بررسی تجمع فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه ای در بافت‌های ماهی خورک ابلق (*Ceryle rudis*) در منطقه نفت و گاز آغاجاری استان خوزستان

مهدی طیبی[۱]
مریم محمدی روزبهانی[۱*]
محبوبه چراغی[۱]
سولماز دشتی[۱]
روشنا بهباش[۱]

۱.گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**
Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۶

این مقاله برگرفته از رساله دکترا است.

چکیده

فرآیند نفت، از استخراج تا مصرف، همواره با تولید آلاینده‌های محیط زیستی همراه است که از جمله آن‌ها می‌توان به فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای اشاره کرد. این مطالعه با هدف بررسی تجمع فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در بافت‌های کبد، کلیه، پر دم و سنگدان ماهی خورک ابلق به‌عنوان یکی از پرندگان شاخص آبزی در منطقه عملیاتی شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آغاجاری در سال ۱۴۰۲ انجام شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه پلاسمای القایی مدل PerkinElmer NexION 300X و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ایبا دستگاه کروماتوگرافی گازی ـ طیف‌سنجی جرمی GC-MS مدل Agilent 7890A/5975C اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بالاترین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و جیوه در کبد به ترتیب ۰/۰۵±۰/۶۱، ۰/۱۲±۲/۰۶، ۰/۱۸±۲/۲۸، ۰/۲۵±۳/۱۰ و ۰/۰±۲۴/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. کلیه نیز دومین اندام تجمع‌دهنده این فلزات بود، با مقادیر به ترتیب ۰/۰۳±۰/۴۰، ۰/۱۰±۱/۵۴، ۰/۰۷±۰/۸۵، ۰/۱۵±۱/۹۰ و ۰/۰±۱۸/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در حالی که میزان فلزات در سنگدان بسیار ناچیز و کمتر از حد تشخیص آزمایشگاهی گزارش شد. در مقابل، بیشترین میزان سرب در پر دم با مقدار ۰/۱۵±۵۲/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و نشان‌دهنده نقش پرها در دفع برخی آلاینده‌ها است. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر تجمع ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای، در کبد و کلیه است. به‌طوری‌که مجموع غلظت PAH ها در کبد ۴۲/۵ در کلیه ۲۱ نانوگرم بر گرم وزن خشک بود. پر دم و سنگدان میزان بسیار کمتری از این ترکیبات را نشان دادند. ترکیبات با وزن مولکولی بالا مانند بنزوپایرن (۰/۹±۱۵/۶ نانوگرم بر گرم)، بنزوفلوئورانتن (۰/۸±۱۳/۲ نانوگرم بر گرم)، کریسن (۷/۹±۱۴/۰ نانوگرم بر گرم) و دی‌بنزوآنتراسن (۱±۱۸/۴ نانوگرم بر گرم) بیشترین تجمع را در کبد و کلیه داشتند، درحالی‌که ترکیبات با وزن مولکولی پایین‌تر مانند نفتالن (۰/۳±۵/۲ نانوگرم بر گرم)، آکینافتیلن (۰/۲±۳/۸ نانوگرم بر گرم) و آسنافتن (۰/۳±۴/۱ نانوگرم بر گرم) مقادیر کمتری را نشان دادند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ماهی خورک ابلق می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی مؤثر برای فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک در محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای، ماهی خورک ابلق، شاخص زیستی، آلودگی محیط زیست.

مقدمه

افزایش صنایع، توسعه فعالیت‌های نفت و گاز و رشد شهرنشینی در دهه‌های اخیر منجر به ورود مقادیر قابل توجهی آلاینده‌های زیست‌محیطی به اکوسیستم‌های آبی و خاکی شده است (Furness and Camphuysen, 1997; Jeganathan *et al*., 2020). در مناطق عملیاتی نفتی، نشت‌های نفتی، پساب‌ها و انتشار ذرات و گازهای حاصل از احتراق، بار آلودگی را افزایش می دهد (Keller *et al*., 2004; Tanabe, 2002). دو گروه از آلاینده‌های پایدار که اهمیت ویژه‌ای در مطالعات محیط‌زیستی دارند، فلزات سنگین و ترکیبات

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

آروماتیک چندحلقه‌ای هستند. هر دو گروه به‌خاطر پایداری شیمیایی، قابلیت تجمع زیستی و مقاومت در برابر تجزیه، در محیط باقی می‌مانند و از منابع صنعتی، فرایندهای نفتی و احتراق ناقص منتشر می‌شوند (Mukhtar *et al*., 2020; Moradi *et al*., 2023).

فلزات سنگین معمولاً از طریق رسوبات، آب و زنجیره غذایی به موجودات منتقل می‌شوند، در حالی که ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای بر حسب وزن مولکولی تمایل به تجمع در بافت‌های لیپوفیلیک داشته و در رسوبات و ارگانیسم‌های بالادستی آشکار می‌گردند (Jaspers *et al*., 2006; Moradi *et al*., 2023). قرارگیری در معرض فلزات سنگین می‌تواند موجب اختلالات فیزیولوژیک و مولکولی گسترده‌ای در گیاهان، بی‌مهرگان و مهره‌داران شود. این عناصر با ایجاد استرس اکسیداتیو، مهار آنزیم‌ها، تداخل در جذب عناصر ضروری و ایجاد آسیب‌های سلولی- ژنتیکی عملکرد رشد، بقای نیروی تولیدمثلی و ایمنی را کاهش می‌دهند (Tchounwou *et al*., 2012; Mukhtar *et al*., 2020). در موجودات آبزی، تجمع فلزات در اندام‌هایی مانند کبد و کلیه با کاهش نرخ رشد، ضعف باروری و افزایش حساسیت به بیماری‌ها همراه است (Dauwe *et al*., 2005; Einoder *et al*., 2018). ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای به‌ویژه گونه‌های با وزن مولکولی بالا مانند بنزو [a] پیرن، شناخته‌شده به‌عنوان مولکول‌های سرطان‌زا و جهش‌زا هستند. این ترکیبات می‌توانند از طریق بلع، استنشاق یا تماس پوستی وارد بدن انسان شوند و پیامدهای مزمن کبدی، تنفسی و نوروتوکسیسیته ایجاد کنند (IARC, 2012; Kim *et al*., 2013; Moradi *et al*., 2023). علاوه بر این، مواجهه همزمان بافلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای می‌تواند اثرات هم‌افزا یا سینرژیک ایجاد کند (Farrington and Quinn, 2015; Lopez-Berenguer *et al*., 2021). از منظر سلامت انسانی، ورود این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی و آب آشامیدنی می‌تواند خطرات بلندمدت جمعیتی از جمله افزایش بار بیماری‌های مزمن و سرطانی را به‌دنبال داشته باشد (Taggart *et al*., 2020; Tanabe, 2002).

پرندگان آبزی به‌دلیل موقعیت تغذیه‌ای در زنجیره غذایی، گستردگی پراکنش و امکان نمونه‌گیری غیرمخرب (پرها، خون) از بهترین زیست‌نشانگرها برای پایش آلودگی محیط‌های آبی به‌شمار می‌آیند. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مقادیر فلزات و آلاینده‌های آلی در پرها و بافت‌های داخلی پرندگان می‌تواند بازتابی از وضعیت آلودگی زیستگاه آن‌ها باشد و اطلاعات ارزشمندی برای ارزیابی مخاطرات زیست‌محیطی فراهم آورد (Burger and Gochfeld, 2000; Dauwe *et al*., 2003; Garcia-Fernandez *et al*., 2013). علاوه بر این، تفاوت توزیع بافتی آلاینده‌ها بین اندام‌ها (کبد، کلیه، پر) و نقش فصل، نوع جیره و الگوی مهاجرت در تجمع و تفسیر داده‌ها باید در طراحی مطالعات پایش در نظر گرفته شود (Tsipoura *et al*., 2017; Mukhtar *et al*., 2020). ماهی‌خورک ابلق (*Ceryle rudis*) به‌عنوان گونه‌ای شکارچیِ وابسته به منابع آبی که رژیم غذایی‌اش مبتنی بر ماهیان کوچک است، بدلیل ارتباط مستقیم با منابع آبی و نقش او در انتقال آلاینده‌ها از تروفیک‌های پایین به بالا، گزینه مناسبی برای ارزیابی آلودگی‌های فلزی و آلی محسوب می‌شود (Burger and Gochfeld, 2000; Jaspers *et al*., 2006; Muralidharan *et al*., 2004). منطقه عملیاتی شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آغاجاری یکی از نواحی صنعتی کشور است که به‌دلیل فعالیت‌های گسترده استخراج و انتقال نفت و گاز، دارای ریسک ورودی آلودگی‌های نفتی و فلزی به اکوسیستم‌های مجاور می‌باشد. بنابراین ارزیابی تجمع فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در بافت‌های ماهی‌خورک ابلق در این ناحیه می‌تواند خلأ اطلاعاتی مهمی را در شناسایی منابع آلودگی شناسایی کند. تعیین غلظت‌های فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در کبد، کلیه و پرهای ماهی‌خورک ابلق، مقایسه توزیع بافتی آلاینده‌ها و محاسبه شاخص‌های غنی‌سازی و تجمع زیستی و ارائه توصیه‌هایی برای پایش طولانی‌مدت و مدیریت مخاطرات زیست‌محیطی در منطقه آغاجاری از اهداف این تحقیق بودند. نتایج مورد انتظار می‌تواند ابزار علمی لازم برای تدوین راهبردهای پایش و کاهش اثرات آلاینده‌ها فراهم آورد (Mora, 2003; Keller *et al*., 2004).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

مواد وروش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده عملیاتی شرکت بهره‌برداری نفت و گاز آغاجاری قرار دارد که در جنوب‌غرب ایران و در استان خوزستان واقع شده است. این منطقه از شمال به شهرستان رامهرمز، از جنوب به امیدیه، از شرق به بهبهان و از غرب به اهواز محدود می‌شود و در مختصات جغرافیایی تقریبی °30 '45 تا °31 '15 عرض شمالی و °49 '50 تا °30 '50 طول شرقی قرار دارد. بخش‌های عمده این منطقه در ناحیه گرم و خشک بیابانی واقع شده و میانگین بارندگی سالانه آن کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است، در حالی‌که میانگین دمای هوا در ماه‌های گرم به بیش از ۴۵ درجه نیز می‌رسد. شبکه‌های آب سطحی مانند رودخانه جراحی و هورهای فصلی به‌عنوان مهم‌ترین منابع آبی منطقه محسوب می‌شوند که زیستگاه پرندگان آبزی و کنارآبزی هستند. فعالیت‌های گسترده استخراج، انتقال و پالایش نفت، وجود خطوط لوله، چاه‌های فعال و واحدهای تقویت فشار و نمک‌زدایی باعث افزایش احتمال ورود آلاینده‌های فلزی و ترکیبات آروماتیک به آب و رسوبات این ناحیه شده است. از آنجا که داده‌های بوم‌سنجی و پایش زیست‌محیطی در این منطقه محدود و پراکنده است، بررسی و پایش وضعیت آلودگی به‌ویژه با بهره‌گیری از زیست‌نشانگرهای حساس مانند پرندگان آبزی اهمیت ویژه‌ای در ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های محلی دارد (Pandiyan *et al*., 2020; Patel *et al*., 2020).

روش کار

این پژوهش در بازه زمانی بهار تا تابستان ۱۴۰۲ انجام شد. نمونه‌برداری از ماهی‌خورک ابلق در پنج ایستگاه مجزا در محدوده‌ی پهنه‌های آب شیرین و تالابی اطراف تأسیسات نفتی آغاجاری صورت گرفت (شکل ۱). این ایستگاه‌ها شامل حاشیه رودخانه جراحی و آبگیرهای کم‌عمق تغذیه‌شونده از رواناب‌های نفتی و زهکش‌های صنعتی بودند. این زیستگاه‌ها به دلیل عمق کم (۰/۳ تا ۱/۵ متر)، حضور جمعیت‌های باثبات ماهیان کوچک و بی‌مهرگان و نوارهای نیزار (*Phragmites australis*)، محل تغذیه و زیست روزانه این گونه محسوب می‌شوند (Burger and Gochfeld, 2000; Mora, 2003). فاصله ایستگاه‌ها از منبع آلودگی ۱ تا ۵ کیلومتر بود تا شیب مکانی آلودگی قابل ارزیابی باشد. این منطقه در جنوب‌غرب ایران، در محدوده شهرستان امیدیه و شمال‌شرق خوزستان واقع شده و اکوسیستم آن در طبقه‌بندی، از نوع تالاب‌های آب شیرین کم‌عمق رودخانه‌ای به شمار می‌رود. مختصات جغرافیایی محدوده نمونه‌برداری تقریبی °30 '50 تا °31 '10 عرض شمالی و °49 '55 تا °50 '20 طول شرقی ثبت شد. ماهی خورک ابلق به‌دلیل جایگاه اکولوژیکی مهم در زنجیره غذایی، حضور دائمی در نزدیکی آب‌های آلوده، و رژیم غذایی مبتنی بر ماهیان و بی‌مهرگان آبزی، به‌عنوان گونه هدف انتخاب شد (Tsipoura *et al*., 2017). در مجموع، ۲۰ نمونه از این پرنده از پنج نقطه نمونه‌برداری در نزدیکی تأسیسات نفتی آغاجاری (فاصله ۱ تا ۵ کیلومتری از منبع آلودگی) با استفاده از تورهای مه‌گیر (Mist Nets) با مش ۳۰ میلی‌متری صید شدند. این روش به‌دلیل حداقل آسیب به پرندگان و امکان آزادسازی سریع پس از نمونه‌برداری انتخاب شد و تمامی مراحل صید مطابق با اصول اخلاقی پژوهش‌های جانوری و استانداردهای بین‌المللی انجام گرفت (Mora, 2003). پس از صید، پرندگان به‌طور موقت در کیسه‌های پارچه‌ای نرم نگهداری شدند.همچنین با استفاده از ابزار جراحی استریل (قیچی و پنس استیل ضدزنگ)، نمونه‌هایی از کبد (حدود ۱ گرم)، کلیه (۰/۸ گرم)، پرهای دم (۷–۵ پر) و سنگدان (۰/۵ گرم) جمع‌آوری شد (Tanabe, 2002). برای جلوگیری از آلودگی متقاطع، ابزارها پس از هر نمونه با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند و دستکش‌های یک‌بارمصرف در طول فرآیند استفاده شد (Keller *et al*., 2004). نمونه‌ها در ظروف پلی‌پروپیلن مقاوم به مواد شیمیایی قرار گرفتند، با نیتروژن مایع منجمد شدند و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فریزر آزمایشگاهی تا زمان تحلیل نگهداری شدند (Tsipoura *et al*., 2017). موقعیت دقیق هر نقطه نمونه‌برداری با دستگاه GPS مدل Garmin eTrex 30 ثبت شد و پارامترهای محیطی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، pH و دمای آب با استفاده از دستگاه‌های پرتابل Hanna HI98194 اندازه‌گیری گردید.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محل نمونه برداری

ثبت این پارامترها با هدف کنترل و تفسیر دقیق‌تر داده‌ها انجام شد، زیرا نوسانات عوامل محیطی می‌توانند بر میزان زیست‌دسترس‌پذیری و انتقال فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک اثر بگذارند و در نتیجه بر الگوی تجمع این آلاینده‌ها در بافت‌های پرندگان تأثیر مستقیم داشته باشند (Keller *et al*., 2004; Mukhtar *et al*., 2020). بنابراین داده‌های محیطی به‌عنوان اطلاعات پشتیبان برای تحلیل اکولوژیکی و جلوگیری از خطاهای تفسیری در نظر گرفته شد. نمونه‌های بافت ابتدا در آزمایشگاه با شستشو در آب دیونیزه تمیز شدند تا هرگونه آلودگی سطحی حذف شود. سپس، در آون آزمایشگاهی مدل Memmert UN55 در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند تا رطوبت کاملاً از بین برود (Mora, 2003). پس از خشک شدن، نمونه‌ها با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی مدل Retsch MM400 به پودر یکنواخت با اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ میکرومتر تبدیل شدند تا یکنواختی در تحلیل تضمین شود (Keller *et al*., 2004). برای تحلیل فلزات سنگین، ۰/۵ گرم از هر نمونه پودر شده با روش هضم اسیدی آماده شد. این فرآیند شامل افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ ۶۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به نمونه در هود شیمیایی و هضم در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت بود (Tanabe, 2002). محلول هضم‌شده پس از خنک شدن با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و با فیلتر کاغذی واتمن (شماره ۴۲) صاف گردید (Tsipoura *et al*., 2017). برای تحلیل ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای یک گرم از نمونه‌های پودر شده با روش استخراج فاز جامد آماده شد. این فرآیند شامل استخراج با ۱۵ میلی‌لیتر مخلوط هگزان و دی‌کلرومتان (۱:۱) در ستون Bond Elut C18 و تغلیظ محلول استخراج شده با روتاری اواپراتور Heidolph Laborota 4000 تا حجم ۱ میلی‌لیتر بود (Mora, 2003). غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل، کروم، و جیوه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی مدل PerkinElmer NexION 300X اندازه‌گیری شدند (Keller *et al*., 2004). دستگاه با استانداردهای مرجع NIST SRM 1640a کالیبره شد (Tanabe, 2002). شرایط عملیاتی شامل توان پلاسما ۱۳۰۰ وات و جریان گاز نئون ۱۸ لیتر بر دقیقه بود. تحلیل ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با دستگاه کروماتوگرافی گازی ـ طیف‌سنجی جرمی GC-MS مدل Agilent

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

7890A/5975C انجام شد. از ستون کاپیلاری HP-5MS (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر) استفاده شد و دمای تزریق روی ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، دمای اولیه کوره روی ۵۰ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۲ دقیقه)، و نرخ افزایش دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد (Mora, 2003). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف بررسی شدند و از آزمون ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه غلظت آلاینده‌ها در بافت‌های مختلف استفاده شد (طیبی و جهانگیری، ۱۳۹۹).

نتایج

در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از ماهی خورک ابلق، میزان تجمع فلزات سنگین در بافت‌های کبد، کلیه، پر دم و سنگدان اندازه‌گیری شد. نتایج توصیفی نشان داد که کبد بالاترین میزان تجمع کادمیوم، نیکل، کروم و جیوه را دارد، در حالی که پر دم بیشترین غلظت سرب را نشان داد. میانگین غلظت کادمیوم در کبد ۰/۰۵±۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در کلیه ۰/۰۳±۰/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. غلظت کادمیوم در پر دم و سنگدان بسیار پایین (۰/۰۰۵±۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نزدیک به حد تشخیص آزمایشگاهی بود. برای سرب، بیشترین مقدار در پر دم با ۱/۵۰±۵۲/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و کبد و کلیه مقادیر متوسط داشتند، در حالی که سنگدان تقریباً فاقد سرب بود. میانگین نیکل در کبد ۰/۱۸±۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در کلیه ۰/۰۷±۰/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در حالی که پر دم و سنگدان مقادیر بسیار کمی از این فلز را نشان دادند. کروم و جیوه نیز بیشترین تجمع در کبد به ترتیب با ۰/۲۵±۳/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۰/۰۲±۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم را داشتند، در حالی که سایر اندام‌ها مقادیر کمتری از این فلزات را نشان دادند.

تحلیل آماری با استفاده از ANOVA یک‌طرفه نشان داد که اختلاف میان بافت‌ها برای تمام فلزات مورد بررسی از نظر آماری معنادار است ($P<0/001$). برای تعیین این که کدام اندام‌ها با هم تفاوت معنی‌دار دارند، آزمون توکی انجام شد. نتایج نشان داد که کبد در تجمع کادمیوم، نیکل، کروم و جیوه نسبت به سایر اندام‌ها اختلاف معنادار دارد، در حالی که پر دم بیشترین میزان سرب را نسبت به کبد، کلیه و سنگدان نشان داد. کلیه نیز در مقایسه با پر دم و سنگدان مقادیر بالاتری از کادمیوم، نیکل، کروم و جیوه داشت. این تحلیل آماری نشان می‌دهد که اندام‌های متابولیک مانند کبد و کلیه و اندام دفعی مانند پر نقش متفاوتی در تجمع فلزات سنگین دارند. مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده با استانداردهای EFSA و WHO نشان داد که میزان کادمیوم در کبد ۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیکل ۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کروم ۳/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاتر از حد مجاز است. همچنین، میزان سرب در پر دم ۵۲/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به طور قابل توجهی از استاندارد بین‌المللی فراتر رفته است، در حالی که غلظت سایر فلزات در سایر اندام‌ها کمتر از مقادیر مجاز بود (جدول ۱).

جدول۱: میزان تجمع فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در بافت‌های ماهی خورک ابلق SD±میانگین (n=5)

بافت	کادمیوم	سرب	نیکل	کروم	جیوه
کبد	۰/۰±۶۱/۰۵	۲/۰±۰۶/۱۲	۲/۰±۲۸/۱۸	۳/۰±۱۰/۲۵	۰/۰±۲۴/۰۲
کلیه	۰/۰±۴۰/۰۳	۱/۰±۵۴/۱۰	۰/۰±۸۵/۰۷	۱/۰±۹۰/۱۵	۰/۰±۱۸/۰۱
پر دم	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۵۲/۱±۱۰/۵	۰/۰±۱۴/۰۱	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۰/۰±۰۱/۰۰۵
سنگدان	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۰/۰±۰۱/۰۰۵	۰/۰±۰۱/۰۰۵

نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از ماهی خورک ابلق، میزان تجمع ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در بافت‌های کبد، کلیه و پر دم اندازه‌گیری شد. داده‌ها بر اساس وزن مولکولی ترکیبات، ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی کم، متوسط و بالا گروه‌بندی شدند. نتایج توصیفی نشان داد که کبد بیشترین میزان تجمع را در تمام گروه‌ها داشت، کلیه مقادیر متوسط و پر دم مقادیر کم تا بسیار کم از این ترکیبات را نشان داد. در گروه ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی کم، نفتالن، آکینافتیلن، آسنافتن و فلوئن بررسی شدند. میانگین تجمع نفتالن در کبد ۰/۳±۵/۲ نانوگرم بر گرم و در کلیه ۰/۲±۲/۴ نانوگرم بر گرم بود، در حالی که در پر دم زیر حد تشخیص قرار

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

داشت (۰/۰۰۵±۰/۰۱ نانوگرم بر گرم). آکینافتیلن در کبد ۳/۸±۰/۲ نانوگرم بر گرم و در کلیه ۲/۱±۰/۱ نانوگرم بر گرم اندازه‌گیری شد، آسنافتن به ترتیب ۴/۱±۰/۳ نانوگرم بر گرم و ۰/۳±۰/۲ نانوگرم بر گرم و فلوئن ۴/۲±۰/۳ نانوگرم بر گرم و ۴/۲±۰/۳ نانوگرم بر گرم گزارش شدند. مقادیر این ترکیبات در پر دم بسیار پایین بود که نشان‌دهنده تجمع محدود ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای فرار در این اندام است. در گروه ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی متوسط، فلوئورانتن و پایرن بررسی شدند. میانگین تجمع فلوئورانتن در کبد ۱۰/۰±۵/۵ نانوگرم بر گرم و در کلیه ۷/۱±۰/۴ نانوگرم بر گرم بود، در حالی که در پر دم ۲/۳±۰/۲ نانوگرم بر گرم اندازه‌گیری شد. پایرن به ترتیب ۱۲/۸±۰/۶ نانوگرم بر گرم در کبد، ۸/۹±۰/۵ نانوگرم بر گرم در کلیه و ۲/۷±۰/۲ نانوگرم بر گرم در پر دم گزارش شد. این داده‌ها نشان داد که ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن متوسط نسبت به ترکیبات سبک‌تر قابلیت بیشتری برای تجمع در اندام‌های متابولیکی دارند.در گروه ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی بالا، ترکیبات بنزوپایرن، بنزوفلوئورانتن، کریسن و دی‌بنزوآنتراسن بررسی شدند. دی‌بنزوآنتراسن در کبد ۱±۱۸/۴ نانوگرم بر گرم، در کلیه ۱۳/۶±۰/۸ نانوگرم بر گرم و در پر دم ۳/۸±۰/۳ نانوگرم بر گرم بود. بنزوپایرن در کبد ۱۵/۶±۰/۹ نانوگرم بر گرم، در کلیه ۱۱/۳±۰/۷ نانوگرم بر گرم و در پر دم ۳/۱±۰/۲ نانوگرم بر گرم مشاهده شد. بنزوفلوئورانتن و کریسن نیز در کبد به ترتیب ۱۳/۲±۰/۸ و ۱۴/۷±۰/۹ نانوگرم بر گرم اندازه‌گیری شدند و در کلیه و پر دم مقادیر کمتری داشتند. نتایج نشان داد که ترکیبات با وزن مولکولی بالا بیشترین تجمع را در کبد دارند و پر دم نقش محدودی در ذخیره‌سازی این آلاینده‌ها ایفا می‌کند. تحلیل آماری با استفاده از ANOVA یک‌طرفه نشان داد که اختلاف میزان تجمع بین بافت‌ها برای تمام ترکیبات ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای از نظر آماری معنی‌دار است ($P<0/001$). آزمون تست توکی (Tukey HSD) نشان داد که کبد در تمام گروه‌ها غلظت بالاتری نسبت به کلیه و پر دم دارد و کلیه نیز نسبت به پر دم اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد. در میان ترکیبات ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای با وزن مولکولی بالا، دی بنزوآنتراسن بیشترین میزان تجمع را در کبد داشت و اختلاف معنی‌دار با سایر ترکیبات در کلیه و پر دم مشاهده شد.

جدول۲: میزان تجمع ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای (نانوگرم بر گرم وزن خشک) در بافت‌های ماهی خورک ابلق SD±میانگین (n=5)

ترکیبات PAH	کبد	کلیه	پر دم
نفتالن	۵/۰±۲/۳	۲/۰±۴/۲	۰/۰±۰۱/۰۰۵
آکینافتیلن	۳/۰±۸/۲	۲/۰±۱/۱	۰/۰±۰۱/۰۰۵
آسنافتن	۴/۰±۱/۳	۰±۳/۲	۰/۰±۰۱/۰۰۵
فلوئن	۶/۰±۳/۴	۴/۰±۲/۳	۰/۰±۰۱/۰۰۵
فلوئورانتن	۱۰/۰±۵/۵	۷/۰±۱/۴	۲/۰±۳/۲
پایرن	۱۲/۰±۸/۶	۸/۰±۹/۵	۲/۰±۷/۲
بنزوپایرن	۱۵/۰±۶/۹	۱۱/۰±۳/۷	۳/۰±۱/۲
بنزوفلوئورانتن	۱۳/۰±۲/۸	۹/۰±۸/۶	۲/۰±۹/۲
کریسن	۱۴/۰±۷/۹	۱۰/۰±۴/۷	۰±۳/۲
دی بنزوآنتراسن	۱۸/۱±۴	۱۳/۰±۶/۸	۳/۰±۷/۳

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان داد که برخی فلزات سنگین، به‌ویژه سرب و کادمیوم در بافت‌های متابولیکی مانند کبد و کلیه بیشترین غلظت را دارند. این امر احتمالاً به دلیل عملکرد این اندام‌ها در تصفیه و دفع سموم از بدن پرنده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج Einoder و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد، که نشان داد کبد و کلیه پرندگان شکاری و آبزی معمولاً بالاترین سطح فلزات سنگین را ذخیره می‌کنند، درحالی‌که عضلات و سایر اندام‌های غیر متابولیکی دارای سطوح کمتری هستند. علاوه بر این، بررسی غلظت فلزات سنگین در پرهای ماهی‌خورک

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

ابلق نشان داد که این اندام نیز می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر زیستی غیرمخرب برای پایش آلودگی‌های فلزی محیط به کار رود. سایر پژوهشگران نیز در مطالعات خود اشاره کردند که پرهای پرندگان مناطق صنعتی، غلظت بالایی از فلزات سنگین را نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل تماس مستقیم با محیط آلوده و همچنین ورود این عناصر از طریق تغذیه باشد (Burger and Gochfeld, 2000; Abdullah *et al*., 2015). در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که پرهای ماهی‌خورک ابلق غلظت بالایی از فلزات سنگین را نشان می‌دهند که با آلودگی آب‌های منطقه و تغذیه این پرنده از ماهیان آلوده در ارتباط است. میزان تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهی‌خورک ابلق در این منطقه، به‌ویژه برای سرب و کادمیوم، در سطحی برابر یا بالاتر از میزان گزارش‌شده در سایر مطالعات بود. برای مثال Lopez-Berenguer و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که پرندگان ساکن در بیابان آتاکاما که تحت تأثیر آلودگی‌های صنعتی قرار دارند، غلظت بالایی از فلزات سنگین را در پرهای خود نشان می‌دهند. یافته‌های این مطالعه نیز تأیید کرد که ماهی‌خورک‌های این منطقه سطح آلودگی قابل‌توجهی را در پرهای خود دارند، که نشان‌دهنده آلودگی شدید محیط آبی آن‌ها است.

در مورد آلودگی ناشی از PAHs، داده‌های این پژوهش حاکی از آن بود که این ترکیبات بیشتر در بافت‌های چربی‌دار مانند کبد و عضله تجمع پیدا می‌کنند. این یافته با نتایج Moradi و همکاران (۲۰۲۳) و Jaspers و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارد، که نشان دادند پرندگانی که در محیط‌های آلوده به نفت زندگی می‌کنند، مقادیر بالایی از این ترکیبات را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند. از آنجایی که ماهی‌خورک ابلق در زنجیره غذایی خود مستقیماً از آبزیان تغذیه می‌کند، این احتمال وجود دارد که آلودگی نفتی و ترکیبات PAHs از طریق مصرف ماهیان آلوده وارد بدن این پرنده شده باشد. در پژوهش‌های پیشین مشاهده شده که قرارگیری طولانی‌مدت در معرض PAHs می‌تواند اثرات منفی بر سیستم ایمنی و نرخ زادآوری پرندگان داشته باشد (Loera *et al*., 2024). یافته‌های این پژوهش نیز تأیید کرد که تجمع بالای این ترکیبات می‌تواند موجب کاهش متابولیسم و اختلال در عملکرد سیستم ایمنی پرندگان شود.

همچنین مطالعات دیگر تایید کردند که آلودگی‌های نفتی و فلزات سنگین می‌توانند تأثیرات منفی مستقیمی بر بقای نسل پرندگان آبزی داشته باشند، یافته‌ای که در این مطالعه نیز شواهدی برای آن مشاهده شد (Furness and Camphuysen, 1997; Garcia-Fernandez *et al*., 2013). پرندگان شکارچی، به دلیل تغذیه از منابع آلوده، بیشتر از پرندگان گیاه‌خوار در معرض تجمع این ترکیبات قرار دارند (Jaspers *et al*., 2006). در مطالعه ما نیز مشخص شد که ماهی‌خورک ابلق، به دلیل تغذیه مستقیم از ماهیان آلوده، میزان بالایی از PAHs را در عضلات و کبد خود ذخیره می‌کند. در این پژوهش، ارزیابی سطح آلودگی تنها بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده نبوده، بلکه با بهره‌گیری از شاخص تجمع زیستی (Bioaccumulation Factor: BCF) و نیز مقایسه با حدود راهنمای بین‌المللی انجام شد. بر اساس گزارش سازمان FAO/WHO (۲۰۱۱) و استانداردهای EPA (۲۰۱۷)، مقدار مجاز سرب در بافت پرندگان حداکثر ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کادمیوم ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت سرب و کادمیوم در کبد و کلیه ماهی‌خورک ابلق بین ۲ تا ۴ برابر بالاتر از مقادیر مجاز یاد شده است. همچنین مقدار شاخص BCF برای این عناصر در بافت‌های متابولیکی بیش از ۱ به دست آمد که طبق معیار EFSA (۲۰۲۱) نشان‌دهنده وجود روند تجمع زیستی فعال در زنجیره غذایی است. بنابراین، نتیجه‌گیری در مورد سطح آلودگی منطقه بر اساس یک معیار کمی استاندارد و معتبر انجام شده و نشان می‌دهد که اکوسیستم آبی منطقه تحت فشار آلودگی قابل توجه قرار دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیبات PAH با وزن مولکولی بالا بیشترین میزان تجمع را در بافت‌های ماهی خورک ابلق داشتند و در میان آن‌ها، دی بنزوآنتراسن و بنزوپایرن بیشترین غلظت را نشان دادند. در مجموع، میزان بالای تجمع PAH ها در ماهی خورک ابلق نشان‌دهنده آلودگی شدید محیط‌های آبی آن است که می‌تواند ناشی از نشت‌های نفتی، پساب‌های صنعتی و احتراق سوخت‌های فسیلی باشد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ماهی خورک ابلق می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی مؤثر برای پایش آلودگی‌های نفتی و ترکیبات آروماتیک در محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به یافته‌های این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که پایش‌های زیست‌محیطی مستمر در مناطق صنعتی و آلوده انجام شود و اقدامات لازم برای کاهش ورود آلاینده‌های نفتی و فلزی به منابع آبی صورت گیرد. همچنین، نظارت بر وضعیت سلامت پرندگان آبزی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر در ارزیابی میزان آلودگی‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

منابع

رستگاری مهر،م.، دشه ئی، ع.، و شاکری، ع . ۱۳۹۸. بررسی آلودگی و منشأ فلزات سنگین و هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) در رسوبات سطحی رودخانه قره سو شهرستان کرمانشاه. زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۹(۲)،۱۵۶-۱۶۷.

طیبی، م. و جهانگیری، ص. ۱۳۹۹. تجمع زیستی فلز جیوه بافت های کلیه، کبد، عضله و پر پرندگان در خور موسی (مطالعه موردی اگرت کوچک (*Egretta garzetta*) و پرستوی دریایی معمولی (*Sterna hirundo*)). محیط زیست جانوری، ۱۲ (۲): ۸۲-۷۵.

Abdullah, M., Fasola, M., Muhammad, A., Malik, S. A., Bostan, N., Bokhari, H., Kamran, M. A., Shafqat, M. N., Alamdar, A., Khan, M., Ali, N., and Eqani, S. A. M. A. S. 2015. Avian feathers as a non-destructive bio-monitoring tool of trace metals signatures: A case study from severely contaminated areas. Chemosphere, 119, 553-561. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.068

Baini, M., Martellini, T., Cincinelli, A., Campani, T., Minutoli, R., and Fossi, M. C. 2017. First detection of seven phthalate esters (PAEs) in cetacean blubber. Science of the Total Environment, 575, 728–735.

Burger, J., and Gochfeld, M. 2000. Metals in albatross feathers from Midway Atoll: Influence of species, age, and colony. Environmental Research, 82(3), 207–221.

Dauwe, T., Bervoets, L., Blust, R., Pinxten, R., and Eens, M. 2003. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. Environmental Pollution, 124(3), 429–436.

Dauwe, T., Janssens, E., Bervoets, L., Blust, R., and Eens, M. 2005. Heavy-metal concentrations in female laying great tits (Parus major) and their clutches. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 49(2), 249–256.

Einoder, L. D., Major, R. E., and Richardson, A. M. M. 2018. The use of feathers to assess mercury contamination in Australian birds. Ecotoxicology, 27(6), 783–795.

Farrington, J. W., and Quinn, J. G. 2015. Petroleum hydrocarbons in sediments. Marine Pollution Bulletin, 105(1), 1–2.

Furness, R. W., and Camphuysen, K. C. J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. ICES Journal of Marine Science, 54(4), 726–737.

García-Fernandez, A. J., Espin, S., and Martínez-Lopez, E. 2013. Feathers as a biomonitoring tool of polyhalogenated compounds: A review. Environmental Science & Technology, 47(7), 3028–3043.

Garcia-Salas, J. A., Ceyca-Contreras, J. P., Dávila-Rodriguez, M. I., González-Hernandez, S., Gutiérrez-Mendoza, M., Ballesteros-Medrano, O., and Cortes-Gutierrez, E. I. 2023. Metal contents in feathers from birds (Rhynchopsittaterrisi, and Columba livia) with different ecological niches. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 110(6), 112. https://doi.org/10.1007/s00128-023-03758-w

IARC (International Agency for Research on Cancer). 2012. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 101: Some chemicals present in industrial processes and air pollution mixtures. World Health Organization.

Jaspers, V. L. B., Covaci, A., Voorspoels, S., Schepens, P., and Eens, M. 2006. Patterns of persistent organic pollutants in great tit (Parus major) and blue tit (Parus caeruleus) eggs from rural and industrial areas in Belgium. Environmental Pollution, 139(2), 244–255.

Keller, J. M., Kucklick, J. R., Stamper, M. A., Harms, C. A., and McClellan-Green, P. D. 2004. Associations between organochlorine contaminant concentrations and clinical health parameters in loggerhead sea turtles. Environmental Health Perspectives, 112(10), 1074–1079.

Kim, K. H., Jahan, S. A., Kabir, E., and Brown, R. J. 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. Environment International, 60, 71–80.

Loera, Y., Gruppi, C., Swing, K., Campbell-Staton, S. C., Milá, B., and Smith, T. B. 2024. Heavy metal contamination in birds from protected regions in the Amazon. Environmental Toxicology and Chemistry, 43(12), 2601-2607. https://doi.org/10.1002/etc.5984

López-Berenguer, C., Garcia-Vargas, M., and Pascual, J. A. 2021. Combined effects of heavy metals and organic pollutants in aquatic ecosystems: A review. Chemosphere, 274, 129948.

Mora, M. A. 2003. Heavy metals and metalloids in feathers of Burrowing Owls (Athene cunicullariahypugaea) from southern Texas, USA. Environmental Toxicology and Chemistry, 22(6), 1404–1409.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

Moradi, M., Karbassi, A. R., and Zare, M. 2023. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in marine sediments of the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin, 189, 114721.

Mukhtar, A., Hashmi, M. Z., and Malik, R. N. 2020. Biomonitoring of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in feathers of aquatic birds along the River Ravi, Pakistan. Chemosphere, 256, 127072.

Muralidharan, S., Jayakumar, R., and Servarayan Murugesan, V. 2004. Heavy metals in feathers of birds from India. Environmental Monitoring and Assessment, 96(1–3), 61–71.

Pandiyan, J., Rathinasamy, P., Jonathan, M. P., Subramanian, A., Manoharan, S., and Krishnan, R. 2020. Probing of heavy metals in the feathers of shorebirds at Central Asian Flyway wintering grounds. Scientific Reports, 10, 22118.

Patel, A. B., Shaikh, S., Jain, K. R., Desai, C., and Madamwar, D. 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources, toxicity, and remediation approaches. Frontiers in Microbiology, 11, 562813.

Taggart, M. A., Mateo, R., and Green, A. J. 2020. Metal accumulation in birds from wetland environments. Environmental Science and Pollution Research, 27(7), 7180–7196.

Tanabe, S. 2002. Contamination and toxic effects of persistent endocrine disrupters in marine mammals and birds. Marine Pollution Bulletin, 45(1–12), 69–77.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., and Sutton, D. J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. In Molecular, Clinical and Environmental Toxicology (pp. 133–164). Springer.

Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., and Gochfeld, M. 2017. Metal concentrations in feathers of shorebirds at Delaware Bay, USA. Environmental Research, 158, 180–187.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]

Investigation of the accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in tissues of the *Cerylerudis* as an indicator of environmental pollution in the operational area ofAghajari Oil and Gas Exploitation Company

Mehdi Tayebi[1]
Maryam Mohammadi Rouzbahani[1*]
Mahboubeh Cheraghi[1]
Soolmaz Dashti[1]
Roshna Behbash[1]

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

[*]**Corresponding author:**
Mmohammadiroozbahani@iau.ac.ir

Received date: **November/02/2025**
Accepted date: **January/16/2026**

Abstract

Oil-related processes, from extraction to consumption, are inevitably associated with the release of environmental pollutants, including heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). This study aimed to investigate the accumulation of heavy metals and PAHs in the liver, kidney, tail feathers, and gizzard of *Ceryle rudis* as an indicator aquatic bird in the operational area of Aghajari Oil and Gas Company in 2023. Heavy metal concentrations were measured using a PerkinElmer NexION 300X induction plasma device, and polycyclic aromatic compounds were measured using an Agilent 7890A/5975C gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) device. The results indicated that the highest concentrations of Cd, Pb, Ni, Cr, and Hg were detected in the liver, with values of 0.61±0.05, 2.06±0.12, 2.28±0.18, 3.10±0.25 and 0.24±0.02 mg kg^{-1} dry weight, respectively. The kidney was the second organ with significant accumulation, whereas the levels in the gizzard were negligible and below the detection limit. In contrast, lead accumulation was highest in the tail feathers (52.10±1.50 mg kg^{-1}), indicating the role of feathers in excreting certain pollutants. The analysis of PAHs revealed that the liver and kidney contained the highest concentrations, with total PAH levels of 42.5 and 21 ng g^{-1} dry weight, respectively. Tail feathers and gizzard contained minimal amounts. High molecular weight PAHs, including benzo[a]pyrene (15.6± 0.9 ng g^{-1}), benzo[a]fluoranthene (13.2±0.8 ng g^{-1}), chrysene (14.7±0.9 ng g^{-1}), and dibenzo[a,h]anthracene (18.4±1.0 ng g^{-1}), exhibited the greatest accumulation in the liver and kidney, whereas low molecular weight PAHs such as naphthalene (5.2±0.3 ng g^{-1}), acenaphthylene (3.8±0.2 ng g^{-1}), and acenaphthene (4.1±0.3 ng/g) were detected at lower levels. These findings highlight the potential of *Ceryle rudis* as a bioindicator for monitoring environmental contamination by heavy metals and PAHs in oil-producing regions. The findings of this study indicate that the eelpout can be used as an effective bioindicator for heavy metals and aromatic compounds in aquatic environments.

Keywords: Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), *Ceryle rudis*, Bioindicator, Environmental pollution.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-25]