

Investigation of Lead and Cadmium Concentrations in the Structure of Polymer-based Containers and Packaging Used in the Food Industry

Soheyl Eskandari

Food and Drug Laboratory Research Center (FDLRC), General Directorate of Food and Drug and Medical Equipment Control Laboratories, Food and Drug Administration (IR-FDA), Ministry of Health, Medicine and Medical Education (MoH+ME), Tehran, Iran.

Member of the Research Council of the Research Center for Food Hygiene and Safety, Shahid Sadouqi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

Paria Miri

Student's Scientific Research Center, Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mahsa Karimi Srazameleh

Student's Scientific Research Center, Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Saeed Aghebat-Bekheir

*Department of Toxicology & Pharmacology, School of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

(Corresponding Author)
saeedaghebat@gmail.com

Bahare Mohamadi

*Student's Scientific Research Center, Division of Food Safety and Hygiene, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

(Corresponding Author)
mohamadibahare1945@gmail.com

*Saeed Aghebat-Bekheir and Bahare Mohamadi contributed equally to this work.

Received: 2025/01/20

Accepted: 2025/06/16

Doi: 10.22038/jreh.2025.26605

Abstract

Background and Objective: It is important to investigate unnecessary heavy metals such as lead and cadmium, which can be harmful to humans even at low concentrations. The toxicity of these metals is influenced by factors such as concentration, exposure, and individual characteristics, and may lead to neurological, renal, hormonal, and cancer damage. Given the environmental and health concerns associated with heavy metals in polymer containers used in food packaging, it is crucial to investigate and determine the concentrations of these metals. This study aimed to measure the concentrations of lead and cadmium in 35 polymer container samples from 9 different brands.

Materials & Methods: Polymer containers were digested using food simulant solvents under controlled conditions, and heavy metals were extracted. The concentration of total heavy metals (lead and cadmium) after chemical digestion was measured with an atomic absorption spectrometer (AAS), and the data were analyzed with SPSS version 26.

Results: Statistical analysis of data obtained from the concentration of total lead and cadmium in samples of different polymer containers, where the concentration of total cadmium and lead metals in the samples varied between 0.013 and 0.9305 ppm. The lowest value was observed in two-layer polystyrene containers, and the highest value in single-layer polyethylene containers. The analysis method was validated with international guidelines, and the LOD and LOQ values were in the ranges of 0.0009–0.0176 and 0.0018–0.0582 µg/L, respectively.

Conclusion: The total concentration of cadmium and lead in all the samples was within the range of international standards. However, continuous monitoring and production by national standards are essential to reduce the risk of food contamination and ensure public health safety.

Keywords: Cadmium, Lead, Polymer Packaging

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

► **Citation:** Soheyl Eskandari S, Miri P, Karimi Srazameleh M, Aghebat-Bekheir S, Mohamadi B. Investigation of Lead and Cadmium Concentrations in the Structure of Polymer-based Containers and Packaging Used in the Food Industry. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. 11(2):69-79.

بررسی غلظت سرب و کادمیوم در ساختار ظروف و بسته‌بندی‌های بر پایه‌ی پلیمر مورد استفاده در صنایع غذایی

سهیل اسکندری

مرکز تحقیقات آزمایشگاهی غذا و دارو، اداره کل آزمایشگاه‌های کنترل غذا و دارو و تجهیزات پزشکی، سازمان غذا و دارو، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران.

عضو شورای پژوهشی مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران.

پریا میری

مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویی، بخش بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

مهسا کریمی سرزامله

مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویی، بخش بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

سعید عاقبت بخیر

گروه سم‌شناسی و فارماکولوژی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

(نویسنده مسئول)

saeedaghebat@gmail.com

بهاره محمدی

*مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویی، بخش بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. (نویسنده

مسئول)

mohamadibahare1945@gmail.com

m

چکیده

زمینه و هدف: بررسی فلزات سنگین غیرضروری مانند سرب و کادمیوم که حتی در غلظت‌های پایین می‌توانند برای انسان مضر باشند، اهمیت زیادی دارد. سمیت این فلزات تحت تأثیر عواملی مانند غلظت، نحوه تماس و ویژگی‌های فردی است و ممکن است منجر به آسیب‌های عصبی، کلیوی، هورمونی و سرطان شود. با توجه به نگرانی‌های زیست محیطی و بهداشتی فلزات سنگین در ظروف پلیمری در بسته‌بندی مواد غذایی، بررسی و تعیین غلظت این فلزات از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف این مطالعه، اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم با این عناصر در ۳۳ نمونه ظروف پلیمری از ۸ برند مختلف بود.

مواد و روش‌ها: هضم ظروف پلیمری با استفاده از حلال‌های شبیه‌ساز غذایی تحت شرایط کنترل‌شده صورت گرفته و فلزات سنگین استخراج شدند. غلظت مجموع فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) پس از هضم شیمیایی با دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری و داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شد.

یافته‌ها: آنالیز آماری داده‌ها از غلظت مجموع سرب و کادمیوم در نمونه‌های ظروف پلیمری مختلف به‌دست آمد که غلظت مجموع فلزات کادمیوم و سرب در نمونه‌ها بین ۰/۱۳ تا ۰/۹۳۰۵ ppm متغیر بود. کمترین مقدار مربوط به ظروف دو لایه پلی‌استایرن و بیشترین مقدار در ظروف تک‌لایه پلی‌اتیلن مشاهده شد. روش تحلیل با دستورالعمل‌های بین‌المللی اعتبارسنجی شد و مقادیر LOD و LOQ به‌ترتیب در بازه‌های ۰/۰۰۰۹-۰/۱۷۶ و ۰/۰۰۱۸-۰/۵۸۲ میکروگرم بر لیتر قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: غلظت کادمیوم و سرب در تمامی نمونه‌ها در محدوده‌ی مجاز استانداردهای بین‌المللی بود. با این حال، پایش مستمر و تولید مطابق استانداردهای ملی برای کاهش ریسک آلودگی غذایی ضروری است.

کلیدواژه‌ها: کادمیوم، سرب، بسته‌بندی‌های پلیمری

◀ **استناد:** اسکندری س، میری پ، کریمی سرزامله م، عاقبت بخیر س، محمدی ب.

بررسی غلظت سرب و کادمیوم در ساختار ظروف و بسته‌بندی‌های بر پایه‌ی پلیمر مورد استفاده در صنایع غذایی. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۴۰۴؛ ۱۱(۲): ۶۹-۷۹.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

بسته‌بندی مواد غذایی به یکی از جنبه‌های کلیدی موفقیت در صنایع غذایی تبدیل شده است، به‌ویژه در صنایعی مانند غذاهای آماده، وعده‌های سریع، نوشیدنی‌ها و تنقلات قابل‌حمل. از دوران باستان، انسان‌ها از پلیمرها بهره‌مند شده‌اند. پلاستیک‌ها به‌عنوان متنوع‌ترین مواد پلیمری ظاهر شده‌اند که به‌خوبی در زندگی روزمره ما ادغام شده‌اند. پلاستیک‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فرد، کارکرد بالا و هزینه نسبتاً کم هستند و انواع مختلف آن‌ها در قالب‌های گوناگون برای کاربردهای مختلف از جمله بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند (۱). از نظر وزن، پلاستیک‌ها دومین نوع پرکاربرد بسته‌بندی محسوب می‌شوند، اما از نظر ارزش، در رتبه‌ی اول قرار دارند، به‌طوری‌که بیش از ۵۰٪ از کالاها در بسته‌بندی‌های پلاستیکی عرضه می‌شوند (۲). یکی از رایج‌ترین موادی که در صنعت غذا برای بسته‌بندی استفاده می‌شود، پلاستیک‌های نفتی (پلیمرهای سنتزی) هستند. این پلیمرها شامل پلی‌اتیلن ترفتالات^۱، پلی‌اتیلن با چگالی پایین و بالا^۲، پلی‌پروپیلن^۳، پلی‌وینیل کلراید^۴ و پلی‌استایرن^۵ می‌باشند (۳). برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی پلاستیک‌ها، افزودنی‌هایی به آن‌ها اضافه می‌شود که اغلب شامل فلزات سنگین سمی مانند سرب، کادمیم، کروم، جیوه و غیره هستند (۴). این فلزات سنگین می‌توانند به سطح و درون مواد غذایی مهاجرت کنند و به‌علت فقدان نظارت کافی دولتی بر میزان این آلاینده‌ها در انواع بسته‌بندی‌ها، خطراتی را برای سلامت عمومی به‌همراه دارد (۵). این یافته‌ها نگرانی جهانی را در مورد انتشار عناصر سمی از مواد در تماس با مواد غذایی، به‌ویژه پلیمرها ایجاد کرده است (۶). اگرچه تعریف دقیقی از فلزات سنگین وجود ندارد، اما در بیشتر موارد، چگالی به‌عنوان عامل اصلی برای تعریف آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، فلزات سنگین معمولاً به فلزاتی گفته می‌شود که چگالی ویژه‌ای بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب دارند (۷).

فلزات سنگین به‌طور گسترده در صنعت، پزشکی و کشاورزی استفاده می‌شوند که موجب تماس فراگیر انسان و دیگر موجودات زنده با آن‌ها شده است (۸). یکی از نگرانی‌های اصلی برای سلامت عمومی، قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض فلزات سنگین مانند کادمیوم و سرب است زیرا در غلظت‌های کم، اثرات مضر بر زندگی انسان مانند اختلال عملکرد آنزیم، مسمومیت خطرناک، عقب‌ماندگی ذهنی، بیماری آلزایمر و سرطان‌های مختلف دارند (۹). این فلزات، سمومی بدون آستانه در نظر گرفته می‌شوند، به این معنا که حتی در دوزهای پایین نیز می‌توانند آسیب‌زا باشند (۱۰). این آلاینده‌ها سمی هستند و توسط فعالیت‌های انسانی یا خطرات طبیعی در محیط پراکنده می‌شوند کادمیوم و سرب می‌توانند از غشای سلولی عبور کرده و درون سلول‌ها تجمع یابند، که این امر منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن^۶ می‌شود (۱۱). علاوه بر این، مسمومیت با فلزات سنگین در انسان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله سن، رژیم غذایی، تعاملات و قرار گرفتن در معرض سایر فلزات سمی قرار دارد. هم‌چنین بستگی به نوع مواجهه دارد که حاد یا مزمن باشد (۱۲، ۱۳). مواجهه حاد با بخارات کادمیم باعث پنومونیت شیمیایی شدید یا ادم ریوی و مرگ می‌شود. اختلالات عصبی شبیه به پارکینسون نیز به‌عنوان اثر دیر هنگام مسمومیت حاد گزارش شده است. از سوی دیگر، بلع کادمیم می‌تواند ناشی از مواجهه با گردوغبار شدیداً آلوده باشد. این مسمومیت باعث لایه‌برداری از مخاط روده شده و منجر به اسهال شدید و خونی و استفراغ می‌شود. مطالعات اخیر شواهدی برای تأثیر مستقیم کادمیم بر استخوان‌ها یافته‌اند که ناشی از رسوب و ذخیره‌ی آن در آن‌جا است. به‌طور خلاصه، کادمیم توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به‌عنوان یک سرطان‌زای انسانی (گروه ۱) طبقه‌بندی شده است، زیرا مواجهه با کادمیم به افزایش شیوع سرطان‌های ریه، پروستات، کلیه، اندومتر، سینه و معده ارتباط داشته است. اخیراً، مواجهه با کادمیم به‌عنوان یک عامل خطر قلبی‌عروقی در نظر گرفته شده است که با افزایش خطر

^۱ PET,

^۲ LDPE, HDPE

^۳ PP

^۴ PVC

^۵ PS

^۶ ROS

حمله قلبی، دیابت نوع ۲ و هم‌چنین مرگ‌ومیر ارتباط دارد (۱۲).

سرب عنصری بسیار سمی برای انسان، حیوانات و محیط‌زیست است. سرب در استخوان‌ها، کبد و کلیه‌ها تجمع می‌یابد. مکانیسم‌های سمیت سرب پیچیده‌اند و شامل انواع بیومولکول‌ها، فرایندها، تداخل در مسیرهای سیگنالی مختلف و استرس اکسیداتیو هستند، که وجه مشترک بسیاری از بیماری‌های ناشی از مواجهه با سرب به‌شمار می‌رود. سرب دو نوع متفاوت از سمیت عصبی دارد: اول، به‌عنوان یک عامل نوروٹوکسیک در تمایز سیستم عصبی مرکزی اختلال ایجاد می‌کند؛ دوم، به‌عنوان یک سم نوروفاارماکولوژیک بر مکانیسم‌های یونی انتقال عصبی اثر می‌گذارد. بنابراین، نوروٹوکسیسیته ناشی از سرب از طریق مکانیزم‌های گوناگون مانند استرس اکسیداتیو، تقلید یونی کاتیون‌های دو ظرفیتی، اختلال عملکرد میتوکندری، افزایش التهاب عصبی و افزایش نفوذپذیری مغز رخ می‌دهد (۱۴).

امروزه، ظروف پلیمری به‌دلیل خواص مطلوب خود از جمله پایداری، انعطاف‌پذیری و سهولت تولید، از اهمیت بالایی در زندگی برخوردار است (۱۵) که به‌طور گسترده و غیرقابل اجتناب در بسته‌بندی مواد غذایی، دارویی و کالاهای مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی که نشت ترکیبات این ظروف به غذا، سلامت انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهند انطباق این ترکیبات (فلزات سنگین سرب و کادمیوم) با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و استانداردهای ملی ایران، از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف این مطالعه، اندازه‌گیری و ارزیابی احتمال مواجهه انسان با سطوح مضر کادمیوم و سرب با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی و بررسی اثرات سم‌شناسی این ترکیبات بر سلامت انسان است.

روش کار

مواد شیمیایی و واکنش‌دهنده‌ها

تمام مواد شیمیایی و واکنش‌دهنده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل محلول اسیداستیک ۳٪، اتانول ۸٪، کلرید سدیم ۰/۹٪، کربنات سدیم ۵٪ و اسیدنیتریک (۹۷٪)، از شرکت مرک آلمان (Merck, Germany) تهیه شدند و همگی از درجه خلوص تحلیلی بالایی برخوردار بودند.

جمع‌آوری نمونه‌ها

نمونه‌برداری با استفاده از روش تصادفی ساده انجام شد. جامعه‌ی آماری شامل کلیه ظروف و بسته‌بندی-لوله‌ها، متعلقات و اتصالات-پلیمری مورد استفاده در صنایع غذایی موجود در مراکز فروش شهری در تهران بود که در ابتدای سال ۲۰۲۵ به‌صورت تصادفی بر اساس میزان دسترسی، تنوع مصرف در صنعت و فراوانی آن‌ها در بازار جمع‌آوری شدند. در این مطالعه، ۳۳ نمونه ظروف پلیمری از ۸ برند مختلف مورد بررسی قرار گرفتند: ظروف و بسته‌بندی-لوله‌ها، متعلقات و اتصالات-پلیمری شامل ۱ نمونه ظروف-PS-PS، ۱ نمونه گرانول-PS، ۵ نمونه مستریچ، ۳ نمونه تک لایه-PP، ۱۲ نمونه تک لایه-لوله پلی‌اتیلنی، ۹ نمونه گرانول-PE-HDPE، ۱ نمونه مخزن پلی‌اتیلن و ۱ نمونه گرانول-PET بود. در مجموع، ۳۳ نمونه از ۸ برند مختلف شامل انواع ظروف و بسته‌بندی‌های پلیمری PS-PS، PE، گرانول-PS، PP، PET، HDPE انتخاب شد. این تعداد نمونه با توجه به تنوع محصولات موجود در بازار، پوشش گروه‌های مصرف، و محدودیت‌های زمانی و مالی مطالعه تعیین شد. تلاش شد نمونه‌ها نماینده‌ای از رایج‌ترین محصولات مصرفی باشند تا امکان تحلیل اولیه و شناسایی ریسک احتمالی وجود فلزات سنگین در محصولات پرکاربرد فراهم شود.

آماده‌سازی نمونه و استخراج فلزات

به‌منظور شبیه‌سازی شرایط تماس ظروف با مواد غذایی، از پنج حلال شبیه‌ساز مواد غذایی استفاده شد که شامل آب مقطر دوبار تقطیرشده، محلول اسیداستیک ۳٪ (حجمی/حجمی)، اتانول ۸٪ (حجمی/حجمی)، کلرید سدیم ۰/۹٪ (وزنی/حجمی) و کربنات سدیم ۵٪ (وزنی/حجمی) بودند. هر ظرف در ۱۰۰ میلی‌لیتر از حلال مربوطه در بشر استریل‌شده قرار گرفت، به‌طوری‌که نسبت سطح ظرف به حجم حلال برابر با ۱ سانتی‌متر مربع به‌ازای ۲ میلی‌لیتر حفظ شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲ ساعت در دمای 60 ± 2 درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند (۱۶).

کنترل نمونه‌های پایه و هضم شیمیایی

برای کنترل پایه، مجموعه‌های مشابهی تنها شامل حلال‌های شبیه‌ساز نیز به‌طور هم‌زمان و تحت شرایط یکسان آزمایش شدند. پس از دوره‌ی تماس، حلال‌ها (۱۰۰ میلی‌لیتر) در هود گاز با استفاده از اسیدنیتریک

غلظت هضم شدند. سپس حجم نهایی هضم‌شده با استفاده از محلول ۰/۱ نرمال اسیدنیتریک به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد (۱۶).

تجزیه و تحلیل فلزات سنگین

تجزیه و تحلیل کمی با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین-لمر مدل ۵۰۰ (AAS) انجام شد. دستگاه ابتدا با محلول‌های استاندارد تهیه‌شده از محلول‌های مرجع شرکت Merck کالیبره شد. اندازه‌گیری‌ها به صورت سه‌بار تکرار (triplicate) انجام شد (۱۶).

تحلیل

تحلیل فلزات در مرکز آنالیز غذا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شد. نمونه‌ها، محلول‌های کنترل و استاندارد با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی برای شناسایی و اندازه‌گیری میزان مجموع سرب و کادمیوم بررسی شدند.

اعتبارسنجی روش تحلیل

برای اعتبارسنجی آماده‌سازی نمونه و روش تحلیل، از آزمون آنالیز ماتریس، خطی بودن (با ضریب R^2)، حد تشخیص (LOD)، و حد کمیت‌پذیری (LOQ) استفاده شد. از آن‌جا که میزان فلزات سنگین مهاجرت‌یافته مستقیماً از ظروف غذایی بدون پردازش واسطه اندازه‌گیری شد، نرخ بازیابی تعیین نگردید. روش تحلیل مطابق با دستورالعمل SANTE/11312/2021 و ICH/2005/Q2/R1 اعتبارسنجی شد. LOD و LOQ بر اساس انحراف معیار شیب و باقی‌مانده‌ها از خط رگرسیون و با تکرار پنج‌باره آزمون در هر غلظت از محلول‌های استاندارد تأییدشده محاسبه شدند (۱۷).

حد تشخیص و حد اندازه‌گیری

ضریب همبستگی خطی بین غلظت و مساحت پیک‌ها در محدوده ۰/۹۹۱۹ تا ۰/۹۹۹۸ قرار داشت، در حالی که مقادیر LOD و LOQ به ترتیب در بازه‌ی ۰/۰۰۰۹ تا ۰/۰۱۷۶ میکروگرم بر لیتر و ۰/۰۰۱۸ تا ۰/۰۵۸۲ میکروگرم بر لیتر بودند. این نتایج نشان می‌دهد که روش آزمایش برای اندازه‌گیری میزان فلزات در ظروف غذایی مناسب و قابل اعتماد بوده است (۱۷).

تحلیل آماری

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. در این مطالعه از آمار توصیفی شامل میانگین و

انحراف معیار برای توصیف غلظت سرب و کادمیوم در نمونه‌های مختلف استفاده گردید. به دلیل محدودبودن تعداد نمونه‌ها در برخی گروه‌ها و عدم برابری حجم گروه‌ها، آزمون‌های استنباطی به کار گرفته نشد و تمرکز بر تحلیل توصیفی و مقایسه مقادیر مشاهده شده بود.

یافته‌ها

آنالیز آماری داده‌های به دست آمده توسط نرم افزار SPSS نشان داد که غلظت مجموع سرب و کادمیوم در نمونه‌های ظروف پلیمری شامل ظروف ساخته‌شده از دولایه پلی-استایرن، گرانول از جنس پلی‌استایرن، مسترچ، ظروف تک لایه-پلی پروپیلن، تک لایه-لوله پلی‌اتیلن، گرانول ساخته‌شده از پلی‌اتیلن با چگالی بالا، مخزن پلی‌اتیلن و گرانول از جنس پلی‌اتیلن تترافتالات به ترتیب برابر با $0/013 \pm 0/42$ ، $0/14481 \pm 0/1663$ ، $0/67925 \pm 0/2464$ ، $0/9305 \pm 0/21807$ ، $0/1607 \pm 0/16489$ ، $0/22 \pm 0/46$ پی پی ام بودند (شکل ۱). کمترین میانگین مربوط به ظروف ساخته‌شده از دولایه پلی-استایرن با مقدار $0/013$ پی پی ام و بیشترین میانگین مربوط به ظروف تک لایه-پلی‌اتیلن با مقدار $0/9305$ پی پی ام می‌باشد (جدول ۱).

بحث

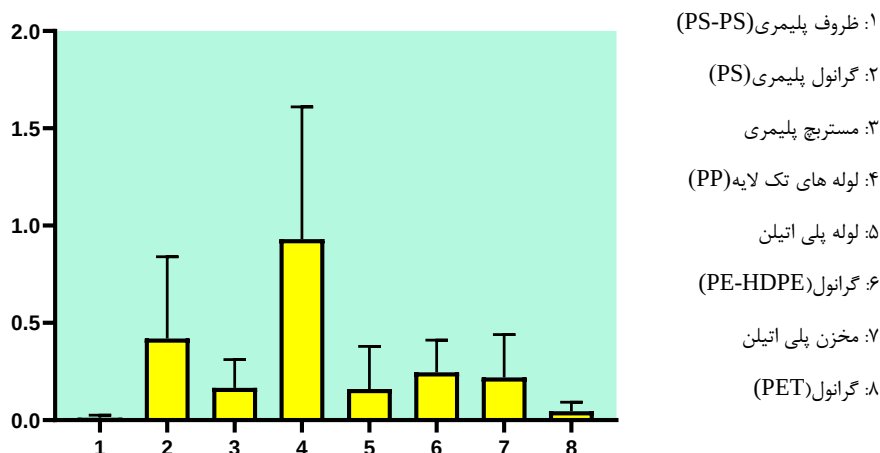
در زمینه‌ی بسته‌بندی مواد غذایی، نشت به معنای انتقال ذرات نامطلوب از مواد بسته‌بندی به ماده‌ی غذایی درون آن است. استاندارد اتحادیه‌ی اروپا ایجاب می‌کند که آلاینده‌های مختلفی هم‌چون آمین‌های آروماتیک، بنزوفنون‌ها، هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک، نرم‌کننده‌های پلاستیکی و فلزات سنگین در بسته‌بندی‌های غذایی کنترل و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. فلزات سنگین یکی از منابع عمده‌ی آلودگی محیط‌زیست محسوب می‌شوند. سمیت این فلزات به دلیل عدم توانایی آن‌ها در تجزیه‌ی زیستی، آثار زیان‌باری بر سیستم‌های زیستی دارند. این فلزات در موجودات زنده تجمع یافته و حتی در غلظت‌های بسیار پایین نیز می‌توانند موجب بروز بیماری‌ها و اختلالات متعدد شوند (۱۸).

کادمیم به عنوان یک فلز سمی شناخته می‌شود و طبق گزارش آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان^۱، قرارگیری

^۱ IARC

جدول ۱. نتایج تحلیل غظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های پلیمری با روش طیف‌سنجی جذب اتمی

نوع نمونه	روش آزمون	نتیجه آزمون (ppm)	میانگین (ppm)	حد استاندارد (ppm)
ظروف پلیمری (PS-PS)	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳
گرانول پلیمری (PS)	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
مستریج پلیمری	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۳-۰/۰۳۹	۰/۱۶۶۳	۰/۱۴۴۸۱
لوله‌های تک لایه (PP)	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۲۵۱۵-۱/۶۱	۰/۹۳۰۵	۰/۶۷۹۲۵
لوله پلی اتیلن	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۲-۰/۰۷۹۳	۰/۱۶۰۷	۰/۲۱۸۰۷
گرانول (PE-HDPE)	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۲-۰/۰۴۵۳	۰/۲۴۶۴	۰/۱۶۸۴۹
مخزن پلی اتیلن	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲
گرانول (PET)	طیف سنج جذب اتمی (AAS)	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶



شکل ۱. میانگین و انحراف معیار فلزات سنگین سرب و کادمیوم در انواع ظروف پلیمری

می‌کند. کادمیوم توانایی اختلال در غدد درون‌ریز دارد و همه‌ی هورمون‌های هیپوفیزی را مختل می‌کند. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده کادمیوم را به عنوان یک سرطان‌زای کلاس B₁ در نظر می‌گیرد. سرطان پروستات نیز با مصرف کادمیوم و هم‌چنین سرطان پانکراس مرتبط است. کادمیوم ممکن است با سیگنال‌دهی هورمونی مختلف از جمله استروژن تعامل داشته باشد. دوزهای پایین کادمیوم بر سیستم قلبی-عروقی تأثیر می‌گذارند (۱۹).

سرب یکی از فلزات سنگین سمی است که منابع اصلی آن در محیط شامل رنگ‌های پایه‌سرب، گردوغبار خانگی، غذا،

انسان در معرض ترکیبات کادمیوم ممکن است مشکلات بهداشتی جدی ایجاد کند. بیماری ایتای-ایتای یکی از این شرایط است که ناشی از آلودگی مزمن به کادمیوم در مزارع برنج آلوده بود. ارگان اصلی که در انسان تحت تأثیر سم کادمیوم قرار می‌گیرد، کلیه است. افراد دیابتی نسبت به افراد سالم بیشتر در معرض آسیب‌های لوله‌های کلیوی ناشی از قرارگیری در معرض کادمیوم هستند. کادمیوم می‌تواند متابولیسم ویتامین D در کلیه را مختل کند. هم‌چنین کادمیوم به‌طور مستقیم استرس اکسیداتیو را تحریک کرده، پراکسیداسیون چربی را افزایش داده و گلووتاتیون را تخلیه

اندازه‌گیری شده، سرب با میانگین کلی 0.19723 ± 0.02670 میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار را داشت و کادمیوم با میانگین 0.0049 ± 0.0028 کمترین مقدار را نشان داد. در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی و سایر مطالعات، تمام فلزات به جز سرب، کمتر از مقدار مجاز بودند که در مورد کادمیوم نتایج این مطالعه با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌راستا بود، به‌طوری که در هر دو مطالعه، میزان کادمیوم در محدوده‌ی مجاز استانداردهای بین‌المللی قرار داشت (۲۲).

هدف مطالعه نوری و همکاران (۲۰۲۳) بررسی محتوای فلزات سنگین (مانند سرب، کادمیوم و آرسنیک) در ۳۲ نوع مختلف ظرف بسته‌بندی پلاستیکی مواد غذایی ایرانی با استفاده از طیف‌سنجی گسیل نوری با پلاسماي جفت شده القایی (ICP-OES) و سیستم هضم میکروویو است. مواد بسته‌بندی شده مورد بررسی شامل محصولات لبنی، سس مایونز و انواع کچاپ بوده است. نتایج تحقیق نشان داد که مقادیر فلزات سنگین به شرح زیر است: سرب ($0.18-0.1258$ میلی گرم در کیلوگرم)، کادمیوم ($0.03-0.0049$ میلی گرم در کیلوگرم)، و آرسنیک ($0.17-0.387$ میلی گرم در کیلوگرم). سرب در غلظت‌های $0.18-0.1258$ میلی گرم در کیلوگرم در هشت مورد از ۳۲ بسته‌بندی شناسایی شد. بالاترین غلظت‌های سرب در نمونه‌های زرد و سبز رنگ مشاهده شد. غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی سرب در این مطالعه، در بازه‌ای بین 0.18 تا 0.1258 میلی گرم بر کیلوگرم بودند. 25% از نمونه‌های بررسی‌شده (۸ نمونه از ۳۲) دارای مقادیری بالاتر از حد مجاز کیفیت بودند. با توجه به این که دمای تابستان در عراق معمولاً بین 43 تا 50 درجه سانتی‌گراد است، این شرایط می‌تواند بسیار مساعد برای مهاجرت فلزات مانند سرب به مواد غذایی باشد اما در مورد نمونه‌های بسته‌بندی پلاستیکی مواد غذایی بررسی‌شده در این تحقیق، تمامی مقادیر کادمیوم کمتر از حد مجاز بودند، که هم‌راستا با مطالعه‌ی حاضر بود (۲۳).

بر اساس مطالعات ریانتی و همکاران (۲۰۲۱) تعیین سطح سرب و کادمیوم از مهاجرت برخی کاسه‌ها و لیوان‌های پلاستیکی که آنالیز موجود هستند، با استفاده از

هوا، خاک، برخی از ظروف سفالی، لحیم‌کاری‌ها، چینی، و آلیاژهایی مانند پیتر می‌شود. این عنصر می‌تواند در بدن انسان تجمع یابد و باعث بروز بیماری‌هایی در کلیه‌ها، مغز و گلبول‌های قرمز شود. سرب برای کودکان خردسال و زنان باردار بسیار خطرناک‌تر است؛ در بزرگسالان نیز می‌تواند رشد فیزیکی و رشد ذهنی طبیعی را کند نماید. در بزرگسالان، مسمومیت با سرب می‌تواند از طریق استنشاق در محیط کار ایجاد شود، در حالی که در کودکان، معمولاً از طریق بلعیدن موادی مانند تکه‌های رنگ، خاک، گردوغبار، سرامیک، آب آشامیدنی یا داروها اتفاق می‌افتد. مسمومیت با سرب بر گلبول‌های قرمز در حال رشد، سیستم عصبی و کلیه‌ها تأثیر می‌گذارد (۲۰). پس از جذب، سرب از طریق گلبول‌های قرمز خون^۱ در بدن توزیع می‌شود. سرب عمدتاً به هموگلوبین متصل می‌شود. سیستم خونساز (هماتوپوئیتیک) یکی از سیستم‌های حساس به سمیت سرب است و ممکن است به کم‌خونی منجر شود. مشاهدات آسیب‌شناسی بافتی (هیستوپاتولوژیک) تأیید کرده‌اند که یون‌های سرب به کبد منتقل می‌شوند و می‌توانند باعث آسیب‌های مزمن کبدی شوند. سرب با وارد کردن آسیب ساختاری و تغییر در عملکرد دفع، تأثیرات سمی بر کلیه‌ها نیز دارد. سایر اندام‌ها و سیستم‌های بافتی تحت تأثیر سمیت سرب شامل سیستم عصبی، قلبی-عروقی و تولیدمثل هستند. مسمومیت با سرب باعث معدنی شدن^۲ استخوان‌ها و دندان‌ها می‌شود که یکی از بارهای اصلی بدن از نظر ذخیره سرب محسوب می‌شود. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان اعلام کرده است که سرب معدنی احتمالاً برای انسان سرطان‌زا است (گروه A۲)؛ این نظر بر پایه شواهد محدود در انسان و شواهد کافی در حیوانات ابراز شده است (۲۱).

سادات زاده و همکاران (۲۰۲۴)، غلظت فلزات سنگین در غذاهای کنسروی را (با اسیدیته بالا، اسیدی و کم‌اسید) اندازه‌گیری و مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین به‌ترتیب زیر بود: سرب < جیوه < کبالت < آرسنیک < کادمیوم. در بین فلزات

¹ RBC

² Mineralization

اسپکتروفتومتر جذب اتمی انجام شده است. در این تحقیق از شبیه‌ساز اسید استیک ۰.۴٪ استفاده شده است. نمونه‌ها با استفاده از اشعه‌ی مادون قرمز نزدیک شناسایی شدند. نتیجه‌ی این تحقیق بر روی دو نوع کاسه پلاستیکی و یک نوع لیوان پلاستیکی شفاف که از پلی‌پروپیلن ساخته شده‌اند، به‌دست آمد. نمونه‌ها با شبیه‌ساز اسیداستیک ۰.۴٪ پر شده و به‌مدت بیست و چهار ساعت در مکانی تاریک نگهداری شده، سپس با استفاده از AAS اندازه‌گیری شدند. در تمامی نمونه‌ها که شامل دو نوع کاسه و یک لیوان پلاستیکی شفاف بودند، سرب و کادمیوم با حد تشخیص (LOD) سرب ۱/۳۳ میکروگرم/میلی‌لیتر و (LOD) کادمیوم ۰/۲۲ میکروگرم/میلی‌لیتر شناسایی نشدند، در حالی که حد کمیّت‌سنجی (LOQ) برای سرب ۴/۴۳ میکروگرم/میلی‌لیتر و (LOQ) برای کادمیوم ۰/۷۴ میکروگرم/میلی‌لیتر بود. حد تشخیص و حد کمیّت‌سنجی برای سرب به‌دلیل استفاده از AAS با شعله بالا است، در حالی که به‌طور ایده‌آل باید از AAS با کوره گرافیتی استفاده می‌شد، در نتیجه در نمونه‌های مورد بررسی که شامل کاسه‌های پلاستیکی سبز، سفید و لیوان شفاف از نوع پلی‌پروپیلن بودند هیچ‌گونه مهاجرت فلزات سرب و کادمیوم از این سه نمونه مشاهده نشد (۲۴).

هدف مطالعه نهانگا و همکاران (۲۰۲۵) ارزیابی سطوح فلزات سنگینی است که به‌طور معمول در کیسه‌های پلاستیکی به‌عنوان پوشش‌های موقتی برای پخت غذا استفاده می‌شوند و تمرکز آن بر جوامع موزامبیکی است که این عادت را دارند. برای تحلیل این کیسه‌ها، از تکنیک‌های طیف‌سنجی مانند طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز^۱ و طیف‌سنجی جذب اتمی استفاده شد تا نوع پلیمر، ترکیب شیمیایی و غلظت فلزات سنگین شناسایی شود. تحلیل FTIR تایید کرد که پلی‌اتیلن با چگالی پایین^۲ و پلی‌اتیلن با چگالی بالا^۳ به‌عنوان مواد اصلی کیسه‌های پلاستیکی بودند. پیک‌های طیفی در بازه‌ی ۲۸۰۰ تا ۳۰۰۰ سانتی‌متر بر منفی ۱ نشان‌دهنده‌ی ارتعاشات کششی خاص LDPE و HDPE هستند.

اندازه‌گیری‌های چگالی بین ۰/۰۴ و ۰/۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب با مقادیر عدم قطعیت بسیار کم (۰/۲۷٪ و ۰/۰۹۸٪) متغیر بودند. تحلیل فلزات سنگین نشان داد که غلظت‌ها بالاتر از مقادیر تعیین‌شده در استانداردهای بین‌المللی بودند. نتایج حاصل از بررسی درصد فلزات سنگین در نمونه‌های پلیمری نشان داد که میزان کادمیوم در نمونه‌های LDPE نسبت به HDPE کمتر و برابر با ۶۹/۷۱٪، میزان مس در LDPE بیشتر و برابر با ۲۲۰/۴۴٪، و میزان سرب در LDPE کمتر و برابر با ۲۴٪ می‌باشد (۲۵).

بر اساس مطالعه سنا و همکاران (۲۰۲۲) که با هدف بررسی کیفی و کمی میزان آلودگی به فلزات سنگین در انواع مختلف مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی در هند انجام شد. برای سنجش کمی فلزات سنگین از طیف‌سنجی نشر نوری با پلاسمای القاشده (ICP-OES) بهره گرفته شد. در مجموع، ۱۳ نوع ماده‌ی بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی از بازار محلی تهیه و از نظر وجود فلز سنگین شامل آرسنیک، جیوه و کادمیوم مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده از ICP-OES نشان داد که میزان آرسنیک در همه‌ی نمونه‌ها، جیوه در دو نمونه و کادمیوم تنها در یک نمونه ساشه بالاتر از حد مجاز بود. آرسنیک شایع‌ترین آلاینده در میان فلزات سنگین بود که در هر ۱۳ نمونه در سطحی بالاتر از حد مجاز یافت شد (۱۸).

مطالعه‌ی موخی و همکاران (۲۰۲۴) با هدف تحلیل کیفی و کمی میزان فلزات سنگین موجود در انواع مختلف مواد بسته‌بندی غذا و دارو در هند انجام شد. شناسایی کیفی با استفاده از آزمون‌های سریع انجام شد و برای اندازه‌گیری کمی فلزات سنگین، از روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) بهره گرفته شد. در مجموع، سیزده نوع ماده‌ی بسته‌بندی غذا و دارو از بازار محلی تهیه و فلز سنگین شامل آرسنیک، جیوه و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفتند. غلظت هر یک از فلزات سنگین در نمونه‌ها با مقادیر مجاز منتشرشده توسط اتحادیه اروپا مقایسه شد. فلزات سنگین در ده نمونه از سیزده نمونه به‌صورت کیفی شناسایی شدند. در میان این ده نمونه، جیوه و آرسنیک بیشترین میزان شناسایی را داشتند و پس از آن کادمیوم در رتبه‌ی بعدی قرار گرفت. اندازه‌گیری کمی با

¹ FTIR

² LDPE

³ HDPE

می‌تواند به سیاست‌گذاری مؤثرتر در این صنعت منجر شود. از اندازه‌گیری کادمیوم و سرب در نمونه‌های مختلف بسته‌بندی پلیمری، یکی از محدودیت‌های این مطالعه این بود که، تنها دو عنصر از میان فلزات سنگین بررسی شدند. این نکته حائز اهمیت است، چرا که میزان کلی فلزات ممکن است به شدت بر نرخ مهاجرت آن‌ها تأثیر بگذارد. توصیه می‌شود در مطالعات آتی، از تعداد بیشتری نمونه استفاده شده و روش‌های تحلیلی پیشرفته‌تری برای بررسی مقدار کل فلزات سنگین در انواع مختلف ظروف پلیمری به کار گرفته شود.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه علوم پزشکی تهران بابت حمایت‌های علمی و پژوهشی اعلام می‌دارند.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: نویسندگان مقاله اعلام می‌نمایند که این تحقیق پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمامی نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. مطالعه‌ی حاضر بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شده و شامل هیچ‌گونه مداخله انسانی یا حیوانی نبوده است؛ بنابراین نیاز به اخذ کد اخلاق نداشت.

سهم نویسندگان: سهیل اسکندری در نمونه‌گیری و آنالیزهای آزمایشگاهی همکاری داشتند. پیش‌نویس و آنالیز دیتا توسط پریا میری انجام شد. نگارش مقاله توسط مهسا کریمی، بهاره محمدی و سعید عاقبت‌بخیر صورت گرفت.

References

1. Ncube LK, Ude AU, Ogunmuyiwa EN, Zulkifli R, Beas IN. An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries. Recycling. 2021;6(1):12. <https://doi.org/10.3390/recycling6010012>
2. Kirwan MJ, Plant S, Strawbridge JW. Plastics in food packaging. Food and beverage packaging technology. 2011;157-212. <https://doi.org/10.1002/9781444392180.ch7>

روش ICP-OES نشان داد که کادمیوم در ده نمونه وجود داشتند و بالاتر از حد مجاز استاندارد بود، در حالی که آرسنیک و جیوه در هر ۱۳ نمونه و بالاتر از حد مجاز مشاهده شدند (۲۶).

در مطالعاتی که فلزات سنگین از محدوده‌ی استاندارد ملی بالاتر بودند می‌توان بیان کرد که این اختلافات در این مطالعات ممکن است به دلیل تفاوت در روش‌های اندازه‌گیری، منابع مواد اولیه یا سطح نظارت بر فرآیند تولید باشد که می‌تواند اثرات مخاطره‌آمیزی برای محیط زیست و سلامت انسان ایجاد کند. در این مطالعه در مجموع، اگرچه نتایج نشان داد که میزان حدود مجاز کادمیوم و سرب با استاندارد ملی به شماره INSO 12968 که حدود آزمون زیر ۱۰۰ است، مطابقت دارد، اما در برخی از انواع بسته‌بندی، غلظت سرب نزدیک حد آستانه بود که می‌تواند در شرایط خاص مانند دمای بالا خطر ساز باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی انجام‌شده بر روی انواع بسته‌بندی‌های پلیمری نشان داد که غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب در محدوده‌ی استاندارد ملی به شماره INSO 12968 بود که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده کمترین میانگین مربوط به ظروف ساخته‌شده از دولایه پلی‌استیرن با مقدار ۰/۱۳ ppm و بیشترین میانگین مربوط به ظروف تک لایه-پلی‌اتیلن با مقدار ۰/۹۳۰۵ ppm بود. با وجود نتایج قابل‌توجه به‌دست‌آمده در محدوده‌ی مجاز، حضور فلزات سنگین در ظروف پلیمری مشاهده می‌شود که با توجه به آسیب‌های محیط زیستی و بهداشتی آن بر نظارت و کنترل کیفی سخت‌گیرانه در فرایند تولید تأکید می‌شود؛ رویکردی که

3. Tajeddin B, Arabkhedri M. Polymers and food packaging. Polymer science and innovative

applications: Elsevier; 2020. p. 525-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816808-0.00016-0>

4. Jiang Y, Song G, Zhang H. Material identification and heavy metal characteristics of plastic packaging bags used in Chinese express delivery. Frontiers in Environmental Science.

- 2023;11:1253108.<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1253108>
5. Whitt M, Brown W, Danes JE, Vorst KL. Migration of heavy metals from recycled polyethylene terephthalate during storage and microwave heating. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 2016;32 (2):189-207.<https://doi.org/10.1177/8756087915590190>
6. Sadighara P, Jahanbakhsh M, Nazari Z, Mostashari P. The organotin contaminants in food: Sources and methods for detection: A systematic review and meta-analysis. *Food Chemistry*: X. 2021;12:100154.<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100154> PMID:34805970 PMCID:PMC8585625
7. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*. 2003;68 (1):167-82.<https://doi.org/10.1093/bmb/dlg032> PMID:14757716
8. Wu J, Huang C. Machine learning-supported determination for site-specific natural background values of soil heavy metals. *Journal of hazardous materials*. 2025;137276.<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137276> PMID:39837028
9. Saatloo NV, Ebrahiminejad B, Sadighara P, Manafi L, Yazdanfar N, Fallahizadeh S. Quantification and human health risk assessment of cadmium and lead in wheat flour on the Iranian market by atomic absorption spectrometry. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023;8:100438.<https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100438>
10. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology*. 2012:133-64.https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6 PMID:22945569 PMCID:PMC4144270
11. Ercal N, Gurer-Orhan H, Aykin-Burns N. Toxic metals and oxidative stress part I: mechanisms involved in metal-induced oxidative damage. *Current topics in medicinal chemistry*. 2001;1 (6):529-39.<https://doi.org/10.2174/1568026013394831> PMID:11895129
12. Johri N, Jacquillet G, Unwin R. Heavy metal poisoning: the effects of cadmium on the kidney. *Biometals*. 2010;23:783-92.<https://doi.org/10.1007/s10534-010-9328-y> PMID:20354761
13. Shavali Gilani P, Sadighara P, Vakili Saatloo N, Yazdanfar N, Yousefi M. Determination and health risk assessment of heavy metals content in some common drinks in Tehran, Iran. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025;21:102014.<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102014>
14. Jomova K, Alomar SY, Nepovimova E, Kuca K, Valko M. Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*. 2025;99 (1):153-209.<https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2> PMID:39567405 PMCID:PMC11742009
15. Mangaraj S, Yadav A, Bal LM, Dash S, Mahanti NK. Application of biodegradable polymers in food packaging industry: A comprehensive review. *Journal of Packaging Technology and Research*. 2019;3 (1):77-96.<https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>
16. Khan S, Khan AR. Contamination of toxic heavy metal in locally made plastic food packaging containers. *Global J Sci Front Res B Chem*. 2015;15 (1):19-24.
17. Han Y, Ryu K, Song N, Seo J, Kang I, Chung H-J, et al. Potential migration and health risks of heavy metals and metalloids in take-out food containers in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2024;21 (2):139.<https://doi.org/10.3390/ijerph21020139> PMID:38397630 PMCID:PMC10887885
18. Senna M, Rukmini M, Poornima AM, Reghupathi I, Sindhu H. Assessment of heavy metals in food and drug packaging materials. *F1000Research*. 2022;11.<https://doi.org/10.12688/f1000research.121473.1> PMID:38779461 PMCID:PMC11109717
19. Annar S. The characteristics, toxicity and effects of heavy metals arsenic, mercury and cadmium: A review. *Int J Multidiscip Educ amazonaws com*. 2022.
20. Amjad M, Hussain S, Javed K, Khan AR, Shahjahan M. The sources, toxicity, determination of heavy metals and their removal techniques from drinking water. *World*. 2020;5 (2):34-40.<https://doi.org/10.11648/j.wjac.20200502.14>

21. Kumar A, Kumar A, MMS C-P, Chaturvedi AK, Shabnam AA, Subrahmanyam G, et al. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17 (7):2179. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179> PMid:32218253 PMCID:PMC7177270
22. Saadatzadeh A, Ghazi AAMS, Sabahi S. Measuring and comparing the concentration of heavy metals (arsenic, cobalt, cadmium, lead and mercury) in canned foods (strong acid, acid, low acid) in Ahvaz city. *Iranian journal of food science and industry*. 2024;21 (147).
23. Noori HJ, Ahmad HI, Rasheed RM. Determination of heavy metals in Iranian food packaging plastic. *Academic Journal of Nawroz University*. 2023;12 (4):559-63. <https://doi.org/10.25007/ajnu.v12n4a1226>
24. Riyanti HB, Yeni Y, editors. Determination of level of lead (Pb) and cadmium (Cd) migration on bowl and clear plastic cup using atomic absorption spectrophotometer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2021: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012054>
25. Nhanga MC, Geraldo D, Nhapulo SL, João AF, Carneiro J, Costa MF. Evaluation of Heavy Metal Content in Plastic Bags Used as Improvised Food Cooking Covers: A Case Study from the Mozambican Community. *Sustainability* (2071-1050). 2025;17 (3). <https://doi.org/10.3390/su17030964>
26. Mukhi S, Rukmini M, Manjrekar PA, Iyyaswami R. Assessment of arsenic, vanadium, mercury, and cadmium in food and drug packaging. *F1000Research*. 2024;11:648 <https://doi.org/10.12688/f1000research.121473.3> PMid:38779461 PMCID:PMC11109717