Summer (2024) 13(49): 53-68
DOI: 10. 30473/eab. 2024. 72070. 1964
Received: 14 Aug 2024 Accepted: 11 Oct 2024

Experimental Animal Biology Open Access

ORIGINAL ARTICLE

Investigating the status of toxic metals in soil and fish in the coasts of the Persian Gulf from a biological and legal point of view (case study: Bushehr)

Habibe Zare[1], Batool Gorgin[2], Fatemeh Azizzadeh[3*]

[1]Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.
[2]Department of Jurisprudence and Fundamentals of Law, Payame Noor University, Tehran, Iran.
[3]Department of Law, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Correspondence
Fatemeh Azizzadeh
Email: fatazizzadeh21@pnu. ac. ir

How to cite
Zare, H., Gorgin, B., & Azizzadeh, F. (2024). Investigating the status of toxic metals in soil and fish in the coasts of the Persian Gulf from a biological and legal point of view (case study: Bushehr). *Experimental Animal Biology*, *13*(49), 53-68.

ABSTRACT

This study examines the status of toxic metals in the soil and fish of the Persian Gulf coast, focusing on Bushehr region. The main goal of this research is to identify and evaluate the concentration of heavy metals such as lead, cadmium, mercury and arsenic in soil samples and fish caught from this area. Using the standard methods of sampling and chemical analysis, the method recommended by the Environmental Protection Agency (EPA 3050B) was used as a common acid digestion method, and the necessary data were collected and analyzed. According to the values obtained from five stations on the shores of the Persian Gulf, the concentration of heavy metals, manganese, zinc, chromium and nickel is more than other metals. Also, by examining the average rate of heavy metals in the fish of three Persian Gulf stations, the concentrations of aluminum, zinc, lead, nickel, and copper are the highest. The results showed the presence of high concentrations of some toxic metals in soil and fish, which can be caused by industrial activities, agriculture and oil pollution. These findings raise concerns about ecosystem health and food safety in Bushehr region and emphasize the necessity of management and monitoring measures to reduce pollution and protect natural resources. In general, heavy metals are toxic to the body at very low levels. Aluminum, lead, cadmium, and nickel have a higher degree of toxicity, therefore, the increase of these metals in the tissue of fishes is associated with many risks. The main mechanism of heavy metal toxicity includes the production of free radicals to cause oxidative stress, damage to biological molecules such as enzymes, proteins, lipids, nucleic acids and DNA damage.

KEYWORDS

Pollution, soil, fish, Persian Gulf, Bushehr.

© 2023, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4. 0 license (https: //creativecommons. org/licenses/by-nc/4. 0/).

سال سیزدهم، شماره اول، پیاپی چهل و نهم، تابستان ۱۴۰۳ (۵۳-۶۸)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰

DOI: 10. 30473/eab. 2024. 72070. 1964

نشریه علمی

زیست‌شناسی جانوری تجربی

«مقاله پژوهشی»

بررسی وضعیت فلزات سمی خاک و ماهی‌ها در سواحل خلیج‌فارس از منظر زیستی و حقوقی (مطالعه موردی: بوشهر)

حبیبه زارع[۱]، بتول گرگین[۲]، فاطمه عزیززاده[۳]*

[۱]گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
[۲]گروه فقه و مبانی حقوق، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
[۳]گروه حقوق، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

نویسنده مسئول:
فاطمه عزیززاده
رایانامه: fatazizzadeh21@pnu. ac. ir

چکیده

این مطالعه به بررسی وضعیت فلزات سمی در خاک و ماهی‌های سواحل خلیج‌فارس، با تمرکز بر منطقه بوشهر می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش شناسایی و ارزیابی غلظت فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک در نمونه‌های خاک و ماهی‌های صیدشده از این منطقه است. با استفاده از روش‌های استاندارد نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی، داده‌های لازم جمع‌آوری و تحلیل شدند. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از پنج ایستگاه در خاک‌های سواحل خلیج‌فارس غلظت فلزات سنگین، فلزات منگنز، روی، کروم و نیکل بیش از سایر فلزات به چشم می‌خورد. همچنین با بررسی میانگین نرخ فلزات سنگین در ماهی‌های سه ایستگاه خلیج‌فارس، غلظت فلزات آلومینیوم، روی، سرب، نیکل و مس بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج نشان‌دهنده وجود غلظت‌های بالای برخی فلزات سمی در خاک و ماهی‌ها بود که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و آلودگی‌های نفتی باشد. این یافته‌ها نگرانی‌هایی را در مورد سلامت اکوسیستم و ایمنی غذایی در منطقه بوشهر به وجود می‌آورد و ضرورت اقدامات مدیریتی و نظارتی برای کاهش آلودگی و حفاظت از منابع طبیعی را تأکید می‌کند. به‌طور کلی، فلزات سنگین در سطح بسیار کم برای بدن سمی هستند. آلومینیوم، سرب و کادمیوم و نیکل دارای درجه سمیت بالاتری هستند، لذا، افزایش این فلزات در بافت ماهیان به بیش‌تر از حد مجاز با مخاطرات زیادی همراه است. مکانیسم اصلی سمیت فلزات سنگین شامل تولید رادیکال‌های آزاد برای ایجاد استرس اکسیداتیو، آسیب به مولکول‌های بیولوژیکی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و آسیب DNA می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آلودگی، خاک، ماهی، خلیج‌فارس، بوشهر.

استناد به این مقاله:

زارع، حبیبه؛ گرگین، بتول و عزیززاده، فاطمه (۱۴۰۳). بررسی وضعیت فلزات سمی خاک و ماهی‌ها در سواحل خلیج‌فارس از منظر زیستی و حقوقی (مطالعه موردی: بوشهر). فصلنامه زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۱۳(۴۹)، ۵۳-۶۸.

مقدمه

دریک تعریف ساده، می‌توان گفت محیط زیست عبارت است از هر آنچه که پیرامون ما را احاطه نموده است. محیط زیست چه به‌صورت طبیعی و چه به‌صورت انسان‌ساخت، در کیفیت زندگی بشر نقش بسیار قابل‌توجهی دارد و اهمیت حفاظت از آن بر هیچ‌کس پوشیده نیست، لذا جهت ادامه حیات و ارتقای سطح زندگی بشر، ناگزیر به حفاظت از آن می‌باشیم. همچنین با توجه به این که بحث حفاظت از محیط زیست به مسئله حیات انسان‌ها و سایر موجودات زنده باز می‌گردد و توجهات به این مطلب که تخریب و نابود کردن محیط زیست می‌تواند آثار بدی بر سلامتی جسمی و روانی انسان و سایر موجودات زنده داشته باشد، مسئله حفاظت از محیط زیست و در نتیجه آن، حقوق کیفری محیط زیست اهمیت خود را آشکار می‌سازد (Nowrozi & Sohrab big, 2016). یک قسم از آلودگی‌ها، آلودگی خاک و آب‌های ساحلی با فلزات سمی است که یکی از مسائل محیط زیستی جدی در جهان است. این آلودگی می‌تواند تأثیرات منفی بر روی اکوسیستم‌های دریایی و سلامت انسان‌ها داشته باشد. خلیج‌فارس نیز از این آلودگی‌ها مصون نیست. این خلیج، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق استراتژیکی واقتصادی جهان شناخته شده است؛که علاوه بر دارابودن بزرگ‌ترین مخازن نفت و گاز دنیا، نقش چشم‌گیری در شیلات، حمل ونقل، ارتباط با آب‌های آزاد و نیز ایجاد توازن در محیط زیست را دارد و از نظر راهبردی در منطقه خاورمیانه به‌عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مرکز ارتباطی بین سه قاره محسوب می‌گردد. بررسی ها نشان می‌دهد که در اثر آلودگی خلیج‌فارس، محیط زیست جانداران به خطر افتاده، جذب آلودگی‌ها از طریق پوسته جانداران، رنگ پوسته آنان را تغییر داده و این تغییرات را ناشی از وجود مواد آلاینده دانسته‌اند (Dehshanghnari & Lak, 2012).

در این راستا، شهر بوشهر به‌عنوان یکی از شهرهای ساحلی خلیج‌فارس، تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری قرار دارد. در زیر به برخی از جنبه های این موضوع پرداخته می‌شود.

منابع آلودگی

فعالیت‌های صنعتی: صنایع نفت و گاز، پتروشیمی و سایر صنایع در سواحل خلیج‌فارس می‌توانند به انتشار فلزات سنگین مانند سرب، جیوه، کادمیوم و آرسنیک به خاک و آب منجر شوند (Asare *et al*., 2018).

کشاورزی: استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی می‌تواند به آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی منجر شود.

پسماندها: دفن زباله های صنعتی و خانگی در سواحل و نشت مواد سمی به خاک و آب می‌تواند به آلودگی منجر شود.

تأثیر بر روی خاک

آلودگی خاک با فلزات سنگین می تواند به کاهش کیفیت خاک و توانایی آن در حمایت از گیاهان و اکوسیستم های محلی منجر شود. این آلودگی می تواند به تجمع فلزات سمی در گیاهان و در نتیجه در زنجیره غذایی تأثیر بگذارد (Mondal *et al*., 2018).

آلودگی خاک توسط فلزات سنگین مهم ترین نگرانی در سراسر جهان صنعتی است. آلودگی فلزات سنگین نه تنها منجر به اثرات نامطلوب بر پارامترهای مختلف مربوط به کیفیت و عملکرد گیاه می‌شود، بلکه باعث تغییر در اندازه، ترکیب و فعالیت جامعه میکروبی می شود. از این‌رو، فلزات سنگین به عنوان یکی از منابع اصلی آلودگی خاک محسوب می شوند. آلودگی فلزات سنگین خاک توسط فلزات مختلف به‌ویژه مس، نیکل، کادمیوم، روی، کروم و سرب ایجاد می‌شود (Hinojosa *et al*., 2004). اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر خواص بیولوژیکی و بیوشیمیایی خاک به‌خوبی مستند شده است. خواص خاک یعنی مواد آلی، محتویات رس و pH تأثیرات عمده ای بر میزان تأثیر فلزات بر خواص بیولوژیکی و بیوشیمیایی دارد. فلزات سنگین به طور غیرمستقیم بر فعالیت های آنزیمی خاک با تغییر جامعه میکروبی که آنزیم ها را سنتز می‌کنند، تأثیر می‌گذارند (Shun-hong *et al*., 2009). فلزات سنگین با تأثیر بر فرایندهای میکروبی کلیدی و کاهش تعداد و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، اثرات سمی بر روی بیوتای خاک از خود نشان می‌دهند. برعکس، اثرات بلندمدت فلزات سنگین می‌تواند تحمل جامعه باکتریایی و همچنین تحمل قارچ هایی مانند قارچ های آربوسکولار میکوریزا (AM) را افزایش دهد که می تواند نقش مهمی در بازسازی اکوسیستم های آلوده ایفا کند (Chen *et al*., 2010). Chen *et al*. (2020) پیشنهاد کردند که فلزات سنگین باعث کاهش غنای گونه‌های باکتریایی و افزایش نسبی اکتینومیست‌های خاک یا حتی کاهش در زیست‌توده و تنوع جوامع باکتریایی در خاک‌های آلوده می‌شوند. Karaca *et al*. (2010) گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌ها به

روش های مختلف توسط فلزات مختلف به دلیل تمایلات شیمیایی متفاوت آنزیم‌ها در سیستم خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرند. سی‌دی به دلیل تحرک بیش‌تر و میل ترکیبی کم‌تر برای کلوئیدهای خاک نسبت به سرب برای آنزیم ها سمی‌تر است. مس بیش‌تر از فعالیت سلولز فعالیت ب گلوکوزیداز را مهار می‌کند. سرب فعالیت اوره آز، کاتالاز، اینورتاز و اسید فسفاتاز را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. فسفاتاز و سولفاتاز توسط As (V) مهار می شوند، اما اوره‌آز تحت تأثیر قرار نگرفت. آلودگی کادمیوم اثر منفی بر فعالیت پروتئاز، اوره آز، آلکالین فسفاتاز و آریل سولفاتاز دارد اما تأثیر معنی‌داری بر فعالیت اینورتاز ندارد. هر آنزیم خاک حساسیت متفاوتی به فلزات سنگین از خود نشان می‌دهد. ترتیب مهار فعالیت اوره آز به طور کلی با توجه به دنباله کروم > سی دی > روی > منگنز > سرب کاهش یافت. تنوع و فعالیت میکروب‌های خاک نقش مهمی در بازیافت عناصر غذایی گیاه، حفظ ساختار خاک، سم‌زدایی از مواد شیمیایی مضر و کنترل آفات گیاهی و جوامع رشد گیاهی از شاخص های مهم کیفیت خاک است. بررسی عملکرد میکروارگانیسم‌های خاک در اکوسیستم هایی که در معرض آلودگی طولانی مدت توسط فلزات سنگین هستند، مهم است (Wang *et al*., 2007). کروم معمولاً در خاک‌ها به‌صورت کروم (III) و کروم (VI) وجود دارد که با خواص شیمیایی و سمیت مشخص می شوند. کروم (VI) یک عامل اکسیدکننده قوی و بسیار سمی است، درحالی‌که کروم (III) یک ریزمغذی و یک گونه غیر خطرناک است که ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کم‌تر از کروم (VI) سمی است (Wang *et al*., 2007). گزارش شده است که کروم (VI) باعث تغییر در ترکیب جمعیت های میکروبی خاک می شود و اثرات مضری بر متابولیسم سلول های میکروبی در غلظت‌های بالا ایجاد می‌کند (Shun-hong *et al*., 2009).

اشرف و علی (Ashraf, Ali, 2007) همچنین گزارش کردند که فلزات سنگین اثرات سمی بر میکروارگانیسم خاک دارند و از این رو منجر به تغییر تنوع، اندازه جمعیت و فعالیت کلی جوامع میکروبی خاک می‌شود و مشاهده کردند که فلز سنگین (کروم، روی و کادمیوم) آلودگی در تمام موارد متابولیسم میکروب‌های خاک را تحت تأثیر قرار داد. به‌طور کلی، افزایش غلظت فلزات بر خصوصیات میکروبی خاک تأثیر منفی می گذارد. میزان تنفس، فعالیت آنزیمی که به نظر می‌رسد شاخص‌های بسیار مفیدی برای آلودگی خاک باشد. در مورد خاک آلوده به سرب (Pb) تغییر جزئی در مشخصات میکروبی خاک مشاهده شد.

تأثیر بر روی ماهی‌ها

برخی از موجودات آبزی می توانند فلزات سنگین را تا مقدار مشخصی ذخیره کنند. اگرچه این فلزات سنگین مضر و سمی نیستند، اما می‌توانند از طریق زنجیره غذایی به انسان برسند و بر سلامت انسان تأثیر بگذارند. همچنین فلزات سنگین انباشته‌شده در آب از مراحل مختلف به زنجیره غذایی می‌پیوندند و ایمنی اکوسیستم، ماهی‌ها و سلامت انسان را تهدید می‌کنند (Sönmez *et al*., 2016). ماهی‌ها در بالای زنجیره غذایی آبزیان قرار دارند و می‌توانند فلزات از قبل موجود را در بافت‌ها و اندام‌های مختلف انباشته کنند (Mansour and Sidki 2002; Sonems *et al*. , 2012). موجودات آبزی مانند ماهی و ماهی صدف، فلزات را با غلظتی چند برابر بیش تر از آنچه در آب یا رسوب وجود دارد، انباشته می‌کنند (Al-Weher, 2008). فلزات انباشته‌شده در بافت ماهی تا غلظت سمی براساس شرایط محیطی خاصی مانند زنجیره غذایی، رقابت شکار، شیمی آب (شوری، pH، سختی آب) و هیدرودینامیک در آب است, علاوه بر این، تعامل بین فلزات نیز ممکن است بر تجمع تأثیر بگذارد (Ghosh *et al*., 2018). مطالعات انجام‌شده بر روی ماهی نشان داد که تمام فلزات سنگین، با وجود این‌که برخی از آن‌ها برای زندگی ضروری هستند، از طریق تداخل متابولیک و جهش‌زایی، اثرات نامطلوبی بر موجودات زنده دارند. این اثرات نامطلوب عبارتند از کاهش تناسب اندام، تداخل در تولید مثل که منجر به سرطان و در نهایت مرگ می‌شود. علاوه بر تولید مثل، شرایط کم اکسیژن، جوراب ساقه بلند و گرسنگی بیش از حد، اثرات فلزات سنگین نیز باعث ایجاد استرس در ماهی می‌شود (Ghosh *et al*., 2018). عوامل استرس از جمله آلودگی با تغییر عملکردهای متابولیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر رشد، نمو و تولید مثل تأثیر منفی می‌گذارند (Karadede *et al*., 2017). اثرات نامطلوب بر عملکردهای فیزیولوژیکی و پارامترهای بیوشیمیایی هم در خون و هم در بافت ماهیانی که در آب‌های آلوده به فلز زندگی می کنند، مشاهده شده است. گزارش شده است که ماهی هایی که در معرض فلزات قرار می گیرند، نقص سیستم ایمنی را نشان می دهند و بنابراین در برابر بیماری های مسری آسیب پذیر می‌شوند و خطر مرگ‌ومیر بیش‌تری دارند. با وجود این‌که اثرات سرطان زایی فلزات سنگین به خوبی شناخته نشده است، مطالعات متعدد نشان می دهد که ممکن است اثرات ژنوتوکسیک وجود داشته باشد فلزات سنگین با القای سمیت سایر عوامل شیمیایی به طور مستقیم یا غیرمستقیم سمیت ژنتیکی را افزایش می دهند.

قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین باعث کاهش ترشح استروژن و آندروژن و همچنین ایجاد تغییرات پاتولوژیک در ماهی می شود (Çiftçi *et al*., 2017).

ازآنجاکه افزایش آلودگی خاک، به‌تازگی به‌عنوان یک مسئله مهم جهانی در نتیجه افزایش صنعتی‌شدن، شهرنشینی و مدیریت ناکافی زباله مطرح شده است. در شهر بوشهر، آلودگی خاک به فلزات سنگین منجر به کاهش قابل‌توجه امید به زندگی و کیفیت آن شده است. بنابراین هدف این مطالعه ارزیابی میزان آلودگی به فلزات سنگین در نمونه‌های خاک است. فلزات سنگین فلزاتی با وزن مخصوص بالاتر از ۵ گرم در سانتی‌متر[3] هستند. رایج‌ترین فلزات سنگین محیطی عبارتند از مس (Cu)، نیکل (Ni)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg)، آهن (Fe) و آرسنیک (As). برخی از فلزات سنگین مانند آهن و نیکل برای بقای همه اشکال حیات در غلظت‌های پایین ضروری هستند. با این حال، فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم و جیوه نه‌تنها در غلظت‌های بالا بلکه در غلظت‌های پایین برای موجودات زنده سمی هستند. آن‌ها عوامل ناهنجاری متابولیک موجودات زنده به‌ویژه مصرف کنندگان مواد غذایی از گیاهان و سایر محصولات رشد یافته از خاک آلوده هستند. به‌طور کلی، فلزات سنگین به‌طور طبیعی اجزای پوسته زمین با تفاوت های زیادی در غلظت هستند. (Karadede, 2017).

با این‌حال، آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی به حضور زیاد فلزات سنگین در اکوسیستم کمک کرده است. نگرانی از آلودگی محیطی ناشی از فلزات سنگین بیش‌تر از منابع مختلفی مانند ذرات معلق در هوا شهری–صنعتی، زباله‌های جامد و مایع، فعالیت‌های معدنی، صنایع و مواد شیمیایی کشاورزی ناشی می‌شود. غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف محل‌های زباله تحت تأثیر عواملی از جمله انواع زباله‌ها، توپوگرافی، رواناب و سطح زباله است (Mondal *et al*., 2018).

فلزات سنگین آلاینده‌های رایج مانند آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، مس (Cu)، روی (Zn)، نیکل (Ni). در محیط خاک هستند. این نوع آلودگی از نظر بیولوژیکی سمی است، به‌طور گسترده توزیع می‌شود و برای مدت طولانی در محیط خاک باقی می‌ماند. با توسعه سریع اقتصاد و جامعه، انواع خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، محیط زیست و سلامت عمومی آسیب می‌رساند. در سال ۲۰۰۹، انتشار جهانی فلزات سنگین سی دی به ۷۷,۷۴۳ تن رسید. در طول ۵۰ سال گذشته، حدود ۳۰۰۰۰ تن کروم و ۸۰۰۰۰۰ تن سرب در سراسر جهان در محیط زیست منتشر شده است. بیش‌تر این فلزات سنگین قبلاً در خاک انباشته شده‌اند. با این‌حال، مواجهه مزمن با فلزات سنگین عواقب مضری مانند سرطان ریه، شکستگی استخوان برای انسان دارد. در این شرایط، تکنیک‌های اصلاح خاک آلوده و ارزیابی آلودگی به‌طور گسترده‌ای در داخل و در سطح جهانی موردتوجه قرار گرفته است (Mir Mohammad *et al*., 2022).

پیشینه تحقیق

رئوف و همکاران (۲۰۱۹)، به‌مدت یک سال غلظت کروم و کادمیوم را از رودخانه راوی سیفان تا سر بالوکی در سه گونه ماهی آب شیرین (*Cirrhinus mrigala*، *Labeo rohita* و *Catla catla*) شناسایی کرد. غلظت Cd و Cr نسبت به سایر گونه‌های ماهی در *C. catla* بهبود یافت. سطوح بالاتری از کادمیوم و کروم در کبد و آبشش پایین همه ماهی‌های نمونه ثبت شد. ماهی‌های سر بالوکی نسبت به مناطق دیگر به شدت آلوده بودند.

علی و خان (۲۰۱۸) یک مطالعه آزمایشی با هدف بررسی همگرایی فلزات قابل‌توجه در سیلت، آب و ماهی‌های آب شیرین متمایز در رودخانه کابل، پاکستان انجام دادند. همگرایی نرمال چهار فلز مهم به‌ترتیب دنبال شد؛ Ni > Pb > Cr > Cd. الگوهای در حال گسترش در همگرایی غلظت‌های ویرانگر فلزات، به‌ویژه در سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) در پایین دست، ممکن است به‌دلیل آلودگی انسانی در سراسر جریان طبیعی شود. به‌دلیل آلوده‌شدن آب رودخانه از پساب‌های مکانیکی، فاضلاب خانگی و سرریز کشاورزی در این پایانه‌ها، می‌توان به اهداف فلزی بیش‌تر در دو منطقه مرکزی یعنی نوشهره و سردریاب نیاز داشت. پساب‌های فرآوری نشده و آلوده همه شرکت‌های پیشاور به رودخانه باره رها شد که به کابل می‌ریزد.

علی و خان (۲۰۱۸b) یک کار آزمایشی را برای ارزیابی همگرایی مس (مس) و روی (روی) در محل Channagachua، رودخانه سوات، رودخانه مالاکند، رودخانه باراندو و در گل و لای، آب و گوشت هدایت کردند. ماهی آب شیرین مقصد انتخاب شده از دو رودخانه برای فلزات توسط اسپکتروفتومتر بلع هسته ای موردبررسی قرار گرفت. میانگین غلظت روی (روی) و مس (مس) در ماهیچه‌های ماهی در مناطق مختلف سوات ۰/۵۷–۲/۳۸ و ۱/۲۸–۳/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، به‌طور جداگانه، پس از تثبیت‌های مربوطه برای رودخانه باراندو ۰/۶۷–۱/۷۰ و ۳/۲۷–۵/۱۸ بود. میلی گرم کیلوگرم–۱ وزن مرطوب. این دو فلز تجمع زیستی کم‌تری را در ماهیچه‌های ماهی نشان دادند زیرا این فاکتور کم‌تر

از ۱ است. ارزیابی خطر احتمالی نشان داد کـه ایـن فلـزات هـیچ گونه خطر سم شناسی را نشان نمی‌دهند.

علمدار و همکاران (۲۰۱۷) چناب را مطالعه کرد که از منطقـه پنجاب می گذرد و جریان قابل توجهی است که مزارع باغـداری را اشباع می کند. سطوح فلزات زیستی انباشته شده در مـاهی چنـاب به‌ترتیـب Zn>Cu>Mn>Co>As> Ni>Pb بـا غلظـت نرمـال ۴۵>۴/۹۹>۳/۱<۱/۴۳<۱/۱۲<۰/۳۴<۰/۳۱ میلـی‌گـرم بـر کیلوگرم بود.

یوسف زی و همکاران (۲۰۱۷) تجمع زیستی بسیار زیاد فلزات را در *L. rohita* و *Cyprinus carpio* از سـرداریاب، یکـی از شاخه‌های رودخانه کابـل بررسـی و مقایسـه کـرد. طیـف‌سـنجی احتباس هسته‌ای برای اندام‌های مختلف، شمارش آبشش‌ها، کبـد و ماهیچه‌ها استفاده شد. فلزات موردتوجـه روی، کـروم، سـرب و مس بودند. سطوح پایین‌تر فلـز در ماهیچـه‌هـای هـر دو گونـه و بالاتر در کبد تعیین شد. کروم و آهن فلزات عمیقی در آبشش‌ها و کبد هر دو گونه بودند. غلظت ۰/۰۱۱ ± ۰/۱۵۴، ۰/۰۰۷۹±۰/۱۹۹ و ۰/۰۰۸ ± ۰/۰۲۴ میکروگرم بر گرم کروم در آبشـش‌هـا، کبـد و عضلات *C. carpio* به‌طور جداگانه یافت شد. اساساً آبشـش‌هـا، کبد و عضلات *L. rohita* حاوی ۰/۰۰۸±۰/۱۳۳، ۰/۰۱±۰/۱۶۵ و ۰/۰۰۶±۰/۰۱۹ میکروگرم بر گرم کروم بودند. بالاترین میـزان آهن در ماهی کپور به میزان ۰/۰۱±۰/۰۸۶ میکروگرم در گرم در آبشش و ۰/۰۶۷±۰/۰۱۱ میکروگرم در گرم در ماهیچه‌ها مشاهده شد. با توجه به وجود فلزات در حد مجاز توصیه‌شـده روزانـه (RDA) ایالات متحده، هیچ خطر فوری در استفاده برای انسـان یافـت نشـد. اطلاعات نشان داد که فیدر پایین همه چیزخـوار *C. carpio* فلـزات بالاتری نسبت به *L. rohita* ارائه می‌دهد.

اقبـال و همکـاران (۲۰۱۷) رودخانـه سـند را کـه از هیمالیـا، قراقروم تا دریای عرب کشیده شده و دشت‌های پنجاب، KPK و سند را آبیاری می‌کند، پـژوهش کـرد. در ماهیـان رودخانـه سـند، ترتیـب تجمـع زیسـتی Fe>Zn>Ni>Cu>Pb>Cr بـا غلظـت ۱۰۸/۵>۴۳/۹>۵/۷>۴/۸>۱/۵>۰/۶ میلی‌گرم بر کیلـوگرم بـود. آن‌ها انباشت فلـز را در دو مـاهی آب شـیرین جمـع‌آوری‌شـده از ایندوس استریم، پاکستان مطالعـه کـرد. بـرای تجزیـه و تحلیـل نمونه‌ها از طیف‌سنجی جذب هسـته‌ای اسـتفاده شـد. قابـل‌توجـه ترین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده دارای مواد فلزی بالا در زمستان و کم‌ترین آن در تابستان بود. در داخل بـدن *L. rohita*، محـدوده فلزات سنگین زیـر حـد Fe>Zn>Ni>Cu>Pb>Cr>As بـود و بافت‌هایی که بیش‌ترین مقدار را کبد>آبشش>پوسـت>عضـلات داشـتند. تجمـع زیسـتی در میـان گونـه‌هـا متمـایز بـود. آهـن قابل‌توجه‌ترین بود و As کوچک‌ترین فلز سنگین انباشـته‌شـده در این گونه ماهی بود. غلظت نیکل، کروم، روی، مس و آهن در *W. attu* به‌ترتیب (۸۳ درصد)، (۵۰ درصد)، (۲۶ درصد)، (۶۴ درصد)، (۲/۹۵ درصد) در مقایسه بـا L. روهیتـا سـرب (۶۷ درصـد) و As (۲۲ درصـد) در بافـت‌هـای *L. rohita* در مقایسـه بـا *W. attu* بیش‌تر بود. به‌طور کلی، ۱۰ درصد تجمع فلز بیش‌تـر در *W. attu* در مقایسه با *L. rohita* یافت شد.

سراج و همکاران (۲۰۱۶) فلزات سـنگین را در کبـد، آبشـش، پوست و بافت ماهیچه‌ای ماهی آب شیرین *W. attu* که از کابل، پاکستان گرفته شده بود، بررسی کرد. فلزات توسط اسپکتروفتومتر جذب اتمی مورد ارزیابی قـرار گرفتنـد. غلظـت روی بـین ۴۸۵ و ۹۲۱ میکروگرم در ۱ متغیر بود، در حالی کـه نیکـل (۹۹/۳–۴۴۶/۰)، کـروم (۹۱/۳–۵۳۹/۳)، مـس (۵۲/۰–۶۳۵/۳)، سـرب (۶۰/۳–۸۲/۷)، Fe (۹۱/۰–۱۲۲/۰)، و جیـوه (۷۴/۰–۱۰۳/۰) µgg-1 در بافت‌های مختلف *W. attu*. سطوح بـالاتر در پوسـت بـه‌ترتیـب مانند آبشش‌ها، ماهیچه‌ها و کبد دنبـال مـی‌شـود. مقـدار روی در تمام بافت‌ها بیش‌تر و غلظت جیوه کم‌ترین مقدار بود. اندام هدف کلیدی برای تجمع فلز، پوست بود که نشان می‌دهد ورود فلـز بـه بدن ماهی به‌دلیل قرارگرفتن مستقیم در معرض فلزات بوده است.

اثر فاضلاب حاوی فلزات خطرنـاک در رودخانـه راوی توسـط Jabeen *et al.* (2012) موردمطالعـه قـرار گرفـت. سـمیت نمونه‌های آب حاوی بسیاری از فلزات سـنگین (کـروم، روی، بـا، اس، نیکـل و آل) از سـد شـاهدارا، هـد بـالوکی و سـیدنای نمونه‌برداری شد. غلظت این فلـزات سـنگین بـا تغییـرات فصـلی قابل‌توجه است. فراوانی روی و آلومینیـوم در تمـامی محـل‌هـای نمونه‌برداری بالا بود. علاوه بر این، تجمع فلزات سنگین در کلیـه در مقایسه با کبد نسبت به سایر گونه‌ها زیاد بود.

در مطالعه دیگری نعـیم و همکـاران (۲۰۱۱) غلظـت فلـزات سنگین نمونه‌برداری‌شده از رودخانه غـازی، گـات، اینـدوس را در بافت عضـلانی *Oreochromis niloticus* نشـان داد. ترتیبـات بعـدی Zn>Cu>Mg>Mn نشـان داد کـه روی دارای بـالاترین غلظت فلزات سنگین و منگنز کم‌ترین مقدار بود. سی‌دی به‌عنوان تنها فلز سنگین یافت نشد. حدود قابل تحمل بـرای تمـام فلـزات سنگین یافت شد.

یوسف زی و همکاران (۲۰۱۰) غلظت سرب، روی، کـروم، نیکل و مس را در دو مـاهی همـه چیزخـوار و گوشـتخوار آب شیرین، *Wallago attu* و *Labeo dyocheilus* در رودخانه

کابل، که از نزدیک از نوشهره نمونه‌برداری شده بودند، ارزیابی کردند. *L. dyocheilus*، ۶۵ درصد بیش‌تر از *W. attu* فلزات سنگین را جمع می کند. فلز به یک ترتیب در هر دو گونه ماهی انباشته شده است (Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>Cd). تجمع فلز در پوست *W. attu* و کبد Labeo زیاد بود.

یوسف زی و همکاران (۲۰۰۹) آلودگی فلزات سنگین ماهی قزل آلای آب شیرین را مطالعه کرد. میدان پژوهش شامل بخش رودخانه کابل بود که اکنون زباله ها را در خود جای داده بود و کانال کثیف کلپانی (دارای فاضلاب شهرهای مردان، ریسالپور و برخی شهرهای دیگر). یون‌های فلزی شدید (Cr^{3+}، Zn^{2+}، Cu^{2+}، Ni^{2+} و Pb^{2+}) در بافت‌های کبد ماهی‌های نمونه‌گیری‌شده موردبررسی قرار گرفت. روی>مس>سرب>نیکل>کروم غلظت فلزات سنگین را در کبد ماهی نشان داد.

سیاست تقنینی

قانون داخلی

مهم‌ترین قوانین داخلی در خصوص آلودگی دریاها به‌وسیله نفتکش‌ها، یکی قانون حفاظت از دریاها و رودخانه‌های مرزی ازآلودگی با مواد نفتی مصوب ۱۳۵۴/۱۱/۱۴ می‌باشد و دیگری قانونی تحت عنوان قانون حمایت از دریاها و رودخانه‌ها ی قابل کشتیرانی در مقابل آلودگی به مواد نفتی مصوب ۲۷/ ۵/ ۱۳۸۹ با اصلاحات و الحاقات بعدی است. در ذیل مواد مربوط به آلوده‌کردن دریاها توسط نفتکش‌ها در هر دو قانون موردبررسی قرار خواهد گرفت

قانون حفاظت از دریاها و رودخانه‌های مرزی ازآلودگی با مواد نفتی مصوب ۱٤/ ۱۱/ ۱۳٥٤

در ماده ۱ قانون مذکور آلودگی این گونه تعریف شده است: «آلوده‌کردن اعم است از تخلیه یا نشست نفت یا هر گونه مخلوط نفتی در آب‌های مشمول این قانون. و در ادامه همین ماده نفتکش نیز به «هر گونه کشتی که قسمت اعظم مخازن بارگیری آن به‌منظور حمل و نقل مایعات ساخته شده از نفت و در قسمت مزبور بالفعل باردیگری جز نفت نباشد؛ تعریف شده است».

این قانون که شامل ۱۹ ماده می‌باشد در ماده ۲ از ممنوعیت آلوده‌کردن دریاها و رودخانه‌ها به‌همراه ضمانت اجرای آن سخن به‌عمل آمده است. این ماده مقرر می‌دارد: «آلوده‌کردن رودخانه‌های مرزی و آب‌های داخلی و دریای سرزمینی ایران به نفت یا هر نوع مخلوط نفتی خواه توسط کشتی‌ها و خواه توسط سکوهای حفاری یا جزایر مصنوعی (اعم از ثابت و شناور) و خواه توسط لوله‌ها و تأسیسات و مخازن نفتی واقع در خشکی یا دریا ممنوع است و مرتکب به حبس جنحه‌ای از شش ماه تا دو سال یا پرداخت جزای نقدی از یک میلیون تا ۱۰ میلیون ریال یا به هر دو مجازات محکوم می‌گردد، درصورتی‌که آلودگی به‌واسطه بی‌مبالاتی یا بی‌احتیاطی واقع شود؛ مجازات مرتکب حداقل جزای نقدی مذکور است. نیروی دریایی شاهنشاهی یا ژاندارمری کشور برحسب مورد به‌منظور جلب و دستگیری مرتکب و تنظیم صورتمجلس تشخیص میزان آلودگی در صورتی‌که وسیله آلوده‌کننده نفتکش باشد آن را متوقف و در مورد سایر منابع آلوده‌کننده از ادامه عملیات آن‌ها جلوگیری به‌عمل خواهد آورد».

علاوه بر ضمانت اجرای کیفری فوق، در ماده ۱۳ قانون مذکور ضمانت اجرای حقوقی در قالب جبران خسارت بدین شکل مقرر شده است: «در صورتی‌که تخلف از مقررات این قانون موجب توجه هرگونه خسارتی به بندرها و دریا بارها (پلاژها) یا سایر تأسیسات ساحلی ایران بشود و یا خسارتی به آبزیان و منابع طبیعی وارد آورد دادگاه مسئولین را بپرداخت خسارات وارده نیز محکوم خواهد نمود».

قانون حمایت از دریاها و رودخانه‌های قابل کشتیرانی در مقابل آلودگی به مواد نفتی مصوب ۱۳۸۹/۵/۲۷ با اصلاحات و الحاقات بعدی

در بخش الف ماده یک این قانون نیز آلودگی تعریف شده است که این تعریف نزدیک به تعریف آلودگی در ماده ۱ قانون حفاظت از دریاها و رودخانه‌های مرزی ازآلودگی با مواد نفتی مصوب ۱۳۵۴/۱۱/۱۴ می‌باشد با این تفاوت که در این ماده از آلوده‌کنندگان یعنی کشتی‌ها و نفتکش‌ها به‌طور مشخص نام برده شده است. چنانچه در بندب همین ماده از کشتی‌ها و نفتکش‌ها اعم از سالم، صدمه دیده، غرق شده و یا در حال غرق و یا در حال ساخت، تعمیر، اوراق و قطعه‌قطعه‌شدن در مراکز ساخت و یا تعمیر در سواحل و یا در آب‌های موضوع این قانون، به‌عنوان منابع آلوده‌کننده یاد شده است.

در این قانون نیز آلوده‌کردن دریا ممنوع و همراه باضمانت اجرای کیفری است. ماده ۹ مقرر می‌دارد: «آلوده‌کردن آب‌های موضوع این قانون به مواد نفتی ممنوع است و مرتکب یا مرتکبان در صورت آلوده‌کردن عمدی به حبس از شش ماه تا دو سال یا

جزای نقدی از بیست میلیون (۲۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال تا پنج میلیارد (۵/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال و یا هر دو مجازات و در صورت آلوده‌کردن غیرعمدی به جزای نقدی از ده میلیون (۱۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال تا یک میلیارد (۱/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال محکوم می‌شوند».

علاوه بر این در این قانون به مسئولان نفتکش نیز بدین شرح مجازات در نظرگرفته شده است: « ـ مسؤولان نفتکش، کشتی، شناور و تأسیسات نفتی مکلفند در صورت بروز آلودگی به هر دلیل، مراتب را در اسرع وقت به مقامات نزدیک‌ترین بندر ایران و مقامات محلی سازمان‌های حفاظت محیط زیست و شیلات ایران اطلاع دهند. متخلفان از این امر حسب مورد علاوه بر مجازات‌های اداری و سایر مجازات‌های مقرر در این قانون به جزای نقدی از بیست میلیون (۲۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال تا پنج میلیارد (۵/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰) ریال محکوم می‌شوند (ماده ۱۴).

با توجه به ماده ۱۷: «مالکان، بهره‌برداران و مسؤولان ایجاد آلودگی موضوع این قانون، برای جبران کلیه خسارات ناشی از آلودگی و کلیه هزینه‌های محدود کردن آثار آلودگی و رفع آن و پایش زیست‌محیطی از جمله هزینه مواد و تجهیزات به‌کار گرفته شده و کارمزد خدمات ارائه‌شده توسط عوامل انسانی، مسؤولیت تضامنی دارند». همانگونه که مشاهده می‌شود برای جبران خسارت، مسئولیت بر مبنای تضامن است که این خود می‌تواند به سود زیان‌دیدگان باشد و راحت تر از آن‌ها جبران خسارت شود.

منابع بین‌المللی

هرچند محیط زیست دریایی یک ضرورت طبیعی و کهن است، لیکن مبارزه علیه آلودگی آن به تازگی شروع شده است. دلیل این امر پیشرفت روز افزون صنعت و استفاده از محصولات شیمیایی، توسعه استخراج مواد کانی دریاها، استفاده از نفتکش‌ها و لوله‌های نفتی و سرانجام، انجام آزمایش‌های هسته‌ای در سال‌های اخیر می‌باشد که نه‌تنها محیط دریاهای آزاد را ناسالم ساخته، بلکه زیست کشورهای کناره آن‌ها را نیز دچار مخاطره نموده است. امروزه کشورهای صنعتی و پیشرفته جهان، دیگر نمی‌توانند به استناد اصل صلاحیت کشور صاحب پرچم کشتی در دریای آزاد، محیط زیست دریایی را آلوده ساخته و خود را از قید تعهدات و تکالیف حقوقی بین‌المللی برهانند. به‌ویژه کشورهای ساحلی چنین دریایی حق دارند اقدامات قانونی به‌منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های آزاد همجوار خود معمول دارند (Ziai Bigdeli, 1998).

در زمینه مبارزه و جلوگیری از آلودگی محیط زیست دریایی معاهدات بین‌المللی چندی منعقد شده است که از جمله می‌توان از معاهده ۱۹۵۴ لندن در زمینه جلوگیری از آلودگی دریا و مواد نفتی را نام برد. در سال‌های ۱۹۶۲، ۱۹۶۹ و ۱۹۷۱ در این معاهده تجدیدنظر شد. اما چون کلیه مسائل مربوط به آلودگی دریاها در آن پیش‌بینی نشده بود، معاهده ۱۹۷۳ لندن در زمینه جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی‌ها منعقد شد.

عهدنامه ۱۹۵۸ژنو در زمینه دریای آزاد، دو ماده را به موضوع اختصاص داده است. طبق ماده ۲۴ آن، «کلیه کشورها باید در مورد جلوگیری از آلودگی آب دریا بر اثر مواد نفتی که از کشتی‌ها با لوله‌های نفتی خارج می‌شود و یا در نتیجه بهره‌برداری و با اکتشاف منابع واقع در کف و زیر کف دریا صورت می‌گیرد، با توجه به عهدنامه موجود مقرراتی وضع نمایند». به‌دنبال آن ماده ۲۵ به کشورها هشدار می‌دهد که جهت حمایت از آلوده‌نشدن دریاها بر اثر ریختن فضولات رادیو اکتیو اقدامات و همکاری‌های لازم را انجام دهند.

عهدنامه ۱۹۸۲ نیویورک در زمینه دریاها، برای اولین بار تکلیف عمومی برای حفاظت و حمایت از محیط زیست دریایی (ماده ۱۹۲ عهدنامه مذکور) در برابر کلیه منابع آلودگی (مواد ۲۰۷ تا ۲۱۳) تعیین کرد و تلاش خود را روی تعریف حقوق و تعهدات مربوط به صلاحیت قانونگذاری و اجرای آن‌ها به‌وسیله کشور ساحلی، کشورصاحب پرچم و کشور صاحب بند متمرکز نمود.

محیط زیست در قرآن و روایات

در منابع فقهی توجه به طبیعت از اهمیت بسیاری برخوردار است. قرآن، طبیعت را آیت الهی و مظهر قدرت خداوند می‌داند (سوره فضلت آیه ۵۳، سوره سجده آیه ۷ و سوره انعام آیه ۱). در آیات گوناگون به انسان هشدار داده می‌شود که از فساد در محیط زیست دوری نماید. تعابیر "لا تعتدوا" در سوره مائده آیه ۸۷ و "لاتفسدوا فی الارض بعد اصلاح ها" در سوره اعراف آیه۵۶ و نیز "لاتسرفوا" در سوره اعراف آیه ۳۱، بیانگر حد و مرز انسان در بهره‌گیری از طبیعت است (هاشمی علی‌آبادی، ۱۳۹۸، ۹۹). در روایات نیز بر اهمیت طبیعت تأکید شده است. برای مثال، امام صادق (ع) محیط زیست سالم را در گرو هوای پاک، آب سالم و زمین حاصلخیز برشمرده است و نیز از ایشان نقل است که تأکید خاصی بر جلوگیری از آلودگی آب توسط انسان دارد (Eftekhar jahromi & Rezaei, 2015). در اسلام، علت هرگونه ویرانی محیط زیست؛ ریشه در نگرش‌های منفعت‌طلبانهٔ بشر دارد. دوری

از اخلاق و معارف الهی از دلایل اصلی این تخریب‌هاست. انسان، برای ارضای امیال مادی و کسب آسایش خود، بی‌رحمانه به جان طبیعت می‌افتد و همواره فراموش می‌کند که بهره‌گیری از دارایی‌های طبیعی به بیان قرآن هم محدود است (**وَ إِنْ مِنْ شَیٍ إِلّا عِنْدَنا خَزائِنُهُ وَ ما نُنَزِّلُهُ إِلّا بِقَدَرٍ مَعلُومٍ**) و خزائن همه چیز تنها نزد ماست، اما ما جزء به اندازهٔ معیّن آن را نازل نمی‌کنیم (سوره حجر آیه ۲۱). و هم برای مدت معینی در اختیار انسان است: (**وَ اَللّهُ جَعَلَ لَکم مِنْ بُیُوتِکُم سَکَناً وَ جَعَلَ لَکُم مِنْ جُلُودِ اَلْأَنْعامِ بُیُوتاً تسخِفُّونَها یَومَ ظعنِکُم وَ یَو مَ إِقامَتِکُم وَ مِنْ أصوافِها وَ أو بارِها وَ أَشْعارِها أثاثاً وَ مَتاعاًإِلی حِینٍ**)"و خدا برای شما از خانه‌هایتان محل سکونت و آرامش قرار داد و از پوست چهارپایان نیز برای شما خانه‌هایی قرار داد که روز کوچ‌کردن و روز اقامت‌تان به آسانی می‌توانید آن‌ها را جابه‌جا کنید و از پشم و کرک و موی آن‌ها برای شما اثاث و متاع و وسایل مختلف زندگی تا زمان معیّنی قرار داد" (سوره نحل آیه ۸۰). قرآن، برای طبیعت ارزش ذاتی متصور است و می گوید تمام موجودات بر تسبیح خود آگاهند: (**أَلَم تَرَ أَنّ اَللّهَ یُسَبِّحُ لَهُ مَنْ فِی اَلسَّماواتِ وَ اَلْأَر ضِ وَ اَلطَّیرُ صَافّاتٍ کُلٌّ قَد عَلِمَ صَلاتَهُ وَ تسبِیحَهُ وَ اَللّهُ عَلِیمٌ بِما یَفْعَلُونَ**). آیا ندیدی تمام آنان که در آسمان‌ها و زمین‌اند برای خدا تسبیح می‌کنند و همچنین پرندگان به هنگامی‌که بر فراز آسمان بال گسترده‌اند؟ هریک از آن‌ها نماز و تسبیح خود را می‌داند و خداوند به آنچه انجام می‌دهند داناست" (سوره نور، آیه ۴۱).

بررسی سلامت محیط زیست سواحل خلیج‌فارس

جهت بررسی سلامت محیط زیست سواحل خلیج‌فارس ابتدا به آزمون سنجش فلزات در خاک، آب و ماهی‌ها پرداخته شد.

فلزات خاک

خاک‌ها می‌توانند به‌دلیل غلظت بالای متالوئیدها و فلزات کمیاب از طریق انتشار گازهای گلخانه ای از بخش صنعتی به سرعت در حال گسترش، دفع ضایعات فلزی بالا، آفت‌کش‌ها، بقایای احتراق زغال سنگ، باطله معادن، بنزین سرب آلوده شوند. اصطلاح فلز کمیاب به هر ماده شیمیایی فلزی اطلاق می شود که چگالی نسبتاً بالایی داشته باشد و حتی در غلظت کم سمی و سمی باشد. فلزات کمیاب شامل عناصری مانند آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، بریلیم (Be)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، سرب (Pb)، جیوه (Hg) هستند. نیکل (Ni)، تالیم (Tl) و روی (Zn). آلودگی فلزات از طریق مصرف مستقیم مواد غذایی آلوده، تماس فیزیکی با خاک آلوده، از طریق زنجیره غذایی (خاک–گیاه–انسان یا خاک–گیاه–حیوان–انسان)، نوشیدن آب آلوده، کاهش کیفیت غذا، اکوسیستم و سلامت انسان را مختل می کند کاهش زمین مناسب برای کشاورزی و متعاقب آن ناامنی غذایی. سمیت کادمیوم باعث آسیب جدی به کبد و استخوان می‌شود و می‌تواند جذب کلسیم را در بدن کاهش دهد (Mir Mohammad *et al*., 2022).

گیاهانی که در معرض تنش فلزات سنگین و سمی قرار می‌گیرند، تغییرات قابل‌توجهی در انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری نشان می‌دهند.

امروزه یکی از مسائل مطرح در زمینه کشاورزی، موضوع آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی به فلزات سنگین می‌باشد. کادمیم یکی از آلوده‌کننده‌های قوی محیط زیست است که از طریق فعالیت‌های معدن، فاضلاب‌های صنعتی، کودهای فسفاته و آلودگی هوا وارد خاک می‌شود. جذب کادمیم از طریق گیاه اولین مرحله در آلودگی زنجیره غذایی می‌باشد. در این پژوهش میزان فلزات سنگین در پنج ایستگاه در سواحل خلیج‌فارس نمونه‌برداری و سنجش گردید او جنبه‌های بیوشیمیایی موردبررسی و مطالعه قرار گرفت (Arvind *et al*., 2024).

این آلاینده‌ها پس از ورود به محیط آبی به‌تدریج در بستر آب به‌صورت‌های مختلفی همچون فازمعدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه‌ریز و یا بقایای آلی تجمع می‌یابند. رسوبات ایستگاه‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی از فلزات می‌باشند که غلظت فلزات تجمع‌یافته در رسوب را می‌توان به ساختار شیمیایی رسوب، ریز و درشت‌بودن ذرات رسوبی، نرخ رسوب‌گذاری فلز از آب به رسوب، مواد آلی، میزان عناصر موجود در آب، شرایط فیزیکی– شیمیایی فلزات، همچنین خصوصیات آب نظیر قلیاییت، میزان اکسیژن محلول، درجه حرارت و اسیدیته، نوع فلز و قابلیت در دسترس‌بودن زیستی آن نسبت داد. با توجه به فاکتورهای مؤثر بر دستیابی زیستی فلزات، بیش‌ترین غلظت فلزات در رسوبات شهرستان بوشهر مشاهده شد. فلزات سنگین و سمیت آن‌ها الگوی فعالیت‌های صنعتی امروزی به آلودگی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه آلودگی بافلزات سنگین منجر می‌شود. آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین با حفر معادن و فعالیت‌های صنعتی در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن بیستم میلادی آغاز شد. با گسترش روزافزون صنایع، افزایش آلودگی فلزات سنگین و مسأله مقاومت

موجودات زنده به این سمیت موضوعی است که به‌طور وسیع در ۳۰ سال اخیر موردتوجه قرار گرفته است (Akila *et al*., 2022).

این آلودگی‌ها از منابع روبه افزایش فعالیت‌های انسانی هم چون پساب‌های صنعتی، فاضلاب‌های شهری، فعالیت‌های کشتی‌سازی، باقیمانده سموم کشاورزی، زباله‌های شهری، عملیات حفر معدن و کودهای شیمیایی وارد آب‌های جاری و خاک‌ها شده و اثرات سمی خود را بر گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌های خاک اعمال می‌نمایند

پنجاه و دو عنصر از ۹۰ عنصر موجود در طبیعت فلزات سنگین هستند. در میان این فلزات نقره (Ag)، آرسنیک (As)، جیوه (Hg)، کادمیم (Cd)، سرب (pb) و آنتیموان (sb) هیچ عملکرد شناخته‌شده‌ای به‌عنوان عنصر غذایی در گیاهان نداشته و کم و بیش دارای اثر سمیت در گیاهان هستند (Giri *et al*., 2024).

دانش میان‌کنش گیاهان و فلزات سنگین نه‌تنها برای حفظ محیط زیست دارای اهمیت است بلکه برای کاهش خطرات ناشی از حضور فلزات سنگین در زنجیرهٔ غذایی نیز مهم است. هر ساله بیش از یک‌سوم افراد کشورهای توسعه‌یافته به بیماری‌های ناشی از مواد غذایی گرفتار می‌شوند و میزان مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های منتج از آلاینده‌های مواد غذایی، در کشورهای در حال توسعه، سالانه ۲/۲ میلیون نفر گزارش شده است (Thomas *et al*., 2024).

فلزات سنگین از طریق تغذیه انسان از گیاهان وارد بدن وی می‌شود. سمیت فلزات سنگین در بدن انسان شامل صدمه به سیستم عصبی، کبد، کلیه‌ها، عروق قلب و بافت استخوان، سرطانزایی و جهش می‌شود که در این میان سمیت کادمیم به‌طور گسترده‌ای مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته است. در مورد کادمیم تخمین زده شده است که چنان‌چه غلظت آن در کلیه از ۲۰۰ میکروگرم در گرم تجاوز کند اثرات بحرانی در بدن ایجاد خواهد شد.

انتقال کادمیم در خون به‌وسیله گلبول‌های قرمز و پروتئین‌های با وزن مولکولی زیاد همچون آلبومین صورت می‌گیرد. جذب کادمیم به‌وسیله کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی مانند روی (Zn^{+2}) و منیزیم (Mg^{+2}) کاهش می‌یابد و در اثر کمبود آهن جذب آن افزایش می‌یابد (Giri *et al*., 2024).

کادمیم و سمیت آن در گیاهان عالی

کادمیم یک عنصر غیرضروری برای گیاه است که می‌تواند رشد و تکوین گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. این ماده در طبیعت به‌صورت فلز آزاد نیست و اغلب به‌صورت یک ماده معدنی در ترکیب با عناصر دیگر همچون اکسیژن (*Cadmium oxide*)، کلر (*Cadmium chloride*) و گوگرد (*Cadmium sulfide*) است.

در گزارشی دیگر بیان شد که کادمیوم به‌طور عمده به‌صورت یون فلزی آزاد در محلول خاک وجود دارد فرم قابل‌جذب کادمیوم توسط گیاه کاملاً مشخص نشده است، اما به‌نظر می‌رسد که ریشه به‌طور عمده یون فلزی آزاد Cd^{+2} را از محلول خاک جذب می‌کند. عوامل متعددی درجذب کادمیوم توسط گیاه تأثیر دارند، که از آن جمله می‌توان به غلظت کادمیوم خاک و میزان در دسترس‌بودن آن، تغییر شکل در حضور مواد آلی دیگر، ترشحات ریشه، وجود مایکوریزا، pH خاک، مواد آلی موجود در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پتانسیل احیاکنندگی، دما و غلظت فلزات دیگر اشاره نمود. خاکی که دارای غلظت کادمیم ۰/۳۲ الی ۱ میلی‌مولار در محلول خاک باشد به‌عنوان یک خاک آلوده متوسط تا بسیار سمی شناخته می‌شود (Chunming *et al*., 2022).

این ماده از طریق استخراج معادن فلزی، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، سوزاندن ذغال سنگ، زباله‌های خانگی، کارخانه‌های سیمان، دود اگزوزها، ساییدگی لاستیک‌های چرخ اتومبیل و نشت روغن‌های صنعتی در خاک‌های حاشیه جاده‌ها و ایستگاه‌های تولید برق وارد اکوسیستم می‌شود.

کادمیم به‌عنوان یک آلوده‌کننده بسیار قوی شناخته شده است که این مسأله به‌دلیل سمیت شدید آن در غلظت کم و حلالیت بالای آن در آب است. کادمیم جذب عناصر غذایی توسط گیاه را تغییر می‌دهد. این تغییر می‌تواند از طریق رقابت با عناصر پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca)، منگنز (Mn)، مس (Cu)، روی (Zn) و نیکل (Ni) باشد. تأثیر کادمیم بر جذب عناصر ذکرشده یا به‌دلیل ورود کادمیم از طریق ناقلین غشایی این عناصر باشد یا به علت تأثیر منفی کادمیم بر جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک و تغییر در تحرک عناصر خاک می‌باشد (Giri *et al*., 2024).

کادمیم دارای اثرات منفی بر متابولیسم گیاه هم چون کاهش جذب عناصر غذایی، ممانعت از فتوسنتز از راه تأثیر بر متابولیسم کلروفیل و ساختار کلروپلاست‌ها، فعالیت فتوسیستم II و آنزیم‌های متابولیسم کربن فتوسنتزی و تغییر در متابولیسم نیتروژن می‌باشد. این عنصر باعث تغییر در ساختمان چربی‌ها و عملکرد غشاها شده و فعالیت آنزیمی وابسته به غشاها مثل H^+ATPase را تحت تأثیر قرار می‌دهد ونیز موجب بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش مقدار آب گیاه در طولانی مدت می‌شود. کادمیم موجب رشد کم‌تر و زیست‌توده کم‌تر گیاه می‌شود. صدمه به هسته و تغییر در سنتز RNA از اثرات سوء سمیت کادمیم است.

سمیت کادمیم موجب تنش اکسیداتیو می‌شود که این مسأله هم به‌دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است و هم به‌دلیل کاهش عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاه می‌باشد.

در سطح مولکولی کادمیم با تشکیل باندهای تیول فلزی و دگرگونی باندهای سولفیدریل باعث تغییر در ساختمان ثانویه پروتئین‌ها و تغییر در وضعیت اکسیداسیون و احیای سلول می‌شود. همچنین با دخالت در فرایند انتقال الکترون در کلروپلاست و میتوکندری موجب افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و صدمه به پروتئین‌ها، لیپیدها و بیومولکول‌های دیگر می‌شود.

گیاهان با شبکه درهمی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مولکولی به سمیت کادمیم پاسخ می‌دهند که شامل نگهداری و تجمع فلزات در دیواره سلولی و ترشحات ریشه می‌باشد. کلات‌شدن درون سلولی فلزات با اسیدهای آلی، آمینواسیدها، فریتین‌ها، فیتوکلاتین‌ها، متالوتیونین‌ها و انتقال آن‌ها به درون واکوئل از دیگر موارد است. القای سنتز آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی و غیر آنزیمی نیز جزو پاسخ‌های دفاعی بیوشیمیایی محسوب می‌شود (Arvind *et al*., 2024).

فیتوکلاتین‌ها و متالوتیونین‌ها شناخته‌شده‌ترین مولکول‌های پروتئینی متصل‌شونده به فلزات هستند که غنی از سیستئین می‌باشند. متالوتیونین‌ها توسط ژن بیان می‌شوند و فیتوکلاتین‌ها به‌صورت آنزیمی سنتز می‌شوند.

امروزه تکنیک‌های بسیاری برای رویارویی با تنش فلزات سنگین به‌کار می‌رود. برای مثال، می‌توان استفاده از گیاهان متحمل به فلزات سنگین برای پاکسازی محیط (Phytoremediation)، استفاده از قارچ مایکوریزا و استفاده از کمپوست را نام برد.

روش‌شناسی تحقیق

فلزات سنگین سواحل خلیج‌فارس

این پژوهش برای بررسی غلظت ۱۱ فلز ازفلزات سنگین و در خاک منطقه تا شعاع ۵ کیلومتری در بهار ۱۴۰۲ انجام شد. دلیل برداشت نمونه‌ها در این فصل، میزان ناچیز بارندگی و تأثیرنداشتن آن بر توزیع فلزات سنگین خاک است. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصایر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و بازدید از بخش‌های مختلف منطقهٔ مطالعه، نقاط نمونه‌برداری، مشخص و مختصات با دستگاه GPS ثبت شد. برای بررسی‌های زیست‌محیطی مطلوب منطقهٔ مطالعه، ایستگاه‌های نمونه‌برداری به طریقی انتخاب شدند که کل پیرامون منطقه بوشهر را پوشش دهند. برای این کار، نمونه‌برداری به‌صورت سیستماتیک تصادفی با مرکز قرارگرفتن بوشهر انجام گرفت. در این راستا، به تعداد پنج ایستگاه در اطراف شهر بوشهر در جهات شرقی، جنوبی و غربی در نظر گرفته و در هر ایستگاه پنج نمونه به‌صورت ترکیبی برداشت شد. با توجه به پوشش گیاهی اندک منطقه در فصل نمونه-برداری و امکان تأثیر آن بر توزیع عناصر سنگین خاک، سعی شد نمونه‌ها از مناطقی که پوشش گیاهی ندارند، جمع‌آوری شود تا تأثیر گیاهان بر میزان غلظت عناصر خاک به حداقل برسد. در واقع این نمونه‌ها در خلاف جهت باد غالب جمع‌آوری شدند. شایان ذکر است نمونه‌برداری از خاک منطقه دو بار صورت گرفت و در مراحل مختلف آن، اصول کنترل کیفی و تضمین کیفیت نمونه‌برداری رعایت شد. نمونه‌های خاک به‌وسیلهٔ بیلچهٔ استیل از عمق ۱۰-۵ سانتی‌متری خاک برداشت و بعد از حذف سنگ‌های بزرگ و سایر مواد خارجی در فالکون‌های پلاستیکی درب‌دار قرار داده شدند.

سیزده فلز سنگین موردمطالعه و ارزیابی عبارتند از کروم، جیوه، کبالت، آرسنیک، منگنز، نیکل، سرب، آنتیموان، روی و وانادیوم (Cr, Hg, Co, Cu, As, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, and V).

فلزات سنگین بافت ماهی‌ها

بررسی فلزات سنگین در ماهی‌ها

بافت‌های گوشت هر ماهی استخراج و برای خشک‌کردن به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از آن بافت‌ها پودرشده و مقدار ۱ گرم از عضله همراه با اسیدنیتریک غلیظ هضم گردید.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه به‌مدت سه روز متوالی در دمای آزمایشگاه خشک شد، پس از آن خاک کاملاً خرد و از الک ۱۰ مش (<۲mm) عبور داده شد تا هیچ‌گونه ناخالصی نداشته باشد و سپس به‌وسیلهٔ چکش‌های چوبی تا حد ۲۰۰ مش (<۶۳ µm) پودر شد (Addo *et al*., 2014).

بعد از آن ۲ گرم از نمونهٔ غربال‌شده به‌دقت وزن شد و با هضم چهار اسیدی شامل ۱۰ میلی‌لیتر HF، ۵ میلی‌لیتر $HClO_4$، ۲/۵ میلی‌لیتر HCl و ۲/۵ میلی‌لیتر HNO_3 به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه هضمی قرار داده شد و

هضم گردید. پس ازسردشدن و عبور آن‌ها از کاغذ صافی واتمن محتویات ارلن به بالن ژوژهٔ ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده شد. در نهایت غلظت فلزات سنگین نمونه‌های مربوط با دستگاه ICP ساخت فرانسه مدل (Jobilywan) تعیین گردید (Carter, 1993).

مواد هضم شده خاک و ماهی‌ها به‌صورت جداگانه و به‌صورت محلول هضمی توسط دستگاه هضم کننده به دستگاه inductive cuple plasma جهت سنجش میزان فلزات سنگین تحویل گردد.

فلزات سنگین، از جمله آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، سرب (PB) و جیوه (Hg) به‌طور طبیعی در طبیعت وجود دارند و در غلظت‌های پایین خطر کمی برای سلامتی دارند. بااین‌حال، هنگامی که غلظت‌ها افزایش می‌یابد، حضور آن‌ها می‌تواند برای گیاهان، حیوانات و انسان‌ها سمی‌باشد. ازآنجایی‌که آن‌ها سموم سیستمیک هستند، از آزمایش‌های معمول برای تعیین حضور و غلظت آن‌ها استفاده می‌شود. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (U. S. EPA) و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)، این فلزات را به‌عنوان سرطان‌زاهای انسانی "معروف" یا "احتمالی" طبقه‌بندی می‌کنند.

دستگاه ICP

طیف‌سنجی انتشار نوری پلاسمای جفت القایی (ICP-OES) یک تکنیک تحلیلی است که برای شناسایی عناصر در نمونه‌ها استفاده می‌شود، در نتیجه برای تشخیص برخی فلزات سنگین مناسب است. ICP-OES همچنین به‌عنوان (ICP-AES طیف‌سنجی انتشار اتمی پلاسمای جفت القایی) شناخته می‌شود.

ICP-OES و ICP-AES از یک پلاسمای آرگون بسیار داغ برای برانگیختن اتم‌های یک نمونه مایع استفاده می‌کند و آن‌ها را از حالت پایه به حالت برانگیخته ارتقا می دهد. همان‌طورکه عنصر از حالت برانگیخته به حالت پایه باز می‌گردد، نور در طول موج‌های خط انتشار خاص ساطع می‌شود که سپس توسط یک دوربین بسیار حساس (که آشکارساز نیز نامیده می شود) به طیف‌سنج سیستم هدایت می‌شود.

یک ابزار ICP-OES از سه جزء/سیستم اصلی تشکیل شده است: سیستم معرفی نمونه، پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP) که نام تخصصی از آن گرفته شده است و طیف سنج انتشار نوری که اپتیک و آشکارساز جداکننده نور را در خود جای داده است.

در طیف‌سنج، خطوط انتشار مجزا با استفاده از یک سری اجزای نوری متمرکز و یک شبکه پراکندگی با وضوح بالا از یکدیگر جدا می‌شوند. در نهایت، این خطوط انتشار به‌طور همزمان یا متوالی با یک آشکارساز حساس به نور که انرژی نور را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، شناسایی می‌شوند. اکثر آشکارسازهای ICP یا آشکارسازهای جفت بار (CCD) یا آشکارسازهای تزریق بار ( )CIDهستند. سپس انرژی الکتریکی برای کمی‌سازی عناصر موجود در نمونه و غلظت مربوطه آن‌ها با استفاده از فرمول‌های محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار ابزار استفاده می‌شود.

انجام فرایند تحلیل فلزات سنگین

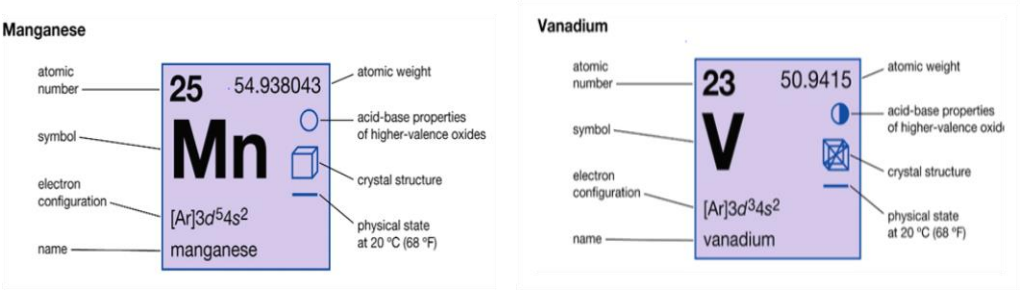
با توجه به نگرانی در مورد سمیت فلزات سنگین، آزمایشگاه‌ها در سراسر جهان تجزیه و تحلیل فلزات سنگین را توسط ICP-OES ماتریس‌های نمونه شامل آب آشامیدنی، فاضلاب، خاک/لجن، غذا و غیره انجام می‌دهند. خاک‌ها اغلب محل معمولی برای غلظت های بالای فلزات سنگین، مواد شیمیایی و ضایعات به‌عنوان محصولات جانبی آلاینده های صنعتی و کشاورزی هستند که زمان قابل‌توجهی برای تجزیه آن‌ها طول می‌کشد. تأمین مواد غذایی عمومی از طریق نظارت، آزمایش و تعیین استانداردهای فلزات در غذاها، خوراک دام و لوازم آرایشی و بهداشتی.

نتایج

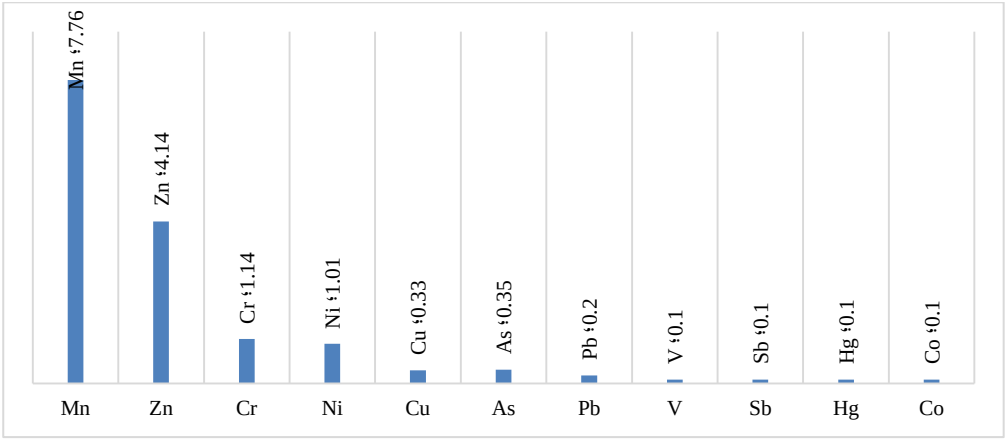
نتایج بررسی مقادیر پارامترهای شیمیایی خاک چنین است: تحرک عناصر در خاک تا حد زیادی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. در این میان pH و مادهٔ آلی خاک می‌توانند تحرک فلزات را تغییر دهند، به‌طوری‌که مقدارنسبتاً بالای آن‌ها تحرک فلزات را محدود می‌کنند (, Kapusta *et al.* 2011). براساس میانگین مقدار ۲۴/۸–۷۳/۸ (pH، ۴۵/۸)، منطقهٔ مطالعه‌شده قلیایی و میانگین مقدار EC اندازه‌گیری‌شده کم‌تر از ۴ ds/m بود که نشان می‌دهد خاک منطقه براساس طبقه‌بندی نه‌گانهٔ علوم خاک آمریکا (۱۹۸۷) در ردهٔ خاک‌های معمولی و غیرشور قرار می‌گیرد (غازان شاهی، ۱۳۸۵). بر این اساس انتظار می‌رود که تحرک فلزات محدود شود (مر و همکاران، ۱۳۹۱).

با توجه به شکل (۲) تغییرات میزان مواد آلی خاک منطقهٔ مطالعاتی نسبتاً کم و درصد میزان این مواد در خاک باغ‌های جنوبی و داخل کارخانه (حاشیهٔ منطقهٔ مطالعاتی) بالاتر است. در

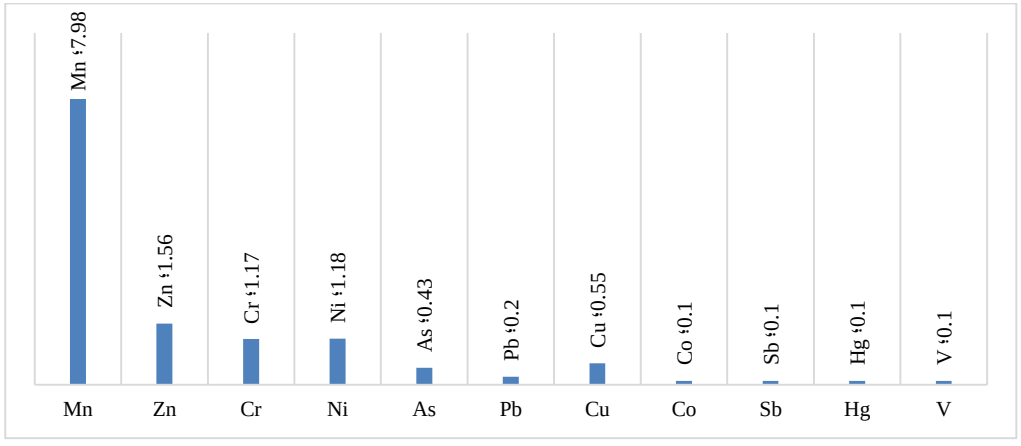
ضمن، مطالعه نشان داد که بافت خاک از نوع رسی با درصد تغییرات کم در کل منطقهٔ مطالعاتی (شکل ۳) و بالاترین درصد تغییر میزان رس در شمال و جنوب حاشیهٔ منطقه است. رس در مقادیر بالا به‌دلیل بار منفی و همچنین نفوذ و حرکت کم‌تر آب در آن در نگه‌داری و تحرک‌نداشتن فلزات سنگین نقش بیش‌تری دارد. بنابراین میزان بالای رس، جایگاه مشابهی در تحرک فلزات سنگین خاک منطقه نشان می‌دهد. به‌طور کلی نبودن تغییرات چشم‌گیر در مقادیر این پارامترها تأثیر چندانی در غلظت فلزات سنگین خاک نخواهد داشت. برای اثبات این موضوع در نهایت همبستگی این پارامترها با غلظت فلزات خاک بررسی شد. در خاک ایستگاه اول فلزات منگنز، روی و کروم بیش‌ترین مقادیر را به‌ترتیب با ۷/۷۶ و ۴/۱۴ و ۱/۱۴ ppm به خود اختصاص دادند.



شکل ۱. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه ۵-۱ یا ۴۵۰۷۸

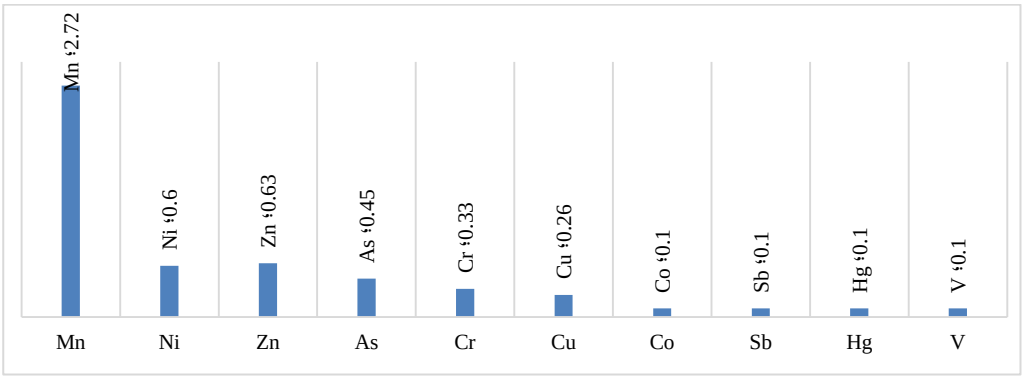


شکل ۲. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه (۱)



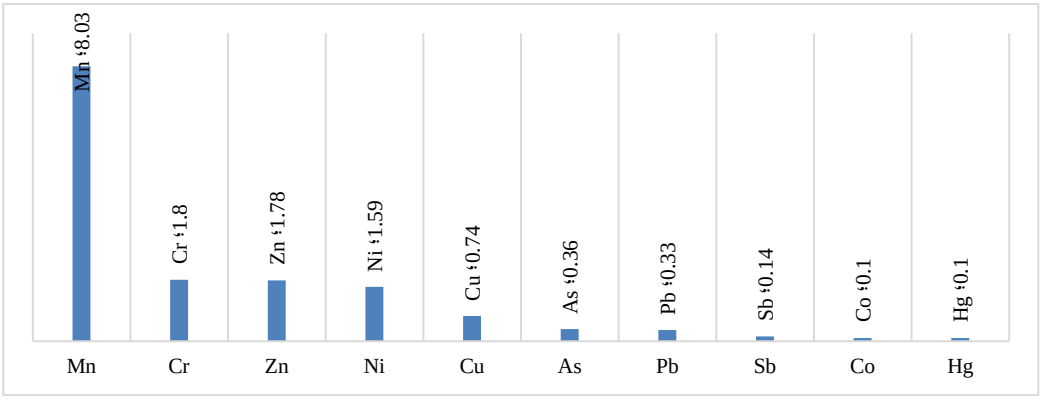
شکل ۳. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه (۲)

همانطور که در نمودار شکل (۳) مشاهده می‌شود در خاک ایستگاه دوم فلزات منگنز، روی و کروم بیش‌ترین مقادیر را به‌ترتیب با ۷/۹۹ و ۱/۵۶ و ۱/۱۷ ppm به خود اختصاص دادند.



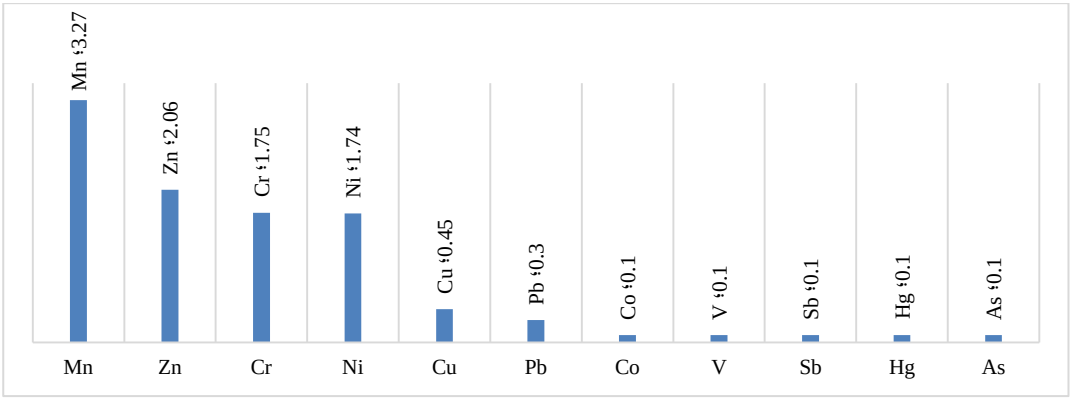
شکل ٤. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه (۳)

با توجه به نمودار شکل (۴)، در خاک ایستگاه سوم فلزات منگنز، روی و نیکل بیش‌ترین مقادیر را به‌ترتیب با ۲/۷۲ و ۰/۶۳ و ۰/۶ ppm به خود اختصاص دادند.



شکل ۵. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه (۴)

با توجه به نمودار شکل (۵) در خاک ایستگاه چهارم فلزات منگنز، کروم و روی بیش‌ترین مقادیر را به‌ترتیب با ۸/۰۳ و ۱/۸ و ۱/۷۸ ppm به خود اختصاص دادند.



شکل ٦. غلظت فلزات سنگین (ppm) در خاک ایستگاه (۵)

همچنین در خاک ایستگاه پنجم فلزات منگنز، روی و کروم بیش‌ترین مقادیر را به‌ترتیب با ۳/۲۷ و ۲/۰۶ و ۱/۷۵ ppm به خود اختصاص دادند.

با بررسی میانگین نرخ فلزات سنگین در ماهی‌های ایستگاه شماره یک، نتایج مطابق جدول (۱) به‌دست آمد که بر این اساس مقدار سه فلز آلومینیوم، روی و مس بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

همچنین با بررسی میانگین نرخ فلزات سنگین در ماهی‌های ایستگاه شماره دو، نتایج مطابق جدول (۲) به‌دست آمد که بر این اساس مقدار سه فلز آلومینیوم، سرب و نیکل بیش‌ترین مقادیر را خود اختصاص دادند.

در نهایت، با بررسی میانگین نرخ فلزات سنگین در ماهی‌های ایستگاه شماره سه، نتایج مطابق جدول (۳) به‌دست آمد که بر این اساس مقدار سه فلز آلومینیوم، روی و سرب بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

جدول ۱. میانگین نرخ فلزات سنگین درماهی‌های ایستگاه شماره (۱) خلیج‌فارس شهر بوشهر

فلز سنگین (ppm)	Zn	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Al	Pb
ماهی در ایستگاه شماره یک	۰/۵۱۰۲	۰/۳۴۱۸	۰/۲۷۰۳	۰/۱۲۷۵	۰/۱۸۷۴	۰/۱۸۹۱	۳/۸۹۵	۰/۳۲۲۲

جدول ۲. میانگین متوسط فلزات سنگین در ماهی ایستگاه (۲) سواحل خلیج‌فارس شهر بوشهر

فلز سنگین (ppm)	Zn	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Al	Pb
ماهی در ایستگاه شماره دو	۰/۸۹۰۵	۰/۳۲۱۸	۰/۳۱۰۶	۰/۱۱۳۱	۰/۱۲۳۸	۲/۶۳۸۴	۴/۱۳۵۰	۳/۶۶۳۵

جدول ۳. میانگین متوسط فلزات سنگین در ماهی ایستگاه (۳) سواحل خلیج‌فارس شهر بوشهر

فلز سنگین (ppm)	Zn	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Al	Pb
ماهی در ایستگاه شماره سه	۰/۷۸۳۸	۰/۳۱۳۰	۰/۰۹۷۴	۰/۱۱۱۵	۰/۰۳۱۶	۰/۱۹۵	۴/۳۵۱	۰/۷۸۰۳

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش برای بررسی غلظت ۱۱ فلز ازفلزات سنگین و در خاک منطقه تا شعاع ۵ کیلومتری سواحل خلیج‌فارس در بهار ۱۴۰۲ انجام شد. دلیل برداشت نمونه‌ها در این فصل، میزان ناچیز بارندگی و تأثیرنداشتن آن بر توزیع فلزات سنگین خاک است. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصایر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و بازدید از بخش‌های مختلف منطقهٔ مطالعه، نقاط نمونه‌برداری، مشخص و مختصات با دستگاه GPS ثبت شد. با توجه به پوشش گیاهی اندک منطقه در فصل نمونه‌برداری و امکان تأثیر آن بر توزیع عناصر سنگین خاک، سعی شد نمونه‌ها از مناطقی که پوشش گیاهی ندارند، جمع‌آوری شود تا تأثیر گیاهان بر میزان غلظت عناصر خاک به حداقل برسد (Shahbazi, 2010, Shahbazi *et al*., 2011). در واقع این نمونه‌ها در خلاف جهت باد غالب جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک به‌وسیلهٔ بیلچهٔ آزمایشگاهی از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک برداشت و بعد از حذف سنگ‌های بزرگ و سایر مواد خارجی در فالکون‌های پلاستیکی درب‌دار قرار داده شدند (Addo *et al*., 2012; Moslempour & Shahdadi, 2013). فلزات زیر موردبررسی قرار گرفتند (Cr, Hg, Co, Cu, As, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, and V).

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده ازپنج ایستگاه در خاک‌های سواحل خلیج‌فارس غلظت فلزات سنگین، غلظت فلزات منگنز، روی، کروم و نیکل بیش از سایر فلزات به چشم می‌خورد. همچنین با بررسی میانگین نرخ فلزات سنگین در ماهی‌های سه ایستگاه خلیج‌فارس، غلظت فلزات آلومینیوم، روی، سرب، نیکل و مس بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. به‌نظر می‌رسد جهت پیشگیری از آلودگی دریا توسط فاضلاب‌های صنعتی و پسماند کشتی‌ها و قایق‌های نفتکش می‌باید قوانین حقوقی ایجاد گردد و همچنینی جهت حذف آلودگی‌ها از جلبک‌های فلز خوار سالینا و دونالیلا توسط روش فیتورمیدیشن استفاده نمود تا عوارض فلزات سنگین به حداقل برسد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

References

Akila, M., Anbalagan, S., Lakshmisri, N. M., Janaki, V., Ramesh, T., Jancy Merlin, R., Kamala-Kannan, S. (2022). Heavy metal accumulation in selected fish species from Pulicat Lake, India, and health risk assessment. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102744.

Alamdar, A., Eqani, S. A. M. A. S., Hanif, N., Ali, S. M., Fasola, M., Bokhari, H., ... & Shen, H. (2017). Human exposure to trace metals and arsenic via consumption of fish from river Chenab, Pakistan and associated health risks. *Chemosphere*, 168, 1004-1012.

Ali, H., & Khan, E. (2018). Assessment of potentially toxic heavy metals and health risk in water, sediments, and different fish species of River Kabul, Pakistan. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(8), 2101-2118.

Ali, H., & Khan, E. (2018). Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environmental chemistry letters*, 16(3), 903-917.

Ali, M. M., Ali, M. L., Rakib, M. R. J., Islam, M. S., Bhuyan, M. S., Senapathi, V., ... & Rahman, M. Z. (2022). Seasonal behavior and accumulation of some toxic metals in commercial fishes from Kirtankhola tidal river of Bangladesh–a health risk taxation. *Chemosphere*, *301*, 134660.

Asare, M. L., Cobbina, S. J., Akpabey, F. J., Duwiejuah, A.B., & Abuntori, Z.N. (2018). Heavy metal concentration in water, sediment and fish species in the Bontanga Reservoir, Ghana. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 10(1), 49-58.

Ashraf, R., & Ali, T. A. (2007). Effect of heavy metals on soil microbial community and mung beans seed germination. *Pakistan Journals of Botany*, 39 (2), 629-636.

Chen, G. Q., Chen, Y., Zeng, G. M., Zhang, J. C., Chen, Y. N., Wang, L., & Zhang, W. J. (2010). Speciation of Cadmium and Changes in Bacterial Communities in Red Soil Following Application of Cadmium-Polluted Compost. *Environmental Engineering Science*, 27 (12), 1019- 1026.

Dehghan Chenari, A., & Lak, R. (2012). Investigating the effect of heavy metal pollution caused by oil activities in the Persian Gulf on the carbonate sediments of the seabed, The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures.

Dippong, T., Resz, M. A., Tănăselia, C., & Cadar, O. (2024). Assessing microbiological and heavy metal pollution in surface waters associated with potential human health risk assessment at fish ingestion exposure. *Journal of Hazardous Materials*, *476*, 135187.

Eftekhar Jahromi, G., & Rezaei, A. (2015). The Convergence of Environmental Law and Human Rights; Whit an Attitude to Islamic Law. *Quarterly Journal of Comparative Studies of Islamic and Western Laws*, 3(1),1-32.

Giri, S. S., Kim, H. J., Jung, W. J., Lee, S. B., Joo, S. J., Gupta, S. K., & Park, S. C. (2024). Probiotics in addressing heavy metal toxicities in fish farming: Current progress and perspective. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *282*, 116755.

Holy Quran

Iqbal, A., Tabinda, A. B., Yasar, A., & Mahfooz, Y. (2017). Heavy Metal Uptake and Toxicity in Tissues of Commercially Important Freshwater Fish (Labeo rohita and Wallago attu) from the Indus River, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(3).

Janadeleh, H. & Kardani, M. (2016). Heavy metals concentrations and human health risk assessment for three common species of fish from Karkheh River, Iran. *Iranian Journal of Toxicology*, 10(6), 31-37.

Karaca, A., Cetin, S. C., Turgay, O. C., & Kizilkaya, R. (2010). Effects of Heavy Metals on Soil Enzyme Activities. In: I. Sherameti and A. Varma (Ed), Soil Heavy Metals, Soil Biology, Heidelberg, 19, 237-265.

Karadede, H. & Ünlü, E. (2000). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41(9), 1371-1376

Li, C., Wang, H., Liao, X., Xiao, R., Liu, K., Bai, J., ... & He, Q. (2022). Heavy metal pollution in coastal wetlands: A systematic review of studies globally over the past three decades. *Journal of Hazardous Materials*, *424*, 127312.

Mondal, K., Ghosh, S., & Haque, S. (2018). A review on contamination, bioaccumulation and toxic effect of cadmium, mercury and lead on freshwater fishes. *Internatiaonal Journal of Zoology Studies*, 3(2),153-159.

Naeem, M., Salam, A., Khokhar, M. Y., Nasir, M. F., Nouman, M. F., Ishtiaq, A., & Yar, R. A. (2011). Evaluation of metal contents in female Oreochromis niloticus with emphasis on potential risk of consumption and relation to some biological aspects. *African Journal of Biotechnology*, 10(53), 11054.

Nowrozi, C., Sohrab Bigi, M. (2016). Criminal policy of Islam and Iran regarding environmental crimes, Qhaniin yar.

Rauf, A., Javed, M., & Jabeen, G. (2019). Uptake and accumulation of heavy metals in water and planktonic biomass of the River Ravi, Pakistan. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(10), 857-864.

Rauf, A., Javed, M., & Ubaidullah, M. (2009). Heavy Metal Levels in Three Major Carps (Catla Catla, Labeo Rohita and Cirrhina Mrigala) From the River Ravi, Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 29(1).

Sharma, A. K., Sharma, M., Sharma, S., Malik, D. S., Sharma, M., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review on assessment of heavy metals toxicity in freshwater fish species: current scenario and remedial approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 107472.

Shun-hong, H., Bing, P., Zhi-hui, Y., Li-yuan, C., & Li-cheng, Z. (2009). Chromium accumulation microorganism population and enzyme activities in soils around chromium-containing slag heap of steel alloy factory. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, 241-248.

Siraj, M., Khisroon, M., & Khan, A. (2016). Bioaccumulation of heavy metals in different organs of Wallago attu from River Kabul Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Biological trace element research*, 172, 242-250.

Wang, Y. P., Shi, J. Y., Wang, H., Li, Q., Chen, X. C., & Chen, Y. X. (2007). The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67, 75-81.

Yousafzai, A. M., Chivers, D. P., Khan, A. R., Ahmad, I., & Siraj, M. (2010). Comparison of heavy metals burden in two freshwater fishes Wallago attu and Labeo dyocheilus with regard to their feeding habits in natural ecosystem. *Pakistan Journal of Zoology*, 42(6).

Yousafzai, A. M., Khan, A. R., & Shakoori, A. R. (2009). Trace metal accumulation in the liver of an endangered South Asian fresh water fish dwelling in sub-lethal pollution. *Pakistan Journal of Zoology*, 41(1).

Yousafzai, A. M., Ullah, F., Bari, F., Raziq, S., Riaz, M., Khan, K., ... & Ahmad, H. (2017). Bioaccumulation of some heavy metals: analysis and comparison of Cyprinus carpio and Labeo rohita from Sardaryab, Khyber Pakhtunkhwa. *BioMed Research International*, 2017(1), 5801432.

Ziyai Bigdali, M. R. (1998). Public International Law, Ganj Danesh Library Publications, 12th edition.