



The Mineral Content of Sesame Seed and Its Transition to Ardeh and Refined Sesame Oil

S. Kheirati Rounizi¹, F. Akrami Mohajeri², H. Moshtaghi Broujeni³, S. Jambarsang⁴, H. Kiani⁵, E. Khalili Sadrabad^{6*}

Received: 2022.04.25

Revised: 2022.07.19

Accepted: 2022.09.19

Available Online: 2022.09.19

How to cite this article:

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. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.76047.1161>

Background and objective

It was shown that contamination of agricultural pasturage with fertilizers, application of sewage and effluents in irrigation, use of pesticides and air pollution have led to the entrance of chemical contaminants, including metals, into plants. On the other hand, food processing is (handling, processing, transportation) considered as an important way of food contamination. Vegetable oils are essential in human dietary which is introduced as crucial sources of energy, fat soluble vitamins, and essential fatty acids. *Sesamum indicum* L., known as sesame seed, has been cultivated in Asian countries from ancient times as vegetable oil for cooking and seasoning ingredients. In recent years, the sesame oil has been considered due to its high antioxidant activities and nutritional properties. Due to the use of sesame seeds extracted oil in two form of ardeh oil and sesame oil, the amounts of mineral elements (phosphorus, potassium, iron, nickel, cobalt, manganese, calcium and magnesium) in sesame seeds and its extracted oils (ardeh oil and refined sesame oil) were investigated.

Materials and Methods

In order to determine the mineral concentration, refined sesame oil and ardeh oils were prepared from an imported sesame seed. In order to prepare the sesame oil, sesame seeds were put into a cold presser and the oil was extracted under low pressure. The Ardeh oil was prepared by adding water to sesame paste in the ratio of 2.2:10 and oil was separated by centrifugation. The sesame seeds and oil samples (refined sesame oil and ardeh oils) were digested by microwave digestion method in presence of 5 ml 65% nitric acid and 2 ml of hydrogen peroxide (H₂O₂). The digested samples were then filtered through 0.45 µm filter membrane. Then, the concentrations of phosphorus, potassium, iron, nickel, cobalt, manganese, calcium and magnesium in sesame seeds, ardeh oil and refined sesame oil were examined using Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy (ICP – OES).

Results

In the present study, the limit of detection (LOD) for each studied mineral elements were determined as nickel: 4 mg/kg, magnesium: 0.00066 mg/kg, manganese: 0.000134 mg/kg, phosphorus: 0.384 mg/kg, cobalt: 0.594 µg / kg, iron:

1, 2 and 6- M.Sc. Graduated, Associate Professor and Assistant Professor, Research Center for Food Hygiene and Safety, Department of Food Hygiene and Safety, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Khalili.elham@ssu.ac.ir)

3- Professor, Department of Food Hygiene and Quality control, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4- Associate Professor, Center for Healthcare Data Modeling, Departments of Biostatistics and Epidemiology, School of PublicHealth, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

5- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

DOI: [10.22067/ifstrj.2022.76047.1161](https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.76047.1161)

0.000797 mg/kg, potassium: 0.00394 mg/kg, calcium 0.005 mg/kg. According to the results, the highest amounts of mineral elements were detected in sesame seeds. The achieved results showed that the method of sesame oil extraction can reduce the mineral elements in the final sesame oils. The amounts of mineral elements in sesame seeds were estimated as $P > Ca > K > Mg > Fe > Mn > Co > Ni$. The pattern of mineral elements in Ardeh oil was reported as $P > Fe > K > Co > Mg > Ni > Mn > Ca$. The reduction pattern was reported as $P > K > Fe > Ni > Co > Mn > Ca > Mg$ in refined sesame oil. As can be seen the order of mineral elements was changed in two oil samples and sesame seed. It was shown that except for K and Ca, all mineral elements in ardeh oil were higher than refined sesame oil. As can be seen, the refining process was effectively reduced the metals in oil samples. On the other hand, high amount of mineral elements in sesame seed in comparison to extracted oils could be attributed to lack of processing methods which are present in oil production in both methods.

Conclusion

It should be considered that presence of different metals in vegetable oils could facilitate the oil deterioration and oxidization as well as oil shelf life reduction. Since the most of the sesame lots in Iran are imported, it is necessary to monitor the amount of mineral elements.

Keywords: Ardeh oil, Mineral elements, Sesame oil, Sesame seed

مقاله پژوهشی

بررسی میزان املاح معدنی در دانه کنجد و انتقال آن به روغن ارده و کنجد تصفیه

سمیه خیراتی رونیزی^۱ - فاطمه اکرمی مهاجری^۲ - حمدالله مشتاقی بروجنی^۳ - سارا جام بر سنگ^۳ - حسین کیانی^۴ - الهام

خلیلی صدراآباد^{۵*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از روغن کنجد به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا و خواص تغذیه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به استفاده از روغن استحصالی از دانه کنجد به دو صورت روغن ارده و روغن کنجد، در مطالعه حاضر مقادیر عناصر معدنی در دانه کنجد و روغن استحصالی از آن (روغن ارده و کنجد تصفیه) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین مواد معدنی، نمونه روغن ارده و روغن کنجد تصفیه از یک نوع دانه کنجد وارداتی تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از هضم به روش مایکروویو در حضور ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه هضم شد. نمونه‌های هضم شده از فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ میکرومتری عبور داده شد. سپس غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، نیکل، کبالت، منگنز، کلسیم و منیزیم در دانه کنجد، روغن ارده و روغن کنجد تصفیه شده هضم شده با استفاده از دستگاه ICP-OES (طیف‌سنج پلاسمای جفت القایی) مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه حاضر میزان حد تشخیص برای عناصر مورد بررسی شامل منیزیم: ۰/۰۰۰۶۶، منگنز: ۰/۰۰۰۱۳۴، فسفر: ۰/۳۸۴، آهن: ۰/۰۰۰۷۹۷، پتاسیم: ۰/۰۰۳۹۴، کلسیم: ۰/۰۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیکل: ۴ و کبالت: ۰/۵۹۴ میکروگرم بر کیلوگرم بود. براساس نتایج بدست آمده بالاترین مقادیر عناصر معدنی در دانه کنجد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد روغن کنجد از دانه کنجد منجر به کاهش عناصر معدنی در روغن استحصالی شده است. مقادیر مواد معدنی در دانه کنجد به صورت فسفر < کلسیم < پتاسیم < منیزیم < آهن < منگنز < کبالت < نیکل تخمین زده شد. دیده شد که به استثنای پتاسیم و کلسیم، میزان تمامی عناصر معدنی در روغن ارده بالاتر از روغن کنجد تصفیه شده تخمین زده شد. همچنین مقادیر آهن و نیکل در تمامی نمونه‌های مورد بررسی بالاتر از حد مجاز تخمین شده شد. از آنجایی که بیشتر کنجدهای ایران وارداتی است، به منظور حفظ سلامت مصرف‌کنندگان نظارت بر میزان مواد معدنی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: روغن ارده، روغن کنجد، کنجد، عناصر معدنی

مقدمه

بسیاری از پروسه‌های بیوشیمیایی دارای اهمیت هستند (Ghazani et al., 2013). کنجد گیاهی از خانواده Pedaliacea بوده که روغن استحصالی از آن یکی از منحصربه‌فردترین و قدیمی‌ترین روغن‌ها محسوب می‌شود (Rahimi et al., 2020). روغن استحصالی از دانه

چربی‌ها و روغن‌ها حاوی مواد مغذی ضروری برای انسان هستند. در میان بسیاری از عملکردهای متعدد، چربی‌ها منابع انرژی، حامل ویتامین‌های محلول در چربی و اسیدهای چرب ضروری بوده و در

۱، ۲ و ۶ - به ترتیب دانش‌آموخته، دانشیار و استادیار، مرکز تحقیقات سلامت و ایمنی غذا، گروه بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

* - نویسنده مسئول: (Email: khalili.elham@ssu.ac.ir)

۳ - استاد، گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴ - دانشیار، مرکز تحقیقات مدل سازی داده‌های سلامت، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۵ - دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

روغن شده و در نتیجه در روغن به حالت معلق وجود داشته باشند (De Leonardis et al., 2000).

عناصر ضروری همانند مس، روی، آهن، منگنز و نیکل در غلظت های پایین برای بدن ضروری هستند و چنانچه مقادیر این مواد از حد قابل قبول تجاوز کند می‌تواند اثرات نامطلوب ایجاد کند. بنابراین تازگی، قابلیت ذخیره‌سازی، کیفیت روغن و مشکلات بهداشتی روغن می‌تواند از طریق تعیین مقادیر عناصر ضروری مشخص گردد (Ramezani et al., 2021). از آنجا که در سال‌های اخیر تمایل مردم به مصرف روغن های خام و بدون تصفیه بیشتر شده است، بنابراین بررسی کیفیت و سلامت این روغن‌ها می‌تواند در نیل به اهداف بهداشتی جامعه مؤثر بوده و به‌طور مستقیم بر سلامت افراد تأثیر مثبت داشته باشد. از طرف دیگر مصرف روغن کنجد استحصال شده از ارده نیز در سبب غذایی خانوارهای ایرانی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و ارائه تفاوت‌های علمی و منطقی در انتخاب بین این روغن‌ها موضوع مهمی در بین خانواده‌ها می‌باشد. بنابراین، هدف تحقیق حاضر، بررسی مقادیر مواد معدنی نیکل، منیزیم، منگنز، فسفر، کبالت، آهن، پتاسیم و کلسیم در دانه کنجد و روغن استحصالی به صورت ارده و کنجد تصفیه شده است.

مواد و روش‌ها

تجهیزات و مواد مورد نیاز: دانه کنجد، آب دیونیزه (دوبار تقطیر)، اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد)، آب اکسیژنه، دستگاه هضم مایکروویو، فیلتر سر سرنگی، دستگاه ICP-OES.

تهیه نمونه روغن ارده: ابتدا دانه کنجد بوجاری شده و سپس در آب خیسانده و بعد از گذشت مدتی که رطوبت در سطح پوست یکنواخت شد، کنجدها وارد دستگاه پوست‌کنی و سپس در حوض‌های آب‌نمک ریخته شدند. در نهایت کنجد در دستگاهی برشته و آماده ورود به آسیاب شدند. در دستگاه آسیاب کنجدهای بو داده‌شده، له‌شده و به شکل ارده درآمدند. سپس به ازای صد کیلوگرم ارده حدود ۲۲ لیتر آب نیم گرم به داخل مخلوط‌کن اضافه و حدود یک ساعت اختلاط انجام گردید. سوسپانسیون جامد در آب ارده شکسته و روغن جدا و با استفاده از پرس، روغن جداسازی شد (INSO, 2016).

تهیه روغن کنجد: کنجدها در ابتدا بوجاری و سپس وارد دستگاه کلدپرس گردیدند. در این دستگاه روغن کنجد تحت فشار وارده و در درجه حرارت پایین استخراج و تصفیه شد (INSO, 2014).

هضم نمونه‌ها با دستگاه مایکروویو: روغن ارده و روغن کنجد تصفیه شده جمع‌آوری شده و به‌منظور هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم نمونه روغن هموژن درون ظرف تفلونی مخصوص مایکروویو ریخته شد. ظرف حاوی نمونه در زیر هود قرار داده‌شده و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه بر روی آن افزوده شد. در ادامه

کنجد علاوه بر استفاده خوراکی، دارای مصارف صنعتی و دارویی هم می‌باشد. علاوه بر این، برای این روغن‌ها اثرات مفیدی همچون کاهش کلسترول و فشار خون، محافظت‌کننده کبد، ضدسرطان گزارش شده است (Tenyang et al., 2017). در حال حاضر، در ایران استخراج روغن از دانه کنجد به دو روش سنتی و صنعتی انجام می‌گیرد. روش مرسوم برای استخراج روغن از دانه کنجد در صنعت، روش پرس سرد می‌باشد که همان فشردن دانه روغنی بدون اعمال حرارت می‌باشد. روغن حاصل از پرس سرد عاری از هرگونه افزودنی و یا نگهدارنده‌های شیمیایی بوده و می‌تواند حاوی بیشترین میزان مواد تغذیه‌ای مفید همچون ویتامین E و اسیدهای چرب غیراشباع باشد (Martínez et al., 2017). در روش سنتی، معمولاً از ارده برای تولید روغن کنجد استفاده می‌کنند. ارده فرآورده‌ای است مایع که پس از طی مراحل پوست‌گیری، بو دادن و آسیاب کردن دانه کنجد، به دست می‌آید. در این روش ارده با آب نیمه گرم مخلوط شده و روغن از ارده جدا می‌شود. در انتها با استفاده از پرس سعی می‌شود حداکثر روغن استخراج شود (INSO, 2016). مراحل مختلف فراوری دانه‌های روغنی و فرایندهای تصفیه همگی سبب ایجاد تغییراتی در روغن استحصالی شده که این تغییرات در مواردی منجر به بهبود کیفیت و در مواردی نیز ممکن است کاهش کیفیت محصول را به همراه داشته باشد (Kheirati Rounizi et al., 2021). اکسیداسیون چربی یکی از عمده‌ترین مشکلات صنعت روغن است که می‌تواند بر روی زمان ماندگاری محصول تأثیر منفی داشته باشد. اکسیداسیون روغن تحت تأثیر عوامل متعددی همانند میزان اسیدهای چرب غیر اشباع، فعالیت آنزیمی، ترکیبات معدنی (مواد معدنی و فلزات) و حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Tenyang et al., 2017). مطالعات متعددی نشان داده است که نحوه فرآوری دانه کنجد و همچنین نحوه تهیه روغن از دانه کنجد می‌تواند بر خصوصیات محصول نهایی مؤثر باشد (Makinde Akinoso, 2013, Tenyang et al., 2017). همانطور که بیان شد، یکی از عوامل مهم در کیفیت محصول نهایی، مقادیر ترکیبات و مواد معدنی در روغن می‌باشد. امروزه در جوامع صنعتی، حضور فلزات یکی از مسائل بهداشتی و زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهد. حضور فلزات در روغن‌های گیاهی علاوه بر خاک، کود و آب مورد استفاده در کشاورزی، از طریق آلودگی در طول تکنیک‌های زراعی تولید و جمع‌آوری دانه‌ها، در طی فرایند استخراج و تیمار روغن و همچنین سیستم‌ها و مواد بسته‌بندی و ذخیره‌سازی هم رخ می‌دهد (Farzin & Moassesi, 2014, Pehlivan et al., 2008). همچنین ممکن است فلزات در طول فرایند تولید (در عملیات رنگ‌بری، تصفیه و بی‌بوسازی) و همچنین از طریق تجهیزات فلزی مورد استفاده در طی فرآوری، وارد

فرآیندهای استخراج (رنگبری و تصفیه و بی‌بو کردن) و تیمار روغن، همچنین آلودگی تجهیزات فرآوری، بسته‌بندی و ذخیره‌سازی ممکن است به فلزات آلوده شوند.

در مطالعه حاضر میزان حد تشخیص یا LOD^۱ برای عناصر مورد مطالعه شامل نیکل: ۴ میکروگرم بر کیلوگرم، منیزیم: ۰/۰۰۰۶۶ میلی گرم بر کیلوگرم، منگنز: ۰/۰۰۰۱۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم، فسفر: ۰/۳۸۴ میلی گرم بر کیلوگرم، کبالت: ۰/۵۹۴ میکروگرم بر کیلوگرم، آهن: ۰/۰۰۷۹۷ میلی گرم بر کیلوگرم، پتاسیم: ۰/۰۰۳۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم، کلسیم: ۰/۰۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم بود. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان املاح مختلف در دانه کنجد بیشتر از روغن ارده و تصفیه شده بوده و این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار ($p < 0.05$) می‌باشد. بیشترین میزان ماده معدنی به مقدار ۱۵۰۶۰/۹ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط به فسفر در دانه کنجد بوده و کمترین میزان املاح مربوط به منیزیم در روغن تصفیه شده و کلسیم در روغن ارده و روغن کنجد است که کمتر از LOD دستگاه تخمین زده شده است. به استثنای پتاسیم و کلسیم، میزان تمامی عناصر معدنی در روغن ارده بالاتر از روغن کنجد تصفیه شده تخمین زده شد.

مقادیر مواد معدنی در دانه کنجد به صورت فسفر < کلسیم < پتاسیم < منیزیم < آهن < منگنز < کبالت < نیکل تخمین زده شد. در مطالعه تنیانگ و همکاران (Tenyang et al., 2017) بیشترین میزان ماده معدنی در نمونه‌های دانه کنجد را کلسیم و سپس پتاسیم، فسفر و منیزیم گزارش شد. در تحقیق انزیکو و همکاران (Nzikou JM, 2010) بیشترین مواد معدنی در دانه کنجد خام به ترتیب پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم و سدیم گزارش شد. در مطالعه الیمنی و همکاران (Saudy, 2018) بیشترین ترکیبات معدنی در دانه کنجد کشت شده در عربستان سعودی، کلسیم، فسفر و آهن گزارش شد. در تحقیق محمد و همکاران (Mohammed & Hassan, 2018) بیان شد که در مناطق جغرافیایی مختلف پتاسیم، کلسیم، فسفر، منیزیم، منگنز و آهن ترکیبات معدنی اصلی در کنجد است. همانطور که مشاهده می‌شود، در مطالعه حاضر، بیشترین میزان مواد معدنی در دانه کنجد است.

دانه کنجد منبع خوبی از مواد معدنی نظیر کلسیم، فسفر، پتاسیم و آهن است. دانه‌های کنجد حاوی ۴ تا ۶ درصد مواد معدنی بوده که از این میان مقدار ۱ درصد آن کلسیم و ۷ درصد فسفر می‌باشد. کلسیم در دانه کنجد، بیشتر در پوست دانه وجود داشته و با پوست‌گیری از دست می‌رود (Mbaebie et al., 2010). در مطالعه حاضر، میزان کلسیم در نمونه‌های روغن ارده و روغن کنجد کمتر از دانه کنجد تخمین زده شد. این کاهش در روغن ارده می‌تواند به از دست رفتن کلسیم در طی پوست‌گیری نسبت داده شود. دیده‌شده است که صمغ‌زدایی آنزیمی

نمونه‌ها جهت انجام عمل هضم داخل مایکروویو قرار داده شد. برنامه هضم نمونه‌های مایکروویو به صورت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۵ دقیقه در ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۵ دقیقه در ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰ دقیقه در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد اعمال گردید. پس از عملیات هضم، محلول حاصل در لوله‌های فالكون اسیدوآش شده ریخته و با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس جهت تزریق به دستگاه ICP-OES (طیف‌سنج پلاسما جفت القایی) انتقال داده شد (Zhu et al., 2011, Kheirati Rounizi et al., 2021).

قراءت عناصر معدنی با ICP-OES: نمونه‌های هضم شده از فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ میکرومتری عبور داده شد و سپس به دستگاه ICP-OES تزریق شد تا بر اساس میزان جذب نوری در طول موج‌های مختلف مقادیر فلزات را اندازه‌گیری نماید (Khalili Sadrabad et al., 2018).

آنالیز داده‌ها: داده‌ها پس از جمع‌آوری وارد نرم‌افزار SPSS ۲۲ شده و با استفاده از شاخص‌های توصیفی، میانگین، میانه، انحراف معیار و دامنه تغییرات توصیف شد. برای بررسی تأثیر روش‌های روغن‌گیری بر کاهش و افزایش هر یک از متغیرهای مورد بررسی از آنالیز کوواریانس ANCOVA استفاده شد.

نتایج و بحث

حضور مواد معدنی برای فعالیت تعدادی از آنزیم‌ها به منظور بهبود عملکرد بیولوژیکی بدن، ضروری هستند. پایداری زندگی به توانایی بدن برای ایجاد تعادل بین مواد معدنی مختلف وابسته است (Ozkan & Kulak, 2013). حضور فلزات در روغن‌های خوراکی شاخصی مهم در تعیین کیفیت روغن می‌باشد. روغن‌های گیاهی ممکن است حاوی یون‌های فلزی همچون آهن، مس، روی و سرب باشند که می‌توانند به عنوان پیش‌اکسیدان عمل کنند (Szydłowska-Czeraniak et al., 2013, Ramezani & Rezaei, 2018). بنابراین، حضور بیش از حد مواد معدنی در روغن تهیه شده از گیاهان می‌تواند منجر به تسریع واکنش‌های اکسیداتیو در روغن شده و علاوه بر کاهش کیفیت روغن، بر روی سلامت مصرف‌کننده اثر مضر داشته باشد (Sedaghat Boroujeni et al., 2017). گیاهان در طی رشد در خاک، آبیاری با پساب کارخانجات، آلودگی در تکنیک‌های زراعی تولید و جمع‌آوری دانه‌هایی می‌توانند فلزات سنگین و مواد معدنی را جذب کنند. اهمیت آلودگی دانه‌های روغنی به فلزات می‌تواند به دلیل کاربرد خوراکی مستقیم، استفاده در فرمول‌های غذایی و انتقال به روغن‌های خوراکی باشد. روغن‌های حاصل از گیاهان علاوه بر موارد ذکرشده، در طول

زو و همکاران (Zhu et al., 2011)، مقادیر فلزات مس، روی، آهن، منگنز، کادمیوم، نیکل، سرب و آرسنیک را در نه نوع روغن گیاهی مصرفی در چین بررسی نمودند.

بهترین نوع فرآوری موجود برای کاهش میزان فسفر روغن‌های گیاهی به کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (Lamas et al., 2014). مقادیر پتاسیم، منیزیوم، فسفر، آهن، مس، روی و منگنز در دانه کنجد خام به ترتیب ۵۲۵/۹، ۳۴۹/۹، ۵۱۶، ۱۱/۳۹، ۲/۱۵، ۸/۸۷، ۳/۴۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک تخمین زده شد (Elleuch et al., 2007).

جدول ۱- میانگین مواد معدنی در کنجد، روغن ارده و کنجد تصفیه شده برحسب mg/kg

Table 1- concentration of mineral elements in sesame seed, Ardeh and refined sesame oil (mg/kg)

مواد معدنی Mineral elements	دانه کنجد Sesame seed	روغن ارده Ardeh oil	روغن کنجد تصفیه Refined sesame oil
(Mg) منیزیوم	3331.5 ± 36.9 ^a	3.03 ± 0.4 ^b	>0.00066 ^c
(Mn) منگنز	26.3 ± 3.6 ^a	0.3 ± 0.1 ^b	0.32 ± 0.05 ^b
(P) فسفر	15060.9 ± 877.4 ^a	60.42 ± 4.9 ^b	40.15 ± 3.01 ^c
(Ni) نیکل	4.82 ± 0.24 ^a	2.95 ± 0.86 ^b	2.73 ± 0.23 ^b
(K) پتاسیم	8921.8 ± 149.6 ^a	6.4 ± 1.04 ^b	13.15 ± 2.18 ^c
(Fe) آهن	109.9 ± 35.11 ^a	15.4 ± 1.4 ^b	7.8 ± 2.1 ^c
(Co) کیالت	24.71 ± 8.87 ^a	3.38 ± 0.5 ^b	1.68 ± 0.47 ^c
(Ca) کلسیم	9663.37 ± 28.35 ^a	> 0.005 ^b	> 0.005 ^b

LOD: نیکل: ۴ ppb، منیزیوم: ۰/۰۰۰۶۶ ppm، منگنز: ۰/۰۰۰۱۳۴ ppm، فسفر: ۰/۳۸۴ ppm، کیالت: ۰/۵۹۴ ppb، آهن: ۰/۰۰۰۷۹۷ ppm، پتاسیم: ۰/۰۰۳۹۴ ppm، کلسیم: ۰/۰۰۵ ppm

LOD: Ni: 4 ppb, Mg: 0.00066 ppm, Mn: 0.000134 ppm, P: 0.384 ppm, Co: 0.594 ppb, Fe: 0.000797 ppm, K: 0.00394 ppm, Ca: 0.005 ppm.

حروف نامتشابه در هر ردیف بیان کننده معنی داری در سطح ۵ درصد است.

Different letters in each row indicated the significantly at 0.05 level.

عصبی لازم است (Sani et al., 2013). در مطالعه حاضر، میزان منگنز در دانه کنجد ۲۶/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شد که این میزان در روغن کنجد و روغن ارده به شدت کاهش یافته است. آهن از آلاینده‌های معمول روغن محسوب می‌شوند که نقشی مهمی در تسریع تنزل کیفیت روغن دارد (Lamas et al., 2016). آهن از عناصر ضروری است که در صورت بالا رفتن از حد مجاز استاندارد می‌تواند منجر به اختلال در سیستم فیزیولوژیکی بدن شود (Abu-Commission, 2019). در مطالعه حاضر میزان آهن در نمونه‌های کنجد، روغن ارده و روغن کنجد تصفیه به ترتیب ۱۰۹/۹، ۱۵/۴ و ۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. براساس استاندارد سازمان کدکس میزان مجاز آهن در روغن‌های گیاهی ۱/۵ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در روغن تصفیه و روغن خام تخمین زده شده است (Commission, 1999). همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر آهن در نمونه‌های روغن در مطالعه حاضر بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان کدکس تخمین زده شد. برخلاف نتایج حاصل، میزان آهن در نمونه‌های دانه

مقادیر فلزات مس، روی، آهن، منگنز، نیکل، سرب و آرسنیک در روغن کنجد مورد بررسی در مطالعه این محققان به ترتیب در محدوده ۰/۰۲۸ تا ۰/۰۳۹، ۰/۷۸۹ تا ۰/۸۸۳، ۳۷/۹ تا ۳۸/۵، ۰/۱۷۱ تا ۰/۱۸۴/۱۸۴ تا ۰/۰۰۶۶/۱۸۴، ۰/۰۷۵ تا ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۱۵ و ۰/۰۱۹ تا ۰/۰۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و کادمیوم ۵/۲۷ تا ۵/۴۴ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شد (Zhu et al., 2011). سعید و همکاران (Saeed et al., 2015) به بررسی خصوصیات شیمیایی چند گونه مختلف کنجد پرداختند. مقادیر فلزات و عناصر معدنی انواع کنجد در مطالعه این محققان به میزان کلسیم: ۴۵۱/۶۷ تا ۷۰۳/۳۳، آهن: ۲/۱۶ تا ۷/۵۳، منیزیوم: ۳۶۶/۶ تا ۵۶۶/۶، روی: ۰/۵۶ تا ۰/۷۶، فسفر: ۴۷۴۲/۷ تا ۶۱۹۶/۷ و پتاسیم: ۴۲/۵۰ تا ۵۳/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد (Saeed et al., 2015).

منگنز کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بدن همانند آرژینیناز، پیروات کربوکسیلاز، سوپراکسید دیس موتاز، پپتیداز و ایزوسیترات دهیدروژناز است که برای تشکیل استخوان، عملکرد درست تولید مثل و سیستم

مختلف استخراج در پایداری روغن پرداخته بود، مقادیر فلزات مس و آهن در نمونه‌های روغن حاصل از پرس (دانه کامل کنجد) به ترتیب ۰/۰۶ و ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تخمین زده شد. مقادیر مس و آهن در مطالعه حاضر بسیار بالاتر از مطالعه کمال الدین و همکاران (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شد. مقدار سرب، مس، روی، کادمیوم در دانه کنجد به ترتیب در محدوده ۰/۵ تا ۱/۹، ۵/۳ تا ۳/۸، ۲۰/۴ تا ۲۶/۲ و ۰/۰۴ تا ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. آنجلووا و همکاران (Angelova et al., 2005) به بررسی تجمع فلزات سنگین و توزیع آن‌ها در دانه‌های روغنی رشد یافته در فاصله ۰/۵ تا ۱۵/۵ کیلومتری منبع آلودگی پرداختند. در این مطالعه دانه کلزا و آفتابگردان و روغن‌های حاصل از آن‌ها از نظر حضور فلزات مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در طی فرآوری دانه کلزا و آفتابگردان برای تهیه روغن مقادیر زیادی از فلزات از دانه به روغن منتقل نمی‌شود (Angelova et al., 2005). مقادیر فلزات کلسیم، آهن، پتاسیم، منیزیم و روی در روغن کنجد به ترتیب ۰/۲، ۱۴/۸، کمتر از ۰/۳، ۳/۷، ۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ارزیابی شد (Cindric et al., 2007). نتایج نشان دادند که آب‌وهوا بر روی محتوا و ترکیبات شیمیایی روغن کنجد مؤثر است (Mohammed et al., 2018). بیان شده است که یون‌های فلزی در روغن می‌توانند به صورت کمپلکس‌های احاطه شده توسط پروتئین‌ها، فسفولیپیدها، لیپیدها یا حامل‌های غیرلیپیدی یا به صورت جامدات معلق در روغن باشند. بنابراین در طی انجام فرآیند تصفیه روغن، رسوب فسفولیپیدها می‌تواند همزمان منجر به حذف کمپلکس‌های فلزی شود (Szydłowska-Czerniak et al., 2013). در بررسی حاضر، الگوی تغییر فلزات پتاسیم و منگنز در روغن‌های تولیدی مشابه با هم و به‌صورت روغن کنجد تصفیه بیشتر از روغن ارده بود.

نتیجه‌گیری

حضور یون‌های فلزی در روغن‌های خوراکی شاخصی مهم در تعیین کیفیت روغن می‌باشد. یون‌های فلزی می‌توانند تجزیه هیدروپروکسیدها را به رادیکال‌های آزاد و ترکیبات ثانویه اکسیداسیون (آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدها و اپوکسیدها) کاتالیز کنند. بنابراین این فلزات می‌توانند پروسه اکسیداسیون زنجیره اسیدهای چرب را تسریع کرده و در نتیجه روی ماندگاری و ارزش تغذیه‌ای روغن بدست آمده اثر منفی داشته باشند. همانطور که بررسی حاضر نشان داد، در میان مواد معدنی مورد بررسی، فسفر بیشترین ترکیب معدنی موجود در دانه کنجد، روغن ارده و روغن کنجد تصفیه تخمین زده شد. روغن کنجد تصفیه شده نسبت به دانه کنجد و روغن ارده حاوی مقادیر کمتری مواد معدنی (به استثنای پتاسیم و منگنز) بود. در مطالعه حاضر مقادیر آهن و نیکل به ترتیب بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان کدکس و

کنجد در مطالعه ابوالمعالی در محدوده مجاز گزارش گردید (Abu-Almaaly, 2019). حضور آهن در روغن به دلیل وجود طبیعی آهن در دانه‌های روغنی به‌صورت متصل با فسفولیپیدها و دیگر ترکیبات معدنی و همچنین احتمال آلودگی از طریق تجهیزات فلزی است (Lamas et al., 2016).

نیکل از دیگر فلزاتی است که می‌تواند سبب ایجاد آلرژی در افراد حساس شود. برخی عناصر همانند مس، روی، آهن، نیکل، منیزیم، منگنز و کلسیم در مقادیر کم برای بقای موجودات زنده لازم است. این فلزات در غلظت‌های بالا می‌توانند سمی باشند. اگرچه حضور مقادیر اندک فلزات سنگین در روغن‌های گیاهی، باعث تنزل کیفیت روغن‌ها می‌شود (Farzin & Moassesi, 2014). مقدار مجاز نیکل در روغن و محصولات روغنی بر اساس استاندارد چین ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شده است (China, 2014). براساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر، مقادیر نیکل در نمونه‌های روغن ارده و کنجد تصفیه بالاتر از حد مجاز استاندارد چین گزارش شد.

الگوی مواد معدنی در روغن ارده به صورت فسفر < آهن < پتاسیم < کبالت < منیزیم < نیکل < منگنز < کلسیم بود. میزان معدنی در روغن کنجد تصفیه بر طبق روند فسفر < پتاسیم < آهن < نیکل < کبالت < منگنز < کلسیم گزارش شد. در بررسی ثانی و همکاران بیشترین مواد معدنی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های روغن دانه کنجد سفید به ترتیب به صورت آهن، روی، پتاسیم، سدیم، مس و منگنز گزارش شد (Sani et al., 2013). الگوی کاهش میزان فلزات کبالت، آهن، نیکل و فسفر در روغن‌های مورد مطالعه به صورت روغن کنجد تصفیه کمتر از روغن ارده گزارش شد. بنابراین می‌توان گفت که فرآیند تصفیه کارایی مناسبی در کاهش این مواد داشته است. در این مطالعه فراوان‌ترین ماده معدنی در روغن کنجد، کلسیم گزارش شد که در محدوده ۳/۰۲ تا ۹/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. محدوده ترکیبات معدنی فسفر، منیزیم، منگنز، پتاسیم، آهن، روی، مس و کادمیوم در روغن کنجد به ترتیب ۱/۱۴-۳/۹۴، ۰/۸۱-۴/۷۴، ۰/۰۱-۰/۱۲، ۰/۸۲-۴/۲۵، ۰/۰۴-۰/۲۵، ۰/۰۱-۰/۰۲، ۰/۱۵-۰/۳۹ و ۰/۰۱-۰/۱۱ اندازه‌گیری گردید. در مطالعه لاماس و همکاران (Lamas et al., 2014) مقدار فلزات فسفر، آهن، مس، کلسیم و منیزیم در روغن آفتابگردان خام به ترتیب ۴۷۴/۷، ۸/۳۷، ۳/۴۱، ۹۵/۳۴ و ۱۰۵/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شد. نتایج تحقیق حاضر تا حدودی با گزارش‌های محققان دیگر همخوانی دارد و وجود تفاوت‌های اندک در مقادیر اندازه‌گیری شده را می‌توان به اختلاف‌های ژنتیکی سویه‌های کنجد و همچنین شرایط منطقه‌ای رشد دانه کنجد (شرایط خاک، آب‌وهوا) نسبت داد. در مطالعه کمال الدین و همکاران (Kamal-Eldin & Appelqvist, 1995) که به بررسی تأثیر پوست‌گیری و روش‌های

اداره استاندارد چین اندازه‌گیری شد. باید توجه داشت از آنجا که دانه کنجد قادر به تجمع فلزات می‌باشد، بنابراین بررسی شرایط و خاک منطقه‌ای که کنجد در آن کشت شده از نظر حضور آلاینده‌ها و بررسی کیفیت کنجدهای وارداتی، پیش از تهیه روغن الزامی است. همچنین قابل ذکر است که در سال‌های اخیر، تمایل مردم به مصرف روغن استحصالی از کنجد به صورت خام یا روغن ارده بیشتر شده است، بنابراین اطلاع‌رسانی به مردم جهت انتخاب صحیح روغن برای مصرف ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد به خاطر حمایت‌های مالی و آزمایشگاه بهداشت و ایمنی مواد غذایی جهت همکاری اعلام می‌دارند.

منابع

1. 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, 3217-3222.
2. Angelova, V., Ivanova, R., & Ivanov, K. (2005). Heavy metal accumulation and distribution in oil crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35, 2551-2566. <https://doi.org/10.1081/LCSS-200030368>
3. China, S.O. (2014). China's Maximum Levels for Contaminants in Foods.
4. Cindric, I.J., Zeiner, M., & Steffan, I. (2007). Trace elemental characterization of edible oils by ICP-AES and GFAAS. *Microchemical Journal*, 85, 136-139. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2006.04.011>
5. Commission, C.A. (1999). SECTION 2. *Codex standards for fats and oils from vegetable sources*.
6. De Leonardis, A., Macciola, V., & De Felice, M. (2000). Copper and iron determination in edible vegetable oils by graphite furnace atomic absorption spectrometry after extraction with diluted nitric acid. *International Journal of Food Science & Technology*, 35, 371-375. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00389.x>
7. Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., & Attia, H. (2007). Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103, 641-650. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.008>
8. Farzin, L., & Moassesi, M.E. (2014). Determination of metal contents in edible vegetable oils produced in Iran using microwave-assisted acid digestion. *Journal of Applied Chemical Research*, 8, 35-43.
9. Ghazani, S.M., García-Llatas, G., & Marangoni, A.G. (2013). Minor constituents in canola oil processed by traditional and minimal refining methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, 743-756.
10. INSO. (2014). *Edible fats and oils – Refined Sesame oil-Specifications and Test methods*. Iranian National Standardization Organization, 2nd. Revision.
11. INSO. (2016). *Tahini - Specifications and test methods*. Iranian National Standardization Organization, 2nd. Revision.
12. Kamal-Eldin, A., & Appelqvist, L.-Å. (1995). The effects of extraction methods on sesame oil stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72, 967-969.
13. Khalili Sadrabad, E., Moshtaghi Boroujeni, H., & Heydari, A. (2018). Heavy metal accumulation in soybeans cultivated in Iran, 2015-2016. *Journal of Nutrition and Food Security*, 3, 27-32. <http://jnfs.ssu.ac.ir/article-1-126-en.html>
14. Kheirati Rounizi, S., Akrami Mohajeri, F., Moshtaghi Broujeni, H., Pourramezani, F., Jambarsang, S., Kiani, H. & Khalili Sadrabad, E. (2021). The chemical composition and heavy metal content of sesame oil produced by different methods: A risk assessment study. *Food Science & Nutrition*, 9: 2886-2893 <https://doi.org/10.1002/fsn3.2245>
15. Lamas, D.L., Constenla, D.T., & Raab, D. (2016). Effect of degumming process on physicochemical properties of sunflower oil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 6, 138-143. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.007>
16. Lamas, D.L., Crapiste, G.H., & Constenla, D.T. (2014). Changes in quality and composition of sunflower oil during enzymatic degumming process. *LWT-Food Science and Technology*, 58, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.024>
17. Makinde, F., & Akinoso, R. (2013). Nutrient composition and effect of processing treatments on anti nutritional factors of Nigerian sesame (*Sesamum indicum* Linn) cultivars. *International Food Research Journal*, 20.
18. Martínez, M.L., Bordón, M.G., Lallana, R.L., Ribotta, P.D., & Maestri, D.M. (2017). Optimization of sesame oil extraction by screw-pressing at low temperature. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1113-1121. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1885-4>
19. Mbaebie, B., Omosun, G., Uti, A., & Oyedemi, S. (2010). Chemical composition of *Sesamum indicum* L. (Sesame) grown in Southeastern Nigeria and the physicochemical properties of the seed oil. *Seed Science and Biotechnology*, 4, 69-72.

20. Mohammed, F., Abdulwali, N., Guillaume, D., Tenyang, N., Ponka, R., Al-Gadabi, K., Bchitou, R., Abdullah, A.H., & Naji, K.M. (2018). Chemical composition and mineralogical residence of sesame oil from plants grown in different Yemeni environments. *Microchemical Journal*, 140, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.04.011>
21. Mohammed, N.A., & Hassan, S. (2011). Physico-chemical analysis and mineral composition of some sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) grown in the Gizan area of Saudi Arabia. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 270-274.
22. Nzikou Jm, M.-T. M., Ndangui, Cb., Pambou-Tobi, Np., Kimbonguila, A., Loumouamou, B., Silou, Th., & Desobry, S. (2010). Characterization of seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) and the kinetics of degradation of the oil during heating. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 10, 227-32.
23. Ozkan, A., & Kulak, M. (2013). Effects of water stress on growth, oil yield, fatty acid composition and mineral content of *Sesamum indicum*. *Journal Animal Plant Science*, 23, 1686-90.
24. Pehlivan, E., Arslan, G., Gode, F., Altun, T., & Özcan, M.M. (2008). Determination of some inorganic metals in edible vegetable oils by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). *Grasas y Aceites*, 59(2), 239-44. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i3.514>
25. Rahimi, M., Gharachorloo, M., & Ghavami, 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. *Food Science and Technology*, 17(16), 181-189. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-33625-en.html>
26. Ramezani, M., Hashemi, M., Varidi, M., & Rezaie, M. (2021). Health risk assessment and determination of heavy metals in sesame oils. *Journal of Nutrition, Fasting and Health*, 9, 342-352. <https://doi.org/10.22038/JNFH.2021.61727.1365>
27. Ramezani, M., & Rezaei, M. (2018). Physicochemical properties, heavy metals and aflatoxin in sesame oil: A review study. *Journal of Nutrition, Fasting and Health*, 6, 45-51. <https://doi.org/10.22038/jnfh.2018.33801.1128>
28. Saeed, F., Qamar, A., Nadeem, M. T., Ahmed, R. S., Arshad, M.S., & Afzaal, M. (2015). Nutritional composition and fatty acid profile of some promising sesame cultivars. *Pak. Journal Food Science*, 25, 98-103.
29. Sani, I., Sule, F. A., Warra, A. A., Bello, F., Fakai, I.M., & Abdulhamid, A. (2013). Phytochemicals and mineral elements composition of white *Sesamum indicum* L. seed oil. *International Journal of Traditional and Natural Medicines*, 2, 130.
30. Sedaghatboroujeni, L., Hojjatoleslami, M., & Gharachorloo, M. (2017). The effect of purification process on heavy metals in soyabean oil. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 15, 35-44.
31. Szydłowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G.R., & Szlyk, E. (2013). Spectroscopic determination of metals in palm oils from different stages of the technological process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 2276-2283. <https://doi.org/10.1021/jf305094s>
32. Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Djikeng, F.T., Azmeera, T., Karuna, M.S., Prasad, R.B., & 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>
33. Zhu, F., Fan, W., Wang, X., Qu, L., & Yao, S. (2011). Health risk assessment of eight heavy metals in nine varieties of edible vegetable oils consumed in China. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 3081-3085. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.09.019>