

## **The impact of heavy metal pollution on aquatic ecosystems through entering the sewage**

**Mashoufi Shokufeh<sup>¶¶</sup>, Mohammadi Malihe<sup>\*¶∆</sup>, Ghanbarifardi Mehdi<sup>¶¶</sup>,  
Alimoradi Mohammad reza<sup>¶∇</sup>**

### **Abstract**

Discharge of sewage to the environment in the form of treated or untreated wastewater can have serious impacts on human health and quality of life and on ecosystem condition. Wastewater discharges are contributors to bacterial contamination, toxicity from heavy metals and ammonia, all of which continue to threaten public and environmental health. Heavy metals are distinguished from other types of contaminants due to their long return cycle, inadequate decomposition, and increase accumulation in the food chain, and are constantly released from natural and anthropogenic resources into aquatic ecosystems, that anthropogenic resources include: industrial effluents, domestic sewage and agricultural wastewater. Contamination of freshwater and consequently freshwater fish with toxic heavy metals is a serious environmental issue, that has important impacts for human health. To assess the health of aquatic systems, fishes are widely used because contaminants in the food chain cause adverse effects and death of aquatic organisms. In this article, several studies related to the properties, adsorption rate, concentration assessment and effects of heavy metals on fishes and aquatic ecosystems have been reviewed. The results of these studies showed that the accumulation of toxins, especially heavy metals, in fishes is potentially dangerous because it can be transmitted to humans directly after consumption. Because some elements such as mercury, arsenic, cadmium and lead are toxic even at very low concentrations, it is important to determine the content of heavy metals in human foods.

---

¶¶. Senior student of biochemistry, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. s.mashoufi76@gmail.com

¶∆. Associate Professor and Director of Biology Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. mmohammadi@science.usb.ac.ir

¶¶. Assistant Professor of Biology Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. meghfardi@gmail.com

¶∇. PHD of Climatology, Climate Change, Department of Environment, Zahedan, Iran. mralimoradi@gmail.com

---

**Keywords:** Heavy metals, Contamination, Aquatic ecosystem, Fish, Bioaccumulation

## تأثیر آلودگی های فلزات سنگین بر اکوسیستم های آبی از طریق ورود به فاضلاب

شکوفه مشعوفی<sup>۴۸</sup>، ملیحه محمدی<sup>۴۹\*</sup>، مهدی قنبری فردی<sup>۵۰</sup>، محمدرضا علیمراد<sup>۵۱</sup>

### چکیده

تخلیه فاضلاب به محیط زیست به صورت تصفیه شده یا تصفیه نشده می تواند تأثیر جدی بر سلامتی و کیفیت زندگی انسان و شرایط اکوسیستم داشته باشد. تخلیه فاضلاب عامل ایجاد آلودگی باکتریایی، سمیت ناشی از فلزات سنگین و آمونیاک است که همه آنها سلامت عمومی و محیط زیست را تهدید می کنند. فلزات سنگین به دلیل چرخه بازگشت طولانی مدت، نامناسب بودن در تجزیه و افزایش میزان تجمع در طول زنجیره غذایی از انواع دیگر آلاینده ها متمایز هستند و به طور مداوم از منابع طبیعی و انسانی به اکوسیستم های آبی آزاد می شوند؛ که منابع انسانی عبارتند از پساب های صنعتی، فاضلاب خانگی و رواناب کشاورزی. آلودگی آب های شیرین و در نتیجه ماهیان آب شیرین با فلزات سنگین سمی یک مسئله جدی زیست محیطی است که پیامدهای مهمی برای سلامتی انسان دارد. برای ارزیابی سلامت سیستم های آبیان، از ماهی ها به طور گسترده ای استفاده می شود، زیرا آلاینده های موجود در زنجیره غذایی باعث ایجاد

۴۸. دانشجوی ارشد بیوشیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان. s.mashoofi76@gmail.com

۴۹. استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان. mmohammadi@science.usb.ac.ir

۵۰. دانشیار گروه زیست شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان. meghfardi@gmail.com

۵۱. دکتری آب و هواشناسی، تغییرات آب و هوایی، سازمان حفاظت محیط زیست، زاهدان، ایران. mralimoradi@gmail.com

اثرات سوء و مرگ و میر جانوران آبی می‌شوند. در این پژوهش، چند مطالعه مربوط به خصوصیات، میزان جذب، ارزیابی غلظت و اثرات فلزات سنگین بر ماهی‌ها و اکوسیستم‌های آبی بررسی شده است. نتایج این مطالعات نشان داد که تجمع سموم به‌ویژه فلزات سنگین در ماهیان به‌طور بالقوه خطرناک است زیرا می‌تواند مستقیماً پس از مصرف به انسان منتقل شود. از آنجا که برخی عناصر مانند جیوه (Hg)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) حتی در غلظت‌های بسیار پایین نیز سمی هستند، بنابراین تعیین محتوای فلزات سنگین در غذاهای انسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، آلودگی، اکوسیستم آبی، ماهی، تجمع زیستی

#### مقدمه

فلزات سنگین به عنوان عناصر فلزی تعریف می‌شوند که چگالی نسبتاً بالایی نسبت به آب دارند. فلزات سنگین عمدتاً شامل سرب (Pb)، جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، روی (Zn)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، نقره (Ag) و غیره می‌باشند که از میان آن‌ها آرسنیک (As)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) عملکرد اساسی شناخته‌شده‌ای در سلول‌های موجودات زنده ندارند و ورود مداوم آن‌ها به بدن به صورت طولانی مدت، حتی در مقادیر کم برای موجودات سمی می‌باشد؛ این عناصر سمی‌ترین مواد برای انسان، حیوانات و محیط‌زیست محسوب می‌شوند. برخی عناصر کمیاب نیز به‌عنوان فلز سنگین شناخته می‌شوند، مانند مس (Cu)، سلنیوم (Se)، آهن (Fe) و روی (Zn) که برای متابولیسم بدن ضروری هستند اما در غلظت‌های بالاتر سمی می‌باشند [1]. فلزات سنگین به‌طور مداوم از منابع طبیعی و انسانی در اکوسیستم‌های آبی آزاد می‌شوند. از روش‌های طبیعی ورود فلزات سنگین به محیط‌های آبی می‌توان به فرسایش سنگ‌های حامل فلزات سنگین، فعالیت‌های آتشفشانی (زمینی یا دریایی)، گردوغبار و آتش‌سوزی جنگل‌ها و مزارع اشاره کرد [2]. منابع انسانی تولید فلزات سنگین شامل صنایع کودسازی، چرم‌سازی، باتری، کاغذ و آفت‌کش‌ها، نیروگاه‌های بخار، تولید شیشه و زباله، صنعت فولاد و آهن، فعالیت‌های معدنی و غیره

است [3]. آلودگی‌ها به‌طور کلی از دو طریق وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند: الف) منابع نقطه‌ای قابل شناسایی مانند پساب‌های فاضلاب شهری و صنعتی؛ ب) منابع پراکنده که با عوامل جوی ارتباط نزدیک دارد، این منابع شامل رواناب سطحی، فرسایش و رسوبات جوی است [4]. فلزات سنگین به‌دلیل سمیت، تجمع زیستی، تجزیه‌ناپذیری در محیط‌زیست، قدرت حلالیت بالا در آب، ماندگاری طولانی و افزایش میزان تجمع در زنجیره غذایی تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آب شیرین مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها و در نتیجه ماهیان آب شیرین و نیز اکوسیستم میکروبی و گیاهی مانند جلبک‌ها هستند [5]. براساس آمار تهیه شده توسط سازمان غذا و کشاورزی <sup>۵۲</sup>(FAO) مصرف ماهی ۱۶٪ پروتئین حیوانی و ۶٪ از کل پروتئین دریافتی توسط مردم جهان را شامل می‌شود. وجود سطوح بالای چربی‌های اشباع نشده و میزان کلسترول پایین و پروتئین بالا، ماهی را به یکی از منابع مهم پروتئین در رژیم غذایی انسان تبدیل کرده است. این ماده غذایی در بسیاری از کشورها از جمله ایران جزء مواد غذایی مهم محسوب می‌شود و تولید آن رو به افزایش است [6]. از آنجا که انسان از چندین گونه ماهی در رژیم غذایی خود استفاده می‌کند، خطر آلودگی ناشی از آلاینده‌های متعدد او را تهدید می‌کند زیرا این آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین می‌توانند مستقیماً پس از مصرف به انسان منتقل بشوند [6,7]. ماهی‌ها به‌دلیل موقعیت تغذیه‌ای بالا در شبکه‌های غذایی، غلظت نسبتاً بالایی از فلزات سنگین را جمع می‌کنند [8]. انتقال تغذیه‌ای فلزات سنگین بالقوه سمی در زنجیره غذایی انسان پیامدهای مهمی برای سلامتی انسان دارد، یک نمونه بارز بیماری میناماتا<sup>۵۳</sup> است که ناشی از مصرف ماهی آلوده به جیوه در ژاپن است [9]. همه فلزات سنگین، با وجود اینکه برخی از آن‌ها ریزمغذی‌های ضروری هستند، از طریق تداخل متابولیکی و جهش‌زایی اثرات سمی خود را بر موجودات زنده نشان می‌دهند [1]. فلزات سنگین از جمله مس، آهن، روی، منگنز، آرسنیک، جیوه، سرب و کادمیوم آلاینده‌های مهم و متداول برای ماهی‌ها هستند زیرا به‌راحتی به اجزاء بی‌ضرر

---

۵۲. Food and Agricultural Organization

۵۳. Minamata

تبدیل نمی‌شوند بلکه در بافت‌های موجودات زنده جمع می‌شوند و نمی‌توانند آن‌ها را دفع کنند [10,11]. ماهی از چهار طریق عمده می‌تواند در معرض آلودگی با فلزات سنگین قرار بگیرد: از طریق مصرف غذا و آب، از مصرف ذرات غیرغذایی، از طریق تبادل یونی فلزات حل شده در غشاءهای لیپوفیلیک (آبشش‌ها) و از طریق جذب پوست [12]. هنگامی که آلاینده جذب می‌شود توسط خون یا به محل ذخیره‌سازی (یعنی استخوان) و یا به کبد برای تبدیل یا ذخیره‌سازی منتقل می‌شود [13]. براساس نتایج Heath (1991) اگر آلاینده توسط کبد تغییر کند ممکن است در کبد ذخیره شده و یا از طریق صفر دفع شود. همچنین ممکن است برای دفع احتمالی توسط آبشش‌ها و کلیه‌ها به خون منتقل شود یا در چربی که یک بافت خارج کبدی است ذخیره شود [14]. بنابراین غلظت فلزات موجود در بافت‌های مختلف پس از قرار گرفتن در معرض محیط به چندین فرایند پویا بستگی دارد که همه به‌صورت همزمان انجام می‌شوند. در واقع تجمع فلزات بین بافت‌های ماهی بسیار متفاوت است. مهم‌ترین بافت‌های تحت تأثیر این آلاینده‌ها آبشش‌ها، کلیه و کبد است [15,16]. آبشش‌ها اولین اندام‌هایی هستند که در معرض ذرات رسوب معلق قرار گرفته‌اند، بنابراین می‌توانند محل‌های قابل توجهی برای تعامل با یون‌های فلزی باشند. آبشش‌ها به‌دلیل سطح وسیع در تماس با آب اطرف، فعالیت زیاد در انتقال یون‌ها، مقدار زیاد خون و غیره یکی از متداول‌ترین بافت‌ها برای مطالعات آلودگی محیط‌زیست هستند [17,18]. به‌طور کلی ماهی‌ها بخش اعظم از فلزات موجود در آبشش را به کبد خود منتقل می‌کنند و بخش کمتری به ماهیچه منتقل می‌شود [19]. همچنین مطالعات انجام شده روی گونه‌های مختلف ماهی‌ها نشان داده است که فلزات سنگین عمدتاً در اندام‌های متابولیزه‌کننده مانند کبد تجمع می‌یابند تا فلزات ذخیره‌شده با تولید متالوتیونین‌ها (MTs) سم‌زدایی شوند [20]. بنابراین غلظت بالای فلزات در کبد در مقایسه با آبشش می‌تواند ناشی از فراوانی پروتئین‌های متالوتیونین در بافت کبد باشد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که تفاوت در میزان فلزات سنگین گونه‌های مختلف آبزیان به سن، طول، وزن، جنسیت، نیازهای اکولوژیک، عادات تغذیه‌ای و شناوری، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات، مدت زمان ماندگاری ماهی در محیط‌های آبی، فصل صید و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب مانند دما، شوری، سختی و

pH بستگی دارد [18].

### اثرات فلزات سنگین

سمیت فلزات سنگین در درجهٔ اول به دلیل واکنش آن‌ها با سیستم‌های آنزیمی سولفیدریل و سپس مهار آن‌ها است. این آنزیم‌ها در تولید انرژی سلولی دخیل هستند [21]. آن‌ها همچنین سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سیستم‌های بیولوژیکی می‌شوند که افزایش تولید ROS می‌تواند دفاع آنتی‌اکسیدانی ذاتی سلول‌ها را از بین ببرد و منجر به وضعیتی بنام استرس اکسیداتیو<sup>۵۴</sup> شود [22].

### کروم (Cr)

کروم یک ماده معدنی ضروری در انسان است که به بدن در متابولیسم کربوهیدرات، لیپید و پروتئین کمک می‌کند. این عنصر در سنگ‌ها، حیوانات، گیاهان و خاک یافت می‌شود و می‌تواند به صورت مایع، جامد یا گاز باشد [23,24]. کروم به طور گسترده‌ای در صنایع گوناگون مانند متالورژی، آبکاری، تولید رنگ، مواد نگهدارنده، تولید خمیر و کاغذ، نوارهای مغناطیسی، سیمان، پلاستیک، ترکیب کفپوش و سایر مواد استفاده می‌شود [24,25]. ورود کروم به محیط اغلب از طریق فاضلاب و کودها انجام می‌شود [26]. ترکیبات کروم شش ظرفیتی شامل کرومات روی، کلسیم، استرانسیوم و سرب بسیار محلول در آب، سمی و سرطان‌زا هستند. درحالی‌که کروم سه ظرفیتی یک ماده مغذی ضروری است [24,25,27]. تنفس مقادیر زیاد می‌تواند باعث تحریک مخاط بینی، زخم بینی، آبریزش بینی، مشکلات تنفسی مانند آسم، سرفه، تنگی نفس یا خس خس سینه شود. واکنش‌های آلرژیک شامل قرمزی شدید و تورم پوست نیز مورد توجه است. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض ترکیبات کروم می‌تواند باعث آسیب به کبد، بافت‌های گردش خون و عصبی کلیه و همچنین سوزش پوست شود [24]. همچنین گزارش شده است که ترکیبات کرومات می‌توانند DNA سلول‌ها را از بین ببرند [28,29]. سازمان

۵۴. Oxidative stress

بهداشت جهانی (WHO) حد ایمن برای کروم شش ظرفیتی در فاضلاب و خاک‌های مورد استفاده برای کشاورزی را به ترتیب ۰,۰۵ و ۰,۱ ppm توصیه کرده است [30,31].

### مس (Cu)

مس یک عنصر فلزی طبیعی است که در خاک با غلظت متوسط ۵۰ ppm یافت می‌شود [32] این ترکیب یک ماده مغذی ضروری برای سلامتی انسان است (مس مورد نیاز برای بزرگسالان و کودکان بالای ۳ سال: ۹۰۰ میکروگرم می‌باشد) و غذاهای دریایی به‌عنوان منبع خوبی از رژیم غذایی مس شناخته می‌شوند [33]. مس در بدن انسان در غلظت بالا بسیار خطرناک است، مقادیر اضافی مس در بدن بیشتر در کبد، کلیه، مغز و بافت محافظ چشم ذخیره می‌شود. در بیماری ویلسون<sup>۵۵</sup> که یک اختلال ارثی است، فلز مس در کبد تجمع می‌یابد. علائم مسمومیت کبدی (زردی، تورم و درد) معمولاً تا نوجوانی ظاهر نمی‌شود. قرار گرفتن در معرض مقادیر بالای مس می‌تواند باعث تخریب گلبول‌های قرمز شود که این امر احتمالاً منجر به کم‌خونی شده و می‌تواند به کلیه و کبد نیز آسیب برساند. همچنین در این حالت تهوع و خونریزی نسوج بینی و معده گزارش شده است. مسمومیت مس هنگامی که با املاح آرسنیک همراه شود، بسیار شدیدتر است [32]. حداکثر میزان مصرف مس مجاز برای انسان، توسط سازمان بهداشت جهانی ۳۰ میلی‌گرم در روز تعیین شده است [34].

### آرسنیک (As)

آرسنیک شیمی پیچیده‌ای دارد و می‌تواند در اشکال آلی (آرسنیک سه ظرفیتی و پنج ظرفیتی) و غیرآلی (آرسنیک ابتدایی، سه ظرفیتی و پنج ظرفیتی) وجود داشته باشد که درجه سمیت آن‌ها متفاوت است. آرسنیک غیرآلی که به‌عنوان سمی‌ترین شکل شناخته می‌شود، پایدار و محلول بوده، در نتیجه می‌تواند اثرات سمی فوری داشته باشد و توسط دستگاه گوارش، حفره شکم و عضلات در بدن انسان جذب شود [35].

درحالی که شکل آلی به دلیل دفع سریع در بدن انسان تجمع نمی‌یابد [36, 37]. اشکال غیرآلی غالباً در مقادیر زیاد در آب آشامیدنی یافت می‌شود درحالی که شکل آلی آن در درجه اول در ماهی و گوشت یافت می‌شود [38, 39]. غذاهای دریایی می‌توانند چندین برابر سایر غذاها آرسنیک داشته باشند و بنابراین منبع اصلی دریافت این ماده رژیم غذایی در انسان است [40, 41]. دریافت مقادیر زیاد می‌تواند منجر به علائم گوارشی مانند استفراغ شدید، اختلال در گردش خون، آسیب به سیستم عصبی و در نهایت سبب مرگ شود. در مواردی که منجر به مرگ نشود ممکن است عوارضی نظیر کاهش سلول‌های خونی، تجزیه گلبول‌های قرمز در گردش خون، بزرگ شدن کبد، سوزن سوزن شدن و از دست دادن حس در اندام‌ها ایجاد شود و یا باعث آسیب به مغز شود. ارتباط بین قرار گرفتن در معرض آرسنیک و فشار خون بالا، حملات قلبی و سایر بیماری‌های گردش خون بسیار قوی است. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آرسنیک غیرآلی در آب آشامیدنی در تایوان باعث ایجاد بیماری سیاهی پا<sup>۵۶</sup> شده است که در آن عروق خونی اندام تحتانی به شدت آسیب دیده و در نهایت منجر به بیماری گانگرن<sup>۵۷</sup> پیشرونده می‌شود. گزارش شده است که افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه و مثانه و ضایعات پوستی مرتبط با آرسنیک با مصرف آب آشامیدنی حاوی غلظت بیش از ۵۰ میکروگرم بر لیتر آرسنیک وجود دارد [32].

### سرب (Pb)

سرب دوظرفیتی گونه یونی پایدار موجود در محیط است و تصور می‌شود که این حالت بیشتر توسط موجودات آبی تجمع زیستی دارد. سرب از طریق فرسایش خاک، ریزش گردوغبار، احتراق بنزین، تخلیه زباله‌های شهری و صنعتی و همچنین بارندگی وارد محیط آبی می‌شود [42]. سرب در بافت ماهی از جمله استخوان، آبشش، کلیه، کبد و فلس‌ها تجمع می‌یابد [43, 44]. جذب سرب دوظرفیتی از طریق آبشش به جریان خون،

۵۶. Blackfoot

۵۷. Gangrene

شیوه اولیه جذب در ماهیان آب شیرین است [45]. سمیت سرب بستگی به مرحله زندگی ماهی، pH و سختی آب و همچنین وجود مواد آلی دارد [46,47,48]. به گفته آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) سرب یک ماده سرطان‌زای احتمالی در انسان است [38]. محدوده مجاز سرب در آب آشامیدنی براساس دستورالعمل آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (US EPA) ۱۵ppb است [24]. همچنین سازمان بهداشت جهانی (WHO) حد ایمن سرب را در فاضلاب و خاک‌های مورد استفاده برای کشاورزی به ترتیب ۰,۰۱ ppm و ۰,۱ توصیه می‌کند [30,49].

### کادمیوم (Cd)

کادمیوم که یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین است، سرطان‌زا، جهش‌زا و مختل‌کننده عدد درون‌ریز بوده و دارای نیمه عمر طولانی (۱۰-۱۵ سال) است که منجر به تجمع آن در بدن انسان می‌شود [50]. کادمیوم از انواع مختلف منابع انسانی وارد محیط زیست می‌شود. فاضلاب منبع اصلی آلودگی محیطی کادمیوم است و آلودگی پراکنده از طریق انتشار گازهای صنعتی و استفاده گسترده از کودها در خاک‌های کشاورزی رخ می‌دهد. قرار گرفتن انسان در معرض کادمیوم زمانی رخ می‌دهد که خاک‌های آلوده به کادمیوم پراکنده شده و گردوغبار استنشاق شود. رژیم غذایی سرشار از گوشت (به‌ویژه کبد و کلیه‌ها) یا محصولات پستانداران دریایی ممکن است منجر به دریافت مقادیر زیاد کادمیوم شود. اندام اصلی انسان که تحت تأثیر کادمیوم قرار می‌گیرد بافت کلیه است [32]. لازم به ذکر است که اثرات سمی بالقوه کادمیوم با اتصال به متالوتیونئین‌ها در کبد و کلیه کاهش می‌یابد، حتی اگر این عنصر بتواند برای مدت زمان طولانی در بافت کلیه پستانداران دریایی ذخیره شود [51,52]. سمیت مزمن کادمیوم در کودکان شامل آسیب سیستم تنفسی، کلیوی، اسکلتی و قلبی - عروقی و همچنین ایجاد سرطان ریه، کلیه، پروستات و معده است [53,54]. در تحقیقی که در ایران انجام شد گزارش شد که میزان کادمیوم در نمونه‌های کنسرو شده ماهی بیشتر از حد مجاز است و این به دلیل تخلیه آلاینده‌های غنی از فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی است [55]. سازمان

بهداشت جهانی (WHO) حد مجاز کادمیوم را در فاضلاب و خاک برای کشاورزی ppm ۰,۰۰۳ توصیه می‌کند [30,31].

### جیوه (Hg)

جیوه فلزی است که می‌تواند به اشکال مختلف (جیوه عنصری، جیوه معدنی یا ترکیبات آلی جیوه به‌ویژه ترکیبات آلکیل جیوه مانند متیل جیوه و دی‌متیل جیوه) در محیط وجود داشته باشد [32]. بیشترین نگرانی در رابطه با مصرف ماهی و غذاهای دریایی و سلامت انسان مربوط به این فلز است [35]. ماهی به‌عنوان منبع اصلی جیوه در انسان شناخته می‌شود [56]. سطح جیوه به‌دلیل فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی از اوایل قرن بیستم به میزان قابل توجهی افزایش یافته است [57]. منابع طبیعی تولیدکننده جیوه شامل آتش‌سوزی در جنگل‌ها و فعالیت آتشفشانی است اما منشأ یک تا دوسوم جیوه موجود در جو و محیط زیست انسانی است [58,59]. متیل جیوه اصلی‌ترین شکل آلی جیوه است که توسط بدن انسان از طریق مصرف غذاهای دریایی جذب می‌شود [60]. بیش از ۹۵٪ متیل جیوه بلعیده شده پس از مصرف از طریق روده جذب می‌شود و سپس از طریق جریان خون در تمام بافت‌ها و اندام‌های هدف توزیع می‌شود. متیل جیوه یک نوروتوکسین قوی شناخته شده است که به‌راحتی از سد خونی مغزی عبور می‌کند و تجمع آن در مغز باعث از بین رفتن یاخته‌ها در مناطق خاص در مغز مانند مخچه، قشر بینایی و سایر مناطق می‌شود [32,61]. عوارض جانبی نامطلوب که با متیل جیوه در انسان همراه است شامل آسیب به ریه‌ها و کلیه‌ها، آسیب به جنین در حال رشد، فشار خون یا ضربان قلب بالا، استفراغ و اسهال، ضایعات پوستی، اختلال بینایی و شنوایی، سردرد، مشکلات حرکتی و ازدست دادن هماهنگی، تغییرات عصبی عضلانی، ازدست دادن حافظه، خستگی، سوزش چشم، بی‌خوابی، لرزش و آتاکسی است [24,57]. محدوده مجاز US EPA برای جیوه در آب آشامیدنی ۲ ppb است [24]. همچنین سازمان بهداشت جهانی حد ایمن جیوه در فاضلاب و خاک‌های مورد استفاده برای کشاورزی را به ترتیب ppm ۰,۰۰۱ و ۰,۰۵ توصیه کرده است [62,63].

### نیکل (Ni)

نیکل در مقادیر اندک، به عنوان فعال کننده برخی از سیستم‌های آنزیمی عمل می‌کند اما سمیت آن در سطوح بالاتر می‌تواند باعث مشکلات تنفسی و همچنین بروز سرطان شود. سمیت حاد آن از تعامل رقابتی با Ca، Fe، Cu، Co و Zn ناشی می‌شود [64]. نیکل به طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شود و یک آلاینده آبی رایج است [65]. انسان ممکن است با تنفس هوا، نوشیدن آب، خوردن غذا و یا کشیدن سیگار در معرض نیکل قرار گیرد. تماس پوست با خاک یا آب آلوده به نیکل نیز ممکن است منجر به قرار گرفتن در معرض نیکل شود. مسمومیت با نیکل ممکن است با افزایش شانس ابتلا به سرطان ریه، بینی، حنجره، و پروستات، آمبولی ریه، آسم و برونشیت مزمن، نقایص مادرزادی، واکنش‌های آلرژیک مانند ضایعات پوستی و اختلالات قلبی همراه باشد. گازهای نیکل محرک تنفسی هستند و ممکن است باعث ایجاد پنومونیت شوند [32]. در سطح جهانی انتشار نیکل به محیط زیست از ۱۵۰۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰۰ تن در سال تخمین زده می‌شود [66]. حد ایمن توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی برای نیکل در فاضلاب و خاک‌های کشاورزی به ترتیب ۰٫۰۲ ppm و ۰٫۰۵ است [30,31].

### آهن (Fe)

آهن احتمالاً شناخته شده‌ترین فلز در سیستم‌های زیستی است و به ویژه نقش مهمی در فیزیولوژی انسان دارد. گوشت مهره‌داران (پستانداران، پرندگان و ماهی‌ها) به دلیل غلظت بالای آهن و همچنین وجود هم آهن، منابع خوبی از آهن شناخته شده است [33,67,68]. منابع اصلی افزایش غلظت آهن در محیط آبی، رواناب صنعتی آهن و فولاد، آلیاژها، زهکشی معادن اسید، صنایع شیمیایی، صنایع رنگ، کودها، مواد شیمیایی آلی، کارخانه‌های کنسروسازی، چرم‌سازی، تولید تیتانیوم دی‌اکسید و پتروشیمی است [32]. افزایش آهن در بدن انسان ابتلا به انواع سرطان قسمت‌های گوارشی و حملات قلبی را باعث می‌شود. تنگی پیلور و انسداد روده از دیگر عوارض دیررس و نادر آهن می‌باشد، تأثیر آهن روی کبد در تغییر وضعیت سلول‌های کوپفر و سلول‌های پارانشیمال متغیر است. آسیب کبدی مذکور می‌تواند موجب هیپوکلسمی، هیپوپروتئینی و اختلال‌های

انعقادی و در نهایت نارسایی کبد شود [69]. باتوجه به اهمیت موضوع و عوارض و خطرات فلزات سنگین، محققان بسیاری در سراسر دنیا به سنجش فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و گونه‌های مختلف ماهی پرداخته‌اند:

در مطالعه انجام گرفته توسط (Hazrat Ali et al, 2018) [9]، غلظت فلزات سنگین کروم (Cr)، نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) در آب، رسوبات و گونه‌های مختلف ماهی در رودخانه کابل (پاکستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد غلظت بالای فلزات سنگین که در نمونه‌های رسوبی منطقه بالادست رودخانه یافت می‌شود را نمی‌توان تنها به منابع انسانی نسبت داد، این غلظت‌های بالا ممکن است به دلیل هوازگی سنگ‌های حاوی فلزات سنگین باشد. همچنین ارزیابی خطرات سلامتی انسان براساس داده‌های این مطالعه نشان داد که مصرف ماهیان آب شیرین مورد بررسی از رودخانه کابل به‌طور کلی از نظر خطرات احتمالی ناشی از Cd و Pb ایمن است اما تجمع Ni مشاهده شده ممکن است خطرات بالقوه‌ای برای سلامتی مصرف‌کنندگان ماهی ایجاد کند. (Ebrahimpour et al, 2011) غلظت فلزات سنگین از جمله کادمیوم (Cd)، مس (Cu)، روی (Zn)، سرب (Pb) و کروم (Cr) را در بافت‌های مختلف (ماهیچه، آبشش‌ها، کلیه، کبد و روده) دو گونه ماهی آب شیرین ماهی خوار و زئوپلانکتون (*Esox lucius and Carassius gibelio*) از تالاب انزلی مورد بررسی قرار دادند [70]. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین اندام‌ها و گونه‌های ماهی برای Cr و Zn، Cu وجود دارد. در این مطالعه، بیشترین غلظت Cd، Cu، Zn، Pb و Cr در کبد ماهی خوار و به دنبال آن کلیه مشاهده شد درحالی‌که کمترین غلظت این فلزات در بافت عضله مشاهده شد. نتایج نشان داد که ماهیچه یک بافت فعال در تجمع فلزات نیست و غلظت‌های پایین این فلزات در ماهیچه گونه‌های ماهی ممکن است نشان‌دهنده سطوح پایین پروتئین‌های اتصال‌دهنده در ماهیچه باشد. همچنین غلظت فلزات در آبشش در مقایسه با کبد، کلیه و روده کمتر گزارش شد. همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تغذیه‌کننده زئوپلانکتون و ماهی خوار وجود دارد. تجمع فلزات در ماهی خوار نسبت به زئوپلانکتون بیشتر بود. (Geoffrey K. Kinuthia et al, 2020) [71] سطوح جیوه

(Hg)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، نیکل (Ni) و تالیوم (Tl) را در فاضلاب و نمونه‌های خاک به‌دست آمده از هشت منطقه در کانال‌های زهکشی منطقه صنعتی نایروبی مشخص کردند. نتایج نشان داد که فاضلاب موجود در کانال‌های زباله در منطقه صنعتی نایروبی دارای سطح بالای سرب و جیوه بود، درحالی‌که خاک موجود در این کانال‌ها دارای سطوح بالایی از جیوه، سرب، نیکل، کروم و کادمیوم بود. درواقع میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک بیشتر از فاضلاب بود و این نتایج با گزارش قبلی (Khan et al [72] مطابق بود که توضیح می‌داد فاضلاب آلوده می‌تواند منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک شود. همچنین گزارش کردند که دما، pH و کدورت فاضلاب در محدوده مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) قرار دارد [72].

مطالعه دیگری توسط ملکوتیان و همکاران (2016) با هدف ارزیابی مخاطرات فلزات سنگین شامل نیکل، کروم، جیوه و سرب در سه ماهی پرمصرف ماهی هور (Thunnus tonggol، ماهی مید یا گاریز (*Liza klunzingeri*) و کفشک ماهی (Pleuronectiformes) از ساحل بندرعباس (خلیج فارس) در تابستان و پاییز انجام شد. آن‌ها بیشترین میزان نیکل و کروم را در ماهی هور، بیشترین میزان جیوه را در کفشک ماهی و بیشترین میزان سرب را در ماهی مید یا گاریز گزارش کردند. یک دلیل آلودگی بیشتر ماهی هور با نیکل و کروم ممکن است نتیجه الگوهای تغذیه‌ای آن باشد. درواقع این گونه از میگو، خرچنگ و ماهی‌های کوچک تغذیه می‌کند و زنجیره غذایی وسیع‌تری نسبت به دو گونه دیگر دارد. کفشک ماهی نسبت به ماهی هور کوچک‌تر است اما میانگین غلظت جیوه در آن بالاتر است. حداکثر انباشت و ذخیره فلزات سنگین در ماهی خواران، ماهیان پلانکتون‌خوار و گوشتخواران رخ می‌دهد [6]. غلظت بالای جیوه در این ماهی را می‌توان به همین دلیل نسبت داد. همچنین تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهخوار کمتر از گونه‌های گوشتخوار بود، گونه ماهی مید یا گاریز کوچک و گیاهخوار است و این می‌تواند دلیلی بر غلظت کم فلزات سنگین در آن باشد. نتایج نشان داد که به‌رغم آلودگی‌های نیکل، کروم، جیوه و سرب مصرف حداکثر ۴ kg/d از ماهی هور توسط بزرگسالان و ۲,۲ kg/d توسط کودکان مشکلی برای سلامتی از نظر فلزات

سنگین مورد بررسی ایجاد نمی‌کند. این میزان برای ماهی مید یا گاریز به ترتیب ۷,۳۲ و ۴,۰۲ kg/d گزارش شد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هیچ ارتباط معنی‌داری بین Cr، Ni و Hg با طول گونه‌های ماهی مورد بررسی وجود ندارد اما بین سرب و طول ماهی همبستگی قوی و معنی‌داری وجود دارد.

در پژوهشی که توسط محمودی و همکاران (۲۰۱۱) به منظور تعیین بررسی غلظت Cd، Ni، Pb و Hg در بافت‌های *Barbus. grypus* و *Barbus. xanthopterus* در رودخانه‌های کارون و دز انجام گرفت، مشاهده شد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در آبشش و کبد و کمترین آن در عضله بود به استثناء *B. xanthopterus* در رودخانه دز که کمترین غلظت جیوه در آبشش یافت شد. این نتایج نشان داد که ماهیچه یک بافت فعال در ارتباط با تجمع فلزات نیست [73].

Alhas et al, 2009 گزارش کردند که در *B. rajanorum* و *B. xanthopterus* در *mystaceus* در دریاچه سد آتاتورک (ترکیه)، غلظت فلزات سنگین در آبشش و کبد حداکثر بود درحالی‌که این غلظت‌ها در عضلات کمترین بود [74].

Malik et al, 2010 غلظت سرب، کادمیوم، روی، نیکل، مس، کروم و جیوه را در آبشش، کبد و ماهیچه ماهیان *Labeo rohita* و *Ctenopharyngodon idella* در دریاچه بوپال هند تعیین کردند، آن‌ها گزارش کردند که غلظت فلزات در کبد و آبشش بیشتر از ماهیچه است [75]. بنابراین کبد و آبشش ماهی به عنوان اندام‌های شاخص آلودگی آب در محیط‌زیست نسبت به سایر اندام‌های ماهی معرفی می‌شود. همچنین در پژوهشی که توسط Tabari et al, 2010 به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین Cr، Cd، Pb و Zn در نمونه‌های آب، رسوبات و در سه گونه ماهی پرمصرف *Cyprinus carpio*، *Rutilus frisikutum* و *Mugila auratus* انجام گرفت، مشاهده شد که بیشترین غلظت کادمیوم مربوط به *C. carpio* در ایستگاه‌های ماهیگیری بود و این ماهی دارای بالاترین سطح از این سه فلز سنگین نسبت به دو گونه دیگر بود. همچنین کمترین مقدار سرب در *C. carpio* و بیشترین مقدار آن در *M. auratus* مشاهده شد. میانگین غلظت سرب در ماهیان به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقادیر Cr و Cd بود. نتایج غلظت فلزات سنگین در

نمونه‌های آب نشان داد که سرب بیشترین غلظت فلز سنگین در آب بود. میانگین غلظت سرب در نمونه‌های آب به‌طور قابل توجهی بالاتر از مقادیر روی، کادمیوم و کروم بود. همچنین نتایج غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب نشان داد که روی بالاترین غلظت فلز در رسوبات بود، میانگین غلظت روی در نمونه‌های رسوب به‌طور قابل توجهی بالاتر از سطوح سرب، کادمیوم و کروم بود. به‌طور کلی غلظت Cr، Cd و Pb در ماهی‌های منتخب از ساحل گرگان نشان داد که مصرف ماهیان نمونه‌گیری شده از دریای خزر ممکن است اثرات خطرناکی بر سلامت انسان نداشته باشد [76].

در مطالعه دیگر (Abdolvand et al, 2019) سطح جیوه، متیل‌جیوه، سرب، نیکل، وانادیوم و کادمیوم در رسوبات و کبد و آبشش *Euryglossa orientalis* در اطراف خور موسی (یکی از خورهای خلیج فارس) بررسی شد [77]. نتایج نشان داد که در مقادیر فلزات بین کبد و آبشش گونه‌های ماهی تفاوت معنی‌داری وجود دارد به‌گونه‌ای که مقادیر فلزات در کبد در مقایسه با آبشش ماهیان بیشتر است. آن‌ها گزارش کردند که سطح فلز در بافت ماهی تحت تأثیر نوع اندام، فیزیولوژی بافت، بافت‌های فعال متابولیکی و ترکیب شیمیایی در بافت است. ترکیب شیمیایی متفاوتی به نام متالوتیونئین در کبد ماهی یافت شد. این ترکیب یک پروتئین مهم در بافت ماهی است و نقش کلیدی در تنظیم و سم‌زدایی فلزات دارد. متالوتیونئین دارای ظرفیت و توانایی بسیار بالایی برای جذب و تجمع فلزات در بافت‌ها و در نهایت کاهش فلز بدن ماهیان است. بنابراین غلظت بالای فلزات در کبد در مقایسه با آبشش می‌تواند ناشی از فراوانی این پروتئین‌ها در بافت کبد باشد. غلظت فلز در بافت آبشش به عملکردهای فیزیولوژیکی مانند تنظیم اسمزی و تبادل گاز، مربوط می‌شود زیرا آبشش مستقیماً با آب و مواد معلق در تماس است و بنابراین می‌تواند آلاینده‌های مختلف مانند فلزات را از محیط جذب کند. با توجه به این عملکردها، آبشش‌ها تأثیرات قابل توجهی بر تبادل فلزات سمی بین ارگانسیم و محیط آن دارند. غلظت فلزات در رسوبات سطحی جمع‌آوری شده از نقاط مختلف نمونه‌برداری در مناطق شمالی خلیج فارس نشان داد که بیشترین غلظت فلزات مربوط به وانادیم و پس از آن Ni، Pb، Hg، MeHg و Cd است. غلظت بالای وانادیم و نیکل در مقایسه با

سایر فلزات ممکن است به دلیل تردد نفتکش‌ها و آلودگی نفت باشد، زیرا خلیج فارس یکی از مهم‌ترین پایانه‌های نفتی برای تولید و حمل و نقل نفت در جهان است. همچنین آنالیز همبستگی پیرسون (Pearson) نشان داد که بین رسوب و ماهی از نظر غلظت فلزات رابطه مثبت وجود دارد ( $r=0.955$ ). آن‌ها همچنین گزارش کردند که غلظت فلزات در رسوبات گل‌آلود بیشتر از رسوبات ماسه‌ای یا شنی است. رسوبات گل‌آلود دارای درصد بالایی از کاتیون‌ها و ترکیبات شیمیایی مانند کربنات، کربن آلی، کربن معدنی و سایر ترکیبات است که ظرفیت بالایی برای جذب فلزات سنگین دارند و فلزات می‌توانند با ترکیبات شیمیایی در این رسوبات ترکیب شوند.

علاوه بر این، درویش و همکاران (۲۰۱۵) فلزات سنگین را در رسوبات دریای خزر بررسی کردند و پیشنهاد کردند که ارتباط مثبتی بین فلزات و رسوبات گل‌آلود وجود دارد به طوری که غلظت فلزات در رسوبات گل‌آلود در مقایسه با رسوبات ماسه‌ای به میزان قابل توجهی بالاتر است [78]. همچنین Vaezi et al, (۲۰۱۵) و پورکرمان و همکاران (۲۰۱۷) نتایج مشابهی را با این مطالعات گزارش کردند [79,80].

در مطالعه صورت گرفته توسط اردکانی و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده شد که غلظت جیوه در آبشش *Parastromateus niger* و به دنبال آن کبد *Otolithes rubber*، و همچنین مقدار سرب در آبشش *P. niger* و به دنبال آن کبد *Scomberomorus commerson* به حداکثر می‌رسد. غلظت آرسنیک در کبد *O. rubber* و پس از آن عضله *Pampus argenteus* بیشتر است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که غلظت سرب، جیوه و آرسنیک در بافت‌های مختلف موجودات دریایی مورد مطالعه به طور قابل توجهی پایین‌تر از حد مجاز برای این فلزات سمی است [81].

در تحقیق دیگری که توسط Damodharan et al, 2012 به منظور ارزیابی فلزات کمیاب مانند کادمیوم و سرب و ریزمغذی‌ها مانند مس، روی و منگنز در آب و بافت ماهیچه‌ای چهار ماهی خوراکی نمونه برداری شده باراماندی (*Lates calcarifer*)، کفال راه‌راه (*Mugli cephalus*)، گربه‌ماهی غول‌پیکر (*Netuma thalassina*) و تیلاپیای موزاییکی (*Oreochromis mossambicus*) در فصول خشک و مرطوب در مناطق

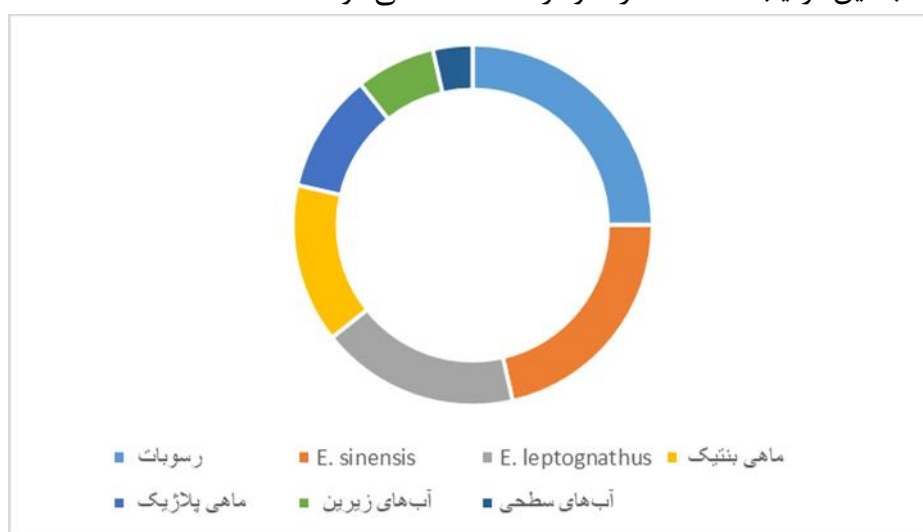
بالادست و پایین‌دست رودخانه آلوده Uppanar در هند انجام گرفت، مشاهده شد که محتوی فلزات سنگین در گونه‌های ماهی بسته به اندازه، محل نمونه‌برداری یا در برخی موارد فصل متفاوت است [82]. آنالیز عامل انتقال (TF) و همبستگی مثبت بین غلظت فلزات انتخابی در بافت ماهیچه‌ای ماهی و آب نشان‌دهنده تجمع مستقیم فلزات از آب به ماهی است. تغییرات فصلی غلظت فلزات در آب و بافت ماهیچه‌ای ماهی نشان‌دهنده افزایش غلظت در فصل خشک است. نتایج حاضر نشان می‌دهد که تخلیه صنعتی و رواناب‌های کشاورزی از فعالیت‌های انسانی که در رودخانه آزاد می‌شود، باعث آلودگی فصلی فلزات سنگین در آب می‌شود و این آلاینده‌های پردوام در فصل خشک به‌آسانی در ماهی جمع می‌شوند. علاوه بر این به دلیل تبخیر ناشی از افزایش دما طی فصل خشک، غلظت فلزات سنگین در آب به‌طور کلی در مقایسه با فصل مرطوب بیشتر بود. غلظت کمتر فلزات سنگین در فصل مرطوب مربوط به رقیق شدن آب ناشی از بارندگی متوسط تا شدید در طول فصل بارانی است.

غلظت فلز در بافت ماهی به‌طور کلی با سن ماهی و در نتیجه اندازه و طول در ارتباط است، اما غلظت فلزات در نمونه‌های فعلی ارتباط مستقیمی با طول ماهی ندارد. نتایج مطالعه حاضر ارتباط منفی معنی‌داری بین اندازه ماهی (طول و وزن) و غلظت فلزات سنگین در بافت ماهیچه‌ای را نشان داد که توسط مقالات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است. باین حال نتایج حاضر کاهش قابل توجهی را در تقریباً همه فلزات سنگین با افزایش اندازه ماهی نشان داد و تجمع فلز در ماهیان جوان‌تر بیشتر بود که در مقایسه با ماهیان مسن کمتر تخلیه می‌شد. این امر احتمالاً به دلیل تفاوت در فعالیت‌های متابولیکی بین ماهیان جوان و مسن‌تر است. همچنین غلظت منگنز و روی در مطالعه حاضر بیشترین و غلظت کادمیوم کمترین فلز در بافت ماهیان مورد بررسی بود که این با یافته‌های قبلی سازگار است [83]. غلظت فلزات سنگین ذکر شده در قسمت‌های خوراکی چهارگونه مورد بررسی در محدوده مجاز توصیه شده توسط استانداردهای هند و WHO/FAO قرار داشت بنابراین ماهیان این مناطق به‌طور کلی برای مصرف انسان بی‌خطر گزارش شدند.

همچنین در پژوهشی که توسط G Nussey et al, 2006 به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین کروم، منگنز، نیکل و سرب در بافت‌های *Labeo umbratus* (Cyprinidae) از سد ویتبانک واقع در امپومالانگا انجام گرفت، همبستگی منفی قابل توجهی بین طول نمونه‌ها و غلظت منگنز در آبشش‌ها و کبد و همچنین غلظت سرب در آبشش‌ها، کبد و پوست ثبت شد. این نتایج نشان می‌دهد که ماهی‌های بلندتر معمولاً غلظت فلز بافتی کمتری داشتند. همبستگی منفی ناچیز بین طول ماهی و غلظت کروم در هر چهار نوع بافت، غلظت منگنز در پوست، غلظت نیکل در آبشش، کبد و پوست و همچنین غلظت سرب در عضله ثبت شد. علاوه بر این ارتباط مثبت ناچیزی برای غلظت منگنز و نیکل در ماهیچه گزارش شد. غلظت‌های بالای کروم بیشتر در آبشش‌ها و به دنبال آن در کبد ثبت شد. کبد همچنین غلظت بالای کروم را نشان داد که غیرمنتظره نبود زیرا کبد با عملکرد ذخیره‌سازی و سم‌زدایی مرتبط است. در این مطالعه کمترین غلظت کروم به‌طور عمده در ماهیچه مشاهده شد. بیشترین تجمع منگنز در آبشش و به دنبال آن کبد، ماهیچه و سپس پوست مشاهده شد. نشان داده شده است که منگنز می‌تواند مستقیماً از طریق آبشش‌ها یا به‌طور غیرمستقیم از طریق غذا و رسوبات خورده شده از راه روده دریافت بشود [84]. غلظت بالای منگنز که در آبشش گونه‌های مختلف تشخیص داده شد، نشان داد که مسیر اصلی جذب منگنز از طریق آبشش است زیرا جذب کمی از این فلز به‌واسطه روده و از طریق غذا اتفاق می‌افتد. در طی این مطالعه مشخص شد که گونه‌های ماهی انتخاب شده تجمع نیکل را در تمام بافت‌ها نشان می‌دهند که آبشش‌ها دارای بالاترین سطح و پس از آن کبد، ماهیچه و پوست است.

Shou Zhao et al, 2012 در این مطالعه مشاهده کردند که بافت ماهی‌ها و خرچنگ‌ها از گونه‌ها و اندازه‌های مختلف دارای ویژگی‌های مختلف تجمع زیستی فلز بود که به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی و عادات زندگی آنها قرار می‌گرفت [85]. سطوح فلزات در پاهای خرچنگ و سر و پوست ماهی‌ها با محیط زندگی آنها ارتباط معنی‌داری نشان داد. خرچنگ‌ها در مقایسه با ماهی‌ها ممکن است به‌عنوان گونه‌های آبی کاملاً ناسازگار در نظر گرفته شود و الگوی تجمع زیستی کاملاً متفاوتی از فلزات را

نشان دهد [86]. به‌طور کلی محیط زندگی نقش مهمی در تعیین توزیع فلزات سنگین در موجودات آبی ایفا می‌کند. میانگین سطوح فلزات در موجودات زنده و محیط زندگی آن‌ها به این ترتیب است که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود:



نمودار ۱. میانگین سطوح فلزات در موجودات زنده و محیط زندگی آن‌ها

### نتیجه‌گیری

فلزات سنگین، به‌ویژه عناصر غیرضروری، از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند. در این مطالعه اثرات فلزات سنگین بر اکوسیستم‌های آبی مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها به‌دلیل ورود رواناب فاضلاب، ضایعات صنعتی و تخلیه کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. براساس مطالعات انجام گرفته فلزات سنگین بالقوه سمی می‌توانند بر تعادل اکولوژیکی محیط آبی دریافت‌کننده و طیف متنوعی از موجودات زنده تأثیرات نامطلوبی بر جای بگذارند. ثابت شده است که توانایی تجمع فلز در ماهیان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نیازهای اکولوژیکی، الگوهای شناوری، فعالیت‌های متابولیکی و محیط زندگی قرار می‌گیرد که در میان این عوامل، محیط زندگی اغلب مهم‌تر تلقی می‌شود زیرا سیستم‌های آبی پیچیده هستند و آلاینده‌های فلزی به‌طور یکنواخت توزیع نشده‌اند. نتایج بسیاری از مطالعات نشان داد ماهی‌ها اغلب

به‌عنوان یک شاخص بیولوژیکی مهم برای بررسی سطح فلزات در محیط زندگی خود و ارزیابی خطرات زیست‌محیطی و سلامتی ناشی از تخلیهٔ زباله‌های انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### پیشنهادات

با توجه به اهمیت رودخانه‌ها در اکوسیستم‌های طبیعی، اقداماتی ازجمله پایش و بررسی بیشتر محیط رودخانه (آب و رسوب) از نظر میزان فلزات سنگین، نظارت بیشتر سازمان حفاظت محیط‌زیست برای کنترل دقیق‌تر کیفیت فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه و همچنین ایجاد تمهیداتی در جهت کاهش تخلیهٔ فاضلاب کارگاه‌های کوچک تولیدی و صنعتی به فاضلاب شهری و غیره می‌تواند در زمینهٔ حفاظت آب رودخانه‌ها مؤثر باشد. ازجمله راهکارهای پیشگیری، حذف یا کاهش آلودگی‌ها می‌توان به استفاده از نانو ذرات آهن، پاکسازی - بیولوژیک با کمک میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده، شبیه‌سازی، روش‌های پمپاژ - تصفیه و هوادهی، توجه به توپوگرافی و مطالعات زمین‌شناسی، هیدرولوژی، زهکشی طبیعی منطقه، خاک پوششی، وضعیت دسترسی به محل و مکان‌سنجی جهت دفن مناسب، افزایش ظرفیت هیدرولیکی سیستم جمع‌آوری فاضلاب اشاره کرد.

### منابع

1. Pandey, G., & Madhuri, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2), 17-23.
2. Khoshnood Z., Khoshnood R., Mokhelsi A., Ehsanpour M., Afkhami M. and Khazaali A. (2012). Determination of Cd, Pb, Hg, Cu, Fe, Mn, Al, As, Ni and Zn in important commercial fish species in northern of Persian Gulf, *Journal of Cell and Animal Biology*, 6, 1, 1-9.
3. Bolognesi, C., Landini, E., Roggeri, P., Fabbri, R., Viarengo, A. (1999). Genotoxicity Biomarkers in the Assessment of Heavy Metal Effects in Mussels: Experimental Studies. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 33: 287-292.
4. Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., & Nadem, S. (2012). Assessment of heavy metal in surface sediments of Day River at Beni-Mellal region,

- Morocco. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 4(8), 797-806.
5. Bangash, F. K., & Alam, S. (2004). Extent of pollutants in the effluents of Hayatabad Industrial Estate, Peshawar. Journal of the chemical Society of Pakistan, 26(3), 271-285.
  6. Malakootian, M., Mortazavi, M. S., & Ahmadi, A. (2016). Heavy metals bioaccumulation in fish of southern Iran and risk assessment of fish consumption.
  7. Asuquo, F. E., Ewa-Oboho, I., Asuquo, E. F., & Udo, P. J. (2004). Fish species used as biomarker for heavy metal and hydrocarbon contamination for cross River, Nigeria. Environmentalist, 24(1), 29-37.
  8. Siraj, M., Shaheen, M., Sthanadar, A. A., Khan, A., Chivers, D. P., & Yousafzai, A. M. (2014). A comparative study of bioaccumulation of heavy metals in two fresh water species, *Aorichthys seenghala* and *Ompok bimaculatus* at River Kabul, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 4(3), 40-54.
  9. 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.
  10. Miguel, G. and Salvador, G. (2015). Handbook of Mineral Elements in Food. Wiley-Blackwell, 792 p.
  11. Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental pollution, 121(1), 129-136.
  12. Squadrone, S., Prearo, M., Brizio, P., Gavinelli, S., Pellegrino, M., Scanzio, T., & Abete, M. C. (2013). Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. Chemosphere, 90(2), 358-365.
  13. Nussey, G., van Vuren, JHJ & du Preez, H. H. (2000). Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank Dam, Mpumalanga. Water Sa, 26(2), 269-284.
  14. Heath AG (1991) Water pollution and Fish Physiology. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. 359 pp.
  15. Karadede H, Oymak SA, Unlu E. (2004) Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Environ Int 30:183-188.
  16. Tekin-Ozan S (2008) Determination of heavy metal levels in water, sediment and tissues of tench (*Tinca tinca* L. 1758) from Beysehir Lake (Turkey). Environ Monit Assess, 145:295-302.
  17. Pawert M, Muller E, Triebkorn R. (1998). Ultra structural changes in fish

- gills as biomarker to assess small stream pollution. *Tissue Cell* 30:617-626.
18. Khoshnood Z., (2016). Using Biomarkers in Ecotoxicology: What and Why? *Focus on Sciences*, 2, 2, 1-2.
  19. Kagi, J.H. and A. Schaffer, (1998). Biochemistry of metallothionein. *Biochem.*, 27: 8509-8515.
  20. Kargin F, ve Erdem C (1991). Accumulation of copper in liver, spleen, stomach, intestine, gill and muscle tissues of *Cyprinus carpio*. *Doga-Tr J Zool* 15:306-314.
  21. Csuros M, and Csuros C. (2002). *Environmental Sampling and Analysis for Metals*. Lewis Publishers, Boca Raton.
  22. Ercal N, Gurer-Orhan H, and Aykin-Burns N. (2001). Toxic metals and oxidative stress part I: Mechanisms involved in metal-induced oxidative damage. *Curr Topics Med Chem* 1(6):529-39. doi:10.2174/1568026013394831
  23. Cefalu, W.T., & Hu, F.B. (2004). Role of chromium in human health and in diabetes. *Diabetes Care*, 27, 2741-2751.
  24. Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1-6.
  25. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B. & Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology* 7(2), 60-72.
  26. Ghani, A. (2011). Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of *Brassica juncea* L. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 2(1), 9-15.
  27. Wolinska, A., Stepniewska, Z. & Wlosek, R. (2013). The influence of old leather tannery district on chromium contamination of soils, water and plants. *Natural Science*, 5(2A), 253-258.
  28. O'Brien, T., Xu, J. & Patierno, S. R. (2001). Effects of Glutathione on Chromium-induced DNA Crosslinking and DNA Polymerase Arrest. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 222(1-2), 173-182.
  29. Matsumoto, S. T. (2006). Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips. *Genetics and Molecular Biology*, 29(1), 48-158.
  30. Chiroma, T. M., Ebebele, R. O. & Hymore, F. K. (2014). Comparative Assessment of heavy metal levels in soil, vegetables and urban grey water used for irrigation in Yola and Kano. *International Refereed Journal of Engineering and science*, 3(2), 1-9.
  31. Aneyo, I. A., Doharty, F. V., Adebessin, O. A. & Hamed, M. O. (2016). Biodegradation of pollutants in wastewater from pharmaceutical, textile and local dye effluent in Lagos, Nigeria. *Journal of Health Pollution*, 6(12), 34-42.

32. Mahurpawar, M. (2015). Effects of heavy metals on human health. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 3(9SE), 1-7.
33. Mol, S. (2011). Levels of Heavy Metals in Canned Bonito, Sardines, and Mackerel Produced in Turkey. *Biological Trace Element Research*, 143, 974-982. <https://dx.doi.org/10.1007/s12011-010-8909-5>
34. World Health Organization. (1996). Health criteria other supporting information, *Guidelines for Drinking Water Quality*. WHO, Geneva. 1996.p. 318-88.
35. Marcotrigiano GO and Storelli MM, (2003). Heavy metal, polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in marine organisms: Risk evaluation for consumers. *Vet Res Commun* 27(Suppl):183-195.
36. Medeiros, R.J., dos Santos, L.M.G., Freire, A.S., Santelli, R.E., Braga, A.M.C.B., Krauss, T.M., Jacob, S.C., (2012). Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil. *Food control* 23(2), 535-541.
37. Castro-Gonzalez M.I., Mendez-Armenta M. (2008). Heavy metals: implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26:263-271.
38. Jarup L (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Med Bull* 68:167-182.
39. Goyer RA and Clarkson TW, (2001). Toxic effects of metals, in Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons, ed. by Klaassen CD, McGraw-Hill, New York. pp.811-867.
40. Llobet JM, Falco G, Casas C, Teixido and Domingo JL, (2003). Concentrations of arsenic, cadmium, mercury and lead in common foods and estimated daily intake by children, adolescents, adults, and seniors of Catalonia, Spain. *J Agric Food Chem* 51:838-842.
41. Ysart G, Miller P, Croasdale M, Crews H, Robb P, Baxter M, et al., (1997). UK Total Diet Study dietary exposures to aluminium, arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, selenium, tin and zinc. *Food Addit Contam*, 17:775-786 (2000).
42. Dwaf (Department of Water Affairs and Forestry), (1996). *South African Water Quality Guidelines (2 end.) Vol. 7: Aquatic Ecosystems*. 159 pp.
43. Dallas HF and Day JA, (1993). The Effect of Water Quality Variables on Riverine Ecosystems: A review. *Water Research Commission Report No. 351*. 240 pp.
44. Latif A, Khalaf AN and Khaliol BY, (1982). Bioaccumulation of Cu, Cd, Pb, and Zn in two cyprinid fishes of Iraq. *J. Fish Biol.* 13(2), 45-64.
45. Coetzee L, (1996). Bioaccumulation of Metals in Selected Fish Species and the Effect of pH on Aluminium Toxicity in a Cichlid *Oreochromis mossambicus*. M.Sc. Thesis, Rand Afr. Univ., South Africa.
46. Merlini M and Pozzi G, (1977). Lead and fresh water fishes: part 2 – Ionic

- lead accumulation. *Environ. Pollut.* 13, 119-126.
47. Moore JWW and Ramamoorthy S, (1984). *Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment*. Springer Verlag, New York. 268 pp.
  48. Hellawell JM, (1986). *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., London and New York. 546 pp.
  49. Ayeni, O, (2014). Assessment of heavy metals in wastewater obtained from an industrial area in Ibadan, Nigeria. *RMZ – Materials and the Geoenvironment* 61, 19-24.
  50. Moiseenko TI, Kurdyavtseva LP. (2001). Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia. *Environ Pollut*: 114(2): 285-97.
  51. Klaassen, C. D. and Liu, J. (1997). Role of metallothioneins in cadmium-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity. *Drug Metab. Rev.*, 29: 79-102.
  52. Teigen, S., Andersen, R., Daae, H. L. and Skaare, J. U. (1999). Heavy metal content in liver and kidneys of grey seals (*Halichoerus grypus*) in various life stages correlated with metallothioneins levels: some metal-binding characteristics of this protein. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 2364-2369.
  53. US EPA. Toxic Release Inventory (TRI), (2010). TRI Explorer; Releases: Chemical Report 2009 – Cadmium and Cadmium compounds, Minnesota.
  54. WHO. Adverse Health Effects of Heavy Metals in Children. *Children`s Health and the Environment*; WHO Training Package for the Health Sector, October (2011a).
  55. Sobhanardakani, S. Tuna fish and common kilka: health risk assessment of metal pollution through consumption of canned fish in Iran. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 12(2), 157-163 (2017b).
  56. Rubio C, Gonzalez-Iglesias T, Revert C, Reguera JI, Gutierrez AJ and Hardisson A, (2005). Lead dietary intake in a Spanish population (Canary Islands). *J Agric Food Chem* 53:6543 – 6549.
  57. Grandjean P, Satoh H, Murata K and Eto K, (2010). Adverse effects of methylmercury: Environmental health research implications. *Environ Health Perspect* 118:1137 – 1145.
  58. Morel FMM, Kraepiel AML and Amyot M, (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu Rev Ecol Syst* 29:543 – 566.
  59. Boening DW, (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review. *Chemosphere*, 40:1335 – 1351.
  60. Guynup S and Safina BC, (2012). *Mercury: Sources in the Environment, Health Effects, and Politics*. Blue Oceans Institute, New York, pp. 1 – 54.
  61. Food Standards Australia New Zealand, *Mercury in Fish*. Factsheet, March 2004, pp. 13 – 18(2004).
  62. Onuegbu, T. U., Umoh, E. T. & Onwuekwe, L. T. (2013). *Physico-Chemical*

- analysis of effluents from Jachon chemical industries limited, makers of Bonalux emulsion and gloss paints. *International Journal of Science and Technology* 2(2), 169-173.
63. World Bank. (1998). Project guidelines: Industry sector guidelines. *Pollution Prevention and abatement Handbook*.
  64. National Academy of Medicine. (2001). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. National Academies Press (US); Washington, D.C.
  65. Kraal MH, Kraak MH, De Groot CJ, Davids C. (1995). Uptake and tissues distribution of dietary and aqueous cadmium by Carp (*Cyprinus carpio*). *Ecotoxicol Environ Saf*; 31(2): 179-83.
  66. Kasprzak, K.S., Sunderman, F. W. Jr. & Salnikov, K. (2003). Nickel carcinogenesis. *Mutation Research*, 533(1-2), 67-97.
  67. Hussein, A. & Khaled, A. (2014). Determination of metals in tuna species and bivalves from Alexandria, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40, 9-17. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2014.02.003>
  68. Wheal, M.S., DeCourcy-Ireland, E., Bogard, J.R., Thilsted, S.H. & Stangoulis, J.C.R. (2016). Measurement of haem and total iron in fish, shrimp and prawn using ICP-MS: Implications for dietary iron intake calculations. *Food Chemistry*, 201, 222-229. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.080>
  69. Schmitt, C. J., Brumbaugh, W. G., Linder, G. L., & Hinck, J. E. (2006). A screening-level assessment of lead, cadmium, and zinc in fish and crayfish from Northeastern Oklahoma, USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 28(5), 445-471.
  70. Ebrahimpour, M., Pourkhabbaz, A., Baramaki, R., Babaei, H., & Rezaei, M. (2011). Bioaccumulation of heavy metals in freshwater fish species, Anzali, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 87(4), 386.
  71. Kinuthia, G.K., Ngure, V., Beti, D., Lugalia, R., Wangila, A., & Kamau, L. (2020). Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: Community health implication. *Scientific reports*, 10(1), 1-13.
  72. Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z. & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metal in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution* 152(3), 686-692.
  73. Mohammadi, M., Sary, A. A., & Khodadadi, M. (2011). Determination of heavy metals in two barbs, *Barbus grypus* and *Barbus xanthopterus* in Karoon and Dez Rivers, Khoozestan, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 87(2), 158-162.
  74. Alhas E, Oymak SA, Akin HK, (2009). Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Ataturk

- Dam Lake, Turkey. *Environ Monit Assess*, 184:11-18.
75. Malik N, Biswas AK, Qureshi TA, Borana K, Virha R, (2010). Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. *J Environ Monit Assess*, 160(4):267-276.
76. Tabari, S., Saravi, S. S. S., Bandany, G. A., Dehghan, A., & Shokrzadeh, M. (2010). Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled from Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicology and industrial health*, 26(10), 649-656.
77. Abdolvand, S., & Kaedinejadesfahani, S. (2021). Measurement of Some Heavy Metals in the Sediments and Sole Fish *Euryglossa orientalis* from the Musa Creek. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 1-11.
78. Darvish Bastami KD, Neyestani MR, Shemirani F, Soltani F, Haghparast S, Akbari A, (2015). Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea. *Mar Pollut Bull*, 92:237-243.
79. Vaezi AR, Karbassi AR, Fakhraee M, (2015). Assessing the trace metal pollution in the sediments of Mahshahr Bay, Persian Gulf, via a novel pollution index. *Environ Monit and Assess*, 187:613. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4833-7>.
80. Pourkerman M, Amjadi S, Naderi Beni A, Lahigani H, Mehdinia A, (2017). Evaluation of metal contamination in the Mand River delta, Persian Gulf. *Mar Pollut Bull*, 119(2). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.003>
81. Sobhanardakani, S., Tayebi, L., & Farmany, A. (2011). Toxic metal (Pb, Hg and As) contamination of muscle, gill and liver tissues of *Otolithes ruber*, *Pampus argenteus*, *Parastromateus niger*, *Scomberomorus commerson* and *Onchorynchus myliss*. *World Applied Sciences Journal*, 14(10), 1453-1456.
82. Damodharan, U., & Reddy, M. V. (2013). Heavy metal bioaccumulation in edible fish species from an industrially polluted river and human health risk assessment. *Fisheries & Aquatic Life*, 21(1), 19-27.
83. Petkovsek S.A.S., Grudink Z.M., Pokorny B. (2012). Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Salek lakes Slovenia: assessment of potential human health risks due to fish consumption, *Environ Monit Assess*. 184: 2647-2662.
84. Bendell-Young LI and Harvey HH. (1986). Uptake and tissue distribution of manganese in the white sucker (*Catostomus commersoni*) under conditions of low pH. *Hydrobiol*. 113, 117-125.
85. Zhao, S., Feng, C., Quan, W., Chen, X., Niu, J., & Shen, Z. (2012). Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. *Marine pollution bulletin*, 64(6), 1163-1171.
86. Ololade, I.A., Lajide, L., Olumekunc, V.O., Ololaded, O.O., Ejelolu, B.C.,