانه شهروندان بیشتر کرده است. هرچند نظارت های بهداشتی متداول بر کنترل آلودگی زیستی لبنیات سنتی متمرکز است، ولی احتمال تاثیر مراحل تولید محصولات لبنی به شیوه سنتی بر غلظت سایر آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین همچنان یک خلاء دانش است. این مطالعه در یک نوآوری مهم، غلظت برخی فلزات سنگین در لبنیات تولید شده به شیوه سنتی در استان خوزستان، ایران را ارزیابی کرد. هدف این مطالعه سنجش غلظت فلزات سنگین در شیر و محصولات لبنی تهیه شده از آن به شیوه سنتی برای برآورد آلودگی ثانویه ناشی از مراحل تولید محصولات لبنی سنتی و ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی و ریسک سرطان‌زایی ناشی از آن با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو بود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

این مطالعه در استان خوزستان، ایران انجام شد. اهواز بزرگ‌ترین شهر این استان است که در ۴۹ درجه شرقی و ۳۱ درجه شمالی در جنوب غربی ایران قرار دارد. جمعیت استان خوزستان حدود چهار میلیون نفر است که در ۲۰ شهرستان سکونت دارند (۱۴). بر اساس آخرین آمارهای تجاری میانگین سرانه مصرف لبنیات در ایران ۷۰ kg/day است که بر این اساس مصرف روزانه لبنیات در استان خوزستان ۱۹۱ g/day برآورد می شود. هرچند سهم غالب بازار بوسیله محصولات صنعتی تامین می شود، ولی در سال های اخیر مراکز عرضه لبنیات سنتی افزایش یافته است بنحوی که در حال حاضر در استان خوزستان ۲۱۵ مرکز تهیه و عرضه لبنیات سنتی فعالیت دارند.

آنالیز فلزات سنگین

با در نظر گرفتن توزیع جغرافیایی یکسان محل های نمونه برداری در منطقه مطالعه شده، در این مطالعه ۱۰ نمونه از هر یک از محصولات لبنی شامل شیر، ماست، پنیر و دوغ از ۱۰ مرکز مختلف تهیه و عرضه لبنیات سنتی در خوزستان تهیه شد. نمونه برداری از همان مراکز تهیه و عرضه لبنیات سنتی سه بار با تواتر ۱۴ روز تکرار شد. نمونه ها در دمای کنترل شده (۴ °C) به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه ها توسط هضم اسیدی بدین صورت که ۱۰ mL نمونه با ۱۰ mL اسید نیتریک و در انتها با ۱ mL پراکسید هیدروژن در بنماری تا رسیدن به حجم ثابت هضم شدند و سپس غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه پلاروگراف مدل ۹۷ ساخت شرکت متروم (Metrohm) سوئیس اندازه گیری شد.

ارزیابی ریسک

ریسک مرتبط با محتوای فلزات سنگین مطالعه شده در لبنیات سنتی بر اساس ریسک غیرسرطان‌زایی و ریسک سرطان‌زایی ارزیابی شد. تفاوت محتوای غلظت در محصولات لبنی شامل ماست، دوغ و پنیر با غلظت های سنجش شده در شیر به عنوان آلودگی ثانویه درنظر گرفته شد. برای محاسبه ریسک غیرسرطان‌زایی با استفاده از معادله ۱ تخمین دریافت روزانه (Estimated Daily Intake (EDI)) محاسبه شد (۱۵). پارامترهای محاسبه EDI و سایر پارامترهای مورد استفاده در معادله های بعدی در جدول ۱ تعریف شده اند. پس از محاسبه EDI، از معادله ۲ برای محاسبه ضریب خطر (Hazard Quotient (HQ)) استفاده شد (۱۶). سپس با استفاده از معادله ۳ شاخص خطر (Hazard Index (HI)) محاسبه شد که نشان دهنده ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از محتوی فلزات سنگین در لبنیات سنتی بود (۶).

$$EDI = (C \times IR \times EF \times ED)/(BW \times AT) \quad (۱)$$

$$HQ = EDI/RfD \quad (۲)$$

$$HI=\sum HQ \quad (۳)$$

در این مطالعه از خطر مازاد ابتلا به سرطان در طول عمر (Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR)) به عنوان معیار ریسک سرطان‌زایی استفاده شد که با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد (۶). ELCR کمتر از 10^{-6} نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی ناچیز است، ELCR در محدوده 10^{-6} – 10^{-4} نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی قابل‌قبول و ELCR بالاتر از 10^{-4} نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی قابل‌توجه است (۶، ۱۵).

$$ELCR=EDI \times CSF \quad (۴)$$

شبیه سازی مونت کارلو با ۱۰۰۰ تکرار برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و ریسک غیرسرطان‌زایی مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای ورودی شامل متغیرهای معادله ۱ بودند که اغلب آنها توزیع لاگ نرمال داشتند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

جدول ۱- جزئیات پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی ریسک

پارامتر	تعریف	واحد	مقدار		رفرنس
C	غلظت فلز سنگین	mg/kg	گزارش شده در نتایج		مطالعه حاضر
IR	مصرف خوراکی	kg/day	شیر	۰/۱۹۱	داده های تجاری
			ماست	۰/۱۹۱	
			دوغ	۰/۱۹۱	
			پنیر	۰/۱۹۱	
RfD	رفرنس دوز	mg/kg/day	سرب	۰/۰۰۰۳۵	(۱۷)
			کادمیوم	۰/۰۰۱	
			روی	۰/۳	
			مس	۰/۰٤	
CSF	فاکتور سرطانزایی	–	سرب	٦/۳	(٦)
			کادمیوم	۰/۰۰۸۵	
EF	تناوب مواجهه	day/year	۳٦۵		(۱۷)
ED	مدت مواجهه	year	۷۰		(٦)
BW	وزن بدن	kg	۷۰±۱۵		(٦)
AT	میانگین زمان مواجهه	–	۲۵۵۵۰		(۱۷)

یافته‌ها

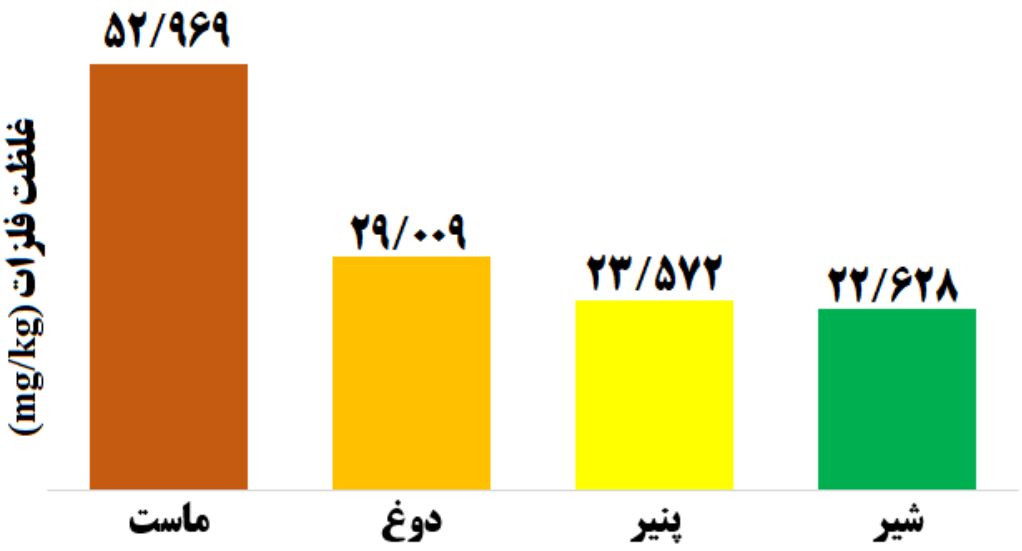
میانگین غلظت فلزات مطالعه شده در محصولات لبنی سنتی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد غلظت فلزات محصولات لبنی یکسان نبود به نحوی که غلظت سرب در ماست، پنیر، دوغ و شیر به ترتیب ۰/۰۸۲۳، ۰/۰۶۶۹، ۰/۰۶۴۱، و ۰/۰۵۴۱ mg/kg بود. بنابراین به طور میانگین غلظت سرب در محصولات لبنی سنتی ۳۱/۴ درصد بالاتر از غلظت شیر بود. همچنین غلظت روی در محصولات لبنی مطالعه شده به طور میانگین ۶۰/۰۱ درصد بالاتر از غلظت روی در شیر بود. به طور کلی ترتیب غلظت فلزات مطالعه شده در محصولات لبنی شامل روی>مس>سرب> کادمیوم بود که در تمام محصولات مشابه بود. با این حال هرچند غلظت کادمیوم در محصولات لبنی به طور میانگین ۱/۵ برابر بالاتر از غلظت سنجش شده در شیر بود، ولی غلظت کادمیوم فقط در ماست بالاتر از غلظت سنجش شده در شیر بود و غلظت کادمیوم در پنیر و دوغ کمتر از غلظت کادمیوم در شیر بود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی مطالعه شده (mg/kg)

محصولات لبنی	غلظت فلزات سنگین (mg/kg)							
	سرب		کادمیوم		مس		روی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
ماست	۰/۰۸۲۳	۰/۰۰۷۹	۰/۰۱۸٦	۰/۰۰۱۳	۱/٦۹۲	۰/۱۸۲	۵۱/۱۷۷	٤/۹۲۱
دوغ	۰/۰٦٤۱	۰/۰۰۵٦	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۳	۱/۷۱۱	۰/۲۱۳	۲۷/۲۳۱	۳/۱۱۲
پنیر	۰/۰٦٦۹	۰/۰۰٦۱	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۰٤	۲/۲۸۳	۰/۲۹۸	۲۱/۲۱۹	۲/٦۳۰
شیر	۰/۰۵٤۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۳	۱/۸۱۷	۰/۱٦۷	۲۰/۷۵٤	۱/۸٤۲

نتایج آنالیز سهم محصولات لبنی مطالعه شده در مجموع غلظت فلزات سنگین در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد غلظت فلزات مطالعه شده در ماست به طور چشمگیری بالاتر از محتوای فلزات سنگین در شیر و سایر محصولات لبنی بود. همچنین، سهم هر یک از محصولات لبنی مطالعه شده از مجموع محتوای فلزات سنگین سنجش شده یکسان نبود. بنابراین با درنظر گرفتن الگوی مختلف مصرف لبنیات از نظر گرایش به مصرف هر یک از محصولات لبنی، دریافت غلظت های متفاوتی از فلزات سنگین مورد انتظار است.



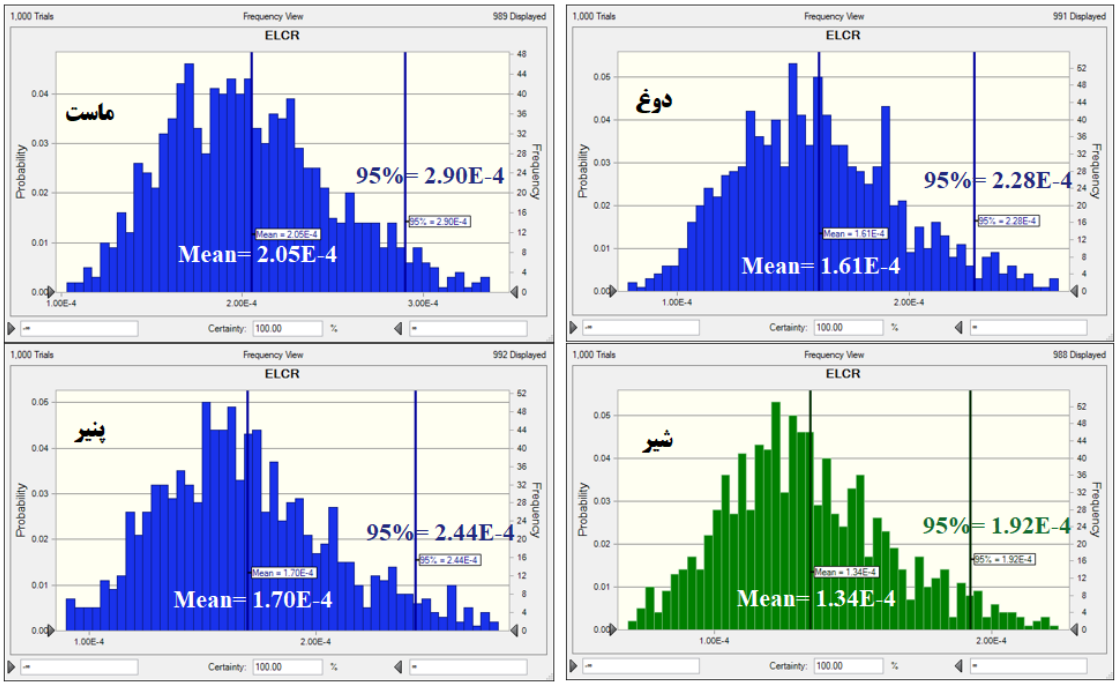
شکل ۱- مجموع غلظت فلزات سنگین مطالعه شده در انواع محصولات لبنی سنتی

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

نتایج ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی ناشی از محتوای فلزات سنگین در محصولات لبنی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد افزایش محتوای فلزات در محصولات لبنی تهیه شده از شیر نسب به شیر خام موجب افزایش HQ به مقدار ۷۱/۳۶ درصد، ۱۸/۹۶ درصد، و ۱۷/۳۳ درصد به ترتیب در ماست، پنیر، و دوغ شد. نتایج نشان داد HI مرتبط با محتوای فلزات آنالیز شده در شیر، ماست، پنیر، و دوغ به ترتیب ۰/۱۰۴۴، ۰/۱۷۸۹، ۰/۱۲۴۲، و ۰/۱۲۲۵ بود که هر چند در تمام محصولات لبنی مطالعه شده کمتر از ۱ بود، ولی HI در ماست، پنیر، و دوغ به طور میانگین ۱۷/۰۸ درصد بالاتر از HI محاسبه شده ناشی از مصرف شیر خام بود.

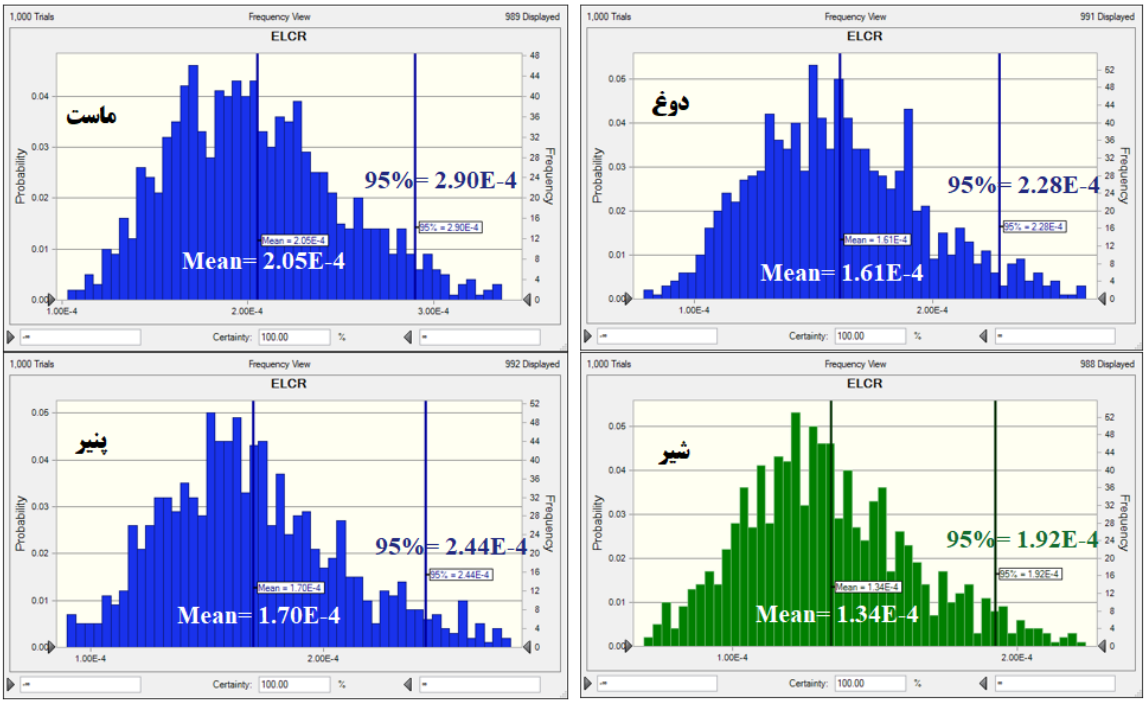
جدول ۳- شاخص های HQ و HI محاسبه شده ناشی از غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی

محصولات لبنی	HQ				HI
	سرب	کادمیوم	روی	مس	
شیر	۰/۰۵۹۳	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۲۶۵	۰/۰۱۷٤	۰/۱۰٤٤
ماست	۰/۰۹۰۲	۰/۰۰۷۱۳	۰/۰٦٥٤	۰/۰۱٦۲	۰/۱۷۸۹
دوغ	۰/۰۷۰۲	۰/۰۰۱۱۱	۰/۰۳٤۸	۰/۰۱٦٤	۰/۱۲۲٥
پنیر	۰/۰۷۳۳	۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۲۷۱	۰/۰۲۱۹	۰/۱۲٤۲
		مجموع			۰/٥۲۸۲



شکل ۲- ELCR محاسبه شده ناشی از غلظت سرب در محصولات لبنی مطالعه شده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]



شکل ۳- ELCRمحاسبه شده ناشی از غلظت کادمیوم در محصولات لبنی مطالعه شده

نتایج ارزیابی ریسک سرطان‌زایی مرتبط با محتوی کادمیوم و سرب در محصولات لبنی سنتی و شیر خام در شکل ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد ELCR مرتبط با کادمیوم و سرب به ترتیب در محدوده ریسک جزئی و ریسک قابل قبول تفسیر می شوند. نتایج نشان داد ریسک سرطان‌زایی ناشی از مجموع دو فلز سرب و کادمیوم در ماست، پنیر و دوغ به ترتیب ۳۲/۲۹ و ۱۵۳/۱۱ درصد بالاتر از ریسک سرطان‌زایی محاسبه شده ناشی از مصرف شیر خام بود.

بحث

مقادیر اندازه گیری شده فلزات سنگین مورد مطالعه در محصولات لبنی سنتی می تواند ناشی از منشاء اولیه شامل محتوی فلزات سنگین در شیر خام و همچنین ناشی از منشاء ثانویه شامل افزایش غلظت فلزات در زمان نگهداری شیر و محصولات لبنی و مراحل تولید محصولات لبنی از شیر خام باشد. تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی یکی از دلایل مهم وجود این آلاینده‌ها در محصولات غذایی دامی است (۶). فلزات سنگین نشت کرده از منابع مختلف مانند فاضلاب ها و پسماندهای جامد منشاء آلودگی خاک و منابع آب هستند که می توانند در محصولات کشاورزی که خوراک اصلی دام را تشکیل می دهند تجمع کنند (۱۸). علاوه بر این وجود غلظت های زمینه ای در منابع خاک از برخی فلزات سنگین می تواند از دلایل غیرانسانی تجمع این آلاینده‌ها در زنجیره غذایی باشد (۱۹). بنابراین وجود غلظت هایی از انواع فلزات سنگین در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

محصولات لبنی می تواند مورد انتظار باشد. در مطالعات قبلی نیز مقادیر مختلفی از محتوای فلزات سنگین در محصولات لبنی گزارش شده است. به عنوان مثال، Beikzadeh و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی، بیشترین غلظت سرب در نمونه های شیر و ماست آنالیز شده در ایران را به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۹/۳ mg/kg گزارش کردند. در مطالعه Beikzadeh و همکاران غلظت کادمیوم و مس در نمونه های شیر آنالیز شده به ترتیب ۶/۰۷ و ۲۴۱/۲۳ mg/kg گزارش شد در حالی که این مقادیر در نمونه‌های ماست به ترتیب ۸/۷۳ و ۴۲۳/۵۳ mg/kg گزارش شد (۲۰). بعلاوه، Safaei و همکاران در سال ۲۰۲۱ میلادی غلظت سرب و کادمیوم در نمونه های شیر مطالعه شده در شمال غربی ایران را به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۰۷ mg/kg گزارش کردند که کمتر از مقادیر گزارش شده توسط Beikzadeh و همکاران بود (۲۱). مقایسه نتایج مطالعات قبلی با یافته های جدول ۲ نشان دهنده وجود تغییرات زمانی و مکانی در محتوی فلزات سنگین محصولات لبنی است. تفاوت غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی آنالیز شده در مکان ها و زمان های متفاوت می تواند ناشی از تفاوت سطح آلودگی فلزات سنگین در هر منطقه، خوراک دام و مراحل تولید محصولات لبنی باشد.

همانطور که نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی تهیه شده از شیر نسبت به مقادیر شناسایی شده در شیر خام بیشتر بود. نتایج نشان داد که بالاترین افزایش غلظت فلزات سنگین مطالعه شده در محصولات لبنی نسبت به شیر خام در نمونه های ماست دیده شده که بیش از ۷۰ درصد تفاوت را نشان داد. این تفاوت در نتایج مطالعات قبلی نیز مشهود است. به عنوان مثال، Farahmandkia و همکاران در سال ۲۰۲۵ میلادی، غلظت سرب در شیر خام و خامه را به ترتیب ۰/۰۹۲ و ۰/۱۰۶ mg/kg گزارش کردند که تفاوت محتوی سرب معادل ۱۵/۲ درصد را نشان داد. این مطالعه همچنین غلظت کادمیوم در شیر، دوغ و خامه را به ترتیب ۲/۳۴، ۲/۵۹، و ۵/۶۱ µg/kg گزارش کرد که غلظت های بالاتر در دوغ و خامه را نسبت به شیر نشان می دهد (۱۳). همچنین Parvaneh و همکار در سال ۲۰۲۵، غلظت های بالاتری از سرب و کادمیوم را در ماست و پنیر نسبت به شیر گزارش کردند (۲۲). با این حال، مقادیر کمتر برخی از فلزات سنگین در برخی محصولات لبنی نسبت به شیر در مطالعات قبلی گزارش شده است. به عنوان مثال Farahmandkia و همکاران در سال ۲۰۲۵، غلظت سرب در شیر، ماست و دوغ را به ترتیب ۹۲/۶۴، ۵۲/۱۹، و ۷۸/۸ µg/kg گزارش کردند که غلظت های کمتر سرب در دوغ و ماست را نسبت به شیر نشان می دهد (۱۳). همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، در مطالعه حاضر نیز غلظت مس در نمونه های ماست و دوغ و غلظت کادمیوم در نمونه های دوغ و پنیر کمتر از غلظت شناسایی شده در نمونه های شیر بود. با این حال از نظر مجموع فلزات مطالعه شده، افزایش غلظت در محصولات لبنی نسبت به شیر مشاهده شد که نشان دهنده تاثیر مراحل تولید و نگهداری محصولات لبنی بر محتوای فلزات است.

هرچند افزایش غلظت فلزات سنگین در محصولات لبنی سنتی نسبت به شیر خام مشاهده شد، ولی سطح ریسک بهداشتی و سرطان‌زایی مرتبط با مصرف محصولات لبنی علیرغم افزایش نسبی، تغییر چشمگیری نداشت. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، علیرغم افزایش مقادیر HQ و HI محصولات لبنی نسبت به شیر، با توجه به مقادیر کمتر از ۱، ریسک بهداشتی ناشی از محصولات لبنی سنتی وجود ندارد. با این حال با توجه به تاثیر مستقیم سرانه مصرف بر ریسک برآورد شده (۲۳)، چنانچه برنامه های بهبود تغذیه منجر به افزایش مصرف سرانه محصولات لبنی در ایران شود، افزایش ریسک بهداشتی ناشی از فلزات سنگین باید مدنظر باشد. هرچند در بین فلزات مطالعه شده، روی بالاترین غلظت را داشت ولی بالاترین ریسک غیرسرطان‌زایی با محتوای سرب در محصولات لبنی مرتبط بود که ناشی از رفرنس دوز پایین تر است (۲۴). بعلاوه، ریسک سرطان‌زایی ناشی از کادمیوم و سرب در محصولات لبنی سنتی مطالعه شده نیز در مقایسه با

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

شیر خام بالاتر بود. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ریسک سرطان‌زایی مرتبط با سرب در ماست، دوغ و پنیر به ترتیب ۵۲/۶، ۲۳/۶، و ۲۷/۱ درصد بالاتر از ریسک برآورد شده ناشی از سرب در شیر خام بود. همچنین همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است ریسک سرطان‌زایی مرتبط با کادمیوم در ماست ۴/۶۷ برابر بالاتر از ریسک برآورد شده ناشی از کادمیوم در شیر خام بود. با این حال ریسک سرطان‌زایی مرتبط با محتوای سرب و کادمیوم در محصولات لبنی مطالعه شده به ترتیب در محدوده قابل قبول و ناچیز تفسیر می شود. ارزیابی ریسک ناشی از فلزات سنگین در مواد غذایی یکی از روش های رایج برای شناخت اثرات بلند مدت مصرف مواد غذایی حاوی این آلاینده‌ها است (۲۵). در مطالعات قبلی ریسک بهداشتی ناشی از محتوای فلزات سنگین در سبزیجات و محصولات کشاورزی گزارش شده است. به عنوان مثال، Mohammadi و همکاران در سال ۲۰۲۵ میلادی، ریسک سرطان‌زایی ناشی از محتوای سرب، کروم، کادمیوم و نیکل را در خیار و هویج $۲/۵-۳\times۱۰^{-۴}$ گزارش کردند که در محدوده قابل قبول تفسیر می شود (۶). همچنین گزارش هایی از ریسک بهداشتی ناشی از محتوای فلزات سنگین در پیاز و سیب زمینی در ایران در دسترس است (۱۷). با این حال، انتظار می رود ریسک ناشی از محتوای فلزات سنگین در مواد غذایی که مستقیما در معرض آلودگی نیستند مانند محصولات دامی و لبنی کمتر باشد. ولی شواهد در دسترس غلظت های قابل توجه فلزات سنگین در محصولاتی مانند تخم مرغ را نشان می دهد. به عنوان مثال غلظت فلزات سنگین مانند سرب، مس، کادمیوم، منیزیم، و روی در تخم مرغ های آنالیز شده در چین، ترکیه، مصر و ایران در دامنه ۰/۱۲ تا ۰/۴۲ mg/kg گزارش شده است (۲۶-۳۰). مقایسه مطالعات قبلی با یافته های این مطالعه نشان دهنده اهمیت توجه به کاهش منابع آلاینده و همچنین برنامه های مدیریت فلزات سنگین در محیط زیست است زیرا غلظت های قابل توجهی از این آلاینده‌ها در مواد غذایی که تماس مستقیم با منابع آلاینده ندارند مشاهده شده است.

این مطالعه قوت ها و محدودیت هایی داشت. بررسی تفاوت غلظت فلزات سنگین در شیر خام و محصولات لبنی تهیه شده از آن به شیوه سنتی و ارزیابی ریسک ناشی از آن و نیز نمونه برداری مستقیم از مراکز تهیه محصولات لبنی سنتی از نقاط قوت این مطالعه بود. با این حال این مطالعه محدودیت هایی داشت؛ آنالیز چهار فلز سنگین محدودیت این مطالعه بود که آنالیز سایر فلزات سنگین در لبنیات سنتی می تواند مد نظر مطالعات آتی باشد. همچنین عدم مقایسه تغییر غلظت فلزات در محصولات لبنی تهیه شده از شیر خام در واحدهای صنعتی و سنتی از دیگر محدودیت های این مطالعه بود که می‌تواند در مطالعات آتی مورد توجه باشد. همچنین ارزیابی منشاء فلزات سنگین اضافی در محصولات لبنی سنتی نسبت به شیر خام می تواند موضوع مطالعات بعدی باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تفاوت محتوی فلزات سنگین و ریسک بهداشتی مرتبط با این آلاینده‌ها در محصولات لبنی سنتی ارزیابی شد. نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین مطالعه شده در ماست، دوغ و پنیر در مقایسه با غلظت های شناسایی شده در شیر خام به ترتیب ۱۳۴/۰۸، ۲۸/۱۹، و ۴/۱۷ درصد بالاتر بود. HQ و HI محاسبه شده در محصولات لبنی کمتر از ۱ بود که نشان دهنده عدم ریسک بهداشتی بود. بیشترین سهم در ریسک غیرسرطان‌زایی محاسبه شده با محتوای سرب در محصولات لبنی مرتبط بود. ELCR مرتبط با سرب و کادمیوم در محصولات لبنی مطالعه شده به ترتیب در دامنه $۱۰^{-۴}$ و $۱۰^{-۸}$ بود که به ترتیب نشان دهنده ریسک قابل قبول و ریسک ناچیز است. این مطالعه نشان داد علیرغم نگرش عمومی در کیفیت بهتر محصولات تولید شده به شیوه سنتی، روش های سنتی تولید محصولات لبنی می تواند غلظت فلزات سنگین را نسبت به غلظت اولیه در شیر خام به طور چشمگیری افزایش دهد. هرچند محتوای فلزات سنگین در محصولات لبنی ریسک

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

جدی بهداشتی و سرطان‌زایی را ایجاد نمی کند، با این حال احتمال افزایش ریسک در سال های آینده به دلیل افزایش سرانه مصرف لبنیات وجود دارد. بنابراین پایش مداوم فلزات سنگین در شیرخام و محصولات لبنی تولید شده در مراکز تهیه و عرضه سنتی این محصولات برای حفظ بهداشت عمومی ضروری است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. کد اخلاق این طرح IR.BHN.REC.1399.024 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین در محصولات لبنی (شیر، ماست، کره و پنیر) عرضه شده در شهر بهبهان" است که با حمایت دانشکده علوم پزشکی بهبهان با شماره طرح ۹۸۱۰۲ اجرا شده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

References

1. Darabi K, Alinejad N, Hassani G, Badeenezhad A. Study of the litter in urban environment in Behbahan in 2023 based on the clean environment index. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):115-28 (in Persian).

2. 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 (in Persian).

3. Shahbazi F, Rasolevandi T, Azarpira H. Evaluation of environmental health status of Saveh confectionery workshops in the conditions of Corona epidemic. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(1):95-114 (in Persian).

4. Jalilian N, Sheykhi A, Mirzaei L, Gholami Z, Adiban M. Evaluation of microbial characteristics of traditional butter made from cow and sheep milk in Ilam city, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;16(2):383-92 (in Persian).

5. Mokhtari S, Farzadkia M, Janani L, Jonidi Jafari A. Assessment of microbial contamination on the food contact surface and food-handlers' hands in fardis city of Alborz province. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(2):239-50 (in Persian).

6. Mohammadi H, Ansarizadeh M, Yousefi M, Feizi R, Alinejad N, Talebi F. Health risk assessment of heavy metals in root and fruit vegetables in Iran using Monte Carlo simulation. Discover Sustainability. 2025;6(1):1-13.

7. Feizi R, Hamidi F, Jaafarzadeh N, Ghahrchi M, Zafarzadeh A. Determination and health risk assessment of heavy metals (Pb, Cd, Cu and Zn) in different brands of pasteurized milk. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022;102(18):6892-903.

8. Vanisree C, Sankhla MS, Singh P, Jadhav EB, Verma RK, Awasthi KK, et al. Heavy metal contamination of food crops: Transportation via food chain, human consumption, toxicity and management strategies. Environmental impact and remediation of heavy metals. London: Intech Open; 2022.

9. Luczynska J, Pietrzak Fiecko R, Purkiewicz A, Luczynski MJ. Assessment of fish quality based on the content of heavy metals. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(4):2307.

10. Ali MA, Kamal MM, Rahman MH, Siddiqui MN, Haque MA, Saha KK, et al. Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: Current trends and future prospectives. Journal of Food Science and Technology. 2022;59(4):1263-79.

11. Farag MA, Jomaa SA, Abd El Wahed A, El Seedi H. The many faces of kefir fermented dairy products: Quality characteristics, flavour chemistry, nutritional value, health benefits, and safety. Nutrients. 2020;12(2):346.

12. Saleem GN, Gu R, Qu H, Bahar Khaskheli G, Rashid Rajput I, Qasim M, et al. Therapeutic potential of popular fermented dairy products and its benefits on human health. Frontiers in Nutrition. 2024;11:1328620.

13. Farahmandkia Z, Tajdar Oranj B, Zare L, Peyda M,

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

Feizolahi R, Alizadeh AM. Health risk assessment of lead and cadmium in milk-based products of Iran. Journal of Agriculture and Food Research. 2025;19:101558.

14. Jaafarzadeh N, Reshadatian N, Feyzi Kamareh T, Sabaghan M, Feizi R, Jorfi S. Study of the litter in the urban environment as primary and secondary microplastics sources. Scientific Reports. 2024;14(1):31645.

15. Zafarzadeh A, Rahimzadeh H, Mahvi AH. Health risk assessment of heavy metals in vegetables in an endemic esophageal cancer region in Iran. Health Scope. 2018;7(3):e12340.

16. Shokri S, Abdoli N, Sadighara P, Mahvi AH, Esrafili A, Gholami M, et al. Risk assessment of heavy metals consumption through onion on human health in Iran. Food Chemistry: X. 2022;14:100283.

17. Alimohammadi M, Younesian M, Madihi Bidgoli S, Nabizadeh Nodehi R, Jahed Khaniki GR, Hadi M, et al. Heavy metal (oid) s concentration in Tehran supermarket vegetables: carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment. Toxin Reviews. 2020;39(3):303-10.

18. Hossaini Motlagh A, Alinejad N, Kazembeigi F, Torkashvand J, Tashauoei HR, Fattahi M. Quality variations of leachate resulting from cigarette filter recycling as a challenge for its management. Scientific Reports. 2024;14(1):972.

19. Faraji M, Alizadeh I, Conti GO, Mohammadi A. Investigation of health and ecological risk attributed to the soil heavy metals in Iran: Systematic review and meta-analysis. Science of the Total Environment. 2023;857:158925.

20. Beikzadeh S, Ebrahimi B, Mohammadi R, Beikzadeh M, Asghari Jafarabadi M, Foroumandi E. Heavy metal contamination of milk and milk products consumed in Tabriz. Current Nutrition & Food Science. 2019;15(5):484-92.

21. Safaei P, Seilani F, Eslami F, Sajedi SR, Mohajer A. Determination of essential nutrients and heavy metal content of raw cow's milk from East Azerbaijan province, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2021;101(14):2368-78.

22. Parvaneh H, Movassagh MH. Determination of lead and cadmium levels in milk and dairy products in Kerman. Journal of Health and Hygiene. 2025;16(1):16-25.

23. Amarloei A, Mirzaei SA, Noorimotlagh Z, Nazmara S, Nourmoradi H, Fard NJH, et al. Human health risk assessment of toxic heavy metals in summer crops and vegetables: a study in Ilam province, Iran. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2024;22(1):139-48.

24. Baassiri K, Antonios D, Milane A. Heavy metal contamination in Lebanese lettuce: Quantification and health risk assessment. Journal of Food Composition and Analysis. 2025;137:106871.

25. Fonge BA, Larissa MT, Egbe AM, Afanga YA, Fru NG, Ngole Jeme VM. An assessment of heavy metal exposure risk associated with consumption of cabbage and carrot grown in a tropical Savannah region. Sustainable Environment. 2021;7(1):1909860.

26. Fu QL, Liu Y, Li L, Achal V. A survey on the heavy metal contents in Chinese traditional egg products and their potential health risk assessment. Food Additives & Contaminants: Part B. 2014;7(2):99-

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

105.

27. Zhao X, Liang K, Zhu H, Wang J. Health risk assessment of heavy metals contamination in selenium-enriched eggs. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28(21):27047-55.

28. Demirulus H. The heavy metal content in chicken eggs consumed in Van Lake Territory. Ekoloji. 2013;22(86):19-25.

29. Saad Eldin WF, Raslan AA. Residues of some toxic heavy metals and trace elements in chicken eggs. Zagazig Veterinary Journal. 2018;46(1):8-16.

30. Farahani S, Eshghi N, Abbasi A, Karimi F, Shiri Malekabad E, Rezaei M. Determination of heavy metals in albumen of hen eggs from the Markazi Province (Iran) using ICP-OES technique. Toxin Reviews. 2015;34(2):96-100.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-24]

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

Orginal Article

Effect of traditional production on the heavy metal concentration in dairy products compared to raw milk and its health risk assessment

Hamideh Akbari[1], Aida Jasour[2], Hassan Rasoulzadeh[3], Ali Zafarzadeh[4], Rozhan Feizi[5,*]

1- Department of Environmental Health Engineering, Mamsani School of Allied Medical Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
2- Department of Nursing, Maragheh University of Medical Sciences, Maragheh, Iran
3- Department of Environmental Health Engineering, Maragheh University of Medical Sciences, Maragheh, Iran
4- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
5- Department of Environmental Health Engineering, Behbahan University of Medical Sciences, Behbahan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 7 February 2026
Revised: 27 April 2026
Accepted: 2 May 2026
Published: 16 June 2026

Keywords: Carcinogenic risk, Non-carcinogenic risk, Food safety, Dairy, Heavy metal

***Corresponding Author:**
rozhanfeizi@behums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Since the presence of heavy metals in milk and dairy products is a health concern, this study aimed to evaluate the concentrations of lead, cadmium, copper and zinc in raw milk and traditional dairy products, and to conduct a related risk assessment.

Materials and Methods: 30 samples of milk and dairy products including yoghurt, cheese, and doogh were collected from ten traditional dairy production store in Khuzestan province. The samples were digested in the laboratory using nitric acid method digestion, and the heavy metal concentration was measured using Metrohm 797. Hazard Quotient (HQ) and Hazard Index (HI) were calculated for non-carcinogenic risk and Estimated Daily Intake (EDI) was calculated for carcinogenic risk assessment using Monte Carlo simulation.

Results: The mean concentration of lead, cadmium, zinc and copper in the dairy were 0668, 0069, 0952 and 8756 mg/kg, respectively. The total heavy metal concentrations in yoghurt, doogh and cheese were 134.08, 24.19 and 4.17 percent higher than in raw milk, respectively. The HI from dairy product consumption was 52.82E-2. The EDI for lead and cadmium in dairy products were in the range of 10^{-4} and10^{-8}, respectively.

Conclusion: Although common attitude toward better quality of traditional dairy products, the traditional process increases the concentration of some heavy metals in comparison with in raw milk. Monitoring of heavy metals in traditional dairy products and defining a control strategy is recommended.

Please cite this article as: Akbari H, Jasour A, Rasoulzadeh H, Zafarzadeh A, Feizi R. Effect of traditional production on the heavy metal concentration in dairy products compared to raw milk and its health risk assessment. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):57-70.

Copyright © 2026 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 2026-06-24]