

Assessment of Changes in Mineral and Heavy Metal Concentrations in Sesame Seed During Its Processing into Tahini

Zahra Ahmadi Bardei¹, Maryam Ghaderi-Ghahfarokhi^{2*}, Ali Fazlara³, Fatemeh Kardani⁴

¹ MSc graduate, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

² Associate Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, (* Corresponding Author Email: m.ghaderi@scu.ac.ir).

³ Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

⁴ Ph.D. in Analytical Chemistry, Chemistry Department, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-09-06
Revised: 2025-10-24
Accepted: 2025-12-20

Keywords:

Essential Minerals
Heavy Metals
Processing
Sesame seed
Tahini

ABSTRACT

Background and Objective: Sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and tahini are rich sources of various mineral elements, and their consumption is recommended in the diet. However, these products may also become contaminated with heavy metals through specific agricultural or industrial processes. Considering the high nutritional value and widespread consumption of sesame seed and tahini, either raw or as ingredients in various food products, this study aimed to investigate the effects of different processing stages of sesame seed and its conversion into tahini on the contents of essential minerals and heavy metals.

Materials and Methods: Samples were collected from various stages of sesame seed processing into tahini, including raw sesame seed, washed raw sesame seed, hulled sesame seed, roasted sesame seed, and Tahini. After sample preparation and ashing, the concentrations of heavy metals—arsenic (As), mercury (Hg), cadmium (Cd), aluminum (Al), and lead (Pb)—and essential minerals—sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), molybdenum (Mo), cobalt (Co), chromium (Cr), and nickel (Ni)—were determined using Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP–OES). The statistical analysis was performed using one-way analysis of variance (ANOVA), and mean comparisons were conducted using Tukey’s test at a 95% confidence level with Minitab software.

Results: Both sesame seed and tahini contained considerable levels of essential macro-minerals (Na, K, Ca, Mg) and trace elements (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Co, Cr, Ni). The various processing stages had different effects on the mineral composition. Overall, the contents of K, Mn, Cr, Mo, Ni, and As significantly decreased after washing ($P < 0.05$). Similarly, levels of K, Mg, Ca, Mn, Cr, Co, Ni, and Mo significantly decreased following dehulling compared with raw sesame seed ($P < 0.05$). Roasting of dehulled seeds caused a non-significant increase in Na, Cu, Cr, Mo, Ni, and Co contents ($P >$

0.05). In the final tahini product, Na, Zn, Fe, and Cu levels were significantly higher than in raw sesame seed ($P < 0.05$), while Ca, Mg, Mn, Cr, Co, and Mo contents were significantly lower ($P < 0.05$). Among the heavy metals, only As and Pb were detected in raw sesame seed; Cd, Hg, and Al were not detected in any samples. Washing significantly reduced As and Pb levels ($P < 0.05$). Dehulling had no significant effect on As content, whereas Pb content slightly increased without statistical significance ($P > 0.05$). Grinding and tahini production caused a significant increase in Pb concentration ($P < 0.05$), whereas As levels in both tahini and roasted sesame seed were significantly lower than in the raw seeds ($P < 0.05$).

Conclusion: The findings indicate that sesame seed and tahini are rich sources of essential minerals and can contribute to dietary mineral intake. Washing sesame seeds before consumption is recommended to reduce heavy metal contamination, particularly Pb and As. Nevertheless, due to potential contamination risks, moderate consumption of dehulled sesame seeds and tahini should be considered in daily diets. It is further recommended that tahini producers use sesame seeds with minimal heavy metal contamination and employ proper processing equipment to ensure the safety of this popular food product.

Cite this article: Ahmadi Bardei, Z., Ghaderi-Ghahfarokhi, M., Fazlara, A., Kardani, F. 2026. Assessment of Changes in Mineral and Heavy Metal Concentrations in Sesame Seed During Its Processing into Tahini. *Food Processing and Preservation Journal*, 17(4), 83-104.



© The Author(s)



[10.22069/fppj.2025.24045.1904](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.24045.1904)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی تغییرات غلظت املاح معدنی و فلزات سنگین کنجد طی فرآوری آن به ارده

زهرا احمدی باردئی^۱، مریم قادری قهفرخی^{۲*}، علی فضل آرا^۳، فاطمه کردانی^۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
^۲ دانشیار، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (* رایانامه نویسنده مسئول: m.ghaderi@scu.ac.ir)
^۳ استاد، گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
^۴ دکتری شیمی تجزیه، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

سابقه و هدف: دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ارده منبع غنی از املاح معدنی مختلف هستند و مصرف آن در رژیم غذایی توصیه شده است. با این وجود، این محصولات نیز ممکن است در اثر برخی عملیات کشاورزی و انسانی آلوده به فلزات سنگین باشند. با توجه به ارزش تغذیه‌ای قابل توجه و مصرف بالای کنجد و ارده به صورت خام یا در تهیه سایر محصولات غذایی، در این مطالعه تأثیر مراحل مختلف فرآوری کنجد و تبدیل آن به ارده، بر املاح معدنی ضروری و فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این مطالعه، از مراحل مختلف تبدیل کنجد به ارده نمونه برداری شد و نمونه‌ها شامل نمونه کنجد خام شسته نشده و با پوست، نمونه کنجد پس از شست و شو: نمونه کنجد پس از پوست گیری، نمونه کنجد پس از پوست گیری و بو دادن و ارده بودند. پس از آماده سازی و تبدیل نمونه‌ها به خاکستر، محتوای فلزات سنگین شامل آرسنیک (As)، جیوه (Hg)، کادمیم (Cd)، آلومینیم (Al) و سرب (Pb) و املاح معدنی شامل سدیم (Na)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، کبالت (Co)، کروم (Cr) و نیکل (Ni) با استفاده از پلاسما جفت‌شونده القایی متصل به طیف‌سنجی نشر نوری (ICP-OES) تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری با آنالیز یک طرفه واریانس ANOVA و مقایسه‌ی میانگین‌ها با روش توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم افزار مینی تب انجام شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۵

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۸/۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۲۹

واژه‌های کلیدی:

کنجد

ارده

فرآوری

املاح ضروری

فلزات سنگین

یافته‌ها: نتایج نشان داد ارده و کنجد حاوی سطوح مناسبی از املاح معدنی ضروری (K, Na, Ca و Mg) و کم مقدار (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Co, Cr و Ni) بودند. مراحل مختلف فرآوری اثرات متفاوتی بر محتوای املاح مختلف داشتند؛ به‌طور کلی محتوای K, Mn, Cr, Mo, Ni و As پس از شست و شو به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). هم چنین،

سطوح K, Mg, Ca, Mn, Cr, Co, Ni و Mo به‌طور معنی‌داری پس از پوست‌کنی نسبت به کنجد اولیه کاهش نشان داد ($P < 0/05$). برشته شدن دانه‌های کنجد پوست‌گیری شده با افزایش غیر معنی‌دار محتوای Na, Cu, Cr, Mo, Ni و Co همراه بود ($P > 0/05$). محتوای Na, Zn, Fe و Cu در ارده تولید شده از کنجدهای برشته شده به‌طور معنی‌داری بالاتر دانه کنجد اولیه بود ($P < 0/05$). حال آنکه محتوای Ca, Mg, Mn, Cr, Co و Mo به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($P < 0/05$). در بین فلزات سنگین نیز تنها As و Pb در نمونه‌های کنجد اولیه تشخیص داده شدند و نمونه‌ها فاقد Cd, Hg و Al بودند. محتوای As و Pb به‌طور معنی‌داری با شست و شو کاهش یافت ($P < 0/05$). پوست‌گیری تأثیر معنی‌داری بر مقدار As نداشت اما محتوای Pb در کنجد پس از پوست‌گیری به‌طور غیر معنی‌داری افزایش یافت ($P > 0/05$). آسیاب کردن و تهیه ارده سبب افزایش معنی‌دار Pb گردید ($P < 0/05$), در حالی که محتوای As در ارده و کنجد برشته شده، به‌طور معنی‌داری کمتر از دانه کنجد اولیه بود ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه، شست و شوی کنجد قبل از مصرف جهت حذف بخشی از آلودگی به فلزات سنگین نظیر Pb و As توصیه می‌شود. علاوه بر این، مصرف متعادل کنجدهای بدون پوست و ارده در رژیم غذایی روزانه، به دلیل خطر آلودگی به فلزات سنگین باید مورد توجه قرار گیرد. به تولیدکنندگان ارده نیز توصیه می‌شود، با استفاده از کنجدهای با سطح آلودگی پائین‌تر به فلزات سنگین و استفاده از ماشین آلات مناسب جهت فرآوری، محصولات ایمنی برای مصرف کنندگان این محصول غذایی بر طرفدار تولید نمایند.

استاد: احمدی باردئی، زهرا؛ قادری قهفرخی، مریم؛ فضل آرا، علی؛ کردانی، فاطمه. (۱۴۰۴). ارزیابی تغییرات غلظت املاح معدنی و فلزات سنگین کنجد طی فرآوری آن به ارده. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۷(۴)، ۸۳-۱۰۴



[10.22069/fppj.2025.24045.1904](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.24045.1904)

© نویسندگان



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. متعلق به خانواده *Pedaliaceae* بوده و یکی از قدیمی ترین و مهم ترین دانه های روغنی در سطح جهان تلقی می شود که از دیر باز در رژیم غذایی انسان مورد استفاده قرار گرفته است (۱). ترکیبات دانه کنگد حاوی ۵۸-۴۴ در صد روغن، ۲۵-۱۸ در صد پروتئین، ۱۳/۵ در صد کربوهیدرات و حدود ۵ در صد خاکستر است. علاوه بر این، پروفایل لیپیدی شامل اسیدهای چرب لینولئیک، لینولنیک، اولئیک، میریستیک، پالمیک، پالمیتولئیک و استئاریک اسید است (۲). در ایران دانه کنگد به صورت با پوست یا پوست گیری شده و بو داده شده یا خام در تولید فرآورده های غذایی نظیر محصولات نانوائی و شیرینی پزی، سوپ، غلات، تنقلات و سس ها مورد استفاده قرار می گیرد (۱، ۳). ارده یا تاهینی^۱ یکی از محصولات غذایی بر پایه کنگد می باشد که معمولاً از کنگد بو داده و پوست گیری شده پس از آسیاب کردن به دست می آید (۴). ارده ارزش غذایی بالایی دارد زیرا حاوی اسیدهای چرب ضروری، ویتامین های A و خانواده B، پروتئین با ارزش غذایی بالا و املاح معدنی ضروری (نظیر کلسیم، منیزیم، فسفر و پتاسیم) است. هم چنین یک ماده اولیه رایج در آماده سازی بسیاری از محصولات غذایی محبوب در کشورهای خاورمیانه، ایران و ترکیه از جمله حلوا و هوموس محسوب می شود (۲، ۵).

دانشمندان و متخصصان بهداشت، فلزات سنگین را از دیدگاه مصارف انسانی به دو دسته تقسیم می کنند: فلزات ضروری و فلزات سمی. برخی از فلزات سنگین نظیر کروم، نیکل، کبالت، مس، آهن، منگنز، روی، مولیبدن و سلنیوم در مقادیر جزئی برای سلامت انسان مورد نیاز هستند و نقش مهمی در

فعالیت های سلولی ایفا می کنند. با این وجود، بسیاری از فلزات سنگین در صورتی که بالاتر از حدود ایمن مصرف شوند، می توانند اثرات مخربی بر سلامتی انسان به جای بگذارند. با این وجود فلزات سنگینی نظیر جیوه، آرسنیک، کادمیم، سرب و کروم جزء فلزات سنگینی در نظر گرفته می شوند که از سمیت بالائی برای موجودات زنده و انسان برخوردارند. فلزات سنگین مانند جیوه، سرب، قلع، آرسنیک و کادمیم در کلیه ها، استخوان ها و کبد تجمع می یابند و منجر به بروز بیماری های مزمن مانند سرطان ها، مشکلات پوستی، سرگیجه، سردرد، تحریک چشم ها، جهش ها و بیماری های تنفسی در این اعضای حیاتی حتی در سطح پایین می شوند (۱، ۶).

فلزات سنگین یکی از رایج ترین آلاینده های هستند که هم به طور طبیعی و هم در اثر فعالیت های انسانی ایجاد می شوند. صنایع الکترونیک، ماشین آلات، محصولات فلزی، معدن ها، کودها و آفت کش ها، استخراج و تولید نفت و غیره، از عمده ترین دلایل ورود آلاینده ها به محیط زیست و در نهایت به مواد غذایی هستند (۷). کنگد و ارده نیز مانند سایر محصولات کشاورزی و غذایی در عین حال که تامین کننده بسیاری از املاح مفید برای بدن هستند، متاسفانه آلودگی آن ها به فلزات سنگین در بسیاری از مطالعات انجام شده در داخل کشور (۱، ۸، ۹) و سایر کشورها (۶، ۱۰-۱۲) به اثبات رسیده است.

فرآیندهائی که در مراحل آماده سازی دانه ها از قبیل غلات، حبوبات و دانه های روغنی در خانه یا صنعت انجام می شود ممکن است تاثیر به سزائی بر محتوای آلاینده ها از جمله فلزات سنگین و ترکیبات ضد تغذیه ای مواد غذایی داشته باشند و سبب کاهش یا افزایش غلظت آن ها شوند. اگر چه نحوه توزیع فلزات مغذی و سنگین در بخش های مختلف دانه های مختلف متفاوت است و نمی توان با اطمینان اثر یک

^۱ Tahini

(HSS)، نمونه کنجد پس از پوست گیری و بو دادن^۴ (HRSS) و کنجد آسیاب شده یا ارده نهائی^۶ (T) نهائی نمونه برداری شد. نمونه برداری از هر مرحله فرآوری در سه روز مختلف تولید ارده انجام شد و به عبارتی از هر مرحله ۳ نمونه ۵۰۰ گرمی تهیه شد. تمام نمونه‌های کنجد و ارده پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها ابتدا از نظر وجود اجزای خارجی نظیر سنگ، شن، خاک و غیره چک شده و پس از آسیاب کردن در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی (۶) و تا زمان آزمایشات در دمای 4°C در یخچال نگهداری شدند (۱). نمونه‌های ارده نیز در ظروف مناسب بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شد. لازم به ذکر است در مورد گروه‌های WRSS و HSS، به دلیل بالا بودن رطوبت ابتدا خشک کردن نمونه‌ها در دمای 45°C انجام و سپس برای آنالیزهای بعدی نگهداری شدند.

آماده سازی نمونه‌ها جهت آنالیز املاح: مقدار ۱۰ گرم نمونه کنجد آسیاب شده با آسیاب برقی مدل QL-001 (Sonika, China) یا ارده با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم (GE-220, A&D, Tokyo, Japan) داخل یک کروزه، وزن گردید و نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای 120°C جهت تثبیت و اندازه‌گیری رطوبت قرار گرفتند. پس از این زمان میزان افت وزنی تعیین گردید و حرارت دهی تکرار شد تا نمونه‌ها به وزن ثابتی برسند (۱۶).

جهت تعیین غلظت املاح معدنی، ابتدا نمونه‌ها سوزانده شد. سپس کروزه را در کوره الکتریکی مدل KERR 666 (Kerr Co, Michigam, USA) با دمای $500 \pm 50^{\circ}\text{C}$ به مدت ۱۰-۸ ساعت تا تبدیل شدن نمونه به رنگ سفید مایل به خاکستری باقی ماند. سپس، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۷۵ در صد

فرآیند واحد را به همه مواد غذایی تعمیم داد، اما اغلب تمرکز آلودگی‌ها در بخش‌های خارجی دانه‌هاست. از طرف دیگر بسیاری از یون‌های فلزی محلول در آب می‌باشند. بنابراین طبیعی است که مراحل از قبیل آسیاب کردن، پوست‌گیری، شست و شو، خیساندن و روش‌های مختلف پخت تاثیر به سزائی روی میزان آلودگی به فلزات سنگین دانه‌های مختلف نشان دهند (۱۳-۱۵). تاکنون مطالعه‌ای که به صورت جامع تاثیر مراحل مختلف فرآوری کنجد به ارده را هم بر املاح ضروری و هم فلزات سنگین مورد مطالعه قرار دهد، در کشور انجام نشده است. با توجه به اینکه کنجد و ارده از محصولات غذایی پر طرفدار در کشور ما محسوب می‌شوند و هم به تنهایی و هم در تولید سایر مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در این مطالعه هدف بررسی تاثیر مراحل فرآوری کنجد به ارده بر میزان املاح تغذیه‌ای و فلزات سنگین آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل اسید نیتریک (مجللی، ساوه، ایران)، اسید سولفوریک با خلوص ۹۸ در صد (Merck, Germany)، آب مقطر دو بار تقطیر (زلال طب شیمی، تهران، ایران) و کاغذ فیلتر بدون خاکستر^۱ شماره ۴۰ (Whatman Co, England) بودند.

تهیه نمونه‌های کنجد و ارده: جهت بررسی تاثیر مراحل مختلف فرآوری بر محتوای فلزات سنگین، از یکی از کارگاه‌های تولید کننده ارده شهر دزفول، از مراحل مختلف شامل نمونه کنجد خام^۲ (RSS) (شسته نشده و با پوست)، نمونه کنجد پس از شست و شو^۳ (WRSS)، نمونه کنجد پس از پوست گیری^۴

⁴. Hulled Sesame Seed

⁵. Hulled Roasted Sesame Seed

⁶. Tahini

¹. Ashless

². Raw Sesame Seed

³. Washed Raw Sesame Seed

آن‌ها به همراه مقادیر حد تشخیص^۲ (LOD) و حد تعیین کمی^۳ (LOQ) در جدول ۲ نشان داده شده است. سپس رقت‌های مختلف از هر یک از املاح آماده سازی و به ترتیب به دستگاه تزریق شد و منحنی استاندارد هر یک از فلزات ترسیم گردید. پس از این مرحله محلول‌های تهیه شده از نمونه‌های مختلف به دستگاه تزریق گردید. در نهایت با در نظر گرفتن ضریب رقیق سازی، وزن نمونه اولیه، در صد خاکستر و منحنی‌های استاندارد مربوط به هر فلز، غلظت هر یک از املاح در نمونه‌ها محاسبه و بر حسب میلی گرم در هر گرم ماده خشک گزارش شد.

تعیین محتوای رطوبت و خاکستر نمونه‌ها: جهت تعیین محتوای رطوبتی نمونه‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۰۳۴ (۲۰۲۲) عمل شد (۱۸). نمونه در پلیت از قبل خشک شده، توزین گردید، وزن آن ثبت (W_1) و توسط قاشقک در پلیت پخش شد. پلیت به مدت ۱ ساعت در دمای 100°C قرار گرفت. سپس جهت سرد شدن به مدت ۳۰ دقیقه در دسیکاتور قرار گرفت و در نهایت پس از اطمینان از اینکه نمونه به وزن ثابت رسیده است، وزن نهائی آن ثبت گردید (W_2). محتوای رطوبتی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$\text{Moisture (\%)} = (W_1 - W_2) \times 100 / W_1 \quad \text{رابطه ۱}$$

جهت تعیین خاکستر نیز مطابق با آن چه در بخش قبلی ذکر شد، عمل شد و در صد خاکستر با رابطه ۲ محاسبه گردید:

$$\text{Ash content (\%)} = W_{\text{ash}} \times 100 / W_{\text{sample}} \quad \text{رابطه ۲}$$

داخل کروزه اضافه کرده و نمونه‌ها کاملاً در اسید حل شدند. سپس محتویات کروزه توسط آب مقطر از صافی (واتمن شماره ۴۲)، عبور داده و محلول شفاف حاصل را به بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. تمامی نمونه‌ها با ۲ تکرار آماده سازی شدند (۱۷). این محلول برای تعیین غلظت املاح مختلف مستقیماً در دستگاه پلاسمای جفت شده القائی-طیف سنج نشر نوری^۱ (ICP-OES) (Spectro Arcos, Kleve, Germany) تزریق و تجزیه و تحلیل تمامی نمونه‌ها با این دستگاه اندازه گیری شد.

جهت تعیین آرسنیک از روش هضم مرطوب استفاده شد و ۳۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۱۰ گرم از نمونه‌ها اضافه و اجازه داده شد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق انکوبه شوند. پس از هضم، نمونه‌ها روی همزن مغناطیسی حرارت داده شد و اجازه داده شد که نمونه تا زمان شفاف شدن بجوشد. سپس ۳ میلی لیتر از هر نمونه توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ فیلتر گردید و با آب مقطر تا رسیدن به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رقیق شد (۱۷).

تعیین محتوای املاح مختلف با ICP-OES: پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها، بررسی میزان فلزات سنگین آن‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز و توسط دستگاه ICP-OES صورت گرفت. پارامترهای عملیاتی دستگاه طبق اطلاعات ارائه شده توسط اوپراتور دستگاه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت رسم منحنی استاندارد، محلول‌های استاندارد از هر یک از فلزات در غلظت‌های مختلف تهیه شدند. با تزریق هر محلول بر روی سیستم منحنی نشر بر حسب غلظت نشان داده شد. معادله منحنی استاندارد برای هر یک از املاح، ضریب رگرسیون

^۲. Limit of detection

^۳. Limit of quantification

^۱. Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry

جدول ۱- شرایط دستگاه ICP-OES جهت آنالیز املاح معدنی ضروری و فلزات سنگین

Table 1- ICP-OES operating conditions for mineral analysis

1.45 kW	توان power
15 min ⁻¹	سرعت جریانی گاز پلاسما (آرگون) Plasma gas flow rate (Argon)
0.5 min ⁻¹	سرعت جریانی گاز نبولایز Nebulizer gas flow rate
1.5 rpm	سرعت پمپ Pump rate
30 s	زمان شست و شو Rinse time
0.5 min ⁻¹	سرعت جریانی گاز کمکی Auxiliary gas flow rate

نرم افزار مینی تب نسخه ۱۶ (Minitab Inc., State College, PA, USA) انجام شد. نتایج بر اساس میانگین \pm انحراف استاندارد گزارش شد. رسم نمودارها با نرم افزار اکسل انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری

در تمامی بخش های این مطالعه، آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA و مقایسه میانگین ها با روش توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از

جدول ۲ - غلظت های مورد استفاده برای ترسیم منحنی استاندارد هر یک از املاح به همراه معادله رگرسیون، ضریب همبستگی، حد تشخیص و حد تعیین کمی

Table 2. Concentrations used to plot the standard curve for each of the elements, the regression equation, the correlation coefficient, the detection limit, and the limit of quantitation

حد تعیین کمی (میلی گرم در لیتر) LOQ(mg/L)	حد تشخیص (میلی گرم/لیتر) LOD(mg/L)	ضریب همبستگی (R ²) Correlation coefficient (R ²)	معادله رگرسیون Regression equation	نوع عنصر Mineral type
0.1	0.033	0.989	y = 61874x - 1183.1	سدیم Na
0.482	0.14	0.9841	y = 13793x + 81725	پتاسیم K
0.491	0.16	0.9998	y = 67276x + 3161.8	کلسیم Ca
0.054	0.017	0.9997	y = 108395x - 3852.5	منیزیم Mg
0.052	0.016	0.9998	y = 15161x - 1158.8	آهن Fe
0.51	0.161	0.9999	y = 263337x - 354.12	منگنز Mn
0.513	0.161	0.9939	y = 23.25x - 2.675	کبالت Co
0.516	0.168	0.9999	y = 6397x - 288.19	روی Zn
0.050	0.016	0.9998	y = 64933x - 3234.7	مس Cu
0.051	0.017	1	y = 5189.9x - 98.28	مولیبدن Mo
0.051	0.016	0.9999	y = 9232.6x - 134.57	نیکل Ni
0.050	0.016	0.9996	y = 24435x - 1345.3	کروم Cr
0.052	0.017	0.9996	y = 2324.1x - 4.9268	سرب Pb
0.052	0.017	0.9982	y = 12807x - 268.46	کادمیم Cd
0.053	0.016	0.9999	y = 688.08x - 19.916	آرسنیک As

نتایج و بحث

بود. اختلاف معنی‌داری بین محتوای خاکستر و رطوبت نمونه‌ها مشاهده گردید ($P < 0/05$). محتوای رطوبت پس از شست و شو به طور معنی‌داری افزایش یافت و سپس با جدا کردن پوست به طور معنی‌داری ($P < 0/05$) کاهش نشان داد. رطوبت نمونه‌های RSS و T نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از نمونه‌ی HSS بود (جدول ۳). طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۳ بیشینه قابل قبول رطوبت برای دانه‌ی کنجد ۷ در صد می‌باشد (۲۰).

محتوای رطوبت و خاکستر: مقادیر رطوبت و خاکستر نمونه‌های مراحل مختلف تولید در جدول ۳ مشاهده می‌شود. رطوبت یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی دانه‌های روغنی می‌باشد و بر ویژگی‌های فیزیکی و خصوصیات آنرویدینامیکی آن‌ها اثر گذار است (۱۹). نتایج آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA نشان داد، اثر مراحل مختلف فرآوری کنجد بر مقادیر رطوبت ($P=0.000$) و خاکستر ($P=0.000$) معنی‌دار

جدول ۳ - محتوای رطوبت و خاکستر نمونه‌های کنجد طی مراحل مختلف فرآوری به ارده

Table 3. The moisture and ash content of sesame samples during the various processing stages to tahini

T	HRSS	HSS	WRSS	RSS	ویژگی Properties
0.78 ± 0.00 e	1.80 ± 0.02 d	2.02 ± 0.00 c	4.28 ± 0.02 a	3.90 ± 0.00 b	رطوبت (%) Moisture
2.81 ± 0.04 b	2.56 ± 0.04 b	2.83 ± 0.03 b	5.28 ± 0.09 a	5.50 ± 0.24 a	خاکستر (%) Ash

نتایج میانگین ± انحراف استاندارد می‌باشند. حروف غیر مشابه در هر سطر نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $P < 0/05$ می‌باشند. RSS: نمونه کنجد خام شسته نشده و با پوست، WRSS: نمونه کنجد پس از شست و شو، HSS: نمونه کنجد پس از پوست‌گیری، HRSS: نمونه کنجد پس از پوست‌گیری و بو دادن و T: ارده.

- Data shown are the means ± standard deviation. Different letters indicate significant differences at the significance level of $P < 0.05$. RSS: Raw Sesame Seed, WRSS: Washed Raw Sesame Seed, HSS: Hulled Sesame Seed, HRSS: Roasted Sesame Seed, T: Tahini.

کردند، محتوای رطوبت و خاکستر دانه‌های کنجد پس از پوست‌گیری به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت که نشان می‌دهد رطوبت و نیز بیش از نیمی از املاح کنجد در پوست آن تجمع یافته‌اند و بنابراین حذف پوست ممکن است با کاهش املاح ضروری و تغذیه‌ای همراه باشد (۲۲). ماکیند و آکینوسو (۲۰۱۳) نیز با بررسی دو نوع کنجد سفید و سیاه گزارش کردند، محتوای خاکستر در دانه‌های سیاه بالاتر از سفید بود اما در هر دو رقم با پوست‌گیری دانه میزان خاکستر به طور معنی‌داری کاهش یافت و پوست‌های جدا شده حاوی محتوای بالاتری از رطوبت و خاکستر نسبت به دانه‌های خام و دانه‌های پوست‌گیری شده بودند (۲۳).

میزان کاهش خاکستر نمونه‌ها پس از شست و شو معنی‌دار ($P > 0/05$) نبود. بیشترین میزان کاهش خاکستر در مرحله‌ی پوست‌گیری مشاهده گردید. این نتایج نشان می‌دهد تمرکز بسیاری از املاح در بخش پوسته‌ی کنجد می‌باشد. طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۹۵ (۲۱)، بیشینه رطوبت و خاکستر ارده به ترتیب ۱/۲ در صد و ۳/۵ در صد می‌باشند. در مورد خاکستر نیز میزان خاکستر پس از دو مرحله‌ی شستن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که به دلیل حذف گرد و غبار موجود در سطح دانه است. پوست‌کنی نیز محتوای خاکستر نمونه‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد که دلیل آن احتمالاً حذف مقادیر بالای املاح تجمع یافته در پوسته دانه است. در تائید نتایج این تحقیق، بامیگبویه و همکاران (۲۰۱۰) گزارش

تجمع یافته‌اند. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA نشان داد، مراحل مختلف فرآوری کنجد اثر معنی‌داری بر غلظت املاح سبک و کم مقدار آن شامل Zn ($P=0.000$)، Cu ($P=0.000$)، Fe ($P=0.000$)، Cr ($P=0.000$)، Mn ($P=0.000$)، Mo ($P=0.000$) و Ni ($P=0.000$) داشتند ($P < 0.05$). اگر چه شستن با کاهش محتوای Zn همراه بود، اما این کاهش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). محتوای Zn به طور معنی‌داری تحت تاثیر فرآیند پوست گیری قرار گرفته است ($P < 0.05$) و اختلاف معنی‌داری بین محتوای Zn قبل و بعد از پوست گیری مشاهده شد. هم چنین اختلاف معنی‌داری بین محتوای Zn نمونه‌های HSS، RSS و T مشاهده نگردید ($P > 0.05$) (شکل ۲a).

بنابراین نتایج نشان داد تجمع Zn در مغز دانه بیشتر از پوسته است. محتوای Fe نمونه‌های RSS نیز اگر چه بعد از پوست کنی و بو دادن تا حدودی افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). محتوای Fe نمونه‌ی T به طور معنی‌داری بالاتر از سایر نمونه‌ها بود ($P < 0.05$) و بین سایر نمونه‌ها از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$) (شکل ۲b). محتوای Mn به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل مختلف فرآوری کنجد قرار گرفت به طوری‌که بعد از شستن و پوست گیری به طور معنی‌دار و به ترتیب به میزان ۸/۵ و ۲۷/۱۵ در صد کاهش یافت. محتوای Mn در نمونه‌ی T بالاتر از RSS بود اما اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها از این نظر مشاهده نشد ($P > 0.05$) (شکل ۲c). محتوای Cu اگر چه پس از شستن به طور معنی‌دار کاهش یافت، اما نمونه‌ی HSS حاوی محتوای Cu بالاتری نسبت به نمونه‌های WRSS و RSS بود. طی مراحل تبدیل HSS به T محتوای Cu افزایش یافت. اختلاف معنی‌داری بین محتوای Cu نمونه‌ی T با نمونه‌های HSS و

تاثیر مراحل مختلف فرآوری بر املاح ضروری: نتایج تعیین مقادیر املاح معدنی ضروری نشان داد، املاح ضروری نظیر K، Na، Ca و Mg فراوان‌ترین املاح دانه کنجد را به خود اختصاص دادند. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA نشان داد، مراحل مختلف فرآوری کنجد اثر معنی‌داری بر غلظت املاح ضروری آن یعنی Na ($P=0.001$)، Ca ($P=0.000$)، Mg ($P=0.016$) و K ($P=0.000$) داشتند ($P < 0.05$). همانطور که در شکل ۱a مشاهده می‌شود، شستن (۱۹/۵ در صد) و پوست گیری (۳۴/۶ در صد) با کاهش معنی‌داری در محتوای K نمونه‌های کنجد خام همراه بودند ($P < 0.05$). با این وجود بو دادن و تبدیل کنجد به ارده تاثیر معنی‌داری بر محتوای K کنجد پوست گیری شده نداشتند ($P > 0.05$). اختلاف معنی‌داری بین محتوای Ca نمونه‌های RSS و WRSS مشاهده نشد ($P > 0.05$) اما پس از پوست گیری محتوای Ca کنجد به طور معنی‌دار نسبت به RSS کاهش یافت ($P < 0.05$). اختلاف معنی‌داری بین محتوای Ca بین نمونه‌های HSS، RSS و T مشاهده نشد ($P > 0.05$) (شکل ۱b). شستن و پوست گیری هم چنین با کاهش ۱۵ درصدی محتوای Mg همراه بود اما این کاهش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). اختلاف معنی‌داری بین محتوای Mg نمونه‌ی RSS با RSS و T مشاهده نگردید ($P < 0.05$) (شکل ۱c).

در مورد Na، روند تغییرات بر خلاف سایر فلزات مورد بررسی بود. شستن تاثیر معنی‌داری بر محتوای Na در مقایسه با کنجد خام اولیه نداشت ($P > 0.05$) اما پوست گیری با افزایش محتوای Na همراه بود. هم چنین اختلاف معنی‌داری بین محتوای Na در نمونه‌ی T با سایر نمونه‌های مورد بررسی مشاهده نگردید ($P < 0.05$) (شکل ۱d). نتایج حاکی از آن است که تجمع Na در مغز بیشتر از پوست دانه است، حال آنکه K، Mg و Ca بیشتر در پوسته سطحی کنجد

نحوه‌ی توزیع فلزات در بخش‌های مختلف دانه کنجد دانست. رحیمی و قراچورلو (۲۰۲۰) تاثیر فرآیند پوست گیری دو رقم کنجد داراب و دشتستان را بر محتوای برخی فلزات تغذیه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در هر دو رقم داراب و دشتستان، محتوای Ca ، Fe ، Mg ، Zn و Mn به طور قابل معنی‌داری کاهش یافت. هم چنین محتوای K ، Mg و Mn در نمونه‌های کنجد سفید و محتوای Ca ، P ، K ، Mg و Mn در نمونه‌های کنجد سیاه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت اما میزان کاهش مشاهده شده در محتوای Fe ، Zn و Se در هر دو رقم طی پوست گیری کمتر بود (۱۳).

برشته کردن یکی از فرآیندهای متداول در حین فرآوری کنجد می‌باشد که معمولاً با هدف ایجاد عطر و طعم خوشایند در دانه و نیز ارده حاصل از آن انجام می‌شود. برشته کردن یا بو دادن با تغییر در ریز ساختار، بافت، رنگ و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی دانه همراه است (۲۵). نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد، محتوای K ، Zn و Fe پس از برشته کردن بدون تغییر باقی ماند ($P > 0/05$)، حال آنکه میزان Ca ، Mg ، Mn و Pb پس از برشته کردن به طور جزئی کاهش یافت اما این کاهش معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). محتوای Na ، Cu ، Cr ، Co ، Mo ، Ni و As نیز به طور جزئی و غیر معنی‌دار ($P > 0/05$) افزایش یافت (شکل‌های ۱-۳).

اوزکان و همکاران (۲۰۲۳) نیز اثرات متفاوتی از فرایند برشته کردن را بر محتوای املاح مختلف موجود در کنجد گزارش کردند و بر اساس نتایج این محققین، محتوای Ca ، Cr ، Fe ، K ، Mg و Mn پس از برشته کردن در دمای $150^{\circ}C$ افزایش و محتوای Cu ، Na ، P و Zn کاهش یافت. این محققین افزایش مشاهده شده در محتوای برخی املاح را به از دست رفتن رطوبت در حین برشته کردن و در نتیجه افزایش

WRSS و RSS مشاهده گردید ($P < 0/05$) (شکل ۲د). نتایج مقایسه میانگین نشان داد، غلظت Mo ، Cr و Ni به طور معنی‌داری تحت تاثیر مراحل فرآوری کنجد قرار گرفته است. محتوای Cr به طور معنی‌داری پس از شستن و پوست کنی کاهش یافت ($P < 0/05$).

بامیگوبیه و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند محتوای Ca و Na پس از پوست گیری دانه‌های کنجد کاهش و محتوای K افزایش یافت، حال آنکه میزان Mg بدون تغییر باقی ماند (۲۲). اوزکان و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی تاثیر مراحل مختلف پوست گیری، برشته کردن و آسیاب کردن کنجدهای ترکیه بر محتوای املاح آن، گزارش کردند محتوای K و Ca دانه‌های کنجد به طور معنی‌داری پس از پوست گیری کاهش و میزان Na و Zn به طور معنی‌داری افزایش یافت، حال آنکه Mg کاهش جزئی را نشان داد (۵). این نتایج، هم سو با تحقیق حاضر بود. مطالعات محدودی در زمینه‌ی تاثیر مراحل مختلف فرآوری بر محتوای املاح ضروری و فلزات سنگین کنجد انجام شده است. در یکی از مطالعات انجام شده در ایران، محتوای Mg ، Mn ، Ni ، K ، Fe ، Co و Ca در نمونه‌های کنجد خام و روغن ارده با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این مطالعه نشان داد، بیشترین میزان کاهش طی تبدیل کنجد به روغن ارده در محتوای P ، Ca ، Mg و K رخ داده است. محققین دلیل اصلی کاهش مشاهده شده را حذف پوسته از کنجد دانستند (۴). در مطالعه‌ی الوچ و همکاران (۲۰۱۱) نیز، نتایج نشان داد محتوای Ca ، Mg ، Na ، Fe ، Cu و Mn در پوست جدا شده از دانه بالاتر از محتوای آن در دانه‌ی خام اولیه است، حال آنکه محتوای K ، P و Zn در دانه‌ی خام با پوست بیشتر از بدون پوست بود (۲۴). تفاوت‌های مشاهده شده به تفاوت در نوع رقم دانه کنجد، محل کشت و در نتیجه تاثیر این عوامل بر

چنین، اعمال تیمار حرارتی قبل یا بعد از آسیاب کردن نیز می‌تواند در اثر بخش بودن فرآیند آسیاب کردن موثر باشد (۲۷). هم چنین، ژیا و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند بسیاری از یون‌های فلزی نظیر Cr، Cd، Pb، Zn، Fe و Ni، می‌توانند در مراحل فرآوری و نگهداری دانه‌ها و گیاهان روغنی از تجهیزات، ماشین آلات، خطوط لوله و روغن‌های روان کننده در مقادیر جزئی وارد این مواد غذایی شوند و باعث آلودگی آن‌ها شوند. این حالت هم برای روغن‌هایی که با پرس یا آسیاب فرآوری می‌شوند و هم در استخراج روغن با حلال دیده می‌شود (۲۸).

ابوالمعالی (۲۰۱۹) گزارش کرد، بالاتر بودن غلظت یون‌های Fe، Cu، Cd، As و Pb در نمونه‌های راشی (ارده) نسبت به ارده، با انتقال آن‌ها از دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده برای فشردن، آماده سازی، برشته کردن مرتبط است. دستگاه‌های قدیمی و خورده شده دارای کیفیت پائینی هستند و خطر بالقوه‌ای برای افزایش آلودگی محصول راشی (ارده) به فلزات سنگین محسوب می‌شوند (۱۰). جمع اوری شده از در مقایسه‌ی بین کنجد اولیه و ارده نهائی نیز نتایج نشان داد محتوای K، Ca، Mg، Mn، Cr، Co و Mo در ارده نهائی کمتر از کنجد اولیه بود. در مقابل محتوای Na، Zn، Fe و Cu در ارده بالاتر از کنجد اولیه بود. نحوه توزیع املاح معدنی در بخش‌های مختلف دانه‌های مختلف متفاوت است و نمی‌توان با اطمینان اثر یک فرآیند واحد را به همه املاح تعمیم داد. از طرف دیگر بسیاری از یون‌های فلزی محلول در آب می‌باشند. بنابراین طبیعی است که مراحل از قبیل آسیاب کردن، پوست گیری، شست و شو، خیساندن و حرارت دهی، تاثیر یکسانی روی محتوای املاح معدنی مختلف نشان دهند (۲۹ و ۳۰).

در ماده خشک نسبت دادند (۵). در مطالعه تیانگ و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر فرآیند برشته کردن دو وارپته کنجد سفید و قهوه‌ای در دماهای ۱۲۰ °C و ۱۸۰ °C را برخی از املاح ضروری بررسی کردند. نتایج نشان داد محتوای Ca در هر دو دما و برای هر دو وارپته نسبت به کنجد خام تا حدودی افزایش یافت. محتوای Na، K، Mg در دمای ۱۲۰ °C و برای رقم‌های سفید و قهوه‌ای کاهش یافت. در دمای ۱۸۰ °C برای وارپته‌ی سفید و قهوه‌ای محتوای Ca، K و Mg نسبت به انواع خام افزایش یافت (۲۶). بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود، برشته کردن تاثیر مشابهی بر املاح مختلف ندارد. علت افزایش محتوای Ca در این مطالعه تجزیه برخی ترکیبات ضد تغذیه‌ای از قبیل اگزالات و فیتات عنوان شد که اغلب به فرم متصل به Ca حضور دارند. در دماهای بالا این ترکیبات به طور جزئی یا کامل تجزیه می‌شوند و Ca را آزاد می‌کنند. علاوه بر این برشته کردن با افزایش قابلیت هضم دانه‌ها سبب تسهیل در فرآیند آزاد شدن برخی املاح شده و بنابراین ارزش غذایی دانه‌های برشته شده تا حدودی افزایش می‌یابد.

در مورد ارده همانطور که در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود، در طی فرآیند تبدیل کنجد بو داده بدون پوست به ارده، تغییراتی در محتوای برخی از املاح رخ داد که این تغییرات در بسیاری از موارد معنی دار نبود. به عنوان مثال تغییرات معنی‌داری بین محتوای K، Ca، Mg، Zn، Mn، Cu، Mo و Ni بین این دو مرحله مشاهده نشد اما محتوای Na، Fe و Cr در نمونه‌ی ارده به طور معنی‌داری بالاتر از کنجد بو داده بدون پوست بود. این نتایج ممکن است به دلیل تاثیر فرآیند آسیاب طولانی مدت کنجد بر آزاد سازی برخی از فلزات باشد. فرآیندهای فیزیکی مانند آسیاب کردن به سزائی روی آزاد شدن برخی از مواد مغذی نظیر املاح معدنی از سلول‌های گیاهی دارند. هم

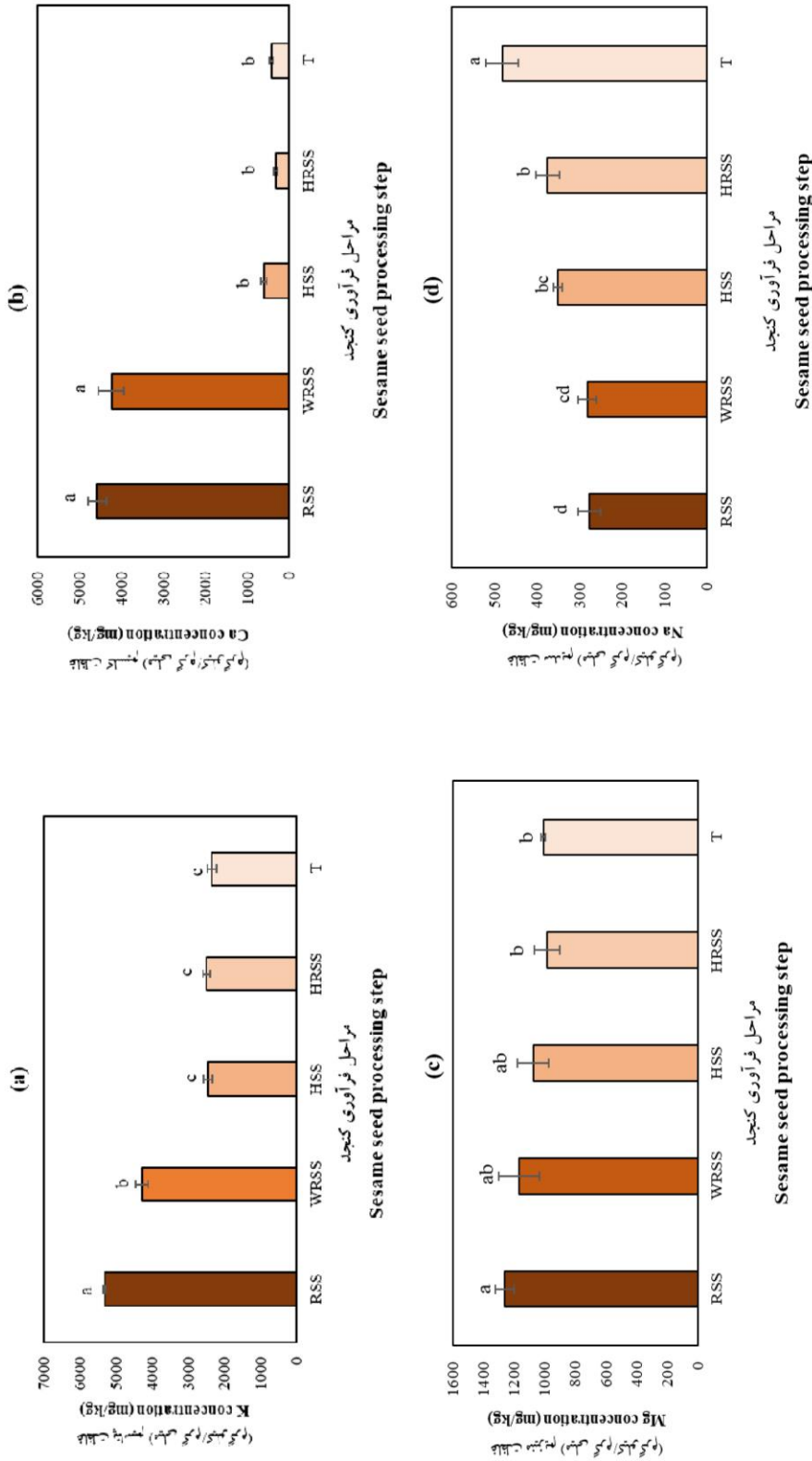


Figure 1. The effect of different processing stages of sesame into Tahini on the content of essential nutritional elements: Potassium (a), Calcium (b), Magnesium (c), and Sodium (d).

- Data shown are the means \pm standard deviation. Different letters indicate significant differences at the significance level of $P < 0.05$. RSS: Raw Sesame Seed, WRSS: Washed Raw Sesame Seed, HSS: Hulled Sesame Seed, HRSS: Roasted Sesame Seed, and T: Tahini.

شکل ۱- تاثیر مراحل مختلف فرآوری کنگد به ارده بر محتوای املاح معدنی ضروری؛ پتاسیم (a)، کلسیم (b)، منیزیم (c) و سدیم (d)

شماره: ۹۵

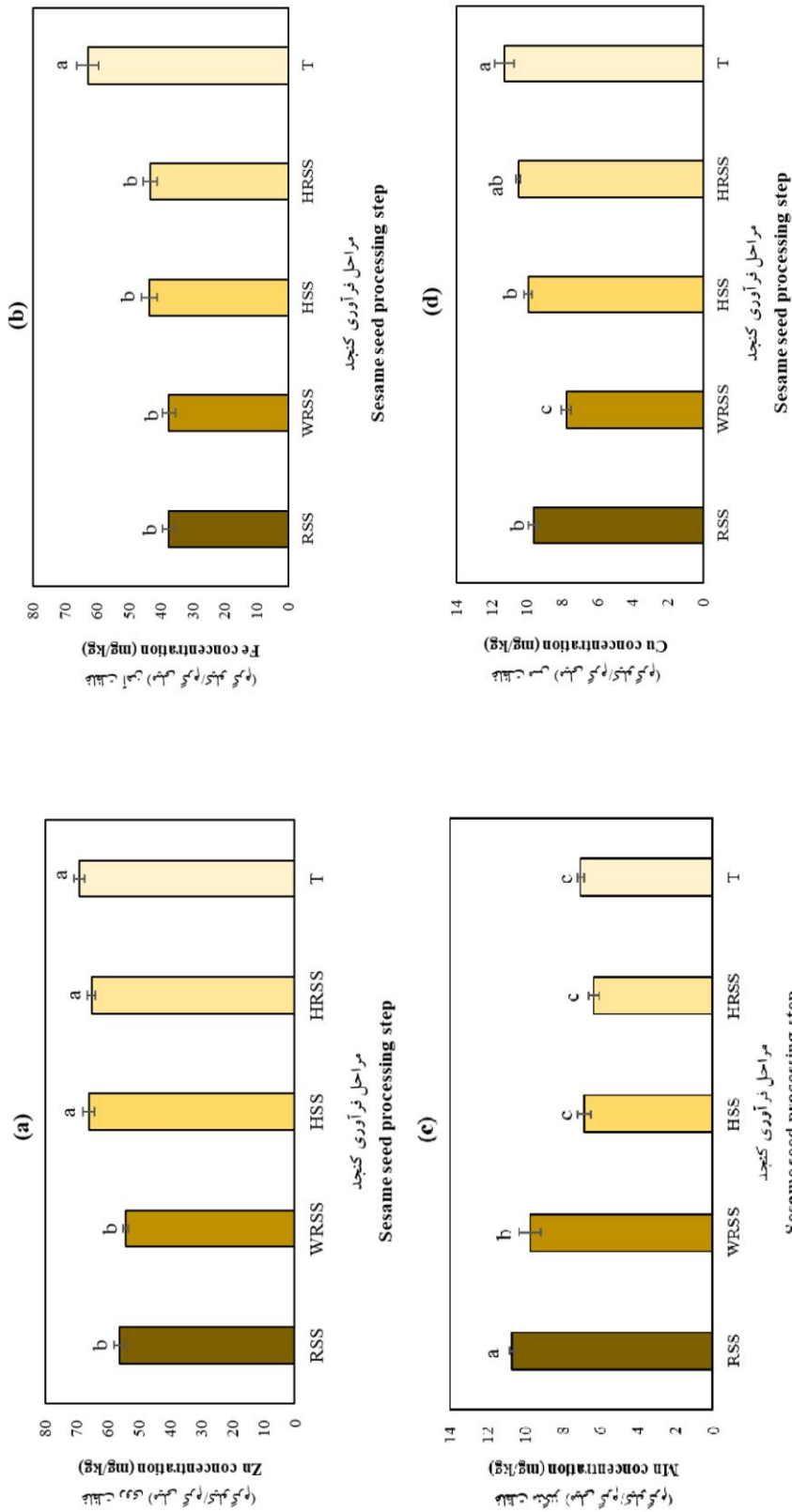
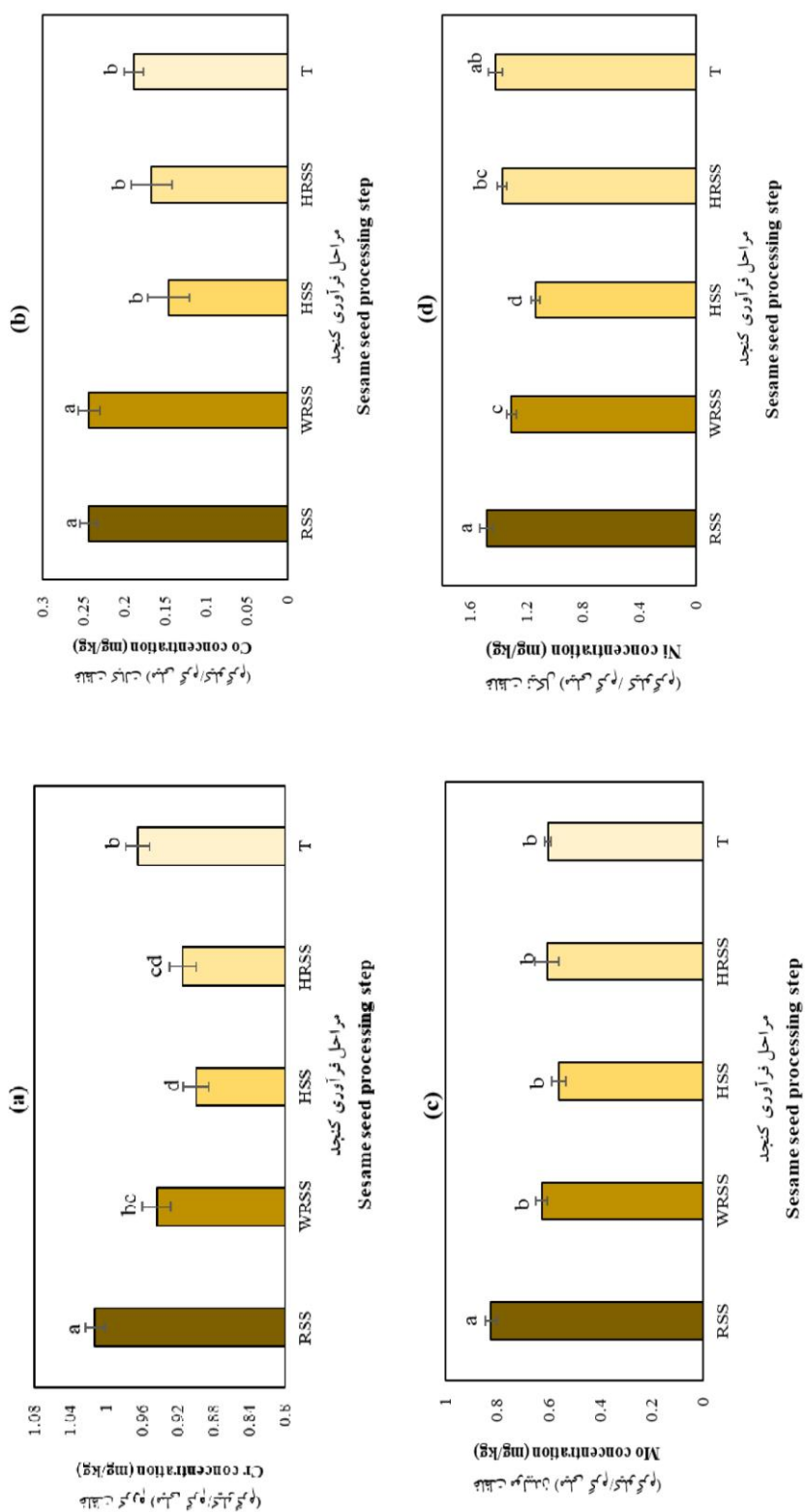


Figure 2. The effect of different processing stages of sesame into Tahini on the content of trace nutritional elements: Zinc (a), Iron (b), Manganese (c), and Copper (d).
 - Data shown are the means \pm standard deviation. Different letters indicate significant differences at the significance level of $P < 0.05$. RSS: Raw Sesame Seed, WRSS: Washed Raw Sesame Seed, HSS: Hulled Sesame Seed, HRSS: Roasted Sesame Seed, and T: Tahini.

شکل ۲- تاثیر مراحل مختلف فراآوری کنجد به ارده بر محتوای املاح معدنی ضروری کم مقدار: روی (a)، آهن (b)، منگنز (c) و مس (d)
 - نتایج میانگین \pm انحراف استاندارد می باشند. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ $P < 0.05$ می باشد. RSS: نمونه کنجد خام شسته نشده و با پوست، نمونه کنجد پس از شست و شو، HSS: نمونه کنجد پس از پوست گیری و بردادن و T: ارده.



شکل ۳- تاثیر مراحل مختلف فرآوری کنگد به ارده بر محتوای املاح معدنی ضروری کم مقدار؛ کروم (a)، کبالت (b)، مولیبدن (c) و نیکل (d)

نتایج میانگین \pm انحراف استاندارد می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال $P < 0.05$ می‌باشد. RSS: نمونه کنگد خام شسته نشده و با پوست، WRSS: نمونه کنگد پس از شست و شو، HSS: نمونه کنگد پس از پوست گیری، HRSS: نمونه کنگد پس از پوست گیری و بو دادن و T: ارده.

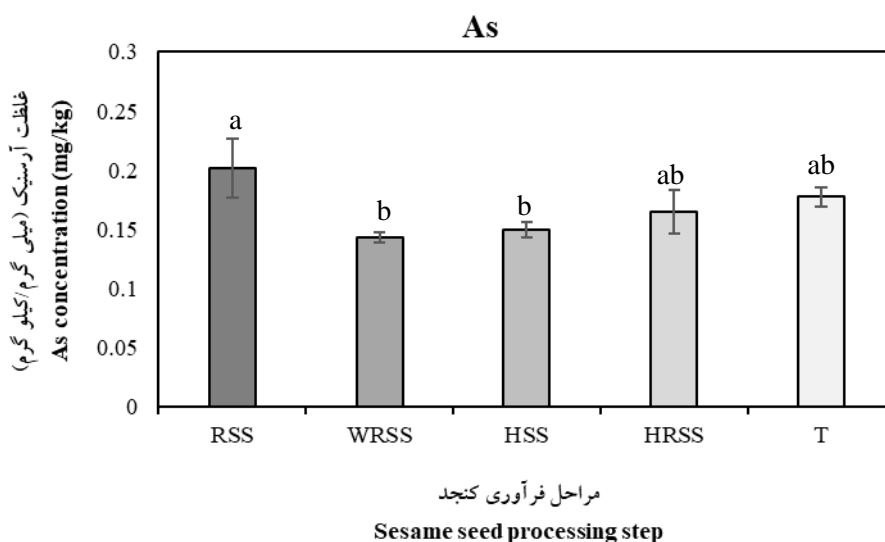
Figure 3. The effect of different processing stages of sesame into Tahini on the content of trace nutritional elements: Chrome (a), Cobalt (b), Molibdene (c), and Nickle (d).

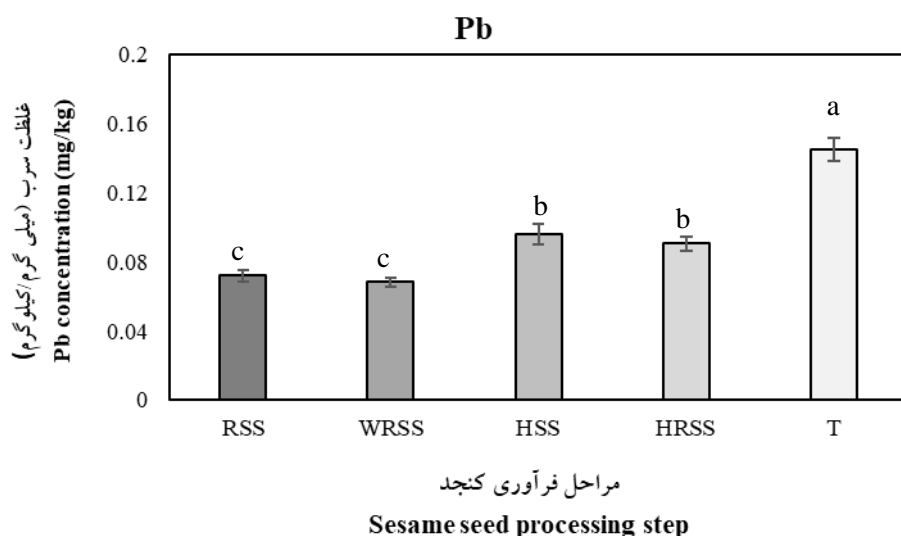
- Data shown are the means \pm standard deviation. Different letters indicate significant differences at the significance level of $P < 0.05$. RSS: Raw Sesame Seed, WRSS: Washed Raw Sesame Seed, HSS: Hulled Sesame Seed, HRSS: Roasted Sesame Seed, and T: Tahini.

محتوای این دو فلز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه ANOVA نشان داد، مراحل مختلف فرآوری کنجد اثر معنی داری بر غلظت فلزات سنگین آن شامل Pb ($P=0.000$) و As ($P=0.001$) داشت ($P < 0.05$). بیشینه قابل قبول یا حد مجاز As در کنجد طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۳ (۲۰) و در ارده طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۹۵ (۲۱)، ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم یا ۱۰۰ نانوگرم در گرم می باشد. حد مجاز As در مواد غذایی طبق قوانین اتحادیه اروپا، ۲ میلی گرم در کیلوگرم ماده‌ی غذایی و طبق استاندارد کدکس ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم مواد غذایی می باشد (۱۱). مقادیر As به دست آمده در این مطالعه، کمتر از مقادیر گزارش شده برای کنجدهای مورد بررسی در آرژانتین با میانگین غلظت $0.3 \mu\text{g/g}$ (۱۲) و اتیوپی با محدوده‌ی ۱/۴ - ۰/۲ میلی گرم در کیلوگرم (۱۱) بود.

در مطالعه‌ی اوزکان و همکاران (۲۰۲۳) نیز محتوای Ca، Mg و Cr در ارده کمتر از دانه کنجد با پوست اولیه بود، حال آنکه میزان Zn، Na، Fe، Cu و Mn در ارده بیشتر بود (۵)، که تا حدودی نتایج تحقیق حاضر را تأیید می نماید. این محققین علت افزایش غلظت بعضی از عناصر را در نتیجه حذف رطوبت از ساختار کنجد بو داده عنوان کردند. هم چنین علت پائین تر بودن غلظت بعضی از عناصر در ارده نسبت به دانه خام اولیه را، به پوست گیری و سایر مراحل فرآوری نظیر مرطوب کردن، برشته کردن و آسیاب کردن نسبت دادند.

تأثیر مراحل مختلف فرآوری بر فلزات سنگین: در کنجد خام اولیه و هم چنین نمونه‌های تهیه شده از مراحل مختلف فرآوری، فلزات Cd، Hg و Al تشخیص داده نشدند. از آنجائی که در کنجد مورد استفاده تنها دو فلز سنگین As و Pb تشخیص داده شد، تأثیر مراحل مختلف تبدیل کنجد به ارده روی





شکل ۴- تاثیر مراحل مختلف فرآوری کنجد به ارده بر محتوای فلزات سنگین آرسنیک (a) و سرب (b)

- نتایج میانگین \pm انحراف استاندارد می‌باشند. حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال $P < 0.05$ می‌باشند. RSS: نمونه کنجد خام شسته نشده و با پوست، WRSS: نمونه کنجد پس از شست و شو، HSS: نمونه کنجد پس از پوست گیری، HRSS: نمونه کنجد پس از پوست گیری و بو دادن و T: ارده.

Figure 4. The effect of different processing stages of sesame into Tahini on the content of heavy metals, Arsenic (a) and Lead (Pb).

- Data shown are the means \pm standard deviation. Different letters indicate significant differences at the significance level of $P < 0.05$. RSS: Raw Sesame Seed, WRSS: Washed Raw Sesame Seed, HSS: Hulled Sesame Seed, HRSS: Roasted Sesame Seed, T: Tahini.

۱۵/۷ نانوگرم در گرم بود (۳۱). هم چنین مطالعه انجام شده روی ۳۰ نمونه ارده جمع آوری شده از بازار ایران نشان داد، اکثر نمونه‌ها حاوی Al و As بودند، اما Cd و Pb هم در آن‌ها تشخیص داده نشد. این محققین اظهار کردند، میزان As در نمونه‌های ارده زیر حد مجاز تعیین شده در استاندارد ملی ایران بود (۵۸/۷۷-۱۰/۵۵ میکروگرم در کیلوگرم) و لذا خطری برای مصرف کنندگان نخواهند داشت (۸).

در مطالعه‌ی دیگری، میانگین غلظت As در کنجدهای سیاه، قهوه‌ای و سفید جمع آوری شده از بازار ایران به ترتیب ۱۴/۷۸، ۱۰/۸۱ و ۸/۷۹ میکروگرم در کیلوگرم گزارش شد که بسیار پائین‌تر از مقادیر به دست آمده در مطالعه‌ی حاضر می‌باشند (۱). طبق گزارش WHO، آب مورد استفاده برای آبیاری یکی از اصلی‌ترین منابع ایجاد آلودگی As در مواد

بنابراین، محتوای As در نمونه‌ی کنجد خام اولیه بالاتر از حد استاندارد ملی ایران بود (0.20 ± 0.02 میلی‌گرم در کیلوگرم) (شکل ۴a). شست و شوی کنجد خام اولیه تاثیر معنی‌داری بر کاهش محتوای As آن داشته است (۲۸ در صد) ($P < 0.05$). محتوای As در کنجد پوست گیری شده افزایش ناچیزی نشان داد اما این افزایش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). فرآیند بو دادن و تولید ارده از کنجد بدون پوست سبب افزایش جزئی در محتوای As گردید که به ترتیب ۱۰ در صد و ۸ در صد بود اما این افزایش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در کل محتوای As در تمامی نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز در استاندارد ملی ایران بود. فهیم و همکاران (۲۰۱۳) میزان As موجود در ۸۰ نمونه کنجد خریداری شده از بازار استان خراسان را بررسی کردند و نتایج نشان داد میانگین غلظت As در این نمونه‌ها

غذائی محسوب می‌شود. به ویژه در مناطقی که به طور طبیعی حاوی سطوح بالائی از As می‌باشند، مواد غذائی که با آب این مناطق آبیاری می‌گردد، حاوی در صدهای بالائی از As می‌شود (۳۲). همچنین، امروزه میزان As در محیط زیست و در نتیجه مواد غذائی به دلیل استفاده از آفت کش‌های حاوی As و فعالیت‌هایی از قبیل استخراج و نیروگاه‌های زغال سنگ به طور قابل توجهی افزایش یافته است (۱). استفاده از آبهای سطحی و زیرزمینی آلوده به As جهت آبیاری مزارع کشاورزی باعث افزایش غلظت این آلاینده در خاک شده و انتقال آن به بخش‌های مختلف گیاه را افزایش می‌دهد که در نتیجه در برخی موارد، منجر به مختل شدن رشد طبیعی گیاه و یا تمرکز بالای As در گیاه می‌شود (۳۳).

در مورد Pb نیز نتایج نشان داد، محتوای آن در کنجد خام اولیه کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران بود (شکل b ۴). بیشینه قابل قبول یا حد مجاز Pb در کنجد طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۳ (۲۰) و در ارده طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۹۵ (۲۱)، ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. هم چنین، حد مجاز Pb در مواد غذائی بر اساس قوانین اتحادیه اروپا ۵ میلی گرم بر کیلوگرم و طبق استاندارد کدکس ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۱). شست و شو با کاهش جزئی و غیر معنی‌دار در محتوای Pb همراه بود (۵/۰۲ در صد). محتوای Pb در کنجد پوست گیری شده به طور معنی‌دار و به میزان ۴۰/۳۵ در صد افزایش یافت. اختلاف معنی داری بین محتوای Pb بین کنجد خام بدون پوست و کنجد بو داده مشاهده نشد ($P > 0/05$)، اما محتوای Pb در ارده به طور معنی‌داری نسبت به کنجد بدون پوست بو داده افزایش یافت (۶۰/۳ در صد) و به بالاتر از حد مجاز در استاندارد ملی ایران رسید ($0/006 \pm 0/14$). آکبولوت (۲۰۰۸) گزارش کردند میزان Pb در نمونه-

های کنجد با پوست خام به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه‌های بدون پوست بوده است (۱۴). هم چنین فهیم همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند Pb در تمامی ۸۰ نمونه مورد بررسی تشخیص داده شد و غلظت آن در برخی از نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز در استاندارد ملی ایران بود (۳۱)، که نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر را تأیید می‌نماید. غلظت Pb در مطالعات انجام شده در کشور اتیوپی بسیار بالاتر از نتایج تحقیق حاضر بود (۱۱). نتایج مطالعه‌ی اقبال جو-قره قشلاقی و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد میانگین غلظت Pb به ترتیب در کنجدهای سیاه < قهوه‌ای < سفید است. Pb می‌تواند از طریق رنگ، روغن‌ها، معادن و غیره وارد محیط و از آنجا وارد آب و زنجیره غذائی شود. Pb هم چنین جزء ترکیبات سرطان‌زا برای انسان طبقه بندی می‌شود (۱). مطالعات مختلف به بررسی آلودگی خاک و محصولات کشاورزی استان خوزستان پرداخته‌اند، با این وجود غلظت Pb در اکثر خاک‌ها و محصولات کشاورزی نظیر برنج کمتر از حد مجاز در استاندارد ایران بود. همچنین ارتباط مستقیم و معناداری در میزان فلزات سنگین نظیر Pb موجود در نمونه خاک و محصول رشد یافته در آن وجود داشت (۳۴).

مطالعه‌ای در زمینه‌ی تأثیر شست و شو بر محتوای فلزات سنگین کنجد انجام نشده است اما در مورد برنج نتایج نشان داد، شست و شوی برنج قبل از خیساندن و پخت با کاهش قابل ملاحظه‌ی As و Cd همراه است که به توزیع بیشتر این دو فلز در لایه‌ی آلورن و اندوسپرم خارجی آن نسبت داده شد (۱۵). در زمینه تأثیر جدا کردن پوست بر محتوای فلزات سنگین، می‌توان به مطالعه‌ی رحیمی و قراچورلو (۲۰۲۰) اشاره کرد. این محققین گزارش کردند میزان Cd موجود در نمونه‌های دارای پوست بیشتر از نمونه‌های پوست گیری شده بود. در مورد نمونه

معنی داری بر محتوای فلزات سنگین نداشت. ارده تهیه شده از کنجد بو داده، حاوی مقادیر قابل توجهی از املاح معدنی ضروری مختلف بود. با وجود اینکه محتوای As در ارده نسبت به دانه خام اولیه به طور معنی داری کمتر بود، اما محتوای Pb در آن بالاتر از دانه اولیه بود. با توجه به کشت گسترده کنجد در استانهای مختلف کشور از جمله خوزستان، در پایان پیشنهاد می شود این مطالعه به ویژه از نظر میزان آلودگی این محصول زراعی به فلزات سنگین روی کنجدهای کشت شده در سایر مناطق کشور نیز صورت بگیرد. هم چنین لازم است، ارزیابی ریسک سرطان زائی و غیر سرطان زائی فلزات سنگین در نمونه های کنجد و ارده نیز مورد توجه قرار گیرد. بنابراین می توان به مصرف کنندگان توصیه کرد، جهت کاهش بخشی از آلودگی های فلزات سنگین در گرد و غبار باقی مانده روی سطح دانه ها، حتماً قبل از مصرف، دانه های کنجد را بشویند. علی رغم ارزش تغذیه ای بالا، به دلیل احتمال آلودگی به فلزات سنگین حتی در کنجدهای بدون پوست و ارده، مصرف متعادل این مواد غذایی در رژیم غذایی روزانه توصیه می شود. هم چنین به تولیدکنندگان ارده نیز توصیه می شود، حتی الامکان از کنجدهای با سطح آلودگی پائین به فلزات سنگین برای تولید ارده استفاده کرده و با استفاده از ماشین آلات مناسب و به روز، خطر آلودگی به فلزات سنگین در حین فرآوری کنجد را به حداقل برسانند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز که هزینه این تحقیق را در قالب پژوهانه (گرت شماره SCU.VF1402.38687) فراهم نمودند، سپاس گزاری می نماید.

کنجد داراب طی عملیات پوست گیری میزان Cd، ۱۶/۷ در صد و در مورد نمونه کنجد دشتستان طی عملیات پوست گیری میزان Cd، حدود ۱۲ در صد کاهش یافت. در مورد Pb نیز در مورد نمونه داراب در اثر عملیات پوست گیری میزان Pb در حدود ۵/۱۵ در صد و در مورد نمونه دشتستان نیز در اثر عملیات پوست گیری میزان Pb، ۴۶/۱ در صد کاهش نشان داد (۱۳). اکبولوت (۲۰۰۸) نیز گزارش کرد محتوای Al و Pb در دانه های کنجد خام به ترتیب ۳/۷۴ و ۰/۳۹ میلی گرم در کیلوگرم بود که به ۰/۶۶ و ۰/۰۱ در کنجد پوست گیری شده کاهش یافت. هم چنین ارده تهیه شده از کنجد پوست گیری شده و برشته به ترتیب حاوی ۰/۱۶ و ۰/۰۱ میلی گرم در کیلوگرم از Al و Pb بود که بسیار کمتر از مقادیر ۲/۱۲ و ۰/۷ در ارده تهیه شده از کنجد با پوست و برشته شده بود (۱۴).

نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر مراحل مختلف فرآوری شامل شست و شو، پوست کنی، برشته کردن و آسیاب کردن بر محتوای املاح معدنی ضروری و فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. از بعد املاح معدنی ضروری، شست و شو و پوست گیری با کاهش محتوای برخی املاح ضروری برای بدن همراه بود. در بین فلزات سنگین نیز محتوای As و Pb با شست و شو کاهش یافت. پوست گیری تاثیر معنی داری بر محتوای As کنجد نداشت اما محتوای Pb کنجد بدون پوست تا حدودی بالاتر بود. این نتایج می تواند نشان دهد، بر خلاف بسیاری از ترکیبات ضد تغذیه ای، تجمع فلزات سنگین تنها به بخش های سطحی دانه منتهی نمی شود. برشته کردن دانه کنجد اثر متغیری بر محتوای املاح معدنی مختلف داشت، اما تاثیر

منابع

1. Eghbaljoo-Gharehgheshlaghi, H., Shariatifar, N., Arab, A., Alizadeh-Sani, M., Sani, I. K., Asdagh, A., & Arabameri, M. (2022). 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*, 102(17), 5936-5950. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1804896>
2. Kollia, E., Tsourouflis, K., & Markaki, P. (2016). Aflatoxin B1 in sesame seeds and sesame products from the Greek market. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 9(3), 217-222. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1179349>
3. Heshmati, A., Khorshidi, M., & Khaneghah, A. M. (2021). The prevalence and risk assessment of aflatoxin in sesame-based products. *Italian Journal of Food Science*, 33, 92-102 <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33iSP1.2065>
4. Kheirati Rounizi, S., Akrami Mohajeri, F., Moshtaghi Broujeni, H., Jambarsang, S., Kiani, H., & Khalili Sadrabad, E. (2023). The Mineral Content of Sesame Seed and Its Transition to Ardeh and Refined Sesame Oil. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 19(4), 491-499. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.76047.1161>
5. Özcan, M. M., Uslu, N., and Dursun, N. (2023). The effect of sesame seed processing steps on bioactive properties, nutraceuticals and mineral contents of sesame seed, sesame paste (tehina) and oils. *Food and Humanity*, 1, 710-715. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.013>
6. Mulu, M., Esubalew, S., Tefera, M., & Guadie, A. (2022). Profiling of the levels and health risk assessment of heavy metals in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds in Ethiopia. *Chemistry Africa*, 5(5), 1743-1750. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00431-3>
7. Zhu, C., Yang, G., Li, H., Du, D., & Lin, Y. (2015). Electrochemical sensors and biosensors based on nanomaterials and nanostructures. *Analytical Chemistry*, 87(1), 230-249. <https://doi.org/10.1021/ac5039863>
8. Kargarghomsheh, P., Noghre, N., Sharifiarab, G., Mehraie, A., Tooryan, F., Alizadeh Sani, M., & Shariatifar, N. (2023). Evaluation of elements in Persian tahini (ardeh) using ICP-OES (inductively coupled plasma optical emission spectroscopy) method. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 105(8), 1-15. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2298363>
9. Sadeghi, N.; Rezaei Behzadi, H.; Behzad, M.; Jannat, B. and Hajimahmoodi, M. (2021). Simultaneous determination of heavy metals in Tahini by anodic stripping voltammetry. *Human, Health and Halal Metrics*, 2(1), 40-45. <https://doi.org/10.30502/jhhhm.2021.288521.1034>
10. Abu-Almaaly, R. A. (2019). Estimate the contamination by some heavy metals in sesame seeds and Rashi product that available in local markets. *Plant Archives*, 19(2), 3217-3222.
11. Hika, W. A., Atlabachew, M., & Amare, M. (2023). Geographical origin discrimination of Ethiopian sesame seeds by elemental analysis and chemometric tools. *Food Chemistry: X*, 17, 100545. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100545>
12. Bolaños, D., Marchevsky, E. J., & Camiña, J. M. (2016). Elemental analysis of amaranth, chia, sesame, linen, and quinoa seeds by ICP-OES: assessment of classification by chemometrics. *Food Analytical Methods*, 9, 477-484. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0217-4>
13. Rahimi, M., & Gharachorloo, M. (2020). Determination of some antinutritional factors and heavy metals in sesame oil, raw and peeled sesame (*Sesamum indicum* L.) seed of two varieties cultivated in Iran. *Journal of food science and technology (Iran)*, 17(98), 169-181. <https://doi.org/10.29252/fsct.17.01.15>
14. Akbulut, M. (2008). Comparative studies of mineral contents of hulled sesame paste (tahin), unhulled sesame paste (bozkir tahin) and their blends. *Asian Journal of Chemistry*, 20(3), 1801-1805.

15. Liu, K., Zheng, J., & Chen, F. (2018). Effects of washing, soaking and domestic cooking on cadmium, arsenic and lead bioaccessibilities in rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(10), 3829-3835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8897>
16. Taghizadeh, S. F., Davarynejad, G., Asili, J., Nemati, S. H., Rezaee, R., Goumenou, M., & Karimi, G. (2017). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of five pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars collected from different geographical sites in Iran. *Food and Chemical Toxicology*, 107, 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.035>
17. Morekian, R., Mirlohi, M., Azadbakht, L., & Maracy, M. R. (2013). Heavy metal distribution frequency in Iranian and imported rice varieties marketed in central Iran, Yazd, 2012. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2(1), 36-41. <https://doi.org/10.4103/2277-9183.122419>
18. Iranian National Standard No. 8034 (2022). Oilseeds – Determination of moisture and volatile matter content - Test method. 1st ed.
19. Akinoso, R., Olayanju, T. A., Idehai, J. O., & Igbeka, J. (2008). The effects of varieties and moisture content on some physical and aerodynamic properties of Sesame seeds (*Sesamum indicum* L) as related to cleaning. *International Journal of Food Engineering*, 4(8), 11-28. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1303>
20. Iranian National Standard No. 323 (2022). Sesame seed – Specifications and test methods. 2nd Ed.
21. Iranian National Standard No. 2695 (2016). Tahini - Specifications and test methods. 2nd ed.
22. Bamigboye, A. Y., Okafor, A. C., and Adepoju, O. T. (2010). Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. *African Journal of Food Science and Technology*, 1(3), 71-75.
23. Makinde, F. M., & Akinoso, R. O. E. N. T. G. E. N. (2013). Nutrient composition and effect of processing treatments on anti nutritional factors of Nigerian sesame (*Sesamum indicum* Linn) cultivars. *International Food Research Journal*, 20(5), 2293-2300.
24. Elleuch, M., Bedigian, D., & Zitoun, A. (2011). Sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds in food, nutrition, and health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 1029-1036). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10122-7>
25. Ahmed, I. A. M., Uslu, N., Özcan, M. M., Juhaimi, F. A., Ghafoor, K., Babiker, E. E., & Alqah, H. A. (2021). Effect of conventional oven roasting treatment on the physicochemical quality attributes of sesame seeds obtained from different locations. *Food Chemistry*, 338, 128109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128109>
26. Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Djikeng, F. T., Azmeera, T., Karuna, M. S., Prasad, R. B. N., & Womeni, H. M. (2017). Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. *Food Chemistry*, 221, 1308-1316. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.025>
27. Khare, A., Barhate, M., Wang, Y., & Arora, A. Y. (2025). Modulating antinutrients and mineral content in seeds and vegetables: The role of processing in enhancing mineral bioaccessibility. *Food and Bioproducts Processing*, 153, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.06.002>
28. Xia, Q., Du, Z., Lin, D., Huo, L., Qin, L., Wang, W., ... & An, Y. (2021). Review on contaminants in edible oil and analytical technologies. *Oil Crop Science*, 6(1), 23-27.
29. Cheli, F., Campagnoli, A., Ventura, V., Brera, C., Berdini, C., Palmaccio, E., & Dell'Orto, V. (2010). Effects of industrial processing on the distributions of deoxynivalenol, cadmium and lead in durum wheat milling fractions. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1050-1057. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.024>
30. Feitosa, S., Greiner, R.; Meinhardt, A. K., Müller, A., Almeida, D. T., & Posten, C. (2018). Effect of traditional household processes on iron, zinc and copper bioaccessibility in black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods*, 7(8), 123. <https://doi.org/10.3390/foods7080123>

31. Fahim, N. K., Beheshti, H. R., Janati, S. S. F., & Feizy, J. (2013). Survey of cadmium, lead, and arsenic in sesame from Iran. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-10>
32. World Health Organization. (2020). Exposure to arsenic: a major public health concern. 2010. *WHO Document Production Service: Geneva, Switzerland*.
33. Kolahkaj, M., Battaleblooie, S., Amanipoor, H., & Modabberi, S. (2017). Study of arsenic accumulation in rice and its exposure dose in residents of Meydavood area, Khoozestan Province. *Iranian Journal of health and Environment*, 9(4), 537-544. <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5714-en.html>
34. Shirzad, B., & Khakipour, N. (2022). Investigation the Contamination of Heavy Metals Lead, Cadmium and Arsenic in High Consumption Rice Samples of Anbarbo in Some Parts of Khuzestan Province. *Food Technology & Nutrition*, 19(1), 45-55. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1400.18.3.1>.