

Evaluation of Heavy Metal and Polycyclic Aromatic Compound Concentrations in the Feathers of the *Circus Aeruginosus* and *Buteo Buteo*

Mehdi Tayebi

Department of Environment, Ahv.C.
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Maryam Mohammadi

Rouzbahani

* Department of Environment,
Ahv.C. Islamic Azad University,
Ahvaz, Iran. **(Corresponding
Author)**

Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

Mahboubeh Cheraghi

Department of Environment, Ahv.C.
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Soolmaz Dashti

Department of Environment, Ahv.C.
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Roshna Behbash

Department of Environment, Ahv.C.
Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Abstract

Background and Objective: Aquatic and terrestrial birds are biological indicators of environmental pollutants, and the organs of these organisms can be used to determine the pollution status. This study aimed to evaluate heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the tail feathers of native birds as indicators of environmental pollution of Aghajari Oil and Gas Exploitation Company.

Materials and Methods: In this study, 6 stations were selected, and water, soil, and bird tail samples were collected from the fifth station. Non-graphite atomic absorption spectrometry and Varian Spectr AA 220 device were used to measure heavy metals in bird tail feathers.

Results: The concentrations of nickel, lead, mercury, chromium, cadmium and vanadium in the tail feathers of the wetland tern were 0.12, 1.92, 0.12, 0.12, 0.10 and 0.13 mg kg⁻¹ respectively and in the tail feathers of the common tern were 0.15, 0.31, 0.1, 0.14, 0.12 and 0.12 mg kg⁻¹ respectively. Chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzopyrene and indeno[1,2,3-cd]pyrene were 10, 10, 12 and 10 ng g⁻¹ respectively in the tail feathers of *Circus aeruginosus* and *Buteo buteo*. Acenaphthene and anthracene were also 10 and 12 ng g⁻¹ in the feathers of the common tern. The concentrations of nickel, lead, mercury, chromium, cadmium and vanadium in water were 27.20, 20.31, 11.4, 22.40, 0.73 and 2038 mg l⁻¹, and the concentrations of these metals in soil were 10.85, 14.90, 2.80, 102.50, 0.41 and 60.50 mg kg⁻¹, respectively.

Conclusion: Investigation of bioaccumulation and bioconcentration indices of heavy metals in the tail feathers of two bird species, the *Circus aeruginosus* and *Buteo buteo*, indicates a significant level of heavy metal contamination and polycyclic aromatic compounds in water, soil samples, and *Circus aeruginosus* and *Buteo buteo*, in the Aghajari oil and gas region in Khuzestan Province, which indicates the impact of human activities on the environment of the studied area.

Keywords: Biological Indicators of Pollutants, Pollution of Oil and Gas Exploitation Areas, Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

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

Received: 2025/04/29

Accepted: 2025/08/26

Doi:10.22038/jreh.2025.27120

► **Citation:** Tayebi M, Mohammadi Rouzbahani M, Cheraghi M, Dashti S, Behbash R. Evaluation of Heavy Metal and Polycyclic Aromatic Compound Concentrations in the Feathers of the *Circus Aeruginosus* and *Buteo Buteo*. *Journal of Research in Environmental Health*. 11(3):124-139.

ارزیابی غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در پر دم سنقر تالابی (*Circus aeruginosus*) و سارگپه معمولی (*Buteo buteo*)

مهدی طبیبی

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

مریم محمدی روزبهانی

* گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول)

(مستول)

Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

محبوبه چراغی

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

سولماز دشتی

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

روشنا بهباش

گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: پرندگان آبرزی و خشکی‌زی از شاخص‌های زیستی آلاینده‌های محیط-زیست هستند که می‌توان از اندام‌های این موجودات زنده برای تعیین وضعیت آلودگی استفاده کرد. این پژوهش با هدف ارزیابی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در پر دم پرندگان بومی به‌عنوان نشانگرهای آلودگی محیط‌زیست شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آغاچاری انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نمونه‌های آب، خاک و پر دم پرندگان از خور امیدیه نمونه‌برداری شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین در پر دم پرندگان از طیف‌سنجی جذب اتمی غیرگرافیتی و دستگاه Varian Spectr AA 220 استفاده شد.

یافته‌ها: غلظت نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در پر دم سنقر تالابی به‌ترتیب ۰/۱۲، ۱/۹۲، ۰/۱۲، ۰/۱۰ و ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در پر دم سارگپه معمولی نیز به‌ترتیب ۰/۱۵، ۰/۳۱، ۰/۱، ۰/۱۴ و ۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. کریسن، بنزو بی‌فلورانتین، بنزو آپیرن و ایندنوپیرن در بافت پر دم دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی به‌ترتیب ۱۰، ۱۰، ۱۲ و ۱۰ نانوگرم بر گرم به‌دست آمد. در پر دم سارگپه معمولی آسنافتن و آنتراسن نیز ۱۰ و ۱۲ نانوگرم بر گرم بود. غلظت نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در آب ۲۷/۲۰، ۳۱/۲۰، ۴/۱۱، ۲۲/۴۰ و ۰/۷۳ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد و غلظت این فلزات در خاک به‌ترتیب ۸۵/۱۰، ۱۴/۹۰، ۲/۸۰، ۱۰۲/۵۰، ۰/۴۱ و ۶۰/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

نتیجه‌گیری: بررسی شاخص‌های انباشت زیستی و تغلیظ زیستی فلزات سنگین در پر دم دو گونه پرند سنقر تالابی و سارگپه معمولی نشان‌دهنده‌ی سطح قابل توجهی از آلودگی فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در نمونه‌های آب، خاک و دو گونه سارگپه معمولی و سنقر تالابی در منطقه نفت و گاز آغاچاری در استان خوزستان می‌باشد که تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های زیستی آلاینده‌ها، آلودگی مناطق بهره‌برداری نفت و گاز، فلزات سنگین، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای

◀ **استناد:** طبیبی م، محمدی‌روزبهانی م، چراغی م، دشتی س، بهباش ر.

ارزیابی غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در پر دم سنقر تالابی (*Circus aeruginosus*) و سارگپه معمولی (*Buteo buteo*). فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. پاییز ۱۴۰۴؛ ۱۱(۳): ۱۲۴-۱۳۹.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای آلاینده‌های آلی نیمه‌فراری هستند که از دو یا چند حلقه آروماتیک متصل تشکیل شده‌اند (۱). آن‌ها به هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی کم و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی بالا طبقه‌بندی می‌شوند که مورد دوم به دلیل آبگریزی و چربی‌دوستی بالاتر، خطرات سرطان‌زایی، جهش‌زایی و ژنوتوکسیک بیشتری را به همراه دارد (۲). هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای از سه منبع اصلی شامل فرایندهای پیروژنیک، پتروژنیک و بیوژنیک شامل پدیده‌های طبیعی یا فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شوند (۳). هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای پیروژنیک محصولات جانبی احتراق ناقص یا پیرولیز مواد آلی در شرایط کم یا بدون اکسیژن، مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، آتش‌سوزی‌های جنگلی، فعالیت‌های آتشفشانی، سوزاندن زغال سنگ و فعالیت‌های انسانی هستند. از سوی دیگر، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای پتروژنیک حاصل دیاژنز مواد آلی در مقیاس‌های زمانی زمین‌شناسی هستند که معمولاً با نفت خام، فرآورده‌های نفتی و مشتقات آن‌ها مرتبط هستند (۴،۵). اگرچه هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای بیوژنیک کمتر رایج هستند، اما توسط گیاهان، باکتری‌ها، قارچ‌ها و فیتوپلانکتون‌ها در جایگاه‌های اکولوژیکی خاص سنتز می‌شوند (۶،۷). در سطح جهانی، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای به دلیل سمیت و حضور گسترده در هوا، آب و خاک، نگرانی عمده‌ای هستند (۸). آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده به دلیل شیوع محیطی و خطرات مرتبط با سلامت انسان، ۱۶ هیدروکربن آروماتیک چندحلقه‌ای را به عنوان آلاینده‌های دارای اولویت تعیین کرد (۳). در محیط‌های آبی، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی را هم برای موجودات آبی و هم برای انسان‌ها ایجاد می‌کنند (۹). چندین ترکیب آروماتیک چندحلقه‌ای به عنوان ژنوتوکسیک، جهش‌زا، سرطان‌زا و تراتوژنیک طبقه‌بندی می‌شوند و در نتیجه خطرات سلامتی را برای سیستم‌های بیولوژیکی ایجاد می‌کنند (۲،۴،۷).

آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و زمینی یک نگرانی زیست‌محیطی جهانی دارند، زیرا عملکرد ساختاری، رفتار، جمعیت و تنوع را در بسیاری از سطوح تغذیه‌ای تهدید می‌کند (۲). فلزات سنگین ترکیبات سمی پایداری هستند که در محیط زیست گسترده هستند و می‌توانند در سراسر شبکه غذایی تجمع یافته و بر روی موجودات زنده و انسان تأثیرات منفی داشته باشند (۱۰). برخی از فلزات، از جمله روی، آهن، مس و منگنز برای موجودات زنده ضروری هستند، اما ممکن است در غلظت‌های زیاد مضر باشند (۱۱)، در حالی که فلزات غیرضروری مانند سرب، کادمیوم، نیکل و جیوه حتی در غلظت‌های کم نیز اثرات منفی بر روی حیوانات دارند (۱۲). فلزات سنگین به طور طبیعی در پوسته‌ی زمین و محیط‌های آبی وجود دارند. اگر میزان این فلزات در اثر فرایندهای طبیعی نظیر فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی در پوسته‌ی زمین یا فعالیت‌های انسانی (۱۳) کمی بیشتر از حد طبیعی شود، با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری زیستی پایین و پتانسیل انباشت زیستی بالا به سرعت تبدیل به آلاینده‌های سمی می‌شوند (۴). یکی از اساسی‌ترین مسائل در خصوص فلزات سنگین، تجزیه نشدن آن‌ها در بدن انسان است. در واقع فلزات سنگین بعد از ورود به بدن دفع نمی‌شوند، بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب می‌کنند و انباشته می‌شوند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود (۸،۱۰،۱۴).

پرنده‌گان در مقایسه با سایر مهره‌داران، به آلودگی‌های محیط‌زیست حساسیت بیشتری دارند (۱۵). پرنده‌گان ممکن است از طریق تماس مستقیم با استفاده از آب و غذای آلوده در معرض موادشیمیایی گوناگون نظیر فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای قرار بگیرند (۱۶). از طرف دیگر پرنده‌گان به علت ارتباط غیرمستقیم با منابع آلوده‌کننده، می‌توانند تعیین‌کننده‌ی سطح غلظت عناصر سمی در زنجیره‌ی غذایی بوم سازگان‌های آبی باشد. بنابراین آلودگی پرنده‌گان به فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای می‌توانند شاخص زیستی آلودگی در طول زنجیره‌ی غذایی باشند (۱۷). در بسیاری از مطالعات و تحقیقات غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای بافت

روش کار

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه شامل بخش‌هایی از شهر امیدیه در استان خوزستان واقع در جنوب غرب ایران است که یکی از مناطق مهم بهره‌برداری نفت است. این منطقه مستقیماً تحت تأثیر فعالیت‌های گسترده شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آگاجاری، یکی از بزرگترین شرکت‌های نفتی در ایران قرار دارد. این تحقیق در خور امیدیه انجام شد (شکل ۱).

نمونه‌برداری و هضم نمونه‌ها

خور امیدیه به‌عنوان منطقه‌ی پرند آبی سنقر تالابی^۱ و پرند سارگپه معمولی^۲ در نظر گرفته شدند. مجوز شکار پرندگان در این مطالعه از طریق مجوز رسمی سازمان حفاظت محیط زیست ایران صادر شد. پر دم پرندگان از خور امیدیه نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های خاک از عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متری با استفاده از بیلچه فولادی ضد زنگ برای جلوگیری از آلودگی جمع‌آوری و در کیسه‌های کاغذی قرار داده شدند. برای خشک‌کردن نمونه‌های خاک، نمونه‌ها در ظروف پتری در آون با دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. پس از خشک شدن، ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون توسط الک جدا شده و با استفاده از هاون چینی پودر شدند. سپس، یک گرم از نمونه‌ی پودر شده برای هضم وزن شد. برای هضم نمونه‌های خاک از روش EPA 3050 استفاده شد. در این روش، ۰/۵ گرم از نمونه‌ی خاک پودر شده به یک ارلن مایر ۱۰۰ سی‌سی منتقل شد، ۵ قطره اسید هیدروکلریک ۱ نرمال به هر یک از نمونه‌ها اضافه شد و ارلن مایر به‌صورت دایره‌ای تکان داده شد تا خاک و اسید کاملاً مخلوط شوند. پس از آن، ۵ سی‌سی سود مایع رویال به هر یک از ارلن‌های مایر اضافه شد، دوباره تکان داده شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده شد و روی ارلن‌های مایر یک شیشه ساعت قرار داده شد. سپس ارلن‌های مایر روی یک هیتر برقی با دمای ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا رنگ نمونه‌ها تیره شود. سپس به هر یک از نمونه‌ها ۳ سی‌سی اسید پرکلریک اضافه شد و ارلن‌های مایر دوباره روی هیتر قرار داده شدند تا حجم نمونه‌ها به ۲ تا ۳ سی‌سی کاهش یابد. پس از خنک‌شدن ظرف، مقداری آب مقطر به آن اضافه شد و

عضله، کبد، طحال، قلب، شش، چربی، خون، مغز، استخوان، پر و تخم پرندگان گزارش شده است (۱۸). غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در پرندگان بستگی به رژیم غذایی، شدت و زمان در معرض قرار گرفتن و تنوع خصوصیات فیزیولوژیکی دارد. بیشتر آلاینده‌های معمول برای گونه‌های مختلف پرندگان فلزات سنگین و مواد شیمیایی وابسته به کشاورزی هستند. فلزات می‌توانند سمیت بالایی را برای موجودات زنده از طریق تأثیر بر سیستم‌های غدد درون‌ریز و سیستم‌های متعدد فیزیولوژیکی به‌واسطه غلظت‌های محیطی ایجاد کنند (۱۵، ۱۶). پره‌های دم پرندگان را می‌توان با موفقیت به‌عنوان شاخص آلودگی محیط زیست استفاده کرد، زیرا نسبت آلاینده‌ها در بدن آن‌ها نسبتاً ثابت و میزان آن‌ها در پرها نیز همبستگی بالایی دارد (۱۷، ۱۸). با این حال، پرها پیچیده هستند و جمع‌آوری آن‌ها آسان نیست، اما از آنجایی که نمونه‌های پر را می‌توان برای مدت طولانی بدون خراب شدن نگهداری کرد، لاشه‌های پرندگان قابل شناسایی اغلب برای از بین بردن پیچیدگی در مطالعات پر استفاده می‌شوند (۵، ۱۸). همچنین برای حفظ تنوع زیستی محیط‌زیست و نمونه‌برداری از پرندگان در خطر انقراض استفاده از پر دم ضروری و رایج است (۱۵).

شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آگاجاری، در شهرستان امیدیه استان خوزستان یک شرکت نفت و گاز ایرانی است که به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، در زمینه تولید و بهره‌برداری، فرآوری و انتقال نفت خام و گاز طبیعی، همچنین تولید میعانات گازی فعالیت می‌کند. از آنجایی که منطقه‌ی بهره‌برداری نفت و گاز آگاجاری پذیرای پرندگان بومی نیز می‌باشند و در عین حال به‌دلیل تولید فرآورده‌های نفت خام و گاز و پساب‌های شهری و شرکتی در خطر تخریب محیط زیستی نیز قرار گرفته است، از این‌رو، پایش زیستی به‌منظور آگاهی از سلامت محیط‌زیست این منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. لذا پژوهش حاضر بررسی انباشت آلاینده‌های فلزی و نفتی شامل فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در پر دم پرندگان بومی به‌عنوان نشانگرهای آلودگی محیط زیست شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آگاجاری را یک ضرورت تحقیقاتی دانست و به آن پرداخته شد.

¹ *Circus aeruginosus*

² *Buteo buteo*

به آزمایشگاه، پرها با مواد شوینده و آب شسته شدند تا آلودگی‌ها از بین بروند و سپس با آب مقطر آبکشی شدند. پس از آن، ۵ گرم از نمونه پر دم پرندگان در یک بوتله چینی قرار داده شد و در دمای مخصوص در فر قرار داده شد تا خشک شوند و رطوبت خود را کاملاً از دست بدهند. سپس نمونه‌های خاکستر شده از کوره خارج شده و پس از خنک شدن، به منظور حذف کربن، ۲ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به آن‌ها اضافه شد و اسید روی صفحه داغ در دمای ملایم تبخیر شد تا اسید نجوشد و نمونه‌ها بدون کربن و کاملاً سفید شدند، سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۱ نرمال به نمونه‌های سفید شده اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه روی صفحه داغ در دمای پایین حرارت داده شد تا خاکستر در اسید حل شود. پس از خنک شدن، محلول در یک بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری با اسیدکلریدریک ۱ نرمال به حجم رسانده شد (۱۹). برای اندازه‌گیری فلزات سنگین در پر دم پرندگان از طیف‌سنجی جذب اتمی غیرگرافیتی و دستگاه Varian Spectr AA 220 استفاده شد. محدودیت‌های کمی‌سازی^۱ برای غلظت نیکل، سرب، ۰/۱۲، ۰/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر و برای جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم ۰/۷۹، ۱۰، ۰/۲۴ و ۱۶/۶ میکروگرم بر لیتر بود. همچنین محدودیت‌های تشخیص^۲ فلز نیکل، سرب ۰/۰۳، ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر و برای جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم ۰/۲۳، ۵، ۰/۰۷ و ۵ میکروگرم بر لیتر بود.

اندازه‌گیری ترکیبات آروماتیک

نمونه‌های پر دم پرندگان جدا شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، پرها با مواد شوینده و آب شسته شدند تا آلودگی‌ها حذف شوند و سپس با آب مقطر آبکشی شدند و نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد تا زمان جلوگیری از تجزیه ترکیبات نگهداری شدند. برای آماده‌سازی با استفاده از مخلوط‌های حلال مانند کلروفرم - متانول، چربی و ترکیبات معطر از بافت جدا شدند. از ستون‌های سیلیکاژل برای حذف چربی اضافی که ممکن است در کروماتوگرافی اختلال ایجاد کند، استفاده شد. پس از تبخیر حلال و بازیافت در حجم مناسب، نمونه‌ها با دستگاه HPLC-FLD آنالیز شدند. برای اعتبارسنجی روش، ۵ گرم خاک با ۵۰ میلی‌لیتر مخلوط استونیتریل/

نمونه‌های حل شده از طریق کاغذ صافی شماره‌ی ۴۵ فیلتر شدند، در یک ارلن حجمی ۵۰ سی‌سی ریخته شدند و با اسیدنیتریک ۱ درصد به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شدند. نمونه‌های آب با استفاده از بطری‌های ۱ لیتری در هر ایستگاه جمع‌آوری شدند. به منظور جلوگیری از فعالیت بیولوژیکی در بطری‌های آب، نمونه‌ها قبل از انتقال به آزمایشگاه به pH برابر ۲ رسانده شدند. سپس بطری‌ها در حمام یخ خشک قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌برداری آب نیز در خور امیدیه انجام شد. برای هضم شیمیایی نمونه‌های آب جهت تعیین فلز، ۱۰۰ سی‌سی از نمونه مشخص شده در یک بشر ریخته شد. ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و چند سنگ جوش اضافی به این مخلوط اضافه شد. یک شیشه ساعت به عنوان پوشش روی بشر قرار داده شد تا از آلودگی جلوگیری شود و نمونه روی بخاری گرم شد تا به آرامی بجوشد و تبخیر شود. گرم کردن تا زمانی که حجم نمونه به ۱۰ تا ۲۰ میلی‌لیتر برسد ادامه یافت. فرآیند گرم کردن با اضافه کردن اسیدنیتریک تا شفاف شدن نمونه ادامه یافت. نمونه در طول فرآیند هضم خشک نشد. دیواره بشر و شیشه ساعت با آب دیونیزه شسته شدند و نمونه به یک بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و پس از خنک شدن، به حجم رسانده شده و کاملاً مخلوط شد. سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ و فیلتر شدند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری پرندگان در منطقه بهره‌برداری نفت و گاز آغاچاری

اندازه‌گیری فلزات سنگین

نمونه‌های پر دم پرندگان از آن‌ها جدا شدند. پس از انتقال

^۱ LOQs

^۲ LODs

آروماتیک چندحلقه‌ای بین اندام‌های پرندگان و مناطق مورد مطالعه با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام شد. جداول موجود در بخش نتایج با استفاده از نرم‌افزار Excel 2007 طراحی شدند.

یافته‌ها

غلظت نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در پر دم سنقر تالابی به ترتیب $0/12$ ، $0/12$ ، $0/12$ ، $0/10$ و $0/13$ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. غلظت نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در پر دم سارگه معمولی نیز به ترتیب $0/15$ ، $0/31$ ، $0/1$ ، $0/14$ و $0/12$ میلی گرم بر کیلوگرم بود. میانگین غلظت نیکل، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در پر دم دو گونه سنقر تالابی و سارگه معمولی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$). میانگین سرب در پر دم دو گونه پرنده مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0/05$) (نمودار ۱).

ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای شامل کریسن^۲، بنزو بی‌فلورانتین^۳، بنزوآپیرن^۴ و ایندینوپیرن^۵ در بافت پر دم دو گونه سنقر تالابی و سارگه معمولی شناسایی شد. سایر ترکیبات آروماتیک در پر دم سنقر تالابی کمتر از حد تشخیص دستگاه سنجش بود، اما در سارگه معمولی ترکیب آسنافتن^۶ و آنتراسن^۷ نیز تعیین گردید. کریسن، بنزو بی فلورانتین، بنزوآپیرن و ایندینوپیرن در بافت پر دم دو گونه سنقر تالابی به ترتیب $0/10$ ، $0/10$ و $0/12$ نانوگرم بر گرم به دست آمد (نمودار ۲). در پر دم سارگه معمولی کریسن، بنزو بی فلورانتین، بنزوآپیرن، ایندینوپیرن، آسنافتن و آنتراسن به ترتیب $0/10$ ، $0/10$ ، $0/12$ و $0/10$ نانوگرم بر گرم به دست آمد (نمودار ۳). مقایسه‌ی ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای پر دم سنقر تالابی و سارگه معمولی منطقه بهره‌برداری نفت و گاز آغاچاری نشان داد که ترکیبات آروماتیک کریسن، بنزو بی فلورانتین، بنزوآپیرن و ایندینوپیرن اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0/05$).

متانول / ۲- پروپانول استخراج شد. پس از سانتریفیوژ (3500 دور در دقیقه، 5 دقیقه)، نمونه‌های خاک عاری از ترکیبات آروماتیک به دست آمده خشک و با نسبت مساوی تقسیم شدند. سپس مقادیر مختلفی از ترکیبات آروماتیک برای پوشش محدوده غلظت $0/5$ تا 1000 میکروگرم بر لیتر برای محاسبه منحنی‌های کالیبراسیون، ضریب تغییرات و حساسیت به آن‌ها اضافه شد. محدودیت‌های تشخیص^۱ به صورت تجربی با کاهش غلظت آنالیت‌ها به دست آمد. هر دو محدودیت به صورت تجربی با تزریق محلول‌های استاندارد در غلظت‌های مورد انتظار به نمونه‌های عاری از ترکیبات آروماتیک تأیید شدند، که سپس با استفاده از روش بهینه شده تجزیه و تحلیل شدند. برای مطالعات بازیابی و تکرارپذیری، نمونه‌های خاک بدون ترکیبات آروماتیک با محلول‌های استاندارد ترکیبات آروماتیک در غلظت‌های 50 ، 100 و 200 میکروگرم بر لیتر مخلوط شدند. برای هر غلظت سه تکرار انجام شد. بازیابی‌ها به صورت نسبت بین مساحت پیک‌های به دست آمده برای ترکیبات آروماتیک هدف در نمونه‌های شناسایی شده و در محلول‌های استاندارد، به ترتیب، در سطوح غلظت یکسان محاسبه شدند (20 ، 21).

شاخص‌های آلودگی

شاخص تغلیظ زیستی

این شاخص از نسبت غلظت آلاینده در پر پرنده (میلی گرم بر کیلوگرم) بر غلظت آلاینده در نمونه‌ی آب (میلی گرم بر کیلوگرم) محاسبه شد (رابطه ۱) (22):

رابطه ۱:

شاخص تغلیظ زیستی = غلظت آلاینده در پر پرنده آبی / غلظت آلاینده در نمونه آب

شاخص انباشت زیستی

این شاخص از نسبت غلظت آلاینده در پر پرنده (میلی گرم بر کیلوگرم) بر غلظت آلاینده در نمونه‌ی خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) محاسبه شد (رابطه ۲) (23):

رابطه ۲:

شاخص انباشت زیستی = غلظت آلاینده در پر پرنده آبی / غلظت آلاینده در نمونه خاک

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. مقایسه‌ی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های

² Chr

³ BbF

⁴ BaP

⁵ Ind

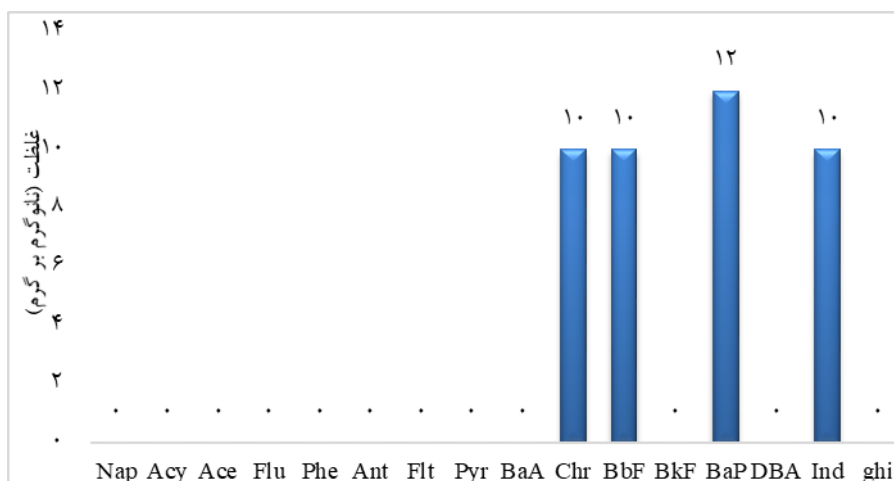
⁶ Ace

⁷ Ant

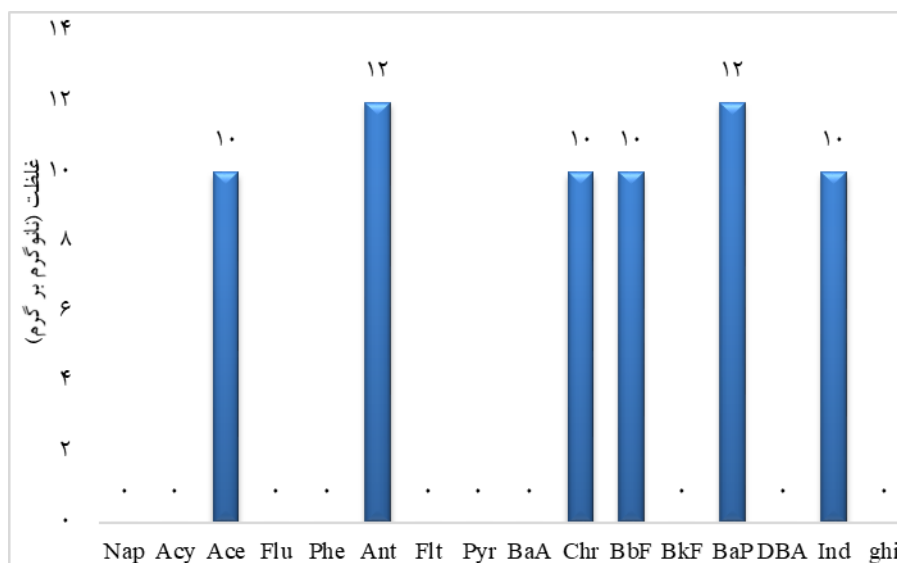
¹ LODs



نمودار ۱. مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) پر دم دو گونه پرند خور امیدیه



نمودار ۲. ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای (نانوگرم بر گرم) پر دم سنقر تالابی خور امیدیه

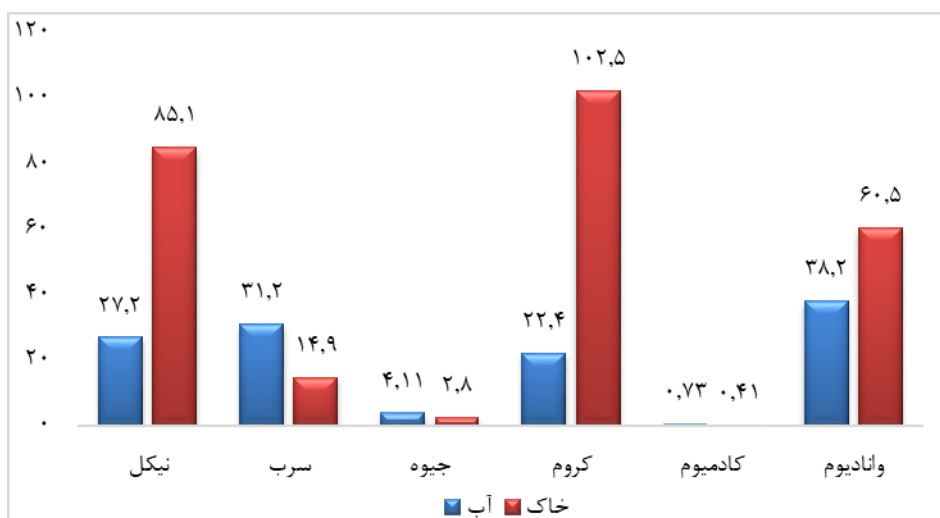


نمودار ۳. ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای (نانوگرم بر گرم) پر دم سارگپه معمولی خور امیدیه

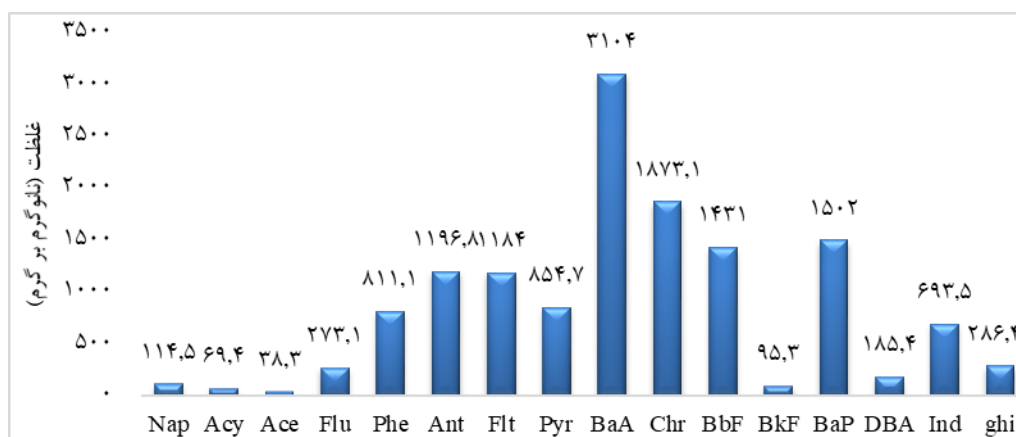
غلظت نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در آب ۲۷/۲۰، ۳۱/۲۰، ۴/۱۱، ۲۲/۴۰، ۰/۷۳ و ۳۸/۲۰ به ترتیب ۸۵/۱۰، ۱۴/۹۰، ۲/۸۰، ۱۰۲/۵۰، ۰/۴۱ و ۶۰/۵۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد و غلظت این فلزات در خاک

نمونه‌های خاک بود (نمودار ۴). ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای نمونه‌های خاک و آب منطقه بهره‌برداری نفت و گاز آغاچاری در نمودار ۵ و ۶ ارائه شده است.

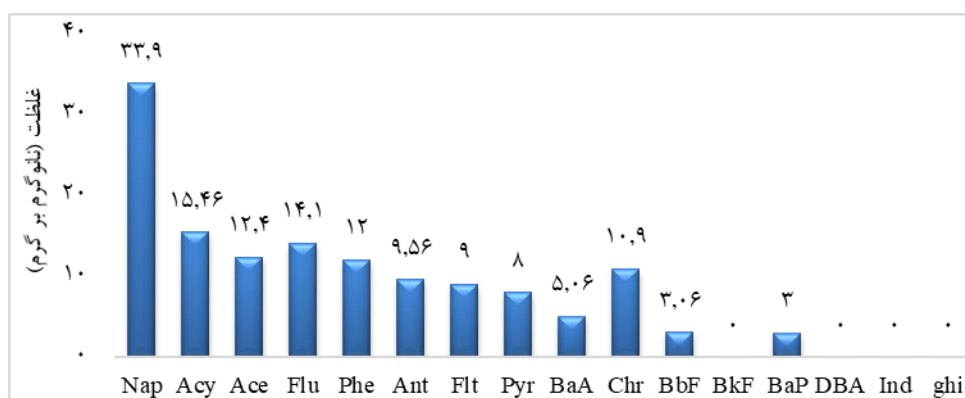
میلی گرم بر کیلوگرم بود. غلظت نیکل، کروم و وانادیوم در نمونه‌های خاک بالاتر از نمونه‌های آب به‌دست آمد، اما میزان سرب، جیوه و کادمیوم در نمونه‌های آب بالاتر از



نمودار ۴. مقایسه غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک و آب خور امیدیه



نمودار ۵. ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای (نانوگرم بر گرم) نمونه‌های خاک خور امیدیه



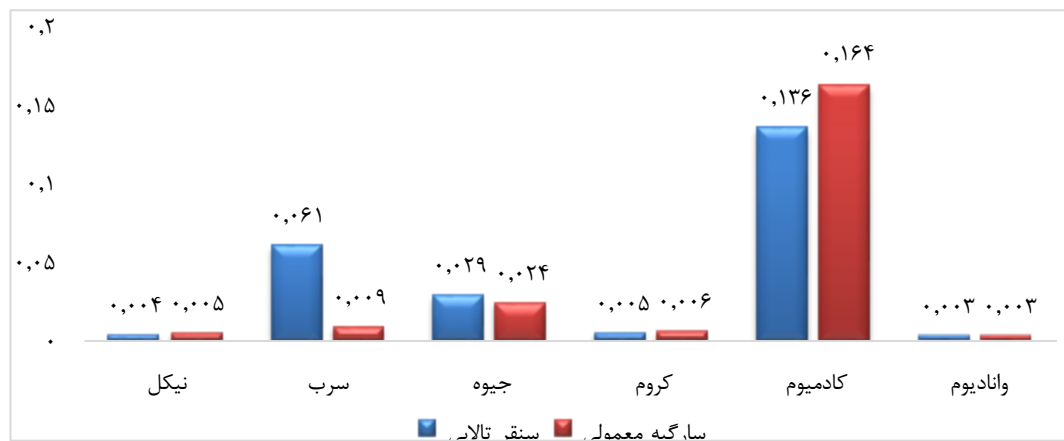
نمودار ۶. ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای (نانوگرم بر گرم) نمونه‌های آب خور امیدیه

به‌ترتیب ۰/۱۳۶ و ۰/۱۶۴ به‌دست آمد. پایین‌ترین مقادیر شاخص تغلیظ زیستی مربوط به فلز کادمیوم در دو گونه

بالاترین مقادیر شاخص تغلیظ زیستی مربوط به فلز کادمیوم در دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی

سنقر تالابی بالاتر از سارگپه معمولی بود. پایین‌ترین مقدار انباشت زیستی ۰/۰۰۱ برای فلزات نیکل و کروم در دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی مشاهده شد (نمودار ۸).

سنقر تالابی و سارگپه معمولی ۰/۰۰۳ محاسبه شد. شاخص تغلیظ زیستی سرب و جیوه در سنقر تالابی بالاتر از سارگپه معمولی بود (نمودار ۷). بالاترین مقادیر شاخص انباشت زیستی نیز مربوط به فلز کادمیوم در دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی به ترتیب ۰/۲۴۳ و ۰/۲۹۲ به دست آمد. شاخص انباشت زیستی سرب و جیوه در



نمودار ۷. شاخص تغلیظ زیستی فلزات سنگین پر دم سنقر تالابی و سارگپه معمولی خور امیدیه



نمودار ۸. شاخص انباشت زیستی فلزات سنگین پر دم سنقر تالابی و سارگپه معمولی خور امیدیه

بحث

جثه‌تر است. مطالعات متعددی انباشت فلزات سنگین، آرسنیک و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای را در پر پرندگان آبی و خشکی‌زی گزارش کردند (۲۴،۲۵). انباشت غلظت فلزات آرسنیک، کادمیوم و سرب در پر سارگپه معمولی در سیسیل ایتالیا گزارش شده است که

در این تحقیق غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در پر دم دو گونه پرنده سارگپه معمولی و سنقر تالابی گزارش شد. سارگپه معمولی پرنده‌ای شکاری و اندکی کم جنب و جوش که تنوع رنگی زیادی دارد و معمولاً از روی عادت‌های رفتاری، شکل‌های نشست و گردن کوتاهش قابل شناسایی است. هم‌چنین سنقر تالابی پرنده‌ای شکاری که از دیگر سنقرها بزرگتر و درشت

نتایج به دست آمده نشان می دهد که سارگپه معمولی^۱ ممکن است به عنوان شاخص های زیستی برای پایش آلودگی محیط زیست بسیار مفید باشند (۲۶). در تحقیقی در کشور نیجریه پژوهشگران گزارش کردند که پرهای پرندگان خشکی زی حاوی سطوح مختلفی از فلزات سنگین بودند که تا حد زیادی منعکس کننده ماهیت مکان ها هستند (۲۷). در مطالعه ی دیگری انباشت فلز جیوه در دو گونه سارگپه معمولی و سنقر تالابی گزارش شده است. پرندگان ساکن در زیستگاه های آبی، تبدیل میکروبی جیوه معدنی به متیل جیوه را در زیستگاه های تالابی و مردابی افزایش می دهند. بنابراین، غلظت جیوه در این پرندگان افزایش می یابد. غلظت بالای جیوه در پرندگان آبی با سایر مطالعات سازگار است، زیرا ماهی ها و زئوپلانکتون ها غلظت جیوه بالاتری دارند (۲۸). پرندگان می توانند کادمیوم را از طریق غذاهای زمینی جذب کنند، به عنوان مثال، وقتی کادمیوم در خاک و هوا وجود دارد، می تواند در گیاهان رسوب کند، توسط حیوانات مختلف خورده شود و وقتی گوشت این حیوانات توسط گونه های شکاری خورده می شود (۲۹). عوارض جانبی غلظت سرب و کادمیوم را به ترتیب می توان بالاتر از ۴ و ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده کرد و سطح آستانه در نظر گرفته شده برای سرب در کمتر از ۴ میلی گرم بر کیلوگرم و کادمیوم ۰/۳-۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم است (۲۴، ۲۵). منابع اصلی سرب برای حیوانات، مواد غذایی حاصل از خاک آلوده است. از آنجایی که گیاهان به راحتی سرب را جذب نمی کنند، اغلب به صورت برونزا آلوده می شوند. علاوه بر این، آلودگی می تواند از منابع انسانی، به عنوان مثال از کارخانه های ذوب فلزات و کارخانه های شیمیایی، ناشی شود. با این حال، بزرگنمایی زیستی معمولاً در سطوح بالاتر تغذیه ای رخ نمی دهد و سطح بالای سرب در موجودات زنده با نزدیکی به مکان های آلوده مرتبط است (۲۰، ۲۸). پژوهشگران گزارش کردند که انباشت و شناسایی غلظت کروم، نیکل و وانادیوم در اندام های پرندگان به دلیل فعالیت های صنعتی نظیر آبکاری فلزات، عملیات های تولید و اکتشاف نفت و گاز، تولید صنایع برق و الکتریسته می باشد (۳۰) که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد، زیرا منطقه ی مورد مطالعه شرکت بهره برداری نفت و گاز آغا جاری در شهرستان امیدیه در استان خوزستان بود.

جالب توجه است که هیچ تفاوت قابل تشخیصی در تمام انباشت فلزات کادمیوم، وانادیوم، نیکل، جیوه و کروم در پرها بین دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی وجود نداشت ($P>0.05$). خانکیتریتیکال و همکاران (۲۰۲۴) در ۳۷ گونه پرنده ی وحشی در کشور تایلند گزارش کردند که هیچ اختلاف معنی داری بین غلظت فلزات وجود نداشت که با نتایج این تحقیق هم خوانی دارد (۱۹). چنین تغییراتی ممکن است به فرآیندهای فیزیولوژیکی خاص گونه، از جمله ترسیب فلزات در پرها یا راندامان دفع نسبت داده شود (۳۱). منابع پراکنده ای در مورد مطالعه فلزات در پرندگان در منطقه نمونه برداری شده موجود است که از آن ها می توان روند غلظت فلزات سمی را در طول زمان مشاهده کرد. نتایج این تحقیق بر روی دو گونه سارگپه معمولی و سنقر تالابی با سایر مطالعاتی که از پرها به عنوان زیست پایشگر استفاده کرده اند، نسبتاً سازگار است که نشان می دهد پرها شاخص های خوبی برای قرار گرفتن در معرض فلزات در محیط هستند (۳۲). هم چنین احتمال بزرگنمایی زیستی فلزات سمی در زنجیره ی غذایی امروزه به خوبی شناخته شده است، زیرا پیش از این فقط به خاطر آفت کش های پایدار شناخته شده بود (۲۸). پرندگان، به ویژه گونه های شکاری، در بالای زنجیره ی غذایی قرار دارند و رفتار قلمرو طلبانه و غیر مهاجرتی آن ها نیز به تجمع فلزات سمی با غلظت بالاتر در پرها کمک می کند. بنابراین، این امر آن ها را به یک شاخص زیستی خوب برای تشخیص بار محیطی فلزات سنگین تبدیل می کند (۲۶). در حالی که وجود فلزات در پرها می تواند در فرآیندهای ذخیره سازی و حذف فلزات دخیل باشد (۲۶). به طور خاص، از پرها برای پایش میزان مواجهه با فلزات سنگین استفاده می شود، زیرا پرندگان این مواد معدنی را در طول پرریزی به پرهای در حال رشد خود دفع می کنند. به همین دلیل، می توان از آن ها به عنوان شاخص آلودگی محیطی استفاده کرد (۳۳، ۳۴). هم چنین با توجه به غلظت های شناسایی شده این فلزات، مشاهده می شود که سطح انباشت در پرهای پرندگان مورد بررسی بسته به عادات غذایی آن ها متفاوت است (۳۵).

ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای در نمونه های آب و خاک شناسایی شد. هم چنین ترکیبات شامل کریسن، بنزو بی فلوران تین، بنزو آپیرن و ایندینو پیرن در بافت پر دم دو گونه سنقر تالابی و سارگپه معمولی شناسایی شد. سایر

¹ Buteo buteo

است، در حالی که شاخص انباشت زیستی کمتر از ۱ به معنای غلظت بیشتر فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت جذب شده توسط موجودات زنده است (۴۰). شاخص تغلیظ زیستی که کمتر از ۱ است نشان می‌دهد که موجود زنده از نظر عنصر از آب غنی شده‌اند، به عبارت دیگر انباشت زیستی در بافت موجود زنده رخ داده است و فلزات بالاتر از ۱ نشان می‌دهد که موجود زنده عنصر را از آب دفع می‌کنند. با این حال، آشکارتر است که وقتی مقدار بالاتر از ۱ باشد، غلظت کل فلزات در آب لزوماً با فراهمی زیستی فلزات سنگین مطابقت ندارد، بلکه به تعدادی از خواص فیزیک و شیمیایی مانند pH، محتوای ماده‌ی آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی بستگی دارد (۴۱، ۴۲). مقادیر شاخص تغلیظ زیستی فلزات نیکل، کروم و وانادیوم در پر سنقر تالابی و و سارگپه معمولی بالاتر از شاخص انباشت زیستی به دست آمد. تغلیظ زیستی فرآیندی است که طی آن یک ماده شیمیایی توسط یک موجود زنده از محیط اطراف فقط از طریق سطوح تنفسی و پوستی جذب می‌شود، یعنی قرار گرفتن در معرض موادشیمیایی در رژیم غذایی شامل نمی‌شود (۴۳). رقیق سازی رشد یک فرآیند حذف کاذب محسوب می‌شود، زیرا ماده‌ی شیمیایی در واقع توسط موجود زنده حذف نمی‌شود، اما غلظت آن می‌تواند با افزایش حجم بافت رقیق شود. میزان وقوع تغلیظ زیستی به عنوان فاکتور تغلیظ زیستی بیان می‌شود و فقط در شرایط آزمایشگاهی کنترل شده که در آن مصرف غذایی ماده‌ی شیمیایی عمداً لحاظ نشده است، قابل اندازه گیری است (۴۴)، اما انباشت زیستی فرآیندی است که در آن یک ماده‌ی شیمیایی از طریق تمام مسیرهای مواجهه در محیط طبیعی، یعنی منابع غذایی و محیط اطراف، در یک موجود زنده جذب می‌شود (۴۵). انباشت زیستی نتیجه خالص فرآیندهای رقابتی جذب شیمیایی به داخل موجود زنده در سطح تنفسی و از رژیم غذایی و دفع شیمیایی از موجود زنده، از جمله تبادل تنفسی، هضم مدفوعی، تبدیل زیستی متابولیکی ترکیب اصلی و رقیق سازی رشد است (۴۶). با توجه به اندازه گیری غلظت های مختلف فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای در آب و خاک و پر پرندگان مورد مطالعه، این مسئله که شاخص های زیستی آلاینده ها در پر پرندگان پایین تر از ۱ بود، اما باید توجه داشت که آلاینده های مورد مطالعه در منطقه ی نفت و گاز آگاهی

ترکیبات آروماتیک در پر دم سنقر تالابی کمتر از حد تشخیص دستگاه سنجش بود، اما در سارگپه معمولی ترکیب آسافتن و آنتراسن نیز تعیین گردید. انباشت هر دو گروه آلاینده های فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای عمده تاً به دلیل تأثیر آن ها بر بهره برداری، فراوری و توزیع نفت در منطقه ی مورد مطالعه می باشد. مشاهده شده است که وجود هیدروکربن ها نیز به دلیل پالایش و تقطیر نفت خام به عنوان یکی از مهم ترین علل آلودگی توسط ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای در افزایش غلظت فلزات سنگین نقش دارد (۲). بیشتر ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای موجود در نفت خام، ترکیباتی با وزن مولکولی کمتر با ۲ تا ۳ حلقه آروماتیک هستند و این ترکیبات در دو گونه پرنده سنقر تالابی و سارگپه معمولی شناسایی نشدند. در مقابل، ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای با وزن مولکولی بالاتر مانند بنزو بی فلورانتین، کریسن و بنزو آپیرن که اغلب در بالاترین غلظت ها شناسایی می شوند، نشان دهنده ی منابع پیروژنیک یا ناشی از احتراق مواد آلی مانند سوخت های فسیلی هستند (۳۶). ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای با وزن مولکولی کمتر، فرار هستند و حتی وقتی به خاک و رسوبات متصل می شوند، به راحتی در هوا یا آب آزاد می شوند، در حالی که ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای با وزن مولکولی بالاتر، برای مدت زمان بسیار طولانی تری به خاک و رسوبات متصل می شوند (۳۷). پرندگان آبی ممکن است به دلیل نشت نفت که باعث افزایش دسترسی به ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای پتروژنیک می شود، با خطرات بیشتری در معرض ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای قرار گیرند (۳۸). علاوه بر این، فعالیت های فعال مرتبط با معدن و مکان های پالایشگاهی، منابع ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای هستند و پرندگانی که در نزدیکی چنین مکان هایی لانه می کنند، غلظت های ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای بالاتری را در مقایسه با مکان های مرجع نشان داده اند (۳۹).

در این تحقیق شاخص های انباشت زیستی و تغلیظ زیستی فلزات سنگین نیکل، سرب، جیوه، کروم، کادمیوم و وانادیوم در دو گونه پرندگان سنقر تالابی و سارگپه معمولی در منطقه ی مورد مطالعه پایین تر از ۱ به دست آمد. شاخص انباشت زیستی بالاتر از ۱ نشان دهنده ی جذب بیشتر فلزات سنگین در موجود زنده نسبت به خاک

مطالعات تکمیلی برای بررسی اثرات بلندمدت این ترکیبات بر سلامت پرندگان و سایر موجودات زنده و آگاه‌سازی سیاست‌گذاران و جوامع محلی برای حفاظت از تنوع زیستی و سلامت محیط زیست باید در اولویت قرار گیرد. این نتایج بر لزوم اتخاذ اقدامات حفاظتی مؤثر و سیاست‌های زیست‌محیطی برای کاهش اثرات آلودگی تأکید می‌کند. لازم است مدیریت زیست‌محیطی جدی‌تری بر منابع زیستی از جمله اکوسیستم‌هایی مانند خور امیدیه اعمال شود.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهشی دانشگاه اعلام می‌نمایند. شایان ذکر است با توجه به نوع روش این مطالعه در رابطه با حقوق مادی و معنوی جوامع انسانی و آسیب‌های وارده به حیات وحش هیچ‌گونه نقشی وجود نداشته است.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: نویسندگان مقاله در راستای کمک های مالی تشکر و قدردانی خود را از مدیریت و معاونت پژوهشی و همکاران محترم این دانشگاه اعلام می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی: این مقاله حاصل پایان‌نامه مقطع دکتری گروه محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

سهم نویسندگان: نویسندگان مقاله آقای مهدی طیبی، خانم مریم محمدی روزبهانی، خانم محبوبه چراغی، خانم سولماز دشتی و خانم روشنا بهباش در تمامی مراحل طراحی و نگارش ایده اولیه، نمونه‌برداری، عملیات آزمایشگاهی، نگارش مقاله و اصلاحات نهایی مشارکت کامل داشتند.

در محیط زیست وارد شدند و تغییرات آلودگی در آب‌خور امیدیه و خاک‌های اطراف آن را نشان داد. نتایج یک مطالعه ارزیابی رابطه بین غلظت فلوراید در آب آشامیدنی و محتوای فلوراید در محصولات غذایی در شهر همدان نشان داد که غلظت فلوراید در آب آشامیدنی و محصولات کشاورزی گوجه‌فرنگی، خیار، پیاز و سیب‌زمینی در غلظت‌های کم و زیاد در مناطق مختلف گزارش شده است که در نهایت نشان از آلودگی این عنصر در آب و خاک و محصولات کشاورزی دارد (۴۷) که نتایج این تحقیق را تایید می‌کند. به عبارت دیگر آلاینده‌های محیط زیست در مناطق مختلف با غلظت‌های متفاوت و ساختار شیمیایی بسیار گسترده در آب، خاک و سایر شاخص‌های زیستی مشاهده می‌شوند (۴۸). کیفیت محیط زیست در مناطق شهری، به‌ویژه شهرهای صنعتی و نیمه‌صنعتی، به‌طور جدی تحت تأثیر آلودگی فلزات سنگین قرار دارد (۴۹).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان‌دهنده‌ی سطح قابل توجهی از آلودگی فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در نمونه‌های آب، خاک و دو گونه سارگپه معمولی و سنقر تالابی در منطقه نفت و گاز آغاچاری در استان خوزستان می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست منطقه مورد مطالعه است. به‌طور کلی، بررسی غلظت فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه در پرندگان علاوه بر این‌که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وضعیت سلامت اکوسیستم باشد، بلکه به‌عنوان شاخصی از تأثیرات بالقوه بر سلامت عمومی و کیفیت موجودات زنده در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مقادیر فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در آب، خاک و پر دم دو گونه پرندۀ سنقر تالابی و سارگپه معمولی، نشان‌دهنده‌ی آلودگی ناشی از فعالیت‌های نفتی و گازی در مناطق امیدیه و آغاچاری در جنوب غربی ایران است، پایش مستمر برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی آلودگی و کاهش انتشار آلاینده‌ها از طریق مدیریت مناسب پسماندهای صنعتی ضروری است. همچنین،

References

1. Edokpayi, J.N., Odiyo, J.O., Popoola, O.E. and Msagati, T.A., 2016. Determination and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in rivers, sediments and wastewater effluents in Vhembe District, South

Africa. International journal of environmental research and public health, 13(4), p.387.
<https://doi.org/10.3390/ijerph13040387>
 PMID:27043597 PMCID:PMC4847049

2. Velandia-Aquino, L.B., Botello, A.V., Ponce-Vélez, G., Namihira-Santillán, P.E. and Villanueva-Fragoso, S., 2024. Vertical distribution of potentially toxic metals and PAHs in the Alvarado Lagoon, Veracruz in the southern Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts*, 47(8), pp.2589-2602.
<https://doi.org/10.1007/s12237-023-01307-6>
3. Bandowe, B.A.M., Shukurov, N., Leimer, S., Kersten, M., Steinberger, Y. and Wilcke, W., 2021. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of an industrial area in semi-arid Uzbekistan: spatial distribution, relationship with trace metals and risk assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(11), pp.4847-4861.
<https://doi.org/10.1007/s10653-021-00974-3> PMID:34041653 PMCID:PMC8528758
4. Provencher, J.F., Thomas, P.J., Pauli, B., Braune, B.M., Franckowiak, R.P., Gendron, M., Savard, G., Sarma, S.N., Crump, D., Zahaby, Y. and O'Brien, J., 2020. Polycyclic aromatic compounds (PACs) and trace elements in four marine bird species from northern Canada in a region of natural marine oil and gas seeps. *Science of the Total Environment*, 744, p.140959.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140959> PMID:32711326
5. Waszak, I., Jonko-Sobuś, K., Ożarowska, A. and Zaniewicz, G., 2021. Estimation of native and alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seabirds from the south coast of the Baltic Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), pp.4366-4376. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10653-y> PMID:32940838 PMCID:PMC7835302
6. Berrios-Rolon, P.J., Cotto, M.C. and Marquez, F., 2025. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Freshwater Systems: A Comprehensive Review of Sources, Distribution, and Ecotoxicological Impacts. *Toxics*, 13(4), p.321.
<https://doi.org/10.3390/toxics13040321> PMID:40278637 PMCID:PMC12031217
7. Dhar, K., Subashchandrabose, S.R., Venkateswarlu, K., Krishnan, K. and Megharaj, M., 2019. Anaerobic microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons: a comprehensive review. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 251*, pp.25-108.
https://doi.org/10.1007/398_2019_29 PMID:31011832
8. Rahimi Moazampour, S., Nabavi, S.M.B., Mohammadi Roozbahani, M. and Khodadadi, M., 2023. Determination of total petroleum hydrocarbons and selected heavy metal (Pb, CO, V, Ni) concentration levels in surficial sediments of the Arvand River Estuary and their impact on benthic macroinvertebrates assemblages. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(12), pp.2841-2857.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1900143>
9. Asl, A.G., Nabavi, S.M.B., Rouzbahani, M.M., Alipour, S.S. and Monavari, S.M., 2023. Persistent organic pollutants influence the marine benthic macroinvertebrate assemblages in surface sediments of Nayband National Park and Bay, Northern Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), pp.30254-30270.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24232-w> PMID:36422775
10. Mansouri Moghadam, S., Payandeh, K., Koushafar, A., Goosheh, M. and Mohammadi Rouzbahani, M., 2024. Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. *Scientific Reports*, 14(1), p.14754. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64192-4> PMID:38926447 PMCID:PMC11208444
11. Velayatzadeh, M. and Payandeh, K., 2020. Effect of household water treatment on the concentration of heavy metals of drinking water in Ahvaz city. *Iranian South Medical Journal*, 22(6), pp.402-414. [In Persian].
<https://doi.org/10.29252/ismj.22.6.402>
12. Gholami, Z., Mohammadi Rouzbahani, M., Payanadeh, K. and Sabzalipour, S., 2025. Carcinogenic and Non-carcinogenic Risk Index of As, Pb and Cr in Corn (Zea Mays) of Shushtar and Andimeshk Agricultural Fields. *Journal of Research in Environmental Health*. 11 (2), pp. 80-94. [In Persian].
13. Birgani, S., Mohammadi Roozbahani, M., Behbash, R. and Sabzalipour, S., 2025. Study of biological indicators of heavy metal pollution in sediments and plants of Hoor-Al-Azim wetland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(3), p. 312.
<https://doi.org/10.1007/s10661-025-13739-7> PMID:39966218
14. Fouladi, M., Mohammadi Rouzbahani, M., Attar Roshan, S. and Sabzalipour, S., 2021. Health risk assessment of potentially toxic elements in common cultivated rice (Oryza

sativa) emphasis on environmental pollution. *Toxin Reviews*, 40(4), pp. 1019-1034.

<https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1818106>

15. Moradi, V., Halldorson, T., Xia, Z., Vitharana, N., Marvin, C., Thomas, P.J., Sorais, M., Crossin, G.T. and Tomy, G., 2023. Determining Polycyclic Aromatic Compounds in Bird Feathers Using Pressurized Fluid Extraction. *Separations*, 10(9), p.503.

<https://doi.org/10.3390/separations10090503>

16. Oyekunle, J.A., Inalegwu, S.A., Fagbuyi, A.O., Adekunle, A.S. and Ore, O.T., 2023. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic metals in commonly consumed pasta products available in the Nigerian Markets. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 4, p.100077.

<https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100077>

17. Islam, M.S.M.M., Saiba, A.I., Al Faed, T., Rahman, L., Bakar, M.A. and Kundu, G.K., 2026. Investigation of the accumulation and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and mercury (Hg) in marine fish from the northern Bay of Bengal using a multi-tool approach. *Marine Pollution Bulletin*, 222, p.118633.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118633> PMID:40884856

18. Hasan, G.A., Rinky, F., Ahmed, K.S., Sikdar, K. and Moniruzzaman, M., 2025. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metal contamination in Shitalakshya River water: ecological and health risk implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(3), p.282. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13750-y> PMID:39939546

19. Khwankitrittikul, P., Poapolathep, A., Poapolathep, S., Prasanwong, C., Kulprasertsri, S., Khidkhan, K., 2024. Species Differences and Tissue Distribution of Heavy Metal Residues in Wild Birds. *Animals*, 14(2), p. 308. <https://doi.org/10.3390/ani14020308> PMID:38254477 PMCID:PMC10812407

20. Laguerre, A. and Gall, E.T., 2023. Measurement of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) on Indoor Materials: Method Development. *ACS omega*, 8(23), pp. 20634-20641.

<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01184> PMID:37332781 PMCID:PMC10268631

21. Shahpoury, P., Wnorowski, A., Harner, T., Saini, A. and Halappanavar, S., 2024. A method for measuring the bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons in cell culture media. *Chemosphere*, 351, p. 141257.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141257> PMID:38244871

22. Chiou, C.T., 2002, Bio concentration of organic contaminants, in Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems: Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, Inc., p. 257.

<https://doi.org/10.1002/0471264326>

23. Bervoets, L., Voets, J., Covaci, A., Chu, S., Qadah, D., Smolders, R., Schepens, P., Blust, R., 2005. Use of transplanted zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) to assess the bioavailability of micro contaminants in Flemish surface waters. *Environmental Science and Technology* 39, 1492-1505.

<https://doi.org/10.1021/es049048t> PMID:15819201

24. Burger, J. and Gochfeld, M., 2000. Metals in albatross feathers from Midway Atoll: influence of species, age, and nest location. *Environmental research*, 82(3), pp.207-221.

<https://doi.org/10.1006/enrs.1999.4015> PMID:10702328

25. Farahnasab, A., Chamani, A. and Rahimi, R., 2024. Determination of Potentially Toxic Elements Concentrations in Common Moorhen (*Gallinula Chloropus*) in the Zayanderud River. *Journal of Research in Environmental Health*, 10(2), pp.111-121. [In Persian].

26. Naccari, C., Cristani, M., Cimino, F., Arcoraci, T. and Trombetta, D., 2009. Common buzzards (*Buteo buteo*) bio-indicators of heavy metals pollution in Sicily (Italy). *Environment International*, 35(3), pp. 594-598.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.11.002> PMID:19167074

27. Sani, A., Lawal Abdullahi, I. and Salmanu, T., 2020. Assessment of heavy metals profile in feathers of birds from Kano metropolis, Nigeria, in 2019. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 7(4), pp. 257-262.

<https://doi.org/10.34172/EHEM.2020.30>

28. Garip, Z., Ektiren, R., Temamogulları, F. and Karakas, A., 2024. Evaluation of heavy metal (As, Hg, Zn, Cu and Se) levels in wild birds of prey and aquatic habitats. *Revista Cientifica de la Facultade de Veterinaria*,

- 34(1), p. e34319. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e34319>
29. Van Assche, F.J., 1998. A stepwise model to quantify the relative contribution of different environmental sources to human cadmium exposure. NiCad '98, Prague, Czech Republic, September, pp. 21-22.
30. Aziz, B., Zubair, M., Irshad, N., Ahmad, K. S., Mahmood, M., Tahir, M. M. ... and Shaheen, A., 2021. Biomonitoring of toxic metals in feathers of birds from North-Eastern Pakistan. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 106(5), pp. 805-811. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03184-w> PMID:33743020
31. Movalli, P., Dekker, R., Koschorreck, J. and Treu, G., 2017. Bringing together raptor collections in Europe for contaminant research and monitoring in relation to chemicals regulations. Environmental Science and Pollution Research, 24(31), pp. 24057-24060. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0096-x> PMID:28918578 PMCid:PMC5655541
32. Jaspers, V. L., Covaci, A., Herzke, D., Eulaers, I. and Eens, M., 2019. Bird feathers as a biomonitor for environmental pollutants: prospects and pitfalls. Trends in Analytical Chemistry, 118, pp. 223-226. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.019>
33. Battaglia, A., Ghidini, S., Campanini, G. and Spaggiari, R., 2005. Heavy metal contamination in little owl (*Athene noctua*) and common buzzard (*Buteo buteo*) from northern Italy. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(1), pp. 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2003.12.019> PMID:15482841
34. Jager, L. P., Rijnierse, F. V., Esselink, H. and Baars, A.J., 1996. Biomonitoring with the buzzard *Buteo buteo* in the Netherlands: heavy metals and sources of variation. Journal für Ornithologie, 137(3), pp. 295-318. <https://doi.org/10.1007/BF01651071>
35. Azizoglu, E. and Ozdemir, O., 2025. Biomonitoring of heavy metals in the feathers raptors from eastern Anatolia of Türkiye. Frontiers in Ecology and Evolution, 13, pp. 1647589. <https://doi.org/10.3389/fevo.2025.1647589>
36. Neff, J.M., Stout, S.A. and Gunster, D.G., 2005. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments: identifying sources and ecological hazard. Integrated environmental assessment and management, 1(1), pp.22-33. https://doi.org/10.1897/IEAM_2004a-016.1 PMID:16637144
37. Wong, F., Harner, T., Liu, Q.T. and Diamond, M.L., 2004. Using experimental and forest soils to investigate the uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) along an urban-rural gradient. Environmental Pollution, 129(3), pp.387-398. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.12.006> PMID:15016460
38. Power, A., White, P., McHugh, B., Berrow, S., McKeown, A., Crowley, D., Newton, S., McGovern, E., Murphy, S. and O'Connor, I., 2021. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seabird eggs in Ireland. Marine Pollution Bulletin, 170, p.112636. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112636> PMID:34153853
39. Fernie, K.J., Marteinson, S.C., Chen, D., Eng, A., Harner, T., Smits, J.E. and Soos, C., 2018. Elevated exposure, uptake and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by nestling tree swallows (*Tachycineta bicolor*) through multiple exposure routes in active mining-related areas of the Athabasca oil sands region. Science of the Total Environment, 624, pp.250-261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.123> PMID:29253773
40. Munishi, L.K., Ndakidemi, P.A., Blake, W., Comber, S. and Hutchinson, T.H., 2021. Accumulation and bioconcentration of heavy metals in two phases from agricultural soil to plants in Usangu agroecosystem-Tanzania. Heliyon, 7(7), e07514. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07514> PMID:34296014 PMCid:PMC8282977
41. Kihampa, C. and Mwegoha, W.J., 2010. Heavy metals accumulation in vegetables grown along the Msimbazi River in Dar es Salaam, Tanzania. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4(6), pp. 1932-1938. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64947>
42. Nangbes, J.G., Adamu, H.M. and Hassan, U.F., 2023. Bioaccumulation and Risk Analysis of Selected Heavy Metals in *Clarias Gariapinus* and *Tilapia Zili* Fish Species of Abandoned Mining Ponds. OPSearch: American Journal of Open Research, 2(3), pp.109-123. <https://doi.org/10.58811/opsearch.v2i3.47>
43. Gobas, F.A.P.C., and Zhang, X. 1992. Measuring bioconcentration factors and rate

constants of chemicals in aquatic organisms under conditions of variable water concentrations and short exposure time. *Chemosphere*, 25: 1961-1971.

[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(92\)90035-P](https://doi.org/10.1016/0045-6535(92)90035-P)

44. Gobas, F.A.P.C., Clark, K.E., Shiu, W.Y., and Mackay, D. 1989. Bioconcentration of polybrominated benzenes and biphenyls and related superhydrophobic chemicals in fish: role of bioavailability and elimination into the feces. *Environ. Toxicol. Chem.* 8: 231-245.

<https://doi.org/10.1002/etc.5620080306>

45. Gobas, F.A.P.C., Kelly, B.C., and Arnot, J.A. 2003. Quantitative structure-activity relationships for predicting the bioaccumulation of POPs in terrestrial food webs. *QSAR Comb. Sci.* 22: 329-336.

<https://doi.org/10.1002/qsar.200390022>

46. Arnot, J.A. and Gobas, F.A., 2006. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14(4), pp.257-297.

<https://doi.org/10.1139/a06-005>

47. Asgari, G., Salari, M., Seidmohammadi,

A., Akbari-Adergani, B., Mahvi, A.H., Kamari, N., Rastegar, K.E. and Faraji, H., 2025. Investigation and risk assessment of fluoride concentration in drinking water, soil and food products in Hamedan rural areas. *Scientific Reports*, 15(1), p.18458.

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-99462-2>

PMid:40425740 PMCID:PMC12116910

48. Abdipour, H., Asgari, G. and Shokoohi, R., 2025. A review of microplastics pollution in dams globally: Consequences and future outlook. *Journal of Contaminant Hydrology*, p.104730.

<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2025.104730>

PMid:40975906

49. Asgari, G. and Abdipour, H., 2025. Ecological risk assessment and distribution of heavy metals (Pb, Cr, Ni, as, Co and Mn) in soil of Douroud city, Iran. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, pp.1-18.

[https://doi.org/10.1080/15320383.2025.252715](https://doi.org/10.1080/15320383.2025.2527156)

6