

به نام خدا

تجمع زیستی و ارزیابی خطر جیوه در پنج گونه ماهی تجاری دریای عمان

مؤلف :

دلشاد بخشوده

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۴)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir

سرشناسه: بخشوده، دلشاد، ۱۳۵۸
عنوان و نام پدیدآور: تجمع زیستی و ارزیابی خطر جیوه در پنج گونه ماهی تجاری دریای عمان/
مؤلف دلشاد بخشوده
مشخصات نشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری: ۱۰۷ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۱۷-۸۱۳-۱
وضعیت فهرست نویسی: فیفا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: تجمع زیستی - ارزیابی خطر جیوه - پنج گونه ماهی تجاری دریای عمان
رده بندی کنگره: TP ۹۸۳
رده بندی دیویی: ۵۵/۶۶۸
شماره کتابشناسی ملی: ۸۳۷۶۱۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیفا

نام کتاب: تجمع زیستی و ارزیابی خطر جیوه در پنج گونه ماهی تجاری دریای عمان
مؤلف: دلشاد بخشوده
ناشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۴
چاپ: زبرجد
قیمت: ۱۴۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان:
<https://chaponashr.ir/ketabresan>
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۱۷-۸۱۳-۱
تلفن مرکز پخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir



تقدیم نامه

این کتاب را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان
تقدیم می‌نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه تلاش‌هایشان در دوران
مختلف زندگی‌ام که چگونه زیستن را به من آموخته‌اند.

فهرست

فصل اول: مقدمه و کلیات ۷

مقدمه ۷

فلزات سنگین ۸

اهمیت مطالعه ماهیان به عنوان نشانگرهای زیستی محیط آبی ۱۳

تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت های مختلف ماهی ها ۱۴

اهمیت ارزیابی فلز سنگین جیوه در ماهی ۱۵

خطرات سلامتی فلزات سنگین در انسان ۱۸

گونه های مورد مطالعه ۲۰

ماهی هامور پنج نواری (EPINEPHELUS DIACANTHUS) ۲۰

ماهی سنگسر معمولی (POMADASYSS KAAKAN) ۲۲

ماهی کوتر دم سیاه (SPHYRAENA QENIE) ۲۴

ماهی کوتر دم زرد (SPHYRAENA FLAVICAUDA) ۲۶

ماهی سرخو (LUTJANUS JOHNNII) ۲۸

دریای عمان ۳۰

فصل دوم: پیشینه کتاب ۳۳

مطالعات داخل کشور ۳۳

مطالعات خارج از کشور ۳۷

فصل سوم: تجزیه و تحلیل داده ها ۴۳

نتایج زیست سنجی نمونه های ماهی ۴۳

بررسی نرمال بودن داده ها ۴۳

نتایج غلظت فلز جیوه در بافت‌های مختلف ماهی هامور پنج نواری	۴۴
نتایج غلظت فلز جیوه در بافت‌های مختلف ماهی سنگسر	۴۵
نتایج غلظت فلز جیوه در بافت‌های مختلف ماهی کوت‌ر دم سیاه	۴۷
نتایج غلظت فلز جیوه در بافت‌های مختلف ماهی کوت‌ر دم زرد	۴۸
نتایج غلظت فلز جیوه در بافت‌های مختلف ماهی سرخو	۵۰
نتایج غلظت تجمع زیستی فلز جیوه بین ماهیان مورد مطالعه	۵۱
بررسی مقادیر جذب روزانه (EDI) و حداکثر مصرف مجاز روزانه (CRLIM) و ماه	
(CRMM)	۵۳
بررسی پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی (THQ)	۵۴
نتایج همبستگی داده‌ها	۵۴
فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری	۶۱
بحث و بررسی نتایج	۶۱
استانداردهای جهانی	۶۸
ارزیابی خطر سلامتی برای مصرف ماهی	۷۲
نتیجه‌گیری کلی	۷۶
منابع	۷۷
منابع فارسی	۷۷
منابع انگلیسی	۸۱

فصل اول:

مقدمه و کلیات

مقدمه

توسعه فعالیت‌های انسانی در سرتاسر جهان فشارهای زیادی را بر اکوسیستم‌های آبی و خشکی وارد کرده است. از زمان انقلاب صنعتی، فرآیند رو به رشد برآورده کردن تقاضای انسان به‌طور منفی و سریع بر محیط زیست تأثیر گذاشته و تغییرات آب و هوایی جهانی آن را تسریع کرده است (Mejjad et al., 2023).

امروزه بشر با تغییرات اقیانوسی مانند افزایش دمای اقیانوس‌ها (Yao et al., 2020)، اسیدی شدن آب (Visbeck, 2018)، کاهش اکسیژن (Zhou et al., 2021)، سفید شدن صخره‌های مرجانی (Levy et al., 2018)، کاهش تنوع زیستی (Ani & Oberbeckmann & Labrenz, 2021)، آلودگی زباله‌های پلاستیکی (Robson, 2021) و غیره مواجه هستند که توسعه پایدار بشر را تهدید می‌کند. در دهه‌های اخیر، استفاده و بهره‌برداری از منابع دریایی از قبیل رشد آبی‌پروری، استخراج معادن در اعماق دریا، کشتیرانی و گردشگری و سایر منابع آلودگی انسانی افزایش یافته است. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ جمعیت جهان به ۸/۵ میلیارد نفر برسد که ۴۰ درصد از جمعیت در ۱۰۰ کیلومتری خط ساحلی زندگی می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود تقاضا برای افزایش بهره‌وری از منابع دریایی و ظرفیت حمل و نقل دریایی افزایش یابد (Alexander et al., 2022).

تا دهه ۱۹۷۰، اقیانوس به‌عنوان محل تخلیه انواع مختلف آلاینده‌ها، از جمله زباله‌های شیمیایی آلی، فلزات، زباله‌های رادیواکتیو و پلاستیک در نظر گرفته می‌شد (EPA, ۲۰۲۲). کنوانسیون لندن در سال ۱۹۷۲ اولین اقدام قانونی را برای حفاظت از

محیط‌زیست دریایی علیه ریختن زباله در اقیانوس‌ها را انجام داد (London Convention, 1972). از آن زمان، علاقه به حفاظت از محیط‌زیست دریایی افزایش یافته است. با این وجود، همچنان محیط‌زیست اقیانوسی جهان با چالش‌های زیادی، مواجه است (Landrigan et al., 2020; Evans et al., 2019). بنابراین پایش مداوم اکوسیستم‌های آبی حائز اهمیت فراوانی است.

مفهوم اولیه پایش محیط‌زیست دریایی، دستیابی به موقع، دقیق و جامع به انواع عناصر فیزیکی و شیمیایی دریایی، مباحث اکولوژیک دریایی، آلاینده‌های دریایی و سایر موارد است. هدف آن کشف اسرار و تغییرات دریا و دیجیتالی کردن اطلاعات اقیانوس‌ها (یک نمایش مجازی ثابت، با وضوح بالا، چندبعدی و تقریباً واقعی از اقیانوس) است (Ma et al., 2023).

فلزات سنگین

فلزات سنگین اجزای طبیعی پوسته زمین هستند و به عنوان اعضای زیرمجموعه‌ای نامشخص از عناصر که خواص فلزی از خود نشان می‌دهند، از جمله فلزات واسطه، لانتانیدها و اکتینیدها در نظر گرفته می‌شوند (Shah, 2021). فلزات سنگین شامل فلزات و متالوئیدهایی هستند که دارای وزن اتمی بین ۶۳/۵ تا ۲۰۰/۶ گرم بر مول و چگالی بیشتر از ۴/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند (Shah, 2008). Okoro و همکاران (۲۰۱۲) تأکید کردند که بیش از ۵۰ عنصر طبقه‌بندی شده به عنوان فلزات سنگین وجود دارند، اما تنها ۱۷ عنصر بسیار سمی و نسبتاً قابل دسترسی هستند. فلزات سنگین اجزای طبیعی محیط زیست هستند که معمولاً در غلظت‌های بسیار کم یافت می‌شوند. فرآیندهای طبیعی که باعث ورود فلزات سنگین در محیط می‌شود شامل فرسایش، فوران‌های آتشفشانی و هوازدگی مواد معدنی است. فلزات سنگین با منشأ طبیعی در اشکال نامحلول وجود دارند (Ayangbenro & Babalola, 2017). فعالیت‌های انسانی مانند زه‌کشی معادن، اکتشاف نفت و گاز دریایی، تولیدات صنعتی (آفت‌کش‌ها، رنگ، چرم، نساجی، کود، داروسازی) و پساب‌های خانگی، فاضلاب‌ها، رواناب کشاورزی، تخلیه زباله‌ها، باران‌های

اسیدی، ساخت‌وساز و لایروبی ساحلی به‌طور اجتناب‌ناپذیری افزایش یافته است (Ansari et al., 2004; Fu & Wang, 2011). فلزات سنگین وارد شده به محیط‌زیست دریایی در اثر فعالیت باکتری‌ها تجزیه نمی‌شوند و تنها فقط می‌توانند به فلزات با سمیت کمتر تبدیل شوند (Hudspith et al., 2017; Ayangbenro & Babalola, 2017).

در عصر انقلاب صنعتی، حفظ محیط زیست پایدار و سالم از اهمیت بسیاری برخوردار است، زیرا از بین ۷۰ فلز و متالوئید موجود در محیط، ۲۳ فلز به عنوان فلزات سنگین / فلزات کمیاب طبقه‌بندی می‌شوند که برخی از آن‌ها به‌عنوان سموم قوی بیولوژیکی شناخته می‌شوند (Shahjahan et al., 2022). فلزات سنگین به‌عنوان یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌های محیط‌زیست شناخته شده‌اند و به دو دسته فلزات ضروری مانند آهن، مس و روی و فلزات غیر ضروری مانند سرب، کادمیوم و کروم تقسیم می‌شوند. این فلزات پتانسیل ایجاد سمیت در محیط زیست و در موجودات زنده را دارند (Sarkar et al., 2022; Rahman et al., 2022).

فلزات سنگین ترکیبات پایدار غیرقابل تجزیه زیستی هستند. دارای تمایل به تجمع در رسوبات و دارای دوره نیمه عمر طولانی در محیط می‌باشند که این ویژگی‌ها مدیریت آن‌ها را به چالشی بزرگ تبدیل کرده است. خواصی مانند تمایل به تجمع در بافت‌های زنده، بزرگ‌نمایی زیستی و عدم توانایی در حذف از طریق اکسیداسیون، پاکسازی زیستی، موجب نگرانی ویژه‌ای در مورد این فلزات شده است، زیرا کاهش اثرات آن‌ها بر محیط زیست و سلامت انسان‌ها نیاز به راه‌های مدیریتی و پیشگیری دقیق دارد. رودخانه‌ها و دریاها به‌عنوان محیط‌های آبی، گیرنده نهایی فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها هستند. تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در این محیط‌ها، می‌تواند تأثیرات منفی بر فیزیولوژی موجودات آبی، به‌ویژه ماهیانی که به این تغییرات بسیار حساس هستند، داشته باشد (Akter et al., 2021).

آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیتهای طبیعی و انسانی هستند. فلزات سنگین اجزای طبیعی پوسته زمین هستند که در غلظتهای بسیار کم یافت می‌شوند. با این حال، فعالیتهای انسانی مانند تخلیه زباله‌های صنعتی، شیوه‌های کشاورزی، ساخت‌وساز ساحلی و لایروبی به‌طور اجتناب ناپذیری غلظت فلزات سنگین را در محیط افزایش داده است. با بررسی منابع فلزات سنگین در خاک، می‌توان تغییرات زمانی و مکانی و تغییرات منبع آلودگی فلزات سنگین را خلاصه کرد و سپس راهی معقول برای مداخله هر چه زودتر از مبدأ پیدا کرد تا آسیب این آلودگی به خاک کاهش یابد (Zhang & Wang, 2020).

آلودگی ناشی از فلزات سنگین می‌تواند اثرات سمی برای موجودات آبی و انسان‌ها ایجاد کند که ناشی از مصرف مواد غذایی آلوده دریایی است (Araújo and Cedeño-Macias, 2016). طبق گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)، آرسنیک، کادمیوم، سرب و جیوه از جمله سمی‌ترین فلزات موجود در محیط هستند. علاوه بر این، آژانس ثبت مواد سمی و بیماری‌های ایالات متحده (ATSDR) بیش از ۲۰ فلز سنگین را با سمیت مشخص فهرست می‌کند، اما ۴ مورد از نگران‌کننده‌ترین فلزات سنگین برای سلامتی انسان شامل آرسنیک (As)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg) هستند (Gonzalez Henao & Ghneim-Herrera, 2021). به دلیل ماهیت تجزیه‌ناپذیر فلزات سنگین، آلودگی فلزی می‌تواند منجر به برهم خوردن تعادل اکولوژیکی و عدم تعادل در تنوع اکوسیستم‌های آبی و تجمع در زنجیره غذایی و در نهایت منجر به اثرات نامطلوب و مرگ موجودات آبی شود (Bashir et al., 2020).

آلودگی فلزات سنگین در آبزیان یک نگرانی اساسی است که تأثیر جدی بر موجودات مرتبط، به‌ویژه ماهی دارد (Shahjahan et al., 2022; Suchana et al., 2021). فلزات سنگین به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند. اما کاربرد بیش‌ازحد آن‌ها در صنایع مختلف برای چندین هدف، با تخلیه بیش‌ازحد این فلزات به داخل خاک و سیستم‌های آبی، به‌طور قابل‌توجهی سیستم‌های زیست‌محیطی را تغییر داده است (Sarkar et al.,

^۱Environmental protection agency

^۲Agency for toxic substances and diseases registry

نشده جمعیت، فعالیت‌های فشرده کشاورزی و صنعتی شدن منجر به تولید طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها می‌شود که در نهایت عواقب جدی برای اکوسیستم‌های آبی ایجاد می‌کند (Shahjahan et al., 2021).

به‌طور کلی، فعالیت‌های انسانی، مانند فرسایش از مزارع کشاورزی و تخلیه ضایعات صنعتی و خانگی، منابع اصلی فلزات سنگین در محیط‌های آبی محسوب می‌شوند (Ezemonye et al., 2018; Sarkar et al., 2016).

موجودات آبی، از جمله ماهی، می‌توانند با فلزات سنگین که در آب و رسوبات اکوسیستم‌های آبی وجود دارند، آلوده شوند (Youssef & Tayel, 2004). هنگامی که فلزات سنگین وارد محیط‌های آبی می‌شوند، در آب حل شده و به راحتی در قسمت‌های مختلف بدن موجودات زنده آبی از جمله ماهی جمع و متعاقباً وارد بدن مصرف‌کنندگان این ماهی‌های آلوده می‌شوند (Authman et al., 2011).

تجمع زیستی فلزات سنگین در ماهی باعث ایجاد عوارض در سلامت و فعالیت‌های فیزیولوژیکی ماهی می‌شود (Malik & Maurya, 2014). شدت سمیت فلزی (سرطان‌زا، تراتوژن یا آسیب‌زا و جهش‌زا) با گونه‌های ماهی، سطح فلزات و دوره قرار گرفتن در معرض متفاوت است (Ngo et al., 2011). آلودگی فلزات سنگین عملکرد هماتو-بیوشیمیایی ماهی را به شدت تغییر می‌دهد و همچنین باعث تغییر شکل‌های مختلف (سلولی و هسته‌ای) در سلول‌های خونی می‌شود (Islam et al., 2019; Ahmed et al., 2013). اختلالات ژنتیکی در نتیجه سمیت فلزات سنگین نیز ثبت شده است (Suchana et al., 2021). علاوه بر این، فلزات سنگین به شدت بر رشد جنینی و لارو ماهی از طریق ایجاد پیچیدگی‌هایی مانند افزایش ضربان قلب، کاهش فعالیت قلبی، افزایش میزان مرگ‌ومیر، تغییر شکل، ناهنجاری‌های ستون مهره و غیره

¹Teratogenesis

تأثیر می‌گذارد (Wang et al., 2020; Witeska et al., 2014; Zhang et al., 2010; Huang et al., 2010).

استفاده و تجمع کنترل نشده فلزات سنگین به یک نگرانی مهم در مورد سلامتی تبدیل شده است. زیرا بیشتر آن‌ها توانایی تجزیه در حالت‌های غیر سمی را ندارند و از این رو، تأثیرات مخرب بر سلامت انسان و موجودات آبی ایجاد می‌کنند (Lu et al., 2015; Abdel-Baki et al., 2011; Farombi et al., 2007). آلودگی فلزات سنگین به‌طور قابل توجهی مانع عملکرد تولیدمثل ماهی می‌شود که این امر از طریق کاهش شاخص گنادوسوماتیک (GSI)، باروری، لقاح و تغییر شکل غیرطبیعی اندام‌های تولیدمثل قابل بررسی می‌باشد (Gupta et al., 2021; Yan et al., 2020; Gárriz et al., 2019; Santos et al., 2018; Łuszczek-Trojnar et al., 2014).

به‌طور گسترده، فلزات را می‌توان از نظر بیولوژیکی به دو دسته ضروری و غیرضروری طبقه‌بندی کرد. فلزاتی مانند آلومینیوم، کادمیوم، جیوه، قلع و سرب هیچ نقشی در عملکردهای زیستی خاص ندارند و بنابراین در غلظت‌های پایین نیز سمی هستند. از طرف دیگر، فلزات آهن، مس، روی، کروم در فرآیندهای فیزیولوژیکی بدن موجودات زنده نقش دارند و سمیت آن‌ها در غلظت‌های بیش از حد رخ می‌دهند. این فلزات جزء فلزات ضروری هستند که برای رشد موجودات حیاتی می‌باشند (Rohani et al., 2022; Akter et al., 2021; Ghazi et al., 2021; Wang et al., 2020; Saffari et al., 2018; Song et al., 2017). اما وقتی غلظت آن‌ها از حداکثر مجاز فراتر رود، مانع عملکرد فعالیت‌های فیزیولوژیکی طبیعی می‌شوند و باعث سمیت موجود و در نهایت ایجاد تهدید قابل توجهی برای سلامتی انسان می‌شوند (Mokarram et al., 2020; Dawood et al., 2020; Sarkar et al., 2016; Okoye et al., 2015).

اهمیت مطالعه ماهیان به عنوان نشانگرهای زیستی محیط آبی

عناصر بالقوه سمی (PTE) به دلیل سمیت و تداوم در محیط زیست به عنوان آلاینده‌های خطرناک مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی، عناصر بالقوه سمی به عنوان آلاینده‌های سرطان‌زا گزارش شده‌اند (Mirza Alizadeh et al., 2022; Fiore et al., 2019). قرار گرفتن در معرض طولانی مدت در برابر آن‌ها از طریق مصرف غذاها می‌تواند منجر به بیماری‌های سرطان‌زا و باعث موارد تراژون و جهش در بافت‌های بدن شود (Nematollahi et al., 2021; Sobhanardakani, 2018; Conte et al., 2014; Ghoreishi et al., 2015; Sarasiab et al., 2014).

مواد شیمیایی بی‌شماری مانند عناصر بالقوه سمی از طریق سیل، آب‌های زیرزمینی، فاضلاب و رسوبات جوی به محیط‌های آبی آزاد می‌شوند (Sarlak et al., 2021; Hashempour-Baltork et al., 2019). گونه‌های آبی مانند ماهی را می‌توان به عنوان نشانگرهای زیستی برای قرار گرفتن در معرض مواد آلاینده در نظر گرفت. بنابراین، تجمع آن‌ها در زنجیره‌های غذایی به دلیل ایجاد خطرات جدی برای انسان مورد توجه قرار دارد (Mirza Alizadeh et al., 2021; Copat et al., 2018). اخیراً، ارزیابی‌های عاملی ریسک عمومی بسیار مهم شده است زیرا سطح آلاینده‌ها لزوماً خطرات واقعی برای سلامت انسان را نشان نمی‌دهند. عواقب آلودگی توسط فلزات سنگین می‌تواند برای انسان خطرناک باشد. بنابراین، ارزیابی خطرات احتمالی آلاینده‌های شیمیایی در مواد غذایی از منابع آبی ضروری است (Hashempour-Baltork et al., 2023).

ماهی‌ها به دلیل کیفیت غذایی بالا، به‌ویژه محتوای بالای پروتئین، اسیدهای چرب امگا ۳ و ویتامین‌ها، در رژیم‌های غذایی انسان‌ها حائز اهمیت هستند (Peivasteh-Roudsari et al., 2020; Khalili Tilami and Sampels, 2018). ماهی‌ها نقش مهمی در امنیت و تغذیه جهانی ایفا می‌کنند. ماهی ارزان‌ترین منبع پروتئین است که بیش از ۶۰

¹Potentially toxic elements

٪ رژیم غذایی پروتئین حیوانات را در چندین کشور آفریقایی تشکیل می‌دهد (FAO, ۲۰۱۴).

علیرغم مزایای بسیار زیاد سلامتی مرتبط با مصرف ماهی، پتانسیل آن برای تجمع زیستی آلودگی‌ها از محیط اطراف و انتقال به انسان، مصرف آن را در موارد خاص به تهدید سلامتی تبدیل می‌کند (Fakhri et al., 2018; Miri et al., 2017; Nemati et al., ۲۰۱۴). تخلیه مداوم آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین، PCB^۱، PAH^۱، پلاستیک، ضایعات دارویی و سایر مواد زباله در محیط دریایی با راه‌حل‌های مدیریت نامشخص به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. قرار گرفتن انسان در معرض این آلاینده‌ها به دلیل ماهیت پایدار، غیر تخریب پذیر و توانایی تجمع آن‌ها در اندام‌ها و بافت‌ها در طولانی مدت باید مورد توجه همه قرار گیرند (Dadar et al., 2017; Shahsavani et al., 2017; Adel et al., 2016; Seixas et al., 2014).

تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهی‌ها

تجمع زیستی فلزات سمی در بافت‌های مختلف غذاهای دریایی جهت حفظ سلامت انسان باید به صورت مکرر مورد ارزیابی قرار گیرند تا انواع خطرات سلامتی انسان مرتبط با غذاهای دریایی کاهش یابد. در میان موجودات دریایی ماهی‌ها از غذاهای دریایی مهم انسان می‌تواند انواع مختلفی آلاینده را از محیط خود جمع کنند؛ به همین دلیل شاخص عالی برای ارزیابی آلودگی آب در هر نوع اکوسیستم دریایی و آب شیرین است (Mehtar et al., 2023). فلزات سنگین از مسیرهای مختلفی مانند تنفس، بلع و جذب آب و غذا از محیط‌های آبی وارد بدن آبزیان می‌شوند (Furness, 1990).

ارزیابی تجمع زیستی فلزات سنگین ابزاری قدرتمند برای نظارت آلودگی محیطی است (Imar & Carlos, 2011). اثرات سمی و اکسیداسیون فلزات سنگین به ترتیب با اشکال و انواع فلزی آن‌ها متفاوت است (Emon et al., 2023). معمولاً، مقدار کمی از فلزات

^۱Polycyclic aromatic hydrocarbon

^۲Polychlorinated biphenyls

سنگین (غیر قابل تجزیه) به دلیل جذب، رسوب و حتی ترکیب آن‌ها در یک غلظت خاص در مواد غیرزنده و درنهایت، در بدن موجودات آبی جمع می‌شود (Abdel-Baki et al., 2011).

ماهی در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، تهدید جدی را ایجاد می‌کند. زیرا ماهی از طریق چندین بافت مهم بدن (آبشش، کبد، کلیه، پوست، عضله و غیره) فلزات را جمع می‌کند. برخی از فلزات (Zn, Pb, Ni, Hg, Fe, Cu, Cr, Cd) دارای پتانسیل ردوکس هستند و در برابر تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) که نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیک بدن ماهی بازی می‌کنند، واکنش نشان می‌دهند. ROS به‌عنوان شاخص استرس اکسیداتیو عمل می‌کند که فعالیت سلول‌ها را از طریق پروتئین، لیپیدها و DNA تخریب‌کننده محدود می‌کند (Mokarram et al., 2020; El-Moselhy et al., 2011; Al-Busaidi et al., 2011). تجمع زیستی فلزات سنگین در گونه‌های ماهی به‌سرعت جذب فلزات سنگین و فعالیت متابولیکی گونه بستگی دارد (Karadede et al., 2004). بسیاری از محققان گزارش کرده‌اند که عوامل مختلف زیستی و غیر زیستی مسئول تجمع آلاینده‌های معدنی در اندام‌ها و بافت‌های ماهی هستند. برخی از این عوامل عبارتند از: نوع گونه ماهی، سطح تغذیه‌ای ماهی در یک اکوسیستم، عادات غذایی، سن و اندازه ماهی، تفاوت بین‌گونه‌ای در حساسیت به فلزات مختلف، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات دریا، عوامل فیزیکی و شیمیایی آب (Griboff et al., 2018; Moiseenko and Gashkina, 2020).

اهمیت ارزیابی فلز سنگین جیوه در ماهی

جیوه (Hg) یک آلاینده شیمیایی نگران‌کننده برای سلامت انسان در سراسر جهان است. سازمان جهانی بهداشت (WHO) جیوه را به‌عنوان یکی از ۱۰ ماده شیمیایی سمی برای

^۱Reactive oxygen species

^۲World Health Organization