Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

Measurement some of Trace Elements and Heavy Metals Concentrations in Caspian Seal (*Pusa caspica*) alongside the Iranian Coastline

Seyed Reza Khaleghi[1], Seyed Aliakbar Hedayati[*2], Seyed Abbas Hosseini[3], Mohammad Gholizadeh[4], Roghieh Safari[5]

1. Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: seyedrezakhaleghi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hedayati@gau.ac.ir
3. Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: seyedabbas_hosseini@yahoo.com
4. Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: gholizade_mohammad@yahoo.com
5. Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: fisheriessafari@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.03.2024
Revised: 07.27.2024
Accepted: 07.29.2024

Keywords:
Caspian Sea Ecosystem,
Caspian Seal,
Marine Mammal,
Pollutants

ABSTRACT

Studies on the heavy metal pollution load in various mammal species in most aquatic ecosystems worldwide are ongoing. Assessing heavy metal concentrations in marine organisms is crucial for monitoring and evaluating the risks associated with these pollutants in marine ecosystems. In the present study, 15 Caspian seal carcasses (8 males and 7 females) collected alongside the Iranian coastline (Golestan, Mazandaran, and Gilan provinces) between 2021 and 2023 were examined. Based on biometry, the carcasses had a total length of 81 to 150 cm, standard length of 70 to 131 cm, body diameter of 41 to 110 cm, and blubber thickness of 0.75 to 2.7 cm. Liver, kidney, and blubber were sampled for heavy metal analysis and the samples were prepared and injected into an inductively coupled plasma mass spectrometer. Results from the liver tissues of carcasses from the three provinces showed that the highest amount of arsenic, 0.78 mg/kg, was observed in Gilan province. Additionally, the highest levels of this element in kidney and blubber were 1.03 mg/kg and 3.99 mg/kg, respectively, in Gilan province, which differed significantly from Golestan province ($P \leq 0.05$). The highest amount of cadmium in the liver tissue was found in Golestan province (0.4 mg/kg), while the highest amount in the kidney tissue was found in Gilan province (16.28 mg/kg). Iron had the highest concentration among the other elements, with the highest levels in the liver, kidney, and blubber of Gilan province being 928.1, 678.9, and 81.37 mg/kg, respectively. The highest level of mercury in the liver tissue was significantly higher in Golestan province (5.3 mg/kg). Furthermore, the highest levels of lead were also observed in the liver, kidney, and blubber of Gilan province. The presence of zinc in the liver tissue was highest in both Golestan and Gilan provinces, with no significant difference between them (94.25 and 91.43 mg/kg, respectively). Based on the

results, the highest levels of the hazardous heavy metals mercury, arsenic, and cadmium were found in samples from Golestan (45.6%), Mazandaran (31%), and Gilan (73.5%) provinces, respectively.

Cite this article: Khaleghi, Seyed Reza, Hedayati, Seyed Aliakbar, Hosseini, Seyed Abbas, Gholizadeh, Mohammad, Safari, Roghieh. 2025. Measurement some of Trace Elements and Heavy Metals Concentrations in Caspian Seal (*Pusa caspica*) alongside the Iranian Coastline. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 13 (4), 13-29.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2024.22598.1886
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

سنجش غلظت برخی از عناصر کمیاب و فلزات سنگین در فوک کاسپین (*Pusa caspica*) در امتداد خط ساحلی ایران

سیدرضا خالقی[۱]، سیدعلی‌اکبر هدایتی*[۲]، سیدعباس حسینی[۳]، محمد قلی‌زاده[٤]، رقیه صفری[٥]

۱. دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: seyedrezakhaleghi@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hedayati@gau.ac.ir
۳. دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: seyedabbas_hosseini@yahoo.com
٤. گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران. رایانامه: gholizade_mohammad@yahoo.com
٥. دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fisheriessafari@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰٥/۰٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰٥/۰۸

واژه‌های کلیدی:
اکوسیستم دریای خزر،
آلاینده‌ها،
پستاندار دریایی،
فوک کاسپین

چکیده

مطالعات مربوط به بار آلودگی فلزات سنگین در گونه‌های مختلف پستانداران در اکثر اکوسیستم‌های آبی دنیا دائماً در حال انجام است. بررسی غلظت فلزات سنگین در موجودات دریایی برای پایش و ارزیابی خطرات مربوط به این نوع آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های دریایی مهم و ضروری می‌باشد. در مطالعه حاضر تعداد ۱٥ لاشه فوک کاسپین (۸ نر و ۷ ماده) در طول خط ساحلی ایران (گلستان، مازندران و گیلان) طی سال‌های ۱٤۰۰ تا ۱٤۰۲ مورد بررسی قرار گرفتند. طبق بیومتری انجام شده، لاشه‌ها دارای طول کل ۸۱ تا ۱٥۰ سانتی‌متر، طول استاندارد ۷۰ تا ۱۳۱ سانتی‌متر، اندازه قطر بدن ٤۱ تا ۱۱۰ سانتی‌متر، قطر چربی زیر پوست ۰/۷٥ تا ۷/۲ سانتی‌متر بودند. جهت آنالیز فلزات سنگین از بافت‌های کبد، کلیه و چربی نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به دستگاه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی تزریق شدند. نتایج به‌دست آمده در بافت کبد لاشه‌های سه استان نشان داد که بیش‌ترین مقدار آرسنیک ۰/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گیلان مشاهده شد. هم‌چنین، بیش‌ترین میزان این عنصر در بافت کلیه و چربی به‌ترتیب ۱/۰۳ و ۳/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گیلان مشاهده گردید که با استان گلستان تفاوت معناداری داشت ($P\leq$۰/۰٥). بیش‌ترین میزان کادمیوم در بافت کبد در استان گلستان ۰/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بافت کلیه در استان گیلان ۱٦/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وجود داشت. آهن بیش‌ترین غلظت را در میان عناصر دیگر داشت که بیش‌ترین میزان آن، در بافت کبد، کلیه و چربی در استان گیلان به ترتیب ۹۲۸/۱، ٦۷۸/۹ و ۸۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان عنصر جیوه در بافت کبد به طور معناداری در استان گلستان وجود داشت (٥/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم). علاوه بر این، بیش‌ترین

میزان فلز سرب موجود در بافت کبد، کلیه و چربی نیز در استان گیلان مشاهده شد. حضور عنصر روی در بافت کبد در دو استان گلستان و گیلان بیش‌ترین مقدار بود که تفاوت معناداری میان آن‌ها وجود نداشت (به ترتیب ۹٤/۲۵ و ۹۱/٤۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم). بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان عناصر سنگین خطرناک جیوه، آرسنیک و کادمیوم به ترتیب در نمونه‌های استان‌های گلستان (٤۵/٦ درصد)، مازندران (۳۱ درصد) و گیلان (۷۳/۵ درصد) یافت شدند.

استناد: خالقی، سیدرضا، هدایتی، سیدعلی‌اکبر، حسینی، سیدعباس، قلی‌زاده، محمد، صفری، رقیه (۱۴۰۳). سنجش غلظت برخی از عناصر کمیاب و فلزات سنگین در فوک کاسپین (*Pusa caspica*) در امتداد خط ساحلی ایران. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۳ (۴)، ۲۹-۱۳.

DOI: 10.22069/japu.2024.22598.1886

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های دریایی به دلیل اثرات سمی و طولانی‌مدت، به عنوان یک نگرانی جدی محسوب می‌شود. علی‌رغم این‌که مشخصاً وجود برخی از آن‌ها برای فرآیندهای بیوشیمیایی ضروری است، اما در بسیاری از مناطق غلظت‌های محیطی برخی از عناصر به اندازه‌ای بالاست که خطراتی را برای حیات‌وحش و حتی انسان به‌وجود آورده است. فلزات سنگین معمولاً به دو دسته عناصر ضروری و عناصر غیرضروری تقسیم می‌شوند (۱). غلظت‌های پایین عناصر غیرضروری به‌طور بالقوه سمی هستند. عناصری که دارای توانایی تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی بالقوه بیش‌تری هستند، می‌توانند به غلظت‌های بالایی در سطوح تغذیه‌ای بالاتر برسند و گونه‌های جانوری که از نظر اکولوژیکی با اهمیت هستند و یا توسط انسان مصرف می‌شوند را تحت‌تأثیر قرار دهند. در میان فلزات سنگین و عناصر کمیاب جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سرب و کروم به دلیل درجه سمیت بالایشان، دارای اهمیت زیست محیطی بوده و بالاترین رتبه را دارند (۲).

محیط زیست دریای کاسپین به دلیل حفظ تنوع زیستی از نظر بین‌المللی اهمیت بسیار زیادی دارد. تنوع زیستی دریای کاسپین به دلیل انزوای تاریخی با سطح بالایی از گونه‌های بومی مشخص می‌شود. حدود ٤٠ درصد از گونه‌های دریای کاسپین بومی هستند، به‌طوری که هر موقعیت خطرناکی می‌تواند باعث تلفات قابل‌توجهی در تنوع زیستی در سطح آن شود. بهره‌برداری و فعالیت‌های انسانی و آلودگی‌های موجود به جوامع جانوری این اکوسیستم آسیب جدی وارد کرده است و از این جهت دریای کاسپین یک اکوسیستم تحت فشار می‌باشد (۳). از آن‌جا که دریای کاسپین یک محیط بسته محسوب می‌شود، آلاینده‌های مختلفی از حوضه‌های آبریز ساحلی و نشت‌های حاصل از استخراج نفت و گاز در آن انباشه شده است. منابع اصلی آلودگی زیست‌محیطی دریای کاسپین عبارتند از: انتقال فرامرزی جوی و آب آلوده از سایر مناطق، جریان رودخانه‌ها، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی تصفیه نشده، فاضلاب‌های خانگی شهری از شهرها و سکونت‌گاه‌های منطقه ساحلی به‌ویژه رودخانه ولگا (اصلی‌ترین تأمین‌کننده آب دریای کاسپین). اکثر این ورودی‌ها ممکن است به دلیل تعداد ناکافی تأسیسات تصفیه، بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز در خشکی و دور از ساحل، حمل و نقل نفت از طریق دریا، کشتیرانی و آلودگی‌های ثانویه در حین لایروبی بستر باشد. شرایط اکولوژیکی دریای کاسپین به ورودی و تنوع آلاینده‌ها بستگی داشته و با توسعه اقتصادی کشورهای ساحلی منطقه و وضعیت حوضه آبخیز دریای کاسپین مشخص می‌شود (٤).

پستانداران دریایی با طول عمر طولانی به‌عنوان شاخصی جهت نظارت زیستی بر اثرات آلاینده‌های انسانی مورد بررسی قرار می‌گیرند که آن‌ها را به یک نشانگر زیستی ارزشمند برای سلامت محیط‌های آبی تبدیل می‌کند. رژیم غذایی اصلی‌ترین مسیر ورود فلزات سنگین و عناصر کمیاب به پستانداران دریایی می‌باشد که در بافت‌ها و اندام‌های آن‌ها انباشته می‌شوند. بنابراین، با سنجش و تجزیه و تحلیل غلظت آلاینده‌های انباشته شده در بافت‌ها، اطلاعاتی در مورد کیفیت اکوسیستمی که حیوان جزء ذاتی آن بوده به‌دست می‌آید. به عنوان مثال دلفین‌های معمولی (*Delphinus delphis*) سیتاس‌های کوچکی هستند که به عنوان گونه‌های دیده‌بان برای نظارت بر غلظت فلزات سنگین در مطالعات در نظر گرفته شده‌اند (۵).

فوک کاسپین (*Phoca caspica*, Gmelin, 1788) یکی از گونه‌های بومی و تنها پستاندار در دریای

کاسپین می‌باشد که در بالاترین سطح زنجیره غذایی در دریای کاسپین قرار دارد. فوک کاسپین یک گونه مهاجر بوده و می‌توان آن‌ها را در بخش‌های مختلف دریای کاسپین مشاهده کرد. از این‌رو، ترکیب فلزات سنگین و عناصر کمیاب در اندام و بافت فوک کاسپین، نه تنها نشان‌دهنده وضعیت فیزیولوژیکی آن‌ها می‌باشد، بلکه وضعیت زیستگاه آن‌ها را نیز تعیین می‌نماید (۳). طبق گزارش‌ها طی سه نسل گذشته به دلیل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، صید مجاز و غیرمجاز، از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی، کاهش منابع غذایی، بیماری‌ها، آلاینده‌ها، تورهای ماهی‌گیری، جمعیت فوک‌های خزری بیش از ۷۰ درصد کاهش یافته است و طبق گزارش اتحادیه بین‌المللی حفاظت از گونه‌های طبیعی (IUCN)[1] جزء گونه‌های در معرض خطر انقراض قرار گرفته است. رژیم غذایی فوک‌های کاسپین بر اساس فصل و مکان متفاوت بوده و گونه‌های بسیاری از ماهیان و سخت‌پوستان را شامل می‌شود (٦).

حسینی و همکاران (۲۰۲۲)، طی مطالعه‌ای در سواحل شرقی دریای کاسپین طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱٦ تجمع برخی فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی را در فوک‌های کاسپین مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها در پژوهش خود غلظت بالای جیوه و سطوح پایین روی را گزارش کردند، که نگرانی‌هایی را در مورد سلامت باروری در فوک‌های کاسپین ایجاد کرد که نیاز به نظارت و مطالعات بیش‌تر را نشان داد. بر اساس نتایج این پژوهش، اثرات نامطلوب احتمالی بر سیستم ایمنی و غدد درون ریز فوک خزری را نمی‌توان رد کرد (۷). در پژوهش دیگری آرشوآ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهش خود غلظت (مس، آهن، روی و منگنز) را در سواحل روسیه طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۸ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد تجمع زیادی از فلزات عمدتاً در اندام‌هایی با فرآیندهای متابولیکی فعال، و اندام‌هایی که به‌طور فعال در حفظ هموستاز بدن شرکت می‌کنند مانند کبد، کلیه‌ها و طحال، ثبت شد (۳). اوزرسکی و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای بر روی فوک بایکال (*Pusa sibirica*) در دریاچه بایکال طی سال‌های ۱۹٦۵ تا ۲۰۱۳، غلظت فلزات سنگین را مورد بررسی قرار دادند. سطوح جیوه طی بازه زمانی مورد مطالعه بسیار متفاوت بود. روند انتشار جوی جیوه نشان می‌دهد که منابع محلی و هم‌چنین انتشار گازهای گلخانه‌ای از شرق روسیه و اروپا ممکن است از عوامل مهم جیوه در دریاچه بایکال باشند. که به‌نظر می‌رسد شبکه غذایی در این دریاچه به‌سرعت به ورودی آلاینده‌ها پاسخ می‌دهد (۲). در مطالعه‌ای که کاکوسچک و گری‌زل (۲۰۱۵)، طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰٦ بر روی فوک بندرگاهی (*Phoca vitulina*) در دریای شمال و دریای بالتیک انجام دادند، آن‌ها در این پژوهش عناصر ضروری و غیرضروری را در نمونه‌های خون گرفته شده بررسی نمودند. طبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش غلظت فلزات غیرضروری و سمی در فوک‌هایی که در نزدیکی مناطق شهری زندگی می‌کردند، در مقایسه با فوک‌های دریای شمال و دریای بالتیک، به‌طور قابل‌توجهی بالاتر بود. که این نشان می‌دهد فاضلاب صنعتی، فاضلاب شهری، کشتیرانی و لایروبی ممکن است علت افزایش غلظت این فلزات در فوک‌های بندرگاهی باشد (۸).

سنجش و ارزیابی غلظت عناصر کمیاب در فوک‌های کاسپین برای ارزیابی خطرات مواجهه با آلاینده‌ها مانند اختلال در اندام لنفاوی و عملکرد ایمنی و تولیدمثلی، برای سایر گونه‌های حیات‌وحش و انسان‌ها دارای اهمیت می‌باشد. پایش غلظت عناصر

1- International Union for Conservation of Nature

شیمیایی ضروری در اندام‌ها و بافت‌های فوک کاسپین از وظایف مهم حفاظت از جمعیت این گونه منحصربه‌فرد می‌باشد که ضرورت پژوهش حاضر را موضوعیت می‌بخشد. از این رو، این پژوهش با هدف پایش و سنجش میزان غلظت فلزات سنگین و عناصر کمیاب آرسنیک، کادمیوم، آهن، جیوه، سرب و روی در بافت کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین به عنوان شاخص سلامتی دریای کاسپین انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از لاشه‌های فوک کاسپین: ابتدا ۱۵ لاشه فوک کاسپین در طول خط ساحلی دریای کاسپین از سه استان گلستان، مازندران و گیلان طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ یافت شد (جدول ۱) و معاینات تمامی لاشه‌ها طبق پروتکل‌های استاندارد انجام گردید (۹). هم‌چنین بیومتری و تعیین جنسیت لاشه‌ها انجام شد و از نظر جراحات خارجی[1] مورد بررسی قرار گرفتند. در صورت امکان، کل لاشه بازیابی و به آزمایشگاه منتقل گردید و در صورت لزوم، کالبدگشایی در محل یافته شدن لاشه جهت نمونه‌برداری از کبد، کلیه و چربی انجام گرفت (شکل ۱). تمامی نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

شکل ۱- کالبدگشایی و نمونه‌برداری از لاشه فوک کاسپین.

Figure 1. Dissection and sampling from a Caspian seal carcass.

آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی: جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی[2] (ICP-MS)، ابتدا نمونه‌ها به دمای محیط رسانده و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ (گرم) توزین شدند. برای عاری شدن نمونه‌ها از هر گونه آلودگی، کاملاً با استون شستشو داده شدند. سپس، به مدت ۴۸ ساعت نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک گردیدند. نمونه خشک شده از آون به ارلن منتقل و به آن حدود ۸ (میلی‌لیتر) اسیدنیتریک غلیظ و ۲ (میلی‌لیتر) پراکسید هیدروژن اضافه شد. ترکیب حاصل به‌مدت ۱۲ ساعت

1- External lesions
2- Inductively coupled plasma mass spectrometry

در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا به آهستگی هضم گردد. پس از آن، نمونه روی همزن حرارتی قرار داده شدند تا فرایند هضم کامل شود. بعد از هضم کامل، نمونه در محیط آزمایشگاه قرار گرفت تا کاملاً سرد شود، و سپس ۲۵ (میلی‌لیتر) اسیدنیتریک ۱ درصد به آن اضافه گردید تا نمونه رقیق شود. در مرحله بعد، مخلوط حاصل از کاغذ صافی واتمن شماره ٤۲ عبور داده شد و به درون بطری‌هایی که از قبل ضدعفونی و توزین شده بودند، ریخته شد و بطری‌های حاوی محلول دوباره توزین شدند (۱۰). در نهایت، محلول حاصل جهت آنالیز به دستگاه ICP-MS (مدل Agilent 7500 شرکت Gen Tech Scientific ساخت کشور آمریکا) تزریق شد. پس از شناسایی عنصر مورد نظر بر اساس طول موج مشخص، میزان غلظت عناصر تعیین گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها در اکسل ۲۰۱۳ رسم شدند.

نتایج و بحث

در میان تعداد زیادی از گونه‌های آبزیان، پستانداران دریایی به بهترین وجه با شرایط نظارت زیستی مطابقت دارند. این موضوع به این دلیل است که وضعیت سلامت آن‌ها منحصراً به کیفیت غذا، آب و هوا و شرایط زیستگاه‌شان وابسته می‌باشد. آن‌ها از گیاهان و جانورانی تغذیه می‌کنند که منعکس‌کننده آلودگی آب و هوای محلی می‌باشد، بنابراین آلودگی‌ها به‌طور بالقوه بر سلامت موجود تأثیر می‌گذارد. مانند همه پستانداران دریایی، منبع اصلی فلزات سنگین در فوک‌های کاسپین غذای آن‌ها می‌باشد و مصرف طعمه‌های خاص می‌تواند سهم برخی فلزات خاص را تعیین نماید. داده‌های به‌دست آمده از تجمع عناصر شیمیایی توسط اندام‌ها و بافت‌های فوک کاسپین، نشان‌دهنده توزیع مشخص و متمرکز فلزات سنگین و عناصر کمیاب در بدن آن‌ها است (۱۱). علاوه بر این، توزیع غیریکنواخت فلزات به ویژگی‌های عملکردی اندام‌ها، فعالیت تجمعی و خواص شیمیایی هر فلز بستگی دارد. اندام‌های اصلی فوک کاسپین که در آن تجمع عناصر شیمیایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، کبد، کلیه، عضله و چربی می‌باشند (۱۲).

مشخصات ۱۵ لاشه فوک کاسپین یافت شده (۸ نر و ۷ ماده) در طول خط ساحلی ایران در جدول ۱ ارائه شده است. طبق بیومتری انجام شده، لاشه‌ها دارای طول کل ۸۱ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، طول استاندارد ۷۰ تا ۱۳۱ سانتی‌متر، اندازه قطر بدن ٤۱ تا ۱۱۰ سانتی‌متر، قطر چربی زیر پوست ۰/۷۵ تا ۷/۲ سانتی‌متر بودند.

نتایج حاصل از بررسی فلزات سنگین در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین در خط ساحلی ایران در سه استان گلستان، مازندران و گیلان در جدول ۲ آورده شده است. نتایج به دست آمده در بافت کبد لاشه‌های سه استان نشان داد که بیش‌ترین مقدار آرسنیک ۰/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گیلان مشاهده شد که با استان گلستان تفاوت معناداری نداشت اما با استان مازندران تفاوت معناداری وجود داشت ($P\leq$۰/۰۵). هم‌چنین، بیش‌ترین میزان این عنصر در بافت کلیه و چربی در استان گیلان مشاهده گردید به ترتیب ۱/۰۳ و ۳/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم که با استان گلستان تفاوت معناداری داشت ($P\leq$۰/۰۵). در خصوص کادمیوم، بیشترین میزان این فلز در بافت کبد در استان گلستان ۰/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بافت کلیه در استان گیلان ۱٦/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وجود داشت. هم‌چنین، در بافت چربی کادمیوم مشاهده نشد. آهن بیش‌ترین غلظت را در میان عناصر دیگر داشت که بیش‌ترین میزان آن، در بافت کبد، کلیه و چربی در استان گیلان به ترتیب

۹۲۸/۱، ٦٧٨/٩ و ۸۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. هم‌چنین، نتایج نشان داد که آهن در بافت کبد تجمع بیش‌تری را در مقایسه با سایر بافت‌ها داشت. بیش‌ترین میزان عنصر جیوه در بافت کبد به طور معناداری در استان گلستان وجود داشت (۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، اما در بافت کلیه بیش‌ترین میزان این عنصر در نمونه‌های استان گیلان مشاهده گردید (٤/٩٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم). هم‌چنین این عنصر تنها در بافت چربی نمونه‌های استان گلستان به مقدار ناچیزی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، بیش‌ترین میزان فلز سرب موجود در بافت کبد، کلیه و چربی نیز در استان گیلان مشاهده شد (به ترتیب ۰/۸، ۰/۷ و ۰/٦٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم). حضور عنصر روی در بافت کبد در دو استان گلستان و گیلان بیش‌ترین مقدار بود که تفاوت معناداری میان آن‌ها وجود نداشت (به ترتیب ٩٤/٢٥ و ٩١/٤٣ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در حالی که در بافت کلیه بیش‌ترین میزان تجمع این عنصر در استان گلستان ٢٤٥/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم با اختلاف معناداری اندازه‌گیری شد ($P\leq ۰/۰۵$). غلظت این عنصر در بافت چربی سه استان اختلاف معناداری نداشت ($P\geq ۰/۰۵$).

جدول ۱- مشخصات لاشه فوک‌های کاسپین در طول خط ساحلی ایران.

Table 1. Characteristics of Caspian seal carcasses along the Iranian coastline.

محل یافت	جنسیت	طول کل (سانتی‌متر)	طول استاندارد (سانتی‌متر)	قطر بدن (سانتی‌متر)	قطر لایه چربی (سانتی‌متر)
	ماده	۱۳۷	۱۲۷	٦۰	٤/٤
	ماده	۸۱	۷۰	٤۱	۰/۷۵
سواحل گلستان	نر	۸٤	۷٤	۵۲	۲/٤
	نر	۱۲۲	۱۰۸	۷٤	٤
	نر	۱۲۲	۱۰۸	۷٤	٤
	ماده	۱۱۸	۱۰۲	۷۹	٤/۸
	ماده	۱۰۸	۹٦	۷۱	٤
سواحل مازندران	ماده	۹٦	۸۷	۹۰	۳/۲
	نر	۱۱۲	۱۰۱	۷۲	۵
	نر	۱۱۸	۱۰۲	۷۰	۵/۱
	ماده	۹۸	۸۷	۷۹	٤/۸
	ماده	۱۰٦	۹۹	۷۸	۳/۵
سواحل گیلان	نر	۱۵۰	۱۳۱	۱۱۰	۷/۲
	نر	۱۳٦	۱۲۵	٦٦	۱
	نر	۱۳۲	۱۱۸	۸٦	٤

جدول ۲- نتایج به‌دست آمده از بررسی فلزات سنگین در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین در خط ساحلی ایران.

Table 2. Results of heavy metal analysis in the liver, kidney, and fat tissues of Caspian seals along the Iranian coastline.

غلظت در بافت (میلی‌گرم/کیلوگرم)*

Concentration in tissue (mg/kg)*

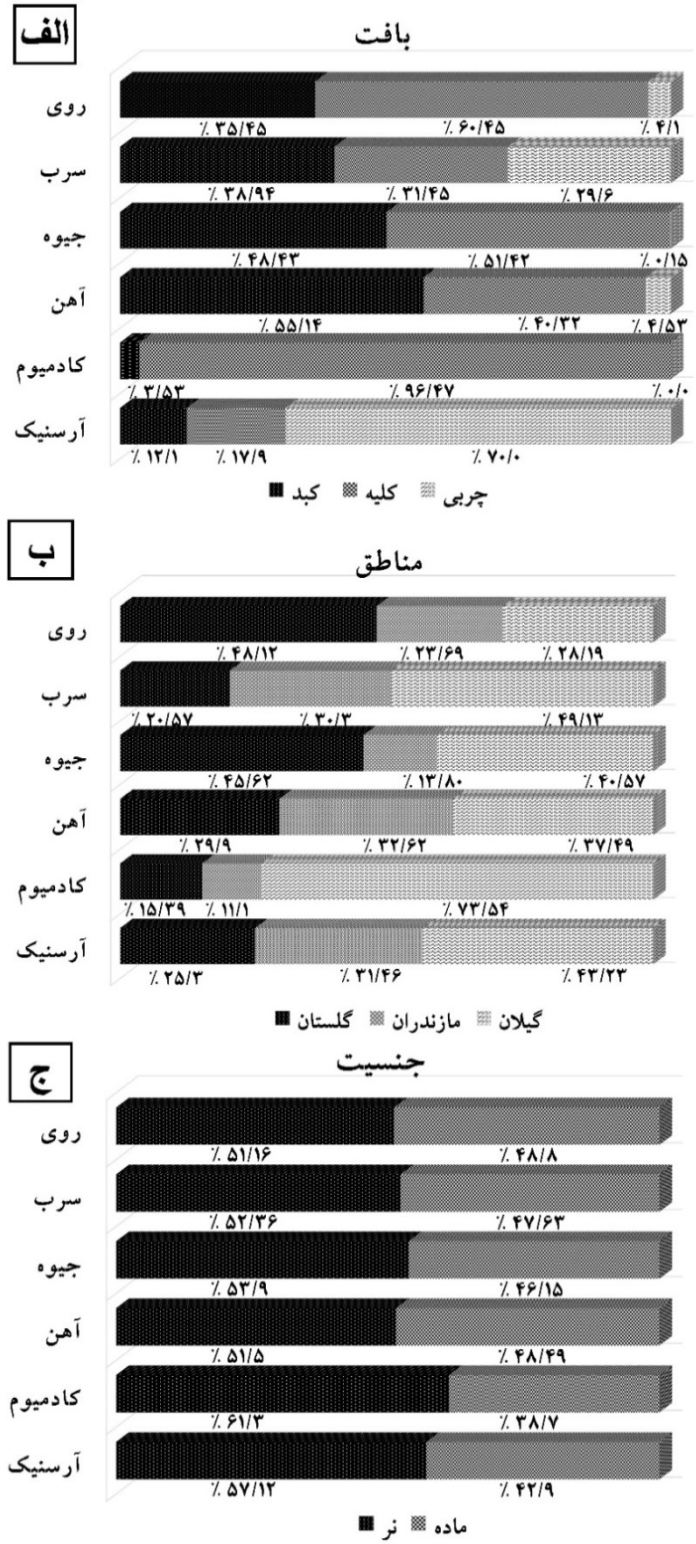
فلز سنگین Heavy Metal		کبد			کلیه			چربی		
		گلستان Golestan	مازندران Mazandaran	گیلان Gilan	گلستان Golestan	مازندران Mazandaran	گیلان Gilan	گلستان Golestan	مازندران Mazandaran	گیلان Gilan
As	آرسنیک	۰/۵۰±۰/۲٦^{ab}	۰/۳٤±۰/۱^{b}	۰/۷۸±۰/۲۹^{a}	۰/۵۳±۰/۱٤^{b}	۰/۸٤±۰/۱٦^{a}	۱/۰۳±۰/۱۹^{a}	۲/۳٦±۰/۰۸^{b}	۳/۰٤±۰/۹^{ab}	۳/۹۹±۱/۲^{a}
Cd	کادمیوم	۰/٤۰±۰/۱٦^{a}	۰/۱۳±۰/۰۵^{b}	۰/۲۵±۰/۱^{ab}	۳/۰۵±۰/۷۲^{b}	۲/۳۵±۰/۹^{b}	۱٦/۲۸±٦/۳۷^{a}	۰/۰±۰/۰^{a}	۰/۰±۰/۰^{a}	۰/۰±۰/۰^{a}
Fe	آهن	۷۸۵/۲±۸۰/۰^{b}	۷۷۰/۱±۸٦/۰^{b}	۹۲۸/۱±۷٦/۰^{a}	۵۰۹/۲±٦۸/۵^{b}	٦۲۷/۸±۹۷/۷^{ab}	٦۷۸/۹±۱۱۰/۲^{a}	۵۱/٤±۸/۳^{b}	۷۱/٤±۱۱/۷^{ab}	۸۱/۳۷±۲۰/۸^{a}
Hg	جیوه	۵/۳±۲/۰۵^{a}	۱/۰۱±۰/۳۱^{b}	۲/۰۸±۲/۱^{b}	۲/٦±۱/۲۸^{ab}	۱/۳۸±۰/٦۵^{b}	٤/۹٦±۳/۱^{a}	۰/۰۲±۰/۰۱^{a}	۰/۰±۰/۰^{a}	۰/۰±۰/۰^{a}
Pb	سرب	۰/٤٦±۰/۰۷^{b}	۰/٤۵±۰/۱۳^{b}	۰/۸±۰/۳^{a}	۰/۲۳±۰/۱۱^{b}	۰/٤۵±۰/۱۹^{ab}	۰/۷±۰/٤^{a}	۰/۲۱±۰/۰۱^{b}	۰/٤۳±۰/۲۵^{ab}	۰/٦۵±۰/۳^{a}
Zn	روی	۹٤/۲۵±۱۳/۹^{a}	۷۱/۹±٦/۱^{b}	۹۱/٤۳±۱۲/۲^{a}	۲٤۵/٦±۱۰۳/٤^{a}	۸۹/۸±۱۱/۵^{b}	۱۰۳/۷±۳۱/۹^{b}	۹/۷±۱/۸^{a}	۱۰/٤±۱/۹^{a}	۹/٦±۲/۲^{a}

* حروف کوچک مقایسه میانگین‌های غلظت هر فلز سنگین در هر بافت در سه استان گلستان، مازندران و گیلان در سطح معناداری ۵ درصد می‌باشد

نتایج درصد حضور فلزات سنگین و عناصر بررسی شده در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین در شکل ۲- الف آورده شده است. تجمع عناصر در بافت کبد به‌ترتیب آهن> جیوه> سرب> روی> آرسنیک> کادمیوم، در بافت کلیه کادمیوم> روی> جیوه > آهن> سرب> آرسنیک، و در بافت چربی آرسنیک> سرب> آهن> روی> جیوه> کادمیوم بودند.

درصد فلزات سنگین و عناصر بررسی شده در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین در خط ساحلی ایران در شکل ۲- ب نشان داده شده است. تجمع عناصر در لاشه‌های یافت شده در استان‌های ایران به شرح زیر بود: در استان گلستان روی> جیوه> آهن> آرسنیک> سرب> کادمیوم، در استان مازندران آهن> آرسنیک> سرب> روی> جیوه> کادمیوم و در استان گیلان کادمیوم> سرب> آرسنیک> جیوه> آهن> روی. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان تراکم بالای جمعیتی، فعالیت‌ها و اثرات انسانی را از عوامل مؤثر در حضور و تجمع این عناصر در بافت‌های مذکور دانست.

در شکل ۲- ج، درصد فلزات سنگین و عناصر بررسی شده در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین در خط ساحلی ایران آورده شده است. نتایج نشان داد که میزان تجمع فلزات سنگین و عناصر کمیاب در نمونه‌های مورد مطالعه در جنس ماده در مقایسه با جنس نر، کم‌تر است. فعالیت‌های تولیدمثلی مانند بارداری، زایمان و شیردهی می‌توانند سطح عناصر را تغییر دهند. مطالعه هوندا و همکاران (۱۹۸۷)، انتقال آهن، کبالت، سرب و نیکل را از مادر به توله را گزارش کرده است. در نتیجه غلظت عناصر در ماده بالغ با پیشرفت دوران بارداری و پس از آن در دوران شیردهی کاهش می‌یابد (۱۳).



شکل ۲- درصد فلزات سنگین و عناصر بررسی شده در (الف) بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین، (ب) بر اساس خط ساحلی ایران، (ج) بر اساس جنسیت.

Figure 2. Percentage of heavy metals and analyzed elements in (a) liver, kidney, and fat tissues of Caspian seals, (b) along the Iranian coastline, and (c) by gender.

نتایج بررسی فلزات سنگین در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین و مقایسه آن‌ها با مطالعات پیشین در جدول ۳ ارائه شده است. آرسنیک به دلیل خواص سمی خود می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر پستانداران دریایی اثر بگذارد. سمیت و رفتار آرسنیک به اشکال شیمیایی آن‌ها بستگی دارد. اشکال غیرآلی آرسنیک مانند آرسنیت (As(III)) و آرسنات (As(V)) برای پستانداران از جمله گونه‌های دریایی مانند فوک‌های کاسپین بسیار سمی هستند. این اشکال معدنی می‌توانند استرس اکسیداتیو را القاء کنند و از طریق تولید انواع فعال اکسیژن به سلول‌ها و بافت‌ها آسیب وارد نمایند. نشان داده شده است که آرسنیک به‌عنوان یک مختل‌کننده غدد درون ریز می‌تواند به‌صورت بالقوه بر رشد، نمو و تولیدمثل تأثیر بگذارد. در پستانداران دریایی آرسنیک تمایل به تجمع در کبد، کلیه‌ها و بافت چربی دارد. سطح آرسنیک در فوک‌های کاسپین از طریق تجمع زیستی و مصرف طعمه‌های آلوده مانند ماهی‌ها و صدف‌ها می‌تواند بالا رود. طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش میانگین غلظت آرسنیک موجود در بافت چربی تمامی لاشه‌های بررسی شده ۳/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با کبد و کلیه ۰/٥٤ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌طور معناداری بیش‌تر بود ($P\leq$۰/۰٥). مطالعات پیشین انجام شده مقادیر بسیار کم‌تری از تجمع آرسنیک را در نتایج خود گزارش کرده بودند (۷ و ١٤) که نشان‌دهنده افزایش حضور این عنصر در دریای کاسپین می‌باشد.

کادمیوم یک عنصر غیرضروری برای پستانداران است، هنگامی که پروتئین، کلسیم، روی، آهن، مس یا ویتامین D کم باشد، میزان احتباس کادمیوم افزایش می‌یابد (۱٥). پس از جذب توسط ریه و روده، کادمیوم از طریق جریان خون به ذخیره‌گاه بدن، به‌ویژه کبد و کلیه منتقل می‌شود. حدود ٥۰ درصد از کل بار کادمیوم بدن در کبد و کلیه‌ها یافت می‌شود. با این‌حال تجمع کادمیوم عمدتاً در کلیه‌ها متمرکز است (۱۲)، که با نتایج مطالعه ما نیز مطابقت دارد. بیش‌ترین غلظت کادمیوم ۷/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بافت کلیه مشاهده شد که به‌طور معناداری ($P\leq$۰/۰٥) بیش‌تر از مقادیر سنجیده شده در بافت کبد و چربی بود. در این مطالعه در محدوده غلظت کادمیوم نسبت به مطالعات پیشین تفاوت چندانی مشاهده نشد (۷، ١٤ و ١٦).

فعالیت‌های انسانی منجر به آزاد شدن طیف گسترده‌ای از اشکال آلی و غیرآلی جیوه شده است. منابع اصلی انتشار جیوه انسانی، صنایع الکتریکی، شیمیایی و کاغذسازی و هم‌چنین احتراق سوخت‌های فسیلی است. فعالیت بیولوژیکی و سمی جیوه به‌طوری‌که جذب می‌شود، مسیر ورود به بدن (پوست، استنشاق یا بلع)، و میزان جذب آن بستگی دارد (۱٥). در مطالعه حاضر بیش‌ترین تجمع جیوه در کلیه و کبد به ترتیب با ۳/۰ و ۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد، که در مقایسه با جیوه موجود در بافت چربی به‌طور معناداری ($P\leq$۰/۰٥) بیش‌تر بود. در مقایسه با پژوهش‌های گذشته نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر مقادیر کم‌تری از تجمع جیوه را در بافت کبد، کلیه و چربی نشان می‌دهد (۷، ١٤، ١٦ و ١۷). گونه‌هایی که رژیم غذایی اصلی آن‌ها از ماهیان می‌باشد، ترجیحاً تجمع جیوه در آن‌ها بیش‌تر است. فوک کاسپین نیز از گونه‌های انباشت‌کننده جیوه محسوب می‌شود. طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌ها به نظر می‌رسد اندام هدف تجمع جیوه در فوک کاسپین بافت کبد و کلیه می‌باشد. بافت کبد نقش مهمی در سم‌زدایی خون دارد و نتایج به‌دست آمده را می‌توان به این خصوصیت بافت کبد ارتباط داد (۱٥). کادمیوم و جیوه حتی در مقادیر کم نیز برای موجودات زنده بسیار سمی و خطرناک هستند.

همان‌طور که در نتایج این مطالعه نشان داده شده است کبد و کلیه اندام هدف جیوه و کادمیوم می‌باشند، که بیش‌ترین مقدار جیوه در کبد و کلیه، و کادمیوم در کلیه می‌باشد. این روند در سایر گونه‌های باله پایان‌ها در مناطق مختلف تأیید شده است. تجمع این عناصر مشخصاً در این بافت‌ها با فیزیولوژی آن‌ها مطابقت دارد، زیرا هر دو بافت دارای متالوتیونین‌ها هستند که نقش مهمی در دفع آلاینده‌ها دارند. این پروتئین میل ترکیبی بالایی برای اتصال به فلزات سنگین دارد و در پاسخ به آلودگی فلزات سنگین مانند جیوه، کادمیوم، مس و روی در بدن مهره‌داران و بی‌مهرگان سنتز می‌شود (۱۸).

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مقادیر آهن به‌طور معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) در بافت‌های کبد، کلیه و چربی به‌ترتیب ۸۲۷/۸، ۶۰۵/۳ و ۶۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. در مقایسه با پژوهش‌های گذشته نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر مقادیر بیش‌تری از تجمع آهن را در بافت کبد، کلیه و چربی نشان می‌دهد (۷، ۱۶ و ۱۷). سطح آهن در پستانداران دریایی می‌تواند تا ۱۰۰۰ (میکروگرم بر گرم) باشد که ظاهراً یک سازگاری فیزیولوژیکی مرتبط با رفتار شنای عمیق این گونه جانوری است (۱۹). واتانابه و همکاران (۲۰۰۲)، پیشنهاد کرد که سطوح آهن در بدن فوک‌ها بر اساس توانایی غواصی متفاوت است، به عنوان مثال فوک بایکال و یا Monk seals نسبت به فوک کاسپین توانایی غواصی عمیق‌تری دارند و در نتیجه می‌توان غلظت نسبتاً بالای آهن در بافت‌هایشان را به این دلیل توجیه کرد. محتوای آهن موجود در چربی را نیز می‌توان با این استدلال توضیح داد که یک شبکه متراکم از رگ‌های خونی از بافت چربی عبور می‌کند که از انتشار گرما در سراسر بدن حیوان اطمینان حاصل کند (۱۶).

سطوح پایین کلسیم، ویتامین D و هم‌چنین کمبود آهن و پروتئین باعث افزایش سرعت جذب سرب می‌شود (۲۰). سرب جذب شده وارد جریان خون شده و از آن‌جا به اندام‌ها و بافت‌های مختلف توزیع می‌شود. اما از آن‌جایی‌که سرب موجود در خون فقط اطلاعاتی در مورد جذب فعلی این عنصر را می‌دهد و نشان‌دهنده قرار گرفتن در معرض طولانی‌مدت نیست، پژوهش‌گران اندام‌های هدف جهت مطالعات را اسکلت، کبد و کلیه در نظر می‌گیرند، درحالی‌که به تجمع در بافت ماهیچه میل بسیار کم‌تری دارد. بیش‌ترین غلظت سرب به‌ترتیب در بافت کبد، کلیه و چربی مشاهده شد که با مقدار ۰/۶، ۰/۴۶ و ۰/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند ($P\geq ۰/۰۵$). مطالعات پیشین انجام شده مقادیر بسیار کم‌تری از تجمع سرب را در بافت‌های مورد مطالعه گزارش کرده بودند (۱۴، ۱۶ و ۱۷). اما نتایج پژوهش حسینی و همکاران (۲۰۲۲)، که در سواحل شرقی ایران انجام شده بود در مقایسه با مقادیر به‌دست آمده در مطالعه حاضر مطابقت بیش‌تری دارد (۷). با توجه به نیمه‌عمر طولانی سرب در استخوان، تجمع وابسته به سن در بافت‌های کلسیفیه[1] اسکلت قابل انتظار است، که در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است و می‌تواند موضوع مطالعاتی برای پژوهش‌های آینده باشد.

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مقادیر روی به‌طور معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) در بافت‌های کلیه، کبد و چربی به‌ترتیب با ۱۴۶/۳، ۸۵/۸ و ۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. در مقایسه با پژوهش‌های گذشته، نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر مقادیر بیش‌تری از تجمع آهن را در بافت کبد، کلیه و چربی نشان می‌دهد (۳، ۷، ۱۴ و ۱۶). این مقادیر نیازهای متابولیکی بالاتر روی می‌تواند غلظت بالاتر این فلز را در این گونه جانوری توضیح دهد (۲۱).

1- Calcified

جدول ۳- نتایج بررسی فلزات سنگین در بافت‌های کبد، کلیه و چربی فوک کاسپین و مقایسه آن‌ها با مطالعات پیشین.

Table 3. Results of heavy metal analysis in the liver, kidney, and fat tissues of Caspian seals and their comparison with previous studies.

عنصر کمیاب	غلظت در بافت (میلی‌گرم/کیلوگرم)* Concentration in tissue (mg/kg)*			منبع
	کبد	کلیه	چربی	
آرسنیک (As)	۰/٥٤±۰/۱[b]	۰/۸±۰/۰۲[b]	۳/۱۳±۰/٥۸[a]	مطالعه حاضر
	۰/۰٦±۰/۰۳	۰/۰٦±۰/۰۱	۰/۱±۰/۰۰	(۷)
	۰/۱۷±۰/۰۹	۰/۱٦±۰/۰۸		(۱٤)
کادمیوم (Cd)	۰/۲٦±۰/۰٦[b]	۷/۲۳±۳/۲[a]	۰/۰±۰/۰۰[b]	مطالعه حاضر
	۰/٦۱±۰/۸۷	٥/۸۹±۱٤/۳۷	۰/۰۲±۰/۰۰٤	(۷)
	۱/۱±۱/۷	۹/٥±۱۱		(۱٦)
	۰/۹۳±۱/٤۱	٦/۹۹±۷/۸		(۱٤)
آهن (Fe)	۸۲۷/۸±٥/۱[a]	٦۰٥/۳±۲۱/٤[b]	٦۸/۱±٦/٥[c]	مطالعه حاضر
	٥٤۳/٥±٥۷۰/۹	۳٦۰/٤±۷۹/۹	۸/۸٦±٥/۸	(۷)
	٤۸۱/۹±۱٥/٦	۲۸۷/۲±۱۲/۳	۳٦۷±۱۲/۹	(۳)
	٤۷۰±٥۸۰	۱٥۰±٤۲		(۱٦)
	۱۱۰۰±٥۱۰	۲۰۰±۹۷		(۱٤)
جیوه (Hg)	۲/۸±۱/۰٥[a]	۳/۰±۱/۳۱[a]	۰/۰۱±۰/۰۰[b]	مطالعه حاضر
	۱٥/۱۲±۱٥/۸٤	٥/۰۹±۳/۷۲	۱/۱±۰/٥	(۷)
	۱٥±۲٦	۱/٦±۱/۳		(۱٦)
	٥/۸±۸/٤	۱/۸±۳/۱		(۱٤)
	۸٥±۷٤	۸/۱±۱٥/٤		(۱۷)
سرب (Pb)	۰/٦±۰/۱۳[a]	۰/٤٦±۰/۱٥[a]	۰/٤۳±۰/۱٥[a]	مطالعه حاضر
	۱/۷٦±٤/۸	۰/۱۸±۰/۲۸	۰/۰۳±۰/۰۲	(۷)
	۰/۰٦۸±۰/۰٤٦	۰/۰۷۸±۰/۰۹۷		(۱٦)
	۰/۰۱۹±۰/۰۱۱	۰/۰۰٥±۰/۰۰٤		(۱٤)
	۰/۰۰٦±۰/۰۲٤	۰/۱۱٦±۰/۰۰٤		(۱۷)
روی (Zn)	۸٥/۸±٤/۱[b]	۱٤٦/۳±٤۸/۳[a]	۹/۹±۰/۲[c]	مطالعه حاضر
	۳۰/۱±٤۷/۳۰	۲٤/۸±۲۷/۷	۰/۲۷±۰/۲٤	(۷)
	۱۰۹/٤±۳/٤	۸۷/۳±۳/٤	٤۲/٥±۳/۳	(۳)
	٤۹±۱٥	۲۷±۷		(۱٦)
	۹۰/۷±٥۲	٥۸/٤±۳۰/۸		(۱٤)

*حروف کوچک مقایسه میانگین‌های غلظت هر فلز سنگین در هر بافت در سطح معناداری ۵ درصد می‌باشد

شکل شیمیایی عناصر تعیین می‌کند که چگونه یک فلز به‌راحتی توسط پستانداران دریایی جذب، توزیع و دفع می‌شود. رفتار فلزات سنگین نیز با اشکال شیمیایی آن‌ها ارتباط تنگاتنگی دارد و فقط آن‌هایی که قابلیت دسترسی زیستی بالایی دارند می‌توانند جذب موجودات شوند و پس از آن می‌توانند به موجودات سطوح بالاتر و حتی انسان منتقل شوند (۲۲). پژوهش‌ها نشان داده است که تغییر جذب و توزیع عناصر ضروری و غیرضروری می‌تواند در طول یک بیماری عفونی مانند عفونت‌های ویروسی رایج رخ دهد. بنابراین منطقی به‌نظر می‌رسد که فرض شود فعال شدن سیستم ایمنی و بافت التهابی آسیب‌دیده مرتبط با آن ممکن است باعث تغییر در جذب و توزیع عناصر کمیاب و آلاینده‌های محیطی در طول دوره عفونت شود (۲۳). غلظت کل فلزات سنگین به‌خودی خود برای ارزیابی وضعیت سلامتی حیوانات یا سمیت مؤثر ماده سمی مورد نظر کافی نیست. با این‌حال آن‌ها مهم و ضروری هستند، زیرا می‌توانند معیاری برای آن‌چه که باید به‌عنوان مقدار بار فلز سنگین "عادی" یا "غیرطبیعی" برای گونه‌های مختلف در نظر گرفته شود ارائه دهند. پایش و نظارت مستمر بر روی آب، رسوب، گیاهان و جانوران دریایی، و مطالعه و بررسی اثرات منفی تجمعی این عناصر بر اکوسیستم دریای کاسپین از موضوعات اساسی در پژوهش‌های آینده می‌باشد. از این‌رو نظارت زیستی ابزاری فرارشته‌ای و کارآمد برای ارزیابی این نوع آلودگی‌ها و پیامدهای مربوط به آن در اکوسیستم‌ها و زنجیره‌های غذایی است (۲٤).

نتیجه‌گیری کلی

تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در کبد، کلیه، و بافت چربی لاشه فوک کاسپین از سه استان الگوهای تجمع متمایزی را نشان داد. استان گیلان بالاترین میزان آرسنیک را در تمامی بافت‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری با استان گلستان داشت. بیش‌ترین میزان کادمیوم در بافت کبد نمونه گلستان (۰/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بافت کلیه نمونه گیلان (۱٦/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. آهن بالاترین غلظت کلی را داشت و در بافت کبد نمونه گیلان با ۹۲۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به حداکثر خود رسید. جیوه به‌طور معنی‌داری در بافت کبد نمونه گلستان (۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سرب در نمونه‌های گیلان در تمامی بافت‌ها بالاتر بود. حضور عنصر روی در بافت کبد در دو استان گلستان و گیلان بیش‌ترین مقدار بود که تفاوت معناداری میان آن‌ها وجود نداشت. پراکنش خطرناک‌ترین فلزات سنگین بر حسب استان متفاوت بود، به‌طوری‌که جیوه در گلستان (٤٥/٦ درصد)، آرسنیک در مازندران (۳۱ درصد) و کادمیوم در گیلان (۷۳/۵ درصد) بیش‌ترین تجمع را داشتند. این یافته‌ها الگوهای مختلف تجمع فلزات سنگین را در پستانداران دریایی در مناطق مختلف برجسته می‌کنند که به‌طور بالقوه منعکس‌کننده شرایط محیطی محلی و منابع آلودگی است. نتایج مطالعه حاضر در کنار نتایج به‌دست آمده در مطالعات پیشین، می‌تواند در راستای نظارت و پایش مستمر آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین و عناصر کمیاب در اکوسیستم دریای کاسپین بسیار تأثیرگذار باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور تحت شماره طرح ٤۰۰٤٤۹۳ انجام شده است. هم‌چنین نویسندگان مراتب قدردانی خود را از گرنت تخصیص یافته از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری جهت فرصت مطالعاتی ٦ ماهه داخل کشور که به تکمیل این مطالعه کمک کرد، اعلام می‌دارند. از هر دو سازمان برای

حمایت‌هایشان صمیمانه سپاسگزاریم. هم‌چنین، از مرکز حفاظت فوک کاسپین در ایران، آقای دکتر امیر صیادشیرازی، آقای مهندس عبدالرسول حق‌جو، خانم مهندس سمانه فائزی که ما را در جمع‌آوری نمونه‌ها یاری نمودند، کمال تشکر را داریم. از تلاش‌های ارزنده سرکار خانم لنی‌هارت که سنگ بنای مرکز حفاظت فوک کاسپین در ایران و سایر کشورهای حاشیه دریای کاسپین را نهادند بی‌نهایت سپاسگزاریم. در نهایت، از اداره کل محیط زیست استان‌های گلستان، مازندران و گیلان، و اداره کل شیلات و مدیریت ماهیان خاویاری استان گلستان که با حمایت‌های خود ما را یاری نمودند، سپاسگزار و قدردانیم.

منابع

1. De Mora, S., Sheikholeslami, M. R., Wyse, E., Azemard, S., & Cassi, R. (2004). An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Marine pollution bulletin*, 48 (1-2), 61-77.
2. Ozersky, T., Pastukhov, M. V., Poste, A. E., Deng, X. Y., & Moore, M. V. (2017). Long-term and ontogenetic patterns of heavy metal contamination in Lake Baikal seals (*Pusa sibirica*). *Environmental Science & Technology*, 51 (18), 10316-10325.
3. Ershova, T. S., Zaitsev, V. F., Chaplygin, V. A., & Gadzhiev, A. A. (2021, March). Concentration of Essential Elements (Cu, Fe, Zn, Mn) in Organs and Tissues of Caspian Seal Phoca caspica Gmelin, 1788. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 688, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
4. Naji, A., & Sohrabi, T. (2015). Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 27 (1), 29-43.
5. Stockin, K. A., Pantos, O., Betty, E. L., Pawley, M. D., Doake, F., Masterton, H., ... & Machovsky-Capuska, G. E. (2021). Fourier transform infrared (FTIR) analysis identifies microplastics in stranded common dolphins (*Delphinus delphis*) from New Zealand waters. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113084.
6. Goodman, S., & Dmitrieva, L. (2016). Pusa caspica. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e. T41669A45230700.
7. Hoseini, S. M., Namroodi, S., Sayadshirazi, A., & Zaccaroni, A. (2022). Trace Elements and Contaminants Concentrations in Tissues of Caspian Seals (*Pusa caspica*) along the Iranian Coast. *Toxics*, 11 (1), 39.
8. Kakuschke, A., & Griesel, S. (2016). Essential and toxic elements in blood samples of harbor seals (*Phoca vitulina*) from the Islands Helgoland (North Sea) and Anholt (Baltic Sea): a comparison study with urbanized areas. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 70, 67-74.
9. Kuiken, T. (1991). Proceedings of the First European Cetacean Society Workshop on Cetacean Pathology: Dissection Techniques and Tissue Sampling, Leiden, the Netherlands, 13-14 Spetember 1991. *European Cetacean Society*.
10. ASTM International (2023). Standard Guide for Preparation of Biological Samples for Inorganic Chemical Analysis. ASTM D4638-16.
11. Tasmagambetova, A. I., Tovassarov, A. D., Bihan-Poudec, A. C., & Akberliyev, A. B. (2019). Assessment of the current state of the Caspian Sea and the Caspian seal habitat analysis. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 21 (2), 165-172.
12. Beck, K. M., Fair, P., McFee, W., & Wolf, D. (1997). Heavy metals in livers of bottlenose dolphins stranded along the South Carolina coast. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (9), 734-739.

13. Honda, K., Yamamoto, Y., Kato, H., & Tatsukawa, R. (1987). Heavy metal accumulations and their recent changes in southern minke whales Balaenoptera acutorostrata. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 16, 209-216.
14. Anan, Y., Kunito, T., Ikemoto, T., Kubota, R., Watanabe, I., Tanabe, S., ... & Petrov, E. A. (2002). Elevated concentrations of trace elements in Caspian seals (*Phoca caspica*) found stranded during the mass mortality events in 2000. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42, 354-362.
15. Das, K., Debacker, V., Pillet, S., & Bouquegneau, J. M. (2002). Heavy metals in marine mammals. *In Toxicology of marine mammals* (pp. 147-179). CRC Press.
16. Watanabe, I., Kunito, T., Tanabe, S., Amano, M., Koyama, Y., Miyazaki, N., ... & Tatsukawa, R. (2002). Accumulation of heavy metals in Caspian seals (Phoca caspica). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 109-120.
17. Ikemoto, T., Kunito, T., Watanabe, I., Yasunaga, G., Baba, N., Miyazaki, N., ... & Tanabe, S. (2004). Comparison of trace element accumulation in Baikal seals (Pusa sibirica), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). *Environmental Pollution*, 127 (1), 83-97.
18. Gerpe, M., Rodríguez, D., Moreno, J., Bastida, R., & Aizpún, J. (2006). Heavy metal distribution in Southern sea lions (*Otaria flavescens*) from Argentina. Sea Lions of the World. *University of Alaska Fairbank*, 45-56.
19. Sydeman, W. J., & Jarman, W. M. (1998). Trace metals in seabirds, Steller sea lion, and forage fish and zooplankton from central California. *Marine Pollution Bulletin*, 36 (10), 828-832.
20. Tataruch, F., & Kierdorf, H. (2003). Mammals as biomonitors. In Trace Metals and other Contaminants in the Environment (Vol. 6, pp. 737-772). Elsevier.
21. Dosi, A. G. G. E. L. I. K. I. (2000). Heavy metals in blubber and skin of Mediterranean monk seals, Monachus monachus from the Greek waters. Degree Diss., *University of North Wales*, Bangor Menai Bridge Gwynedd, UK.
22. Burton, E. D., Phillips, I. R., & Hawker, D. W. (2005). Trace metal distribution and enrichment in benthic, estuarine sediments: Southport Broadwater, Australia. *Environmental geochemistry and health*, 27, 369-383.
23. Waters, S. (1992). Metal concentrations in seals from Swedish waters. *Ambio*, 21 (8), 529.
24. Korshenko, A., & Gul, A. G. (2005). Pollution of the Caspian Sea. *The Caspian Sea Environment*, 109-142.