Journal of Research in Environmental Health
Volume 10, Issue 2, Summer 2024

Determination of Potentially Toxic Elements Concentrations in Common Moorhen (*Gallinula Chloropus*) in the Zayanderud River

Amir Farahnasab
Department of Biology Education, Farhangian University, Tehran, Iran.
Atefeh Chamani
Environmental Science and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Razieh Rahimi
* Department of Environment, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
(Corresponding Author)
azadrahimi58@gmail.com

Received: 2024/03/26
Accepted: 2024/09/10
Doi:10.22038/jreh.2024.80813.1671

Abstract

Background and Purpose: Birds, especially resident species, are valuable indicators of potentially toxic element (PTE) pollution in aquatic environments. These organisms are critical for assessing environmental health. This study aimed to evaluate the concentrations of potentially toxic elements (zinc, copper, cadmium, lead, selenium, and arsenic) in the feathers of the common moorhen (*Gallinula chloropus*) in the Zayanderud River.

Materials and Methods: Thirty feather samples were collected from common moorhens across various regions along the Zayanderud River. After collection, the feathers were prepared using an acid digestion method. The concentrations of the elements were determined using ICP-MS.

Results: The mean concentrations of zinc, copper, cadmium, lead, selenium, and arsenic were 59.07, 10.73, 0.49, 5.52, 2.33, and 2.66 µg/g, respectively. Based on established threshold levels, cadmium, lead, arsenic, and selenium concentrations were considered unfavorable. The proximity of the study area to industrial effluents and human sewage discharge points suggests that these pollutants in the common moorhen feathers likely originate from anthropogenic sources.

Conclusion: The findings of this research demonstrate that the common moorhen can be utilized as an indicator for assessing the concentrations of potentially toxic elements. These results emphasize the importance of assessing the environmental impacts of human activities on aquatic resources.

Keywords: Common Moorhen, Potentially Toxic Elements, Zayanderud River

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 ofthis licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Citation: Farahnasab A, Chamani A, Rahimi R. Determination of Potentially Toxic Elements Concentrations in Common Moorhen (*Gallinula Chloropus*) in the Zayanderud River. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2024; 10(2):111-121.

تعیین غلظت عناصر سمی بالقوه در پر چنگر نوک‌سرخ (*Gallinula chloropus*) در رودخانه‌ی زاینده‌رود

امیر فرح نسب
گروه آموزش زیست شناسی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
عاطفه چمنی
گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب،واحد اصفهان(خوراسگان)، دانشگاه آزاداسلامی، اصفهان، ایران.
راضیه رحیمی
* گروه محیط زیست، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.(نویسنده‌مسئول)
azadrahimi58@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: پرندگان، به‌ویژه گونه‌های مقیم، از جمله پایشگرهای ارزشمند آلودگی عناصر بالقوه سمی در محیط‌های آبی محسوب می‌شوند. این موجودات، به‌عنوان نمایندگان بارز برای ارزیابی سلامت محیط‌زیست، اهمیت زیادی دارند. در این مطالعه، غلظت عناصر بالقوه سمی (روی، مس، کادمیوم، سرب، سلنیوم و آرسنیک) در پر چنگر نوک‌سرخ (*Gallinula chloropus*) در رودخانه‌ی زاینده‌رود مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: ۳۰ عدد نمونه در نواحی مختلف در امتداد مسیر مورد مطالعه، زنده‌گیری، نمونه‌برداری و رها سازی گردید. از روش هضم اسیدی جهت آماده‌سازی نمونه‌های پر استفاده شد. قرائت غلظت عناصر در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP-MS انجام گرفت.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میانگین غلظت عناصر روی، مس، کادمیوم، سرب، سلنیوم و آرسنیک به‌ترتیب ۵۹/۰۷، ۱۰/۷۳، ۰/۴۹، ۵/۵۲، ۲/۳۳، ۲/۳۸ و ۲/۶۶ میکروگرم/گرم به‌دست آمدند. با توجه به سطح آستانه‌ی عناصر، وضعیت کادمیوم، سرب، آرسنیک و سلنیوم را می‌توان نامطلوب گزارش کرد. از آن‌جا که منطقه‌ی مورد مطالعه در مسیر خروجی چندین پساب صنعتی و فاضلاب انسانی قرار دارد؛ می‌توان حضور عناصر مورد مطالعه در پر چنگر نوک‌سرخ را به این منابع آلودگی نسبت داد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که چنگر نوک‌سرخ می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای سنجش غلظت عناصر بالقوه سمی مورداستفاده قرار گیرد. این یافته‌ها، تأکیدی بر اهمیت ارزیابی آثار محیط زیستی فعالیت‌های انسانی بر منابع آبی است.

کلیدواژه‌ها: چنگر نوک‌سرخ، رودخانه‌ی زاینده‌رود، عناصر بالقوه سمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰
نوع مقاله: پژوهشی

استناد: فرح‌نسب ا، چمنی ع، رحیمی ر. تعیین غلظت عناصر سمی بالقوه در پر چنگر نوک‌سرخ (*Gallinula chloropus*) در رودخانه‌ی زاینده‌رود. *فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۳؛۱۰(۲): ۱۱۱-۱۲۱.

مقدمه

وجود آلاینده‌ها در محیط زیست نگرانی‌های زیادی را در سراسر جهان ایجاد کرده است. عناصر بالقوه سمی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که به‌دلیل خواصی مانند سمیت، پایداری، تجمع زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی تهدیدی برای انسان و سایر موجودات به‌حساب می‌آیند (۱). عناصر بالقوه سمی به‌طور طبیعی از طریق فرآیندهایی مانند فرسایش بادی خاک، آتش‌سوزی جنگل‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی، فرآیندهای بیوژنیک و انتشار نمک دریایی وارد محیط‌زیست می‌شوند (۲). با این‌حال، فعالیت‌های انسانی نقش به‌سزایی در افزایش قابل‌توجه غلظت عناصر بالقوه سمی در خاک، آب و هوا ایفا می‌کنند. آلودگی محیط زیست توسط یون‌های این عناصر از طریق فرآیندهای مختلفی ازجمله: عملیات استخراج و فرآوری موادمعدنی (۳)، مصرف کودها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها (۴)، آبیاری زمین‌های کشاورزی با پساب تصفیه نشده و فعالیت‌های صنعتی (۲) به محیط زیست آزاد می‌شوند. برخی مطالعات نشان می‌دهند که منابع صنعتی و کشاورزی نامشخص، که به آن‌ها "آلودگی غیرنقطه‌ای" نیز گفته می‌شود، می‌توانند نقش مهمی در ورود عناصر بالقوه سمی مانند کادمیوم، نیکل، سرب، آرسنیک و غیره به محیط‌زیست داشته باشند (۵).

مواجهه‌ی مزمن با این آلاینده‌ها در بدن موجودات زنده می‌تواند اثرهای مختلفی مانند تغییر ژنتیکی، تغییر رفتار و کاهش رشد داشته باشد که در نهایت باعث مرگ‌ومیر موجودات می‌شود (۶). از آن‌جا که موجودات زنده، اطّلاعات دقیق‌تری در مورد فراهمی زیستی و همچنین انتقال زیستی آلاینده‌ها فراهم می‌کنند، برای اندازه‌گیری عناصر بالقوه سمی، مناسب‌ترند (۷) که در این میان، پرندگان در مقایسه با سایر مهره‌داران حساسیت بیشتری نشان می‌دهند؛ زیرا به‌راحتی قابل مشاهده‌اند، محدوده‌ی پراکنش گسترده دارند، به مواد سمی حساس‌اند و رژیم غذایی متنوعی دارند (۸). بنابراین آلودگی پرندگان به عناصر بالقوه سمی، پیش‌بینی‌کننده‌ی آلودگی در طول زنجیره‌ی غذایی است (۹). با توجه به این‌که بیش از ۱۳ درصد از گونه‌های پرندگان موجود در سطح جهان، در معرض خطر انقراض و حدود ۲ درصد در معرض خطر آلودگی، به‌ویژه آلودگی فلزی هستند (۱۰)، از این‌رو نگرانی‌هایی در مورد اثرات آلودگی محیطی بر سلامت و بقای پرندگان وجود دارد. عناصر بالقوه سمی اثرات مضر زیادی بر سلامت پرندگان دارند و باعث کاهش ضخامت پوسته‌ی تخم مرغ، کاهش موفقیت جوجه‌ریزی، اختلال در عملکرد سیستم ایمنی، اختلال در عملکرد سیستم عصبی، اختلال در عملکرد آنزیمی، کاهش وزن، آسیب کبدی، آسیب سلولی و اختلال در پرواز می‌شوند (۱۱). از این‌رو، مطالعات پرندگان (به‌ویژه پرندگانی که در نزدیکی سکونت‌گاه‌های انسانی زندگی می‌کنند) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

توانایی تجمع یونی عناصر بالقوه سمی در بافت‌های مختلف متفاوت است. برای مطالعه‌ی غلظت یون عناصر از بافت‌های مختلفی مانند ماهیچه، کبد، کلیه و پرها استفاده شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که در اندام‌هایی مانند کبد که توانایی سم‌زدایی دارند، تجمع یون عناصر، بیشتر از سایر بافت‌های بدن است (۱۲). با این‌حال، باید توجه داشت که دسترسی به این بافت‌ها در داخل بدن غیرممکن است. بنابراین، استفاده از بافت پر برای چنین مطالعاتی توصیه شده است (۱۳). استفاده از پرها به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی در ارزیابی آلودگی عناصر بالقوه سمی متداول است (۱۴). پرها مزیت‌های دیگری نیز به‌عنوان پایش‌گر دارند. ۱: به‌راحتی تهیه می‌شوند و برای تحقیقات طولانی مدت می‌توان آن‌ها را نگه‌داری کرد؛ ۲: از آن‌جا که نمونه‌های پرندگان کشته نمی‌شوند، در صورت نیاز به نمونه‌های بیشتر، بقای جمعیت آن‌ها تهدید نمی‌شود (۱۵). عناصر بالقوه سمی ذخیره‌شده در دیگر بافت‌های بدن نیز به‌طور تدریجی از طریق خون به پرها منتقل می‌شوند (۱۶). طی دوره‌ی کوتاه رشد پر، یون عناصر بالقوه سمی می‌توانند به‌راحتی به مولکول پروتئین موجود در پر اتصال یابند، پر در این دوره، از طریق رگ‌های کوچک خونی با شاهرگ اصلی بدن در ارتباط است (۱۷). پس از شکل‌گیری کامل پر، رگ‌های خونی موجود در آن از بین رفته و از نظر فیزیولوژیک ارتباط پر با بدنِ پرنده قطع می‌شود، ولی میزان

یون عناصر بالقوه‌ی سمی موجود در آن به‌طور دائمی باقی می‌مانند (۱۸).

غلظت یون عناصر بالقوه سمی، با سن، جنس و وضعیت‌های مختلف بدنی پرندگان تغییر می‌کنند. تفاوت‌های وابسته به متغیرهای سن و جنس برای تعدادی از گونه‌ها گزارش شده است، اما الگوی مشخصی در زمینه‌ی عناصر سنگین و بافت‌ها وجود ندارد که ممکن است به‌دلیل مشکل تعیین سن یا جنس واقعی پرندگان و اندازه‌گیری شاخص‌های وضعیت سلامت و یا ناکافی بودن نمونه‌ها باشد (۱۹). غلظت بافتی عناصر بالقوه سمی، اغلب با سن پرنده (۲۰) افزایش می‌یابد. بنابراین، پرهای پرندگان و جوجه‌های جوان به‌عنوان شاخص‌های آلودگی فلزی نسبت به پرندگان مسن‌تر مناسب‌تر هستند (۲۱). بسیاری از مطالعات هیچ تفاوت معنی‌داری را در میزان یون عناصر پر بین جنس حیوانات نشان نداده‌اند (۲۲). با این‌حال، در برخی از گونه‌های پرندگان، غلظت سرب، در نرها بسیار بیشتر بود (۲۳)، زیرا ماده‌ها می‌توانند سرب را با تخم‌گذاری دفع کنند (۲۴). تحقیق حاضر با هدف سنجش غلظت یون‌های عناصر بالقوه سمی در پر چارخو (چنگر نوک‌سرخ) (*Gallinula chloropus*)، در بخشی از مسیر رودخانه‌ی زاینده‌رود (داخل شهر اصفهان) که تصفیه‌خانه فاضلاب و همچنین پساب تعدادی از کارخانه‌ها را دریافت می‌کند انجام شده است. یافته‌های این پژوهش نه‌تنها به تعیین میزان آلودگی عناصر بالقوه سمی در منطقه‌ی مورد مطالعه کمک می‌کند، بلکه با مقایسه غلظت یون این عناصر با سطح خطر به ارزیابی خطرات ناشی از این آلودگی بر جمعیت پرندگان می‌پردازد.

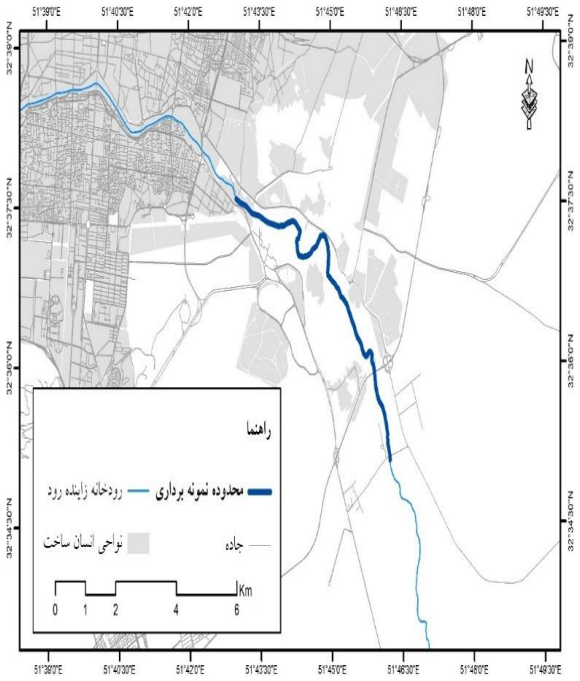
روش‌کار

منطقه موردمطالعه

در این مطالعه، منطقه‌ای از حاشیه‌ی زاینده‌رود، حدفاصل پل تاریخی شهرستان تا پل تاریخی چوم، انتخاب و موردمطالعه و نمونه‌برداری قرار گرفت. کیفیت آب رودخانه در دهه‌ی گذشته به‌دلیل تخلیه‌ی فاضلاب خانگی، رواناب شهری، صنایع و کشاورزی به‌طورجدی رو به زوال است(۲۵). در دو طرف رودخانه، نیزارها و لوئی‌زارهایی به‌طور دائمی، به‌واسطه وجود پساب و فاضلاب، در این منطقه رشد کرده‌اند که شرایط زیستگاهی گونه‌های جانوری بسیار زیادی را در این منطقه فراهم آورده‌اند. ازاین‌رو پس از پایش و بازدیدهای مکرر میدانی و آگاهی از میزان حضور گونه‌ی موردمطالعه و لانه‌های فعال آن در امتداد محدوده‌ی مورد بررسی، زنده‌گیریِ چنگر نوک سرخ، انجام شد.

نحوه‌ی نمونه‌برداری

مسیر مورد مطالعه در امتداد رودخانه‌ی زاینده‌رود بین پل شهرستان (۳۲/۶۲۷ عرض شمالی و ۵۱/۷۱۷ طول شرقی) تا پل تاریخی چوم (۳۲/۵۸۵ عرض شمالی و ۵۱/۷۷۰ طول شرقی) در نظر گرفته شد (**شکل ۱**). تعداد ۳۰ عدد نمونه در نواحی مختلف در امتداد مسیر مورد مطالعه، زنده‌گیری، نمونه‌برداری و رهاسازی گردید. نمونه‌برداری در طول دوره‌ی پرریزی و با استفاده از تورهای چتری و تورهای چهارخانه در فصل بهار سال ۱۴۰۰ انجام شد. پرنده‌ها پس از زنده‌گیری، با ترازو وزن شده، سپس ۰/۵ گرم از پرهای دم و بال پرنده در نمونه‌های بالغ، جداسازی و داخل کیسه‌های کدگذاری شده قرار گرفتند تا برای مرحله‌ی شست‌وشو آماده گردند.



شکل ۱. محدوده‌ی نمونه‌برداری: حد فاصل بین پل شهرستان و پل چوم در شرق شهر اصفهان

آماده‌سازی نمونه

در آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها با آب شهر و سپس نیتریک‌اسید رقیق‌شده (حدودا ۰/۵ درصد) و در نهایت با آب مقطرِ دوبار تقطیر شست‌وشو شدند تا آلودگی‌های خارجی آن‌ها به حداقل برسد. سپس در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه خشک شدند. بعد از خشک‌شدن کامل، با قیچی به ذرات مساوی قطعه قطعه شدند. به نیم گرم از هر نمونه ۷/۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۶۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید اضافه شد و هضم نمونه‌ها در دمای حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد (۹۰ تا ۱۲۰) تا شفاف‌شدن کامل نمونه انجام گرفت. پس از سردشدن، با کاغذ فیلتر ۴۲ میکرون فیلترشده و با بالون ژوژه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند. نمونه‌ها در نهایت به ظروف پلی‌اتیلنی منتقل و تا زمان شروع قرائت، در دمای ۴ درجه سانتیگراد در یخچال نگهداری شدند. قرائت غلظت یون عناصر در نمونه‌های محلول توسط دستگاه *ICP-MS* (مدل ۴۵۰۰-*HP* ساخت آمریکا) انجام گرفت (۲۶).

روش تجزیه‌وتحلیل اطلاعات

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تجزیه-وتحلیل قرار گرفت. نرمال‌بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک[1]بررسی شد. برای بررسی تفاوت میانگین غلظت یون عناصر موردمطالعه با سطح خطر (بیانگر میزانی است که پیش‌بینی‌شده می‌تواند باعث اثرات سوء در پرندگان گردد)، از آزمون تی‌تک نمونه‌ای[2] استفاده گردید.

یافته‌ها

میانگین، انحراف‌معیار، کمترین و بیشترین غلظت روی، مس، کادمیوم، سرب، سلنیوم و آرسنیک در **جدول ۱** آمده است.

جدول ۱. غلظت یون عناصر مورد مطالعه (میکروگرم در گرم وزن خشک)

عنصر	میانگین	انحراف‌معیار	حداقل	حداکثر
آرسنیک	۲/۶۶	۱/۵۵	۲/۰۰	۹/۹۷
کادمیوم	۰/۴۹	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۸۱
مس	۱۰/۷۳	۳/۴۷	۶/۴۹	۱۹/۲۸
سرب	۵/۵۲	۸/۹۱	۰/۶۵	۴۷/۹۲
سلنیوم	۲/۳۸	۴/۰۶	۱/۰۰	۲۱/۲۲
روی	۵۹/۰۷	۱۲/۳۳	۴۳/۴۴	۹۶/۳۴

نتایج حاصل از مقایسه‌ی غلظت یون عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های موردمطالعه با سطح خطر در **جدول ۲** ارائه شده است. تا به‌حال مطالعه‌ی قابل استنادی به‌منظور تعیین استاندارد غلظت یون عناصر در پر پرندگان انجام نپذیرفته است. بنابراین مقادیر مورد استفاده در این مطالعه، جهت مقایسه، از طریق بررسی منابع به‌دست آمده است و بیانگر میزانی است که پیش‌بینی‌شده می‌تواند باعث اثرات زیانبار در پرندگان گردد.

میانگین غلظت کادمیوم، سرب، آرسنیک و سلنیوم در بافت پر چنگر نوک‌سرخ به‌طور معنی‌داری از سطوح گزارش‌شده در مرور منابع علمی بالاتر بود. در حالی‌که عناصر روی و مس در پر چنگر نوک‌سرخ اختلاف معنی‌داری با سطوح گزارش‌شده در منابع علمی نداشت.

جدول ۲. مقایسه‌ی میانگین غلظ یون عناصر بالقوه سمی در چنگر نوک‌سرخ با سطح خطر (میکروگرم بر گرم/ وزن خشک)

عنصر	سطح خطر برای پرندگان دریازی و ساحل‌زی (۲۷)	میانگین یون عنصر در این مطالعه	اختلاف میانگین	value p
روی	<۵۰	۵۹/۰۷	۹/۰۷	۰/۱۱۷
مس	۱۰-۲۰	۱۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۳۵۹
کادمیوم	۰/۳-۶	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۰۲۲
سرب	<۴	۵/۵۲	۱/۵۲	۰/۰۴۱
آرسنیک	<۲	۲/۶۶	۰/۶۶	۰/۰۵
سلنیوم	<۱/۸	۲/۳۸	۰/۵۸	۰/۰۵

[1] Shapiro-Wilk

[2] One-Sample T-test

بحث

استفاده از جمعیت‌های پرندگان به‌عنوان پایش‌کننده‌های زیستی، یک روش موثر در نشان‌دادن کیفیت و سلامت اکوسیستم است. استفاده از اجزای زیستی برای پایش محیط‌زیست اطلاعات دقیقی درباره دسترسی زیستی، انتقال زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی آلاینده‌ها را فراهم می‌کند (۷). در دهه‌های اخیر تجمع یون عناصر در پرندگان بسیار مورد توجه قرار گرفته است، اغلب این مطالعات گونه‌هایی مانند پرندگان شکاری و پرندگان دریایی را به‌عنوان شاخص آلودگی در نظر داشته‌اند، در حالی‌که در مطالعات کمی به اثرات عناصر بر روی گونه‌های کنار آبزی توجه کرده‌اند. امروزه، مطالعاتی برای نشان‌دادن پتانسیل پایش آلودگی عناصر توسط پرندگان آبزی و کنار آبزی مانند آبچلیک‌ها، غازها، مرغابی‌ها و... صورت گرفته است (۲۸).

در این تحقیق، میانگین غلظت یون عناصر بالقوه سمی در پر ۳۰ فرد از گونه‌ی پرنده‌ی چنگر نوک‌سرخ (*Gallinula chloropus*)، در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود مورد مطالعه قرار گرفت. (لازم به ذکر است این گونه در منطقه‌ی مورد مطالعه، مقیم و بومی بوده است).

میانگین غلظت روی، مس، کادمیوم، سرب، سلنیوم و آرسنیک در پرهای چنگر نوک‌سرخ به‌ترتیب ۵۹/۰۷، ۱۰/۷۳، ۰/۴۹، ۵/۵۲، ۲/۳۸ و ۲/۶۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود.

غلظت سرب در پرهای چنگر نوک‌سرخ (۵/۵۲ میکروگرم بر گرم) در مقایسه با مقادیر گزارش‌شده سرب در مطالعه‌ی ذوالفقاری (۲۰۲۳) برای ۹ گونه‌ی پرنده در تالاب بین‌المللی هامون (چرخ‌ریسک بزرگ (۱/۴۴میکروگرم/گرم)، چرخ‌ریسک آبی (۱/۴۷میکروگرم/گرم)، جیرفتی (۱/۴۳میکروگرم/گرم)، جغد کوچک (۲/۷۴ میکروگرم/گرم)، بالابان (۴/۱۰ میکروگرم/گرم)، پرستوی دریایی معمولی (۱/۶۸میکروگرم/گرم)، پرستوی دریایی سیاه (۱/۷۰میکروگرم/گرم)، کاکایی صورتی (۱/۶۵ میکروگرم/گرم) و کاکایی نوک سبز (۱/۶۵ میکروگرم/گرم)) به‌طور قابل توجهی بالاتر بود. این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت‌های منطقه‌ای در نوع رژیم غذایی و یا سایر فاکتورهای مرتبط با زیستگاه این گونه‌ها باشد (۲۹).

همچنین، برخی از محققان تفاوت بین گونه‌ها در غلظت یون عناصر بالقوه سمی را به ویژگی‌های آلاینده، جنس و سن پرندگان مرتبط می‌دانند (۳۰). سطح خطر برای سرب در پر پرندگان ۴ میکروگرم/گرم گزارش شده است (۲۷). لازم به ذکر است که میانگین غلظت سرب در چنگر نوک‌سرخ بیش از حد مذکور است. بنابراین وضعیت سرب نگران‌کننده به‌نظر می‌رسد. سرب عمدتا از فعالیت‌های معدنی، کارخانه‌ها، رنگ‌های مبتنی بر سرب، لوله‌های لوله‌کشی، اگزوز خودروها و ضایعات صنعتی وارد محیط زیست می‌شود. سرب به‌طور مستقیم با تاثیرگذاری بر تولیدمثل، گردش‌خون و سیستم عصبی بر سلامت ارگانیسم‌ها تاثیر می‌گذارد (۲۹).

بر اساس معیارهای برگر و گوچفلد (۲۰۰۰)، سطوح خطر کادمیوم در پر پرندگان بین ۶-۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، به‌عنوان تهدیدی بالقوه برای جمعیت پرندگان تلقی می‌شود (۲۷). برگر (۱۹۹۳) نشان داده است که اثرات مخرب کادمیوم بر پرندگان، از جمله کاهش نرخ رشد، می‌تواند در محدوده‌ی غلظتی بین ۰/۱ تا ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شود (۳۱). با توجه به این‌که میانگین غلظت کادمیوم در پرهای چنگر نوک‌سرخ در این مطالعه (۰/۴۹ میکروگرم/گرم) از این حد مجاز فراتر رفته است، بررسی دقیق‌تر تاثیرات احتمالی این فلز سنگین بر سلامت این گونه ضروری به‌نظر می‌رسد. کادمیوم عمدتا از باتری‌ها، سوخت‌های فسیلی، آب‌کاری، تولید سیمان، تخلیه‌ی صنعتی و فاضلاب خانگی آزاد می‌شود. فعالیت‌های طبیعی مانند طوفان، گردوغبار، فعالیت‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی، هوازدگی سنگ‌ها و فرسایش نیز باعث افزایش میزان کادمیوم می‌شود (۳۲). کادمیوم می‌تواند اثرات زیانبار متعددی بر سیستم تولیدمثل و سلامت کلی پرندگان داشته باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که این فلز سنگین می‌تواند منجر به اختلال در فرآیند تشکیل تخم، نقص در عملکرد مجرای تخمک و آسیب به کلیه در پرندگان شود (۳۳). تاجچمن و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای در لهستان، غلظت کادمیوم را در پرهای قرقاول ۰/۰۳ میکروگرم/گرم گزارش کرده‌اند که کمتر از مقادیر گزارش‌شده در این مطالعه است (۱۳). با توجه به غلظت کادمیوم در پرهای چنگر نوک‌سرخ در رودخانه‌ی زاینده‌رود، احتمالا

این پرنده در معرض اثرات نامطلوب ناشی از این فلز سنگین قرار دارد.

بالاترین میانگین غلظت روی در چنگر نوک‌سرخ ۹۶/۳۴ میکروگرم/گرم و کمترین مقدار آن ۴۳/۴۴ میکروگرم/گرم گزارش شد. در این مطالعه، میانگین غلظت روی (۵۹/۰۷ میکروگرم/کیلوگرم) با سطح تقریبی تاثیرگزاری ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نداشت. بر این اساس می‌توان وضعیت غلظت روی در پرهای چنگر نوک-سرخ را مطلوب و بدون خطر سمیت برای سلامتی آن‌ها ارزیابی کرد.

همچنین میانگین غلظت عنصر مس در پر چنگر نوک‌سرخ (۱۰/۷۳ میکروگرم/گرم) با سطح آستانه‌ی آن (۲۰-۱۰میکروگرم/گرم) تفاوت معنی‌دار آماری نداشت. روی و مس هر دو عناصر ضروری و ترکیبات مهم در آنزیم‌ها، استخوان، ایمنی و تشکیل پر هستند (۳۸). با این‌حال، در غلظت‌های بالا ممکن است اثرات مضری مانند اختلال در عملکرد سیستم تنفسی، تولیدمثلی، کبدی، غدد درون‌ریز و گوارشی داشته باشند و هم‌چنین می‌تواند باعث سرطان شوند (عبدالله و همکاران، ۲۰۱۵). در برخی مطالعات گزارش شده است که غلظت‌های بین ۲۸۰ تا ۱۹۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در کبد باعث مسمومیت و علائم بالینی سمیت روی می‌شود (۳۹). در مطالعه‌ای که کیم و اوه در سال ۲۰۱۴ انجام دادند، غلظت روی در آبچلیک نوک سر بالا، تلیله بزرگ و تلیله گردن‌سرخ ۹۶/۵۰، ۱۱۸/۰۰ و ۸۹/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. هم‌چنین میزان فلز مس در گونه‌های مذکور ۱۱/۷۰، ۱۱/۳۰ و ۹/۲۷ میلی-گرم بر کیلوگرم تعیین شد (۴۰). این درحالی است که پر چنگر نوک‌سرخ، غلظت روی و مس کمتری نسبت به مطالعه‌ی مذکور دارد. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۳ توسط تاچمن و همکاران انجام شد، میانگین غلظت روی در پر قرقاول ۱۱۱/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد که بسیار بیشتر از غلظت روی در این مطالعه است (۱۳).

نتایج آمار توصیفی نشان داد که میانگین غلظت سلنیوم در پر چنگر نوک‌سرخ ۲/۳۸ میکروگرم/گرم است به‌طوری که غلظت سلنیوم این گونه ۱/۳ برابر آستانه نامطلوب سلنیوم در پرندگان است (۱/۸ میکروگرم/گرم). برخی از اثرات غلظت بالای سلنیوم عبارتند از: کاهش قابلیت جوجه‌ریزی، بدشکلی‌های بالقوه در جنین/جوجه (۴۱).

میانگین غلظت آرسنیک در پر چنگر نوک‌سرخ ۲/۶۶ میکروگرم/گرم اندازه‌گیری شد. این مقدار به‌طور قابل توجهی از حد مجاز اثرات مضر آرسنیک در پر پرندگان (۲ میکروگرم بر گرم) فراتر رفته است با وجود اطلاعات محدود در مورد قرارگیری در معرض آرسنیک در پرندگان، بررسی غلظت این عنصر در بافت‌های آن‌ها برای درک خطرات بالقوه آن بر سلامتی این موجودات ضروری است. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که میزان مرگ‌ومیر، مربوط به سرطان مثانه، کلیه، پوست و کبد در بسیاری از مناطق آلوده به آرسنیک به‌طور قابل توجهی بالاتر است (۴۲). مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که آرسنیک می‌تواند اثرات مخربی بر سیستم‌های تولید مثل، ژنتیکی، ایمنی و سلولی پرندگان داشته باشد (۴۳). در مطالعه‌ی یپ و همکاران (۲۰۲۳) میانگین غلظت آرسنیک (۲/۸۵ میکروگرم/گرم) در پر لک-لک سفید مشابه مطالعه‌ی فعلی گزارش شده است (۴۴).

رشد فزاینده شهرنشینی و صنعتی‌شدن، پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی به‌دنبال داشته و منجر به انتشار آلاینده‌های مختلف در محیط‌زیست شده است. یکی از منابع مهم آلودگی در منطقه‌ی موردمطالعه، ورود فاضلاب‌هایی با منشا شهری و صنعتی است که به‌عنوان یکی از منابع اصلی آلایندگی، نقشی اساسی در انتشار عناصر بالقوه سمی در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود ایفا می‌کنند. منطقه‌ی موردمطالعه در مسیر خروجی چندین پساب صنعتی و فاضلاب انسانی قرار دارد. یکی از مهم‌ترین این پساب‌ها، خروجی پساب کارخانه‌ی رنگرزی زهره است. در امتداد مسیر، خروجی‌های مختلف دیگری از جمله فاضلاب انسانیِ باغ جوان (یکی از پارک‌های تفریحی در اصفهان) به این پساب و سایر پساب‌های جاری اضافه می‌شود. با توجه به وجود این منابع آلودگی در اطراف منطقه‌ی نمونه‌برداری، می‌توان حضور یون عناصر موردمطالعه در پر چنگر نوک‌سرخ را به این آلاینده‌ها نسبت داد. به‌منظور ارائه تصویری جامع‌تر از وضعیت آلودگی در منطقه‌ی موردمطالعه، **جدول ۳** جهت مقایسه با سایر نقاط جهان ارائه شده است.

جدول ۳. مقایسه‌ی نتایج حاصل از این پژوهش با سایر مطالعات مرتبط (میکروگرم در گرم وزن خشک)

گونه	منطقه	آرسنیک	سلنیوم	سرب	کادمیوم	مس	روی	منابع
پر چنگر نوک‌سرخ	زاینده‌رود	۲/۶۶	۲/۳۸	۵/۵۲	۰/۴۹	۱/۷۳	۵۹/۰۷	این پژوهش
پر چنگر نوک‌سرخ	اسپانیا	۰/۲۶۷	۲/۰۹	۰/۰۴۱	–	۷/۷۷	۷۰/۹۵	(۴۵)
پر چنگر نوک‌سرخ	عراق	–	–	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۴۵	(۲۶)
پر قرقاول	لهستان	۰/۳	–	۴/۱۳	۰/۰۳	–	۱۱۱/۵۱	(۱۳)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سطوح یونی عناصر بالقوه سمی روی، مس، کادمیوم، سرب، سلنیوم و آرسنیک در پرهای دم ۳۰ فرد از گونه پرنده‌ی چنگر نوک‌سرخ (*Gallinula chloropus*)، در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود اندازه‌گیری شد. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که سرب و کادمیوم به‌عنوان اصلی‌ترین عناصر آلوده‌کننده پرهای چنگر نوک‌سرخ شناسایی شده‌اند. غلظت این دو عنصر به‌طور قابل توجهی بالاتر از حد مجاز سطح خطر بوده و می‌تواند اثرات سویی بر سلامت این گونه پرنده داشته باشد. عناصر روی و مس نیز در غلظت‌های مطلوب و بدون خطر سمیت برای سلامتی اندازه‌گیری شده‌اند، اما غلظت آن‌ها در محدوده‌ی تاثیرگذاری بوده و به‌عنوان عوامل بالقوه‌ی تهدیدکننده‌ی سلامت پرندگان محسوب می‌شوند. علاوه بر این، غلظت سلنیوم و آرسنیک در پرهای چنگر نوک‌سرخ نیز بالاتر از آستانه‌ی مجاز بوده و حاکی از وجود مخاطرات زیست‌محیطی در این منطقه برای پرندگان است. از آن‌جا که سطح غلظت عناصر آلاینده در برخی نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز است، کنترل و مدیریت آلودگی‌های صنعتی و شهری در منطقه مورد مطالعه ضروری به‌نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی: این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه‌ی مقطع کارشناسی‌ارشد در گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است. بدین‌وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع: 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 تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

حمایت مالی: تمامی هزینه‌های انجام شده در این مطالعه، از محل منابع شخصی تأمین شده است.

ملاحظات اخلاقی: 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 تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

References

1. Malvandi H, Shamabadi MH. Use of Feathers from Birds that Collided with Vehicles to Monitor Heavy Metal Contamination in Western Khorasan Razavi, Iran. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2022;109(3):495-501. https://doi.org/10.1007/s00128-022-03541-3 PMid:35739314

2. Zaynab M, Al-Yahyai R, Ameen A, Sharif Y, Ali L, Fatima M, et al. Health and environmental effects of heavy metals. Journal of King Saud University-Science. 2022;34(1):101653. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653

3. Aradhi KK, Dasari BM, Banothu D, Manavalan S. Spatial distribution, sources and health risk assessment of heavy metals in topsoil around oil and natural gas drilling sites, Andhra Pradesh, India. Scientific Reports. 2023;13(1):10614. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36580-9 PMid:37391457 PMCid:PMC10313719

4. Ding J, Wang S, Yang W, Zhang H, Yu F, Zhang Y. Tissue distribution and association of

heavy metal accumulation in a free-living resident passerine bird tree sparrow Passer montanus. Environmental Pollution. 2023;316:120547. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120547 PMid:36343853

5. Fan Y, Chen X, Chen Z, Zhou X, Lu X, Liu J. Pollution characteristics and source analysis of heavy metals in surface sediments of Luoyuan Bay, Fujian. Environmental Research. 2022;203:111911. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111911 PMid:34419467

6. Draszawka-Bołzan B. Effect of heavy metals on living organisms. World Scientific News. 2014(3):26-34.

7. Swaileh K, Sansur R. Monitoring urban heavy metal pollution using the House Sparrow (Passer domesticus). Journal of Environmental Monitoring. 2006;8(1):209-13. https://doi.org/10.1039/B510635D PMid:16395481

8. Einoder L, MacLeod C, Coughanowr C. Metal and isotope analysis of bird feathers in a contaminated estuary reveals bioaccumulation, biomagnification, and potential toxic effects. Archives of environmental contamination and toxicology. 2018;75:96-110. https://doi.org/10.1007/s00244-018-0532-z PMid:29730716

9. Bahonar Z, solgi E. Iron, Lead, Zinc, Copper, and Magnesium levels in the Feather of House Sparrow (Passer domesticus): Noninvasive Sampling Method. Journal of Animal Environment, 2020; 12(4): 199-208. (persian)

10. Ding J, Yang W, Wang S, Zhang H, Yang Y, Bao X, Zhang Y. Effects of environmental metal pollution on reproduction of a free-living resident songbird, the tree sparrow (Passer montanus). Science of the total environment. 2020;721:137674. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137674 PMid:32163734

11. Heddle C. Lethal and non-lethal effects of exposure to methylmercury in the Zebra Finch (Taeniopygia guttata) during development. 2018.

12. Mansouri B, Majnoni F. Comparison of the metal concentrations in organs of two bird species from western of Iran. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 2014;92:433-9. https://doi.org/10.1007/s00128-014-1238-1 PMid:24584267

13. Tajchman K, Drabik K, Ukalska-Jaruga A, Janiszewski P, Spustek D, Wengerska K. The screening method for use of wild pheasant feathers in the monitoring of environmental pollution with heavy metals. Scientific Reports. 2023;13(1):6540. https://doi.org/10.1038/s41598-023-33649-3 PMid:37085690 PMCid:PMC10121565

14. Thyen S, Becker P, Behmann H. Organochlorine and mercury contamination of little terns (Sterna albifrons) breeding at the western Baltic Sea, 1978-96. Environmental Pollution. 2000;108(2):225-38. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00183-9 PMid:15092953

15. Ghahraman Poori M, Kooshafar A. The effect of age group, sex, and body condition indices on the concentration of heavy metals (Pb, Cd) in Mallard's feather. Journal of Natural Environment, 2021; 74(2): 358-371. (persian)

16. Jaspers VL, Covaci A, Herzke D, Eulaers I, Eens M. Bird feathers as a biomonitor for environmental pollutants: prospects and pitfalls. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2019;118:223-6. https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.019

17. Bounagua M, Bellaouchou A, Benabbou A, El Abidi A, Ben-aakam R, Fekhaoui M. Using blood's Passer domesticus as a possible bio-indicator of urban heavy metals pollution in Rabat-Salé (Morocco). Journal of Materials and Environmental Science. 2014;5(3):937-44.

18. Jenni L, Madry MM, Kraemer T, Kupper J, Naegeli H, Jenny H, Jenny D. The frequency distribution of lead concentration in feathers, blood, bone, kidney and liver of golden eagles Aquila chrysaetos: insights into the modes of uptake. Journal of Ornithology. 2015;156:1095-103. https://doi.org/10.1007/s10336-015-1220-7

19. Burger J, Gochfeld M. Heavy metals in Franklin's gull tissues: Age and tissue differences. Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal. 1999;18(4):673-8. https://doi.org/10.1897/1551-

5028(1999)018<0673:HMIFSG>2.3.CO;2
https://doi.org/10.1002/etc.5620180413
20. Naccari C, Cristani M, Cimino F, Arcoraci T, Trombetta D. Common buzzards (Buteo buteo) bio-indicators of heavy metals pollution in Sicily (Italy). Environment International. 2009;35(3):594-8.
https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.11.002
PMid:19167074
21. Blevin P, Carravieri A, Jaeger A, Chastel O, Bustamante P, Cherel Y. Wide range of mercury contamination in chicks of Southern Ocean seabirds. PLoS One. 2013;8(1):e54508.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054508
PMid:23349912 PMCid:PMC3547921
22. Sanpera C, Valladares S, Moreno R, Ruiz X, Jover L. Assessing the effects of the Prestige oil spill on the European shag (Phalacrocorax aristotelis): trace elements and stable isotopes. Science of the total environment. 2008;407(1):242-9.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.052
PMid:18804260
23. Gochfeld M, Belant JL, Shukla T, Benson T, Burger J. Heavy metals in laughing gulls: gender, age and tissue differences. Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal. 1996;15(12):2275-83.
https://doi.org/10.1002/etc.5620151223
24. Lewis S, Becker P, Furness R. Mercury levels in eggs, tissues, and feathers of herring gulls Larus argentatus from the German Wadden Sea Coast. Environmental Pollution. 1993;80(3):293-9.
https://doi.org/10.1016/0269-7491(93)90051-O PMid:15091850
25. Karimian S, Chamani A, Shams M. Evaluation of heavy metal pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. Environmental monitoring and assessment. 2020;192:1-13.
https://doi.org/10.1007/s10661-020-8183-8
PMid:32342228
26. JALEEL SAA. ASSESSMENT OF HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN MIGRATORY BIRD TISSUE (GALLINULA CHLOROPUS) IN SOUTHERN IRAQ. Poll Res. 2020;39(4):1266-72.
27. Burger J, Gochfeld M. Metals in albatross feathers from Midway Atoll: influence of species, age, and nest location. Environmental research. 2000;82(3):207-21.
https://doi.org/10.1006/enrs.1999.4015
PMid:10702328
28. Burger J, Elbin S. Metal levels in eggs of waterbirds in the New York Harbor (USA): Trophic relationships and possible risk to human consumers. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2015;78(2):78-91.
https://doi.org/10.1080/15287394.2014.941965 PMid:25424617 PMCid:PMC4696385
29. Zolfaghari G, Fathinia B. The First Field-Laboratory Probing on the Distribution of Metals (Loids) in Fifteen Raptorial Bird Species of Iran at a National Scale.
30. Vizuete J, Pérez-López M, Míguez-Santiyán MP, Hernández-Moreno D. Mercury (Hg), lead (Pb), cadmium (Cd), selenium (Se), and arsenic (As) in liver, kidney, and feathers of gulls: a review. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 247. 2019:85-146.
https://doi.org/10.1007/398_2018_16
PMid:30413976
31. Spahn S, Sherry T. Cadmium and lead exposure associated with reduced growth rates, poorer fledging success of little blue heron chicks (Egretta caerulea) in south Louisiana wetlands. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 1999;37:377-84. https://doi.org/10.1007/s002449900528
PMid:10473795
32. Zolfaghari G. The first ecological contamination study of avian mercury and lead in southeast Iran, Hamun International Wetlands. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(42):96575-90.
https://doi.org/10.1007/s11356-023-29219-9
PMid:37578583
33. Malik RN, Zeb N. Assessment of environmental contamination using feathers of Bubulcus ibis L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. Ecotoxicology. 2009;18:522-36.
https://doi.org/10.1007/s10646-009-0310-9
PMid:19418220
34. Prasad S, Yadav KK, Kumar S, Gupta N, Cabral-Pinto MM, Rezania S, et al. Chromium

contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. Journal of Environmental Management. 2021;285:112174. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174 PMid:33607566
35. Mahey S, Kumar R, Sharma M, Kumar V, Bhardwaj R. A critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies. SN Applied Sciences. 2020;2(7):1279. https://doi.org/10.1007/s42452-020-3020-9
36. Grúz A, Déri J, Szemerédy G, Szabó K, Kormos É, Bartha A, et al. Monitoring of heavy metal burden in wild birds at eastern/north-eastern part of Hungary. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25:6378-86. https://doi.org/10.1007/s11356-017-1004-0 PMid:29249025
37. Kertész V, Fáncsi T. Adverse effects of (surface water pollutants) Cd, Cr and Pb on the embryogenesis of the mallard. Aquatic Toxicology. 2003;65(4):425-33. https://doi.org/10.1016/S0166-445X(03)00155-3 PMid:14568356
38. Picone M, Corami F, Gaetan C, Basso M, Battiston A, Panzarin L, Ghirardini AV. Accumulation of trace elements in feathers of the Kentish plover Charadrius alexandrinus. Ecotoxicology and environmental safety. 2019;179:62-70. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.051 PMid:31026751
39. Zarrintab M, Mirzaei R. Tissue distribution and oral exposure risk assessment of heavy metals in an urban bird: magpie from Central Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25:17118-27. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1642-x PMid:29644612
40. Kim J, Oh J-M. Effect of the environmental quality and food chain on trace element concentrations in heron and egret chicks at Pyeongtaek Colony, Korea. Ecotoxicology. 2014;23:1305-13. https://doi.org/10.1007/s10646-014-1273-z PMid:25103117
41. Eisler R. chemical Risk Assessment. Handbook of Health Hazards to Humans, Plants, and Animals. 2000;2. https://doi.org/10.1201/9781420032741
42. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology. 2012:133-64. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6 PMid:22945569 PMCid:PMC4144270
43. Mudhoo A, Sharma SK, Garg VK, Tseng C-H. Arsenic: an overview of applications, health, and environmental concerns and removal processes. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2011;41(5):435-519. https://doi.org/10.1080/10643380902945771
44. Yipel M, Tekeli İO, İşler CT, Altuğ ME. Tissue distribution and correlations of heavy metals in wild birds from Southern Turkey: an ecologically important region on the west Palearctic migration route. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(26):68889-99. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27292-8 PMid:37131004
45. López-Perea JJ, Laguna C, Jiménez-Moreno M, Martín-Doimeadios RCR, Feliu J, Mateo R. Metals and metalloids in blood and feathers of common moorhens (Gallinula chloropus) from wetlands that receive treated wastewater. Science of the total environment. 2019;646:84-92. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.265 PMid:30048871