نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

# ارزیابی بهداشتی فلزات سنگین سرب، روی، کادمیوم و مس در عضله، کبد، گناد، روده و انگل‌های گوراشی اردک‌ماهی (*Esox lucius*) تالاب‌انزلی

علی صدری‌نژاد[1]، لیلا گلستان[1*]، حسین خارا[2]، آزاده قربانی حسن‌سرایی[3]، محدثه احمدنژاد[4]

[1] گروه بهداشت موادغذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

[2] گروه شیلات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

[3] گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

[4] پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران

**نوع مقاله:**
پژوهشی اصیل

**تاریخچه مقاله:**
دریافت: ۰۰/۰۴/۰۷
پذیرش: ۰۰/۰۹/۲۴
DOI: 10.22034/jair.9.3.41

**نویسنده مسئول مکاتبه:**
لیلا گلستان، گروه بهداشت موادغذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

ایمیل: golestan57@yahoo.com

**چکیده**

**تحقیق حاضر به‌منظور سنجش و ارزیابی بهداشتی فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم و مس) در عضله، کبد، گناد، روده و انگل‌های گوارشی اردک‌ماهی(*Esox lucius*) درتالاب‌انزلی انجام شد. بدین‌منظور تعداد ۳۰ قطعه اردک‌ماهی در طول سال ۱۳۹۹ و در فصل تولیدمثل (زمستان) از تالاب انزلی نمونه‌برداری شدند. طی دوره آزمایش، طول کل، طول چنگالی، طول استاندارد و وزن کل اندازه‌گیری شدند. همچنین، سن و جنسیت ماهیان نیز تعیین‌شد. پس از تخلیه امعاء و احشا، بافت عضله، گنادها، روده، کبد و انگل‌ها جدا شدند. سپس، هضم شیمیائی و آنالیز فلزات انجام شد. نتایج نشان داد کبد (به‌ویژه مس: µg/g ۲۲/۲۷۰ و روی: µg/g ۹۹/۲۰۱) و روده (به‌ویژه مس: µg/g ۶۵۰/۱ و روی: µg/g ۶۰۵/۰۱۴) دارای بالاترین مقادیر فلزات سنگین در اردک‌ماهی بود (p<۰/۰۵). بررسی بین دو جنس نر و ماده اردک‌ماهی بیان‌کننده عدم‌وجود اختلاف معنی‌دار در بیشتر موارد بود (p>۰/۰۵). همچنین ماهیان با سن متوسط دارای مقادیر بالاتری از فلزات سنگین بودند (p<۰/۰۵). با این حال، این مسئله دقیق نبوده و در بسیاری از موارد هم سن تاثیر معنی‌داری نداشت (p>۰/۰۵). علاوه بر این، مقادیر بالای فلز سنگین در انگل‌های ماهیان مشاهده شد (p<۰/۰۵). به‌نظر می‌رسد که انگل‌ها به‌عنوان جذب کننده فلزات سنگین یا انتقال‌دهنده آن‌ها از محیط بیرون به بدن ماهی عمل می‌کنند. از نظر فلزات سنگین نیز میزان سرب (میانگین کل اندام‌ها: µg/g ۰/۰۰۵) و کادمیوم (میانگین کل اندام‌ها: µg/g ۰/۰۱۰۵) نسبت به دو فلز سنگین دیگر کمتر بود. میزان حد مجاز مس، سرب و کادمیوم در بیشتر موارد پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز سازمان بهداشت جهانی بود. از آنجایی که مقادیر فلزات سنگین در عضله و حتی گنادهای اردک‌ماهی (از نظر خوراکی) بسیار کمتر از حد مجاز تعیین شده می‌باشد می‌توان بیان کرد که از لحاظ مصرف انسانی مشکلی وجود ندارد و تا حدودی از وجود این عناصر در ماهیان چشم‌پوشی کرد. ولی مصرف خوراکی کبد و روده بالاترین خطر را در بین اندام‌ها داراست. ضمن اینکه مصرف خوراکی دو جنس مختلف اردک‌ماهی تفاوتی در میزان جذب فلزات سنگین و اثر آن در انسان ندارد.**

***واژه‌های کلیدی:***
**فلزات سنگین، اردک‌ماهی، جنسیت، سن، استاندارد مجاز**

## ۱ | مقدمه

درسال‌های اخیر، گسترش استفاده از فلزات و تولید هزاران نوع ماده شیمیایی سمی سبب آلودگی محیط‌زیست و منابع آبی شده‌اند (Sadeghi rad, 1997). در این بین ماهی به‌طور نسبی در بالای زنجیره غذایی آبی قرارگرفته است، بنابراین، آنها معمولاً می‌توانند فلزات سنگین را از غذا، آب و رسوبات دریافت کرده و در بدن تجمع دهند (Yilmaz *et al*., 2007; Zhao *et al*., 2012). فلزات سنگین دارای خصوصیاتی هستند که اثرات متفاوتی را در آبزیان بر جای می‌گذارند (Babaei and Khodaprast, 2013). از میان اینها کادمیوم در غلظت های غیرکشنده باعث بروز مشکلاتی در رفتار، رشد و فیزیولوژی موجودات آبزی می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1996) حد مجاز کادمیوم را ۰/۲ میکروگرم در گرم وزن تر گوشت ماهی برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی اعلام کرده‌است. عنصر دیگر مس است که گستردگی بسیاری روی کره زمین دارد. غلظت بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر مس ایجاد مزه تلخ و رنگ نامطلوب در آب می‌نماید ( Babaei


© ۱۴۰۰ | دانشگاه گنبدکاووس

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

and Khodaprast, 2013). مس یکی از عناصر مورد نیاز متابولیسم بدن بوده و اگر مقدار مس ورودی در تمامی موجودات بیش از حد نیاز باشد سبب تجمع آن در بافت‌ها به‌ویژه در کبد می‌شود (Babaei and Khodaprast, 2013). مسمومیت با مس سبب آسیب به سیستم عصبی، سیستم تنفسی، فعالیت کبد و سیستم ایمنی می‌شود (Ashja Ardalan *et al*., 2009). حد مجاز مس براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1996) ۱۰ میکروگرم در گرم وزن تر گوشت ماهی برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی است. فلز سنگین دیگر سرب است که فراوان‌ترین فلز سنگین در لایه‌های کره زمین است. سرب در ماهی ها سبب سیاه شدن باله‌ها و خمیدگی ستون فقرات می‌شود. حد مجاز سرب براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1996) ۰/۳ میکروگرم در گرم وزن تر گوشت ماهی برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی می‌باشد. روی یکی دیگر از عناصر اصلی پوسته زمین است و در نتیجه تخریب و فرسایش سنگ‌ها و خاک به مقدار جزئی وارد آب‌های طبیعی می‌گردد (Babaei and Khodaprast, 2013). اگرچه اثبات شده است که فلز روی سمیت کمی برای انسان دارد، اما مصرف درازمدت دوزهای بالا می‌تواند منجربه عوارض جسمی نظیر خستگی و سرگیجه شود (Juned and Arjum, 2010). حد مجاز روی براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 1996) ۱۰۰ میکرو گرم در گرم وزن تر گوشت ماهی برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی بیان شده‌است.

تالاب‌انزلی، در ساحل جنوب‌غربی دریای‌خزر، در غرب دلتای سفیدرود و در جنوب بندرانزلی، در استان گیلان واقع شده و از قسمت غرب به کپورچال و آب‌کنار، از جنوب به صومعه‌سرا و بخش‌های رشت محدود شده است. این تالاب در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض‌شمالی و ۴۹ درجه ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. محدوده آب آن شامل چهار بخش یا حوضچه آبی به شرح زیر است : تالاب ماهروزه که سابقاً به نام خلیج کپور در تالاب انزلی ۵۸ گونه ماهی زیست می‌کنند. بررسی ترکیب گونه‌ای ماهیان برحسب خانواده نشان می‌دهد که کپورماهیان با ۳۷، شگ‌ماهیان با ۶ و گاوماهیان با ۵ گونه و زیرگونه غالب هستند. در این بین اردک‌ماهی به‌دلیل رژیم‌غذایی گوشت‌خواری در بالای هرم‌غذایی قرار دارد. اردک‌ماهی با نام علمی (*Esox Lucius*, linnaeus1785) از جمله ماهیان اقتصادی و باارزش غذایی است. این ماهی در فوق راسته (Protacanthptergii)، راسته اردک‌ماهی شکلان (Esociformes) و خانواده اردک‌ماهیان (Esocidae) قراردارد که با نام انگلیسی و رایج (Pike) و نام محلی شوک معروف است. این ماهی در تالاب‌انزلی، رودخانه سفیدرود (Abbasi *et al*., 1999)، تالاب بوجاق کیاشهر-زیباکنار (Khara and Nezami, 2004) و تالاب امیر کلایه لاهیجان (Nezami and Khara, 2004)، رودخانه چم‌خاله لنگرود (Khara *et al*., 2007) زیست می‌کنند. تاکنون محققین مختلف انگل‌های متفاوتی را از اندام‌های اردک‌ماهی گزارش نموده‌اند، به‌طوری‌که انگل‌های *Eustrongylides exises* و *Raphidascaris acus*، *Triaeophorus crassus* در دستگاه گوارش اردک‌ماهی مشاهده شده‌اند (Khara *et al*., 2004, 2006, 2007; Jamalzad Fallah *et al*., 2013; Sadrinezhad *et al*., 2016). طبق تحقیقات انجام‌گرفته انگل‌ها نیز منبع تجمع فلزات سنگین هستند. متوی و پیتراک (Matwee and Pietrock, 2019) میزان تجمع فلزات سنگین را در انگل‌های ماهی‌سوف والی (Walleye) و اردک‌ماهی در دریاچه مونترال کانادا، پاپیلک و همکاران (Popiołek *et al*., 2007) و برازوا و همکاران (Brázová *et al*., 2015) میزان تجمع فلزات سنگین را در انگل‌های ماهی سوف حاجی‌طرخان، باروش و همکاران (Baruš *et al*., 2012) در انگل‌های ماهی سیم، سیم پرک و کلمه را مورد اندازه‌گیری قراردادند. از طرفی در بین مردم علاوهبر گوشت ماهی، گنادهای آنها نیز طرفداران زیادی دارد. به‌خصوص تخم ماهی‌ها که با نام اشپیل و به‌صورت تازه، دودی و شور مورد استفاده قرار می‌گیرد. باتوجه به بررسی‌های انجام گرفته گنادها نیز می‌توانند منبع تجمع فلزات سنگین باشند (Soltani *et al*., 2014; Abhay, 2014). در دهه‌های اخیر، مطالعات متعددی برروی جداسازی فلزات سنگین از اندام‌های مختلف اردک‌ماهی در جهان صورت گرفته‌است. اردوغان و همکاران (Erdoğane *et al*., 2021) فلزات سنگین اردک ماهی در دریاچه لادیک (Ladik) ترکیه، ایون و غفاری (Even and Ghaffari, 2011) در رودخانه میسوری آمریکا، مطالعه نیکولیچ و همکاران (Nikolić *et al*., 2021) در کانال (Vizelj) در بلگراد صربستان، لوژینسکا و پاژیک (Łuczy´nska and Paszczyk, 2019) در اردک‌ماهی دریاچه‌های لهستان گزارش کردند. صادقی‌راد (Sadeghi-rad, 1997) غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیم، سرب، روی و کبالت) را در بافت عضلانی برخی از ماهیان اقتصادی تالاب‌انزلی ازجمله اردک‌ماهی بررسی و تعیین نمودند. قوی‌دل و معطر (Ghavidel and Moattar, 2014) میزان سرب، روی و نیکل را در رودخانه‌های حوزه آب‌ریز تالاب‌انزلی مورد بررسی قراردادند. به‌طوری‌که بیشترین میزان فلزات سنگین مربوط به روی و کمترین آنها مربوط به نیکل بوده است. در مطالعه ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al*, 2012) انباشتگی و ارزیابی خطرات فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، مس و روی) را در بافت عضله اردک‌ماهی تالاب‌انزلی بررسی‌کردند. عادل و همکاران (Adel et al., 2016) و محمدصالحی و ولایت‌زاده (Mohammad Salehi and Velayatzadeh, 2019) میزان فلزات سنگی اردک ماهی را در عضله اردک‌ماهی برخی رودخانه‌های استان گیلان و مازندران، به‌ترتیب فراوانی عناصر موجود در نمونه عضله اردک‌ماهی به‌صورت Zn<Cd<Cu<Pb بود و بررسی‌ها نشان دادند که غلظت کادمیوم نمونه‌ها از برخی استانداردها فراتر است. اما در ایران تحقیق جامعی برای بررسی هم‌زمان فلزات سنگین در اندام‌های خوراکی مختلف و انگل‌های احتمالی انجام نگرفته‌است. باتوجه به مطالب بیان‌شده و اینکه عضلات ماهیان و گنادها منبع انباشتگی فلزات سنگین هستند و از طرفی اردک‌ماهی به‌عنوان یک ماهی شکارچی دچار انگل‌های گوارشی متعددی می‌شود، بنابراین انجام این تحقیق ضروری به‌نظر رسید.

## ۲ | مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، ۹۰ قطعه اردک‌ماهی (۴۵ عدد نر و ۴۵ عدد ماده) درطی سال ۱۳۹۹ از تالاب‌انزلی صید شدند. پس از صید نمونه‌ها

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

به آزمایشگاه منتقل شدند. انتخاب تعداد ماهی‌ها براساس در دسترس بودن گونه ماهی، اخلاق زیستی و امکان‌پذیر بودن تحلیل‌های آماری صورت گرفت. در آزمایشگاه به‌منظور حذف هر نوع آلودگی، شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر انجام شد. کلیه نمونه‌ها از لحاظ زیست‌سنجی مورد بررسی قرارگرفتند. به این‌صورت‌که طول‌کل، طول‌چنگالی و طول استاندارد به‌وسیله تخته بیومتری موردسنجش قرارگرفت. وزن‌کل و وزن بافت تر به‌وسیله ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱) اندازه‌گیری شد. همچنین، سن و جنسیت ماهیان مورد بررسی قرارگرفت. برای تعیین سن تعدادی فلس از ناحیه میانی بدن و زیر باله‌پشتی و بالای خط‌جانبی نمونه‌ها جدا شد. تعیین جنسیت ماهیان باتوجه به نوع گنادهای جنسی پس از کالبد گشایی در زیر میکروسکوپ Olympus (کمپانی Olympus، توکیو، ژاپن) انجام شد.

پس از تخلیه امعا و احشا، نسبت به جدا کردن بافت عضله، گنادها، روده و کبد نمونه‌های مورد مطالعه جهت انجام عمل هضم شیمیایی اقدام گردید. نمونه‌ها تا انجام مراحل آزمایشگاهی در دمای ۲۰°C- نگهداری شدند (Lavilla *et al*, 2008). سپس، به‌میزان ۲۰ الی ۳۰ گرم از قسمت خوراکی بافت عضله و گناد هموژنه را برداشت نموده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت نمونه‌ها را کاملاً خشک نموده و در ادامه، در داخل هاون‌چینی کاملاً کوبیده تا کاملاً پودر و یکنواخت شوند (Lakzaei *et al*., 2015). مقدار ۱ - ۰/۵ گرم از بافت خشک‌شده که کاملاً پودر شده بود، به‌وسیله ترازوی حساس وزن نموده و به‌وسیله مخلوط اسید ($HNO_3/HClO_4$) و با استفاده از هات‌پلیت عملیات هضم شیمیایی انجام گرفته و به موازات آماده‌سازی نمونه جهت انجام عمل هضم شیمیایی، نمونه شاهد نیز برای هر سری از نمونه‌ها (۴ نمونه شاهد) به‌طور جداگانه تهیه گردید.

لازم به ذکر است که نمونه شاهد در اینجا اسیدهای ذکرشده فوق می‌باشد، یعنی همان حجم از اسید مصرفی برای نمونه‌ها در سه لوله آزمایش جداگانه به‌عنوان شاهد به‌منظور کاهش خطای آزمایش و یا احتمال ناخالصی‌های موجود در اسیدهای مصرفی به موازات نمونه‌های حقیقی مراحل هضم شیمیایی استفاده شد. درواقع، هضم اسیدی جهت آزادکردن کلیه اتصالات فلز با بافت‌ها صورت می‌گیرد. در پایان هضم شیمیایی چنانچه نمونه‌ها حاوی ذرات معلق باشند آنها را صاف نموده و محلول باقیمانده حاصل از هضم هر یک از نمونه‌ها به بالن‌های حجم سنجی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با اسید نیتریک ۱۰ و یا ۵ درصد به حجم رسانده‌شد و در ظرف پلی‌اتیلنی جهت تزریق به دستگاه جذب اتمی قرار داده‌شد (Cheggour *et al*., 2001) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل SHIMADZU AA/680 غلظت هر کدام از فلزات سنگین تعیین شد (APHA, 1992). لازم به‌ذکر است، تمامی محلول‌های استاندارد مصرفی بسته به نوع فلز مورد آنالیز، از استاندارد مادر (Merck)، نمک و یا استاندارد (Stok) تیترازول با غلظت ۱۰۰۰ppm تهیه شد و پس از رقیق‌سازی و ساخت استانداردها با غلظت‌های مناسب (به تعداد ۶ استاندارد) و تزریق به‌دستگاه جذب اتمی و رسم منحنی، معادله کالیبراسیون، دستگاه به‌صورت اتوماتیک میزان غلظت فلزات‌سنگین را مشخص کرد (Babaei and Khoda-prast, 2013).

جهت اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در انگل‌های پرپاخته‌ای گوارشی احتمالی ماهیان موردنظر، ابتدا اندام‌های مختلف آنها مورد بررسی‌های انگل‌شناسی قرارگرفتند. پس از جداسازی انگل‌ها براساس روش‌های استاندارد و کلیدهای تشخیص معتبر اقدام به شناسایی گونه‌ای انگل‌ها شد (Moravec, 1994; Bykhovsaya-Pavloskaya 1962). به‌طوری‌که دو انگل نماتد *Raphidascaris acus* و سستود *Trianophorus crassus* از روده اردک‌ماهی تالاب‌انزلی جداسازی شدند. سپس، براساس روش فوق‌الذکر مقادیر فلزات سنگین را در هر یک از انگل ها اندازه‌گیری کرده و در نهایت اعداد به‌دست آمده از فلزات سنگین در اندام‌ای مختلف و انگل‌ها با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقایسه شدند.

به‌منظور ارزیابی ریسک خطر مصرف عضله اردک‌ماهی تالاب‌انزلی به‌عنوان اصلی‌ترین اندام خوراکی از فرمول‌های زیر استفاده شد:

محاسبه جذب فلزات برحسب وزن تر (UNEP, 1984).

$$CF = ۱ - (\text{میزان رطوبت عضله ماهی}/۱۰۰) \quad \text{فرمول (۱)}$$

محاسبه جذب روزانه و هفتگی: جهت مشخص نمودن میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به‌ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز (EDI, Estimation Daily intake) و هفته (EWI, Estimation Weekly Intake) براساس روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا با استفاده از فرمول۲ و ۳ محاسبه شد.

$$EDI = \frac{C \times MS_D}{BW} \quad \text{فرمول (۲)}$$

$$EWI = \frac{C \times MS_W}{BW} \quad \text{فرمول (۳)}$$

EDI= میزان جذب روزانه فلزات از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/گرم/وزن بدن/روز)؛ EWI= میزان جذب هفتگی فلزات از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/گرم/وزن بدن/هفته)؛ C= غلظت فلز در بافت عضله ماهی مورد مصرف (میکروگرم/گرم)؛ $MS_D$= نرخ مصرف روزانه ماهی؛ (۳۸ گرم در روز براساس سرانه مصرف ماهی در سواحل جنوبی دریای خزر) (Yaghobzadeh *et al*., 2014)؛ $MS_W$= نرخ مصرف هفتگی ماهی؛ (۲۶۶ گرم در هفته براساس سرانه مصرف ماهی در سواحل جنوبی دریای خزر) (Yaghobzadeh *et al*., 2014).

محاسبه حد و تعداد وعده مجاز مصرف ماهی: یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین حد مجاز مصرف ماهی، روشی است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست امریکا EPA ارائه شده است (EPA, 2000). در این روش برپایه میزان فلزات در بافت‌های خوراکی ماهی با استفاده از دوز مرجع (RfD) مطابق با فرمول ۴ ارائه‌شده که با استفاده از آن می‌توان حد قابل قبول مصرف ماهی و محصولات شیلاتی را در یک دوره زمانی خاص به‌دست آورد. همچنین جهت محاسبه تعداد وعده‌های مجاز مصرف در ماه نیز از فرمول ۵ استفاده شد.

$$CR_{lim} = \frac{RfD \times BW}{C} \times 7 \quad \text{فرمول (۴)}$$

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

$Cr_{lim}$= حد مجاز مصرف ماهی برحسب (کیلوگرم/روز)؛ BW= وزن بدن (بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم، کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم)؛ RfD= دوز مرجع (میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز).

$$CR_{mm} = \frac{CRlim \times Tap}{MS}$$ فرمول (۵)

$CR_{mm}$= نرخ مجاز مصرف ماهی (وعده در ماه)؛ MS= مقدار در هر وعده (بزرگسالان ۲۲۷ گرم- کودکان ۱۱۴ گرم)؛ $T_{ap}$= متوسط دوره زمانی (۴/۳ هفته در ماه).

محاسبه ریسک خطرپذیری- شاخص خطر (THQ, Target Hazard Quotients) پتانسیل خطر عبارت است از نسبت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کند. برای محاسبه احتمال خطر پذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول ۶ ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده شد (USEPA, 2009). لازم به‌ذکر می‌باشد جهت محاسبه این شاخص چند مورد باید عنوان پیش‌فرض شامل میزان فلز وارد شده، برابر با میزان جذب شده در بدن می‌باشد (USEPA, 1989)؛ پخت و پز اثری را برروی آلاینده‌ها ندارد (Cooper *et al.*, 1991)؛ مکانیسم این شاخص به این‌صورت می‌باشد که اگر عدد حاصله بالاتر از یک باشد نشان‌دهنده بالا بودن احتمال به بیماری‌های غیرسرطانی است. همچنین اگر عدد حاصله کمتر از یک باشد نشان‌دهنده آن است که مصرف آبزی اثر مضری برای مصرف‌کنندگان ندارد. شاخص خطر کل (HI) که از حاصل جمع خطرپذیری ۱۵ فلز مطابق فرمول ۷ به‌دست می‌آید (Chien, 2002).

$$THQ = \frac{EF \times ED \times IR \times C}{BW \times RfD \times AT}$$ فرمول (۶)

THQ= شاخص خطر؛ EF= فرکانس مواجهه (بسامد در معرض قرارگیری) ۳۶۵ روز در سال؛ ED= کل مدت زمان مواجهه (میزان در معرض قرارگیری) ۷۰ سال؛ IR= نرخ مصرف روزانه ماهی؛ (۳۸ گرم در روز براساس سرانه مصرف ماهی در سواحل جنوبی دریای‌خزر)؛ AT= میانگین روزهای در معرض قرارگیری (روز ۲۵۵۰ = سال ۷۰ × روز ۳۶۵).

$$\text{Hazard Index (HI)} = \Sigma THQ = THGPb + THGCd + THGCu + THGZn$$ فرمول (۷)

ثبت داده‌ها با استفاده از برنامه Excel-2013 انجام شد. جهت تجزیه‌و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک انجام گرفت. جهت مقایسه کلی فلزات در اندام‌های متفاوت و همچنین سنین مختلف، زمانی که توزیع داده‌ها نرمال بود، از تجزیه واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) و برای مقایسه بین میانگین‌ها نیز از آزمون Tukey و زمانی که داده‌ها نرمال نبودند از آزمون ناپارامتریک کروسکال- والیس و من ویتنی استفاده شد. برای مقایسه فلزات سنگین در جنس‌های نر و ماده از آزمون تی‌استیودنت استفاده شد. برای تعیین ارتباط اختلاف نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<۰/۰۵$) در نظرگرفته‌شد.

## ۳ | نتایج

براساس نتایج به‌دست آمده، میانگین تغییرات طول استاندارد در اردک‌ماهی تالاب‌انزلی ۳۸/۳۴±۴/۲۰ سانتی‌متر، طول چنگالی ۴۱/۶۱±۴/۶۲ سانتی‌متر، طول کل ۴۴/۲۴±۴/۷۲ سانتی‌متر و میانگین وزن ۵۸۹/۱۵۷±۲۳۰/۸۰ گرم بود. همچنین میانگین سن در اردک‌ماهی ۴/۰۰±۰/۸۶ سال بود (جدول ۱).

**جدول ۱- میانگین تغییرات زیست سنجی در ادرک‌ماهی تالاب‌انزلی**

| ماهی / فاکتور | میانگین | حداقل | حداکثر |
|---|---|---|---|
| طول استاندارد (cm) | ۳۸/۳۴ ± ۴/۲۰ | ۳/۳۸ | ۴۵/۴ |
| طول چنگالی (cm) | ۴۱/۶۱ ± ۴/۶۲ | ۳۴/۱ | ۴۹/۸ |
| طول کل (cm) | ۴۴/۲۴ ± ۴/۷۲ | ۳۶ | ۵۲/۳ |
| وزن ماهی (gr) | ۵۸۹/۱۵۷ ± ۲۳۰/۸۰ | ۲۶۹/۹۹ | ۱۰۹۳/۷۷ |
| سن (سال) | ۴/۰۰ ± ۰/۸۶ | ۳ | ۶ |

نتایج نشان داده، میانگین مس در کل بدن اردک‌ماهی ۵/۳۲۱±۱/۰۸۸ میکروگرم در گرم، میانگین روی ۱۵۶/۶۴۴±۲۱/۴۵۰ میکروگرم در گرم، میانگین سرب ۰/۰۰۵±۰/۰۰۳ میکروگرم در گرم و میانگین کادمیوم ۰/۰۱۰±۰/۰۰۶ میکروگرم در گرم بود. همچنین در مقایسه بین اندام‌های مختلف اردک ماهی بیشترین میزان مس در روده (۶۵۰۲۲/۱ ±۰/۶۶۷) میکروگرم در گرم) و کمترین در عضله (۰/۰۰۷±۰/۰۶ میکروگرم در گرم) مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). همچنین بیشترین میزان روی در روده (۶۰۵/۰۱۴±۴۸۶/۸۴۰ میکرو-گرم در گرم) و کمترین در عضله (۰/۰۷۹±۰/۰۱۶ میکروگرم در گرم) مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). بالاترین میزان سرب در کبد (۰/۰۲۱±۰/۰۱۶ میکروگرم در گرم) و کمترین نیز در عضله (۰/۰۰۰۱±۰/۰۰۰۱ میکرو-گرم در گرم) اندازه‌گیری گردید ($p<۰/۰۵$). ضمن اینکه در سایر اندام‌ها (روده و انگل‌های رافید آسکاریس و ریانوفوروس) مقدار سرب درحد توانایی تشخیص دستگاه اندازه‌گیری (ND) نبود. بیشترین میزان کادمیوم در کبد (۰/۰۴۶±۰/۰۳۷ میکروگرم در گرم) اندازه‌گیری شد و در سایر اندام‌ها یا به میزان صفر (گناد نر، گناد ماده و عضله) و یا درحد توانایی تشخیص دستگاه اندازه‌گیری (ND) (روده و انگل‌های رافید آسکاریس و ریانوفوروس) نبودند (جدول ۲).

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

**جدول ۲- میانگین تغییرات فلزات سنگین در اندام‌های متفاوت اردک‌ماهی**

| فلز سنگین / اندام | مس (µg/g) | روی (µg/g) | سرب (µg/g) | کادمیوم (µg/g) |
|---|---|---|---|---|
| گناد نر | ۰/۰۱۰ ± ۰/۰۰۳ [c] | ۰/۲۷۱ ± ۰/۱۷۱ [e] | ۰/۰۰۰۳ ± ۰/۰۰۰۲ [b] | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| گناد ماده | ۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۳ [c] | ۰/۵۷۵ ± ۰/۳۸۳ [e] | ۰/۰۰۰۵ ± ۰/۰۰۰۳ [b] | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| عضله | ۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۰۶ [c] | ۰/۰۷۹ ± ۰/۰۱۶ [e] | ۰/۰۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۱ [b] | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| روده | ۶۵۰/۱ ± ۰/۶۶۷ [a] | ۶۰۵/۰۱۴ ± ۴۸۶/۸۴۰ [a] | ND | ND |
| کبد | ۲۲/۲۷۰ ± ۹/۷۴۳ [b] | ۹۹/۲۰۱ ± ۴۳/۳۴۸ [c] | ۰/۰۲۱ ± ۰/۰۱۶ [a] | ۰/۰۴۶ ± ۰/۰۳۷ |
| انگل رافید آسکاریس | ۰/۰۸۸ ± ۰/۰۷۶ [c] | ۲۳۱/۹۳۸ ± ۱۳۴/۲۹۳ [b] | ND | ND |
| انگل تریانوفوروس | ND | ۷۵/۴۳۰ ± ۲۴/۵۵۵ [d] | ND | ND |
| میانگین کل اندام ها | ۵/۳۲۱ ± ۱/۰۸۸ | ۱۵۶/۶۴۴ ± ۲۱/۴۵۰ | ۰/۰۰۵ ± ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۰ ± ۰/۰۰۶ |

- حروف لاتین غیرمشترک در هر ردیف، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها است ($p<0/05$).

در بین جنس‌های مختلف نر و ماده اردک‌ماهی، بیشترین میزان مس و روی در عضله جنس نر و کمترین نیز در جنس ماده مشاهده گردید ($p>0/05$). ضمن آنکه میزان سرب و کادمیوم در حد صفر بود. در گنادهای مختلف اردک ماهی، بیشترین میزان مس و روی در گناد ماده مشاهده گردید ($p>0/05$). برعکس میانگین سرب در گناد اردک ماهی نر بیشتر بود ($p>0/05$). فلز کادمیوم نیز در هر دو گناد نر و ماده برابر صفر بود. بالاترین میزان مس ($p>0/05$) و روی ($p>0/05$) در کبد جنس نر دیده‌شد. ضمن اینکه سرب و کادمیوم تنها در کبد اردک ماهی نر اندازه‌گیری شدند. میانگین مس ($p>0/05$) و روی ($p<0/05$) در روده اردک‌ماهی ماده بیشتر بود. ضمن اینکه میانگین سرب و کادمیوم در روده اردک‌ماهی در هر دو جنس نر و ماده در حد نامشخص (ND) بود. از بین دو انگل گوارشی جداشده از روده اردک‌ماهی، انگل رافید آسکاریس آکوس فقط در جنس ماده اردک‌ماهی جداسازی شد و فقط دو فلز مس و روی اندازه‌گیری شدند. همین‌طور انگل تریانوفوروس کراسوس فقط در جنس ماده اردک‌ماهیان جداسازی شد، و تنها عنصر روی اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

**جدول ۳- میانگین تغییرات فلزات سنگین در اندام‌های مختلف اردکماهی بین دو جنس نر و ماده**

| جنس / فلز سنگین | اندام | نر | ماده |
|---|---|---|---|
| مس (µg/g) | عضله | ۰/۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۱ [a] | ۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۰۶ [a] |
| روی (µg/g) | | ۰/۰۹۵ ± ۰/۰۱۰ [a] | ۰/۰۷۴ ± ۰/۰۱۴ [a] |
| سرب (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰ |
| کادمیوم (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| مس (µg/g) | گناد | ۰/۰۱۰ ± ۰/۰۰۳ [a] | ۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۳ [a] |
| روی (µg/g) | | ۰/۲۷۱ ± ۰/۱۷۱ [a] | ۰/۵۷۶ ± ۰/۳۸۳ [a] |
| سرب (µg/g) | | ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۶ [a] | ۰/۰ ± ۰/۰ [a] |
| کادمیوم (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| مس (µg/g) | کبد | ۲۴/۲۶۲ ± ۳/۹۰۰ [a] | ۲۱/۴۱۷ ± ۱۱/۵۹۷ [a] |
| روی (µg/g) | | ۱۳۴/۴۹۶ ± ۵۷/۶۶۹ [a] | ۸۴/۰۷۶ ± ۲۸/۶۴۱ [b] |
| سرب (µg/g) | | ۰/۰۷۰ ± ۰/۰۲۱ | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | ۰/۱۵۶ ± ۰/۰۶۹ | ND |
| مس (µg/g) | روده | ۱/۱۷۵ ± ۱/۰۳۵ [a] | ۱/۸۵۴ ± ۱/۰۲۱ [a] |
| روی (µg/g) | | ۱۹۹/۰۰۳ ± ۱۳۳/۳۷۹ [a] | ۷۷۹/۰۱۹ ± ۴۸۱/۵۰۱ [b] |
| سرب (µg/g) | | ND | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | ND | ND |
| مس (µg/g) | انگل رافید آسکاریس آکوس | - | ۰/۰۸۸ ± ۰/۰۷۶ |
| روی (µg/g) | | - | ۲۳۱/۹۳۸ ± ۱۳۴/۲۹۳ |
| سرب (µg/g) | | - | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | - | ND |
| مس (µg/g) | انگل تریانوفوروس کراسوس | - | ND |
| روی (µg/g) | | - | ۷۵/۴۳۰ ± ۲۴/۵۵۵ |
| سرب (µg/g) | | - | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | - | ND |

- حروف لاتین غیرمشترک در هر ردیف، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها است ($p<0/05$).

در سنین متفاوت اردک‌ماهی تالاب‌انزلی، بیشترین میزان مس در عضله ماهیان ۳ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۶ ساله اندازه‌گیری شد ($p<0/05$)، درحالی‌که بالاترین میزان روی در عضله ماهیان ۵ ساله و پایین‌ترین نیز در ماهیان ۶ ساله مشاهده گردید ($p<0/05$). حداکثر میزان سرب در عضله ماهیان ۵ ساله و حداقل نیز در ماهیان ۳، ۴ و ۶ ساله مشاهده گردید ($p>0/05$). میانگین کادمیوم در عضله اردک‌ماهی در تمام سنین یکسان و ۰/۰±۰/۰ میکروگرم در گرم بود. بیشترین میزان مس در گناد ماهیان ۳، ۴ و ۶ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۵ ساله

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

مشاهده گردید ($p>0/05$). بالاترین میزان روی در گناد ماهیان ۴ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۵ ساله اندازه‌گیری شد ($p>0/05$). حداکثر میزان سرب در گناد ماهیان ۳ و ۴ ساله و حداقل نیز در گناد ماهیان ۵ و ۶ ساله مشاهده شد ($p>0/05$). همچنین میانگین کادمیوم در گناد اردک‌ماهی در تمام سنین یکسان و صفر میکروگرم درگرم بود. بیشترین میزان مس در کبد اردک‌ماهیان ۳ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۶ ساله مشاهده ($p>0/05$). حداکثر میزان روی در کبد ماهیان ۳ ساله و حداقل نیز در ماهیان ۶ ساله اندازه‌گیری شد ($p<0/05$). عنصر سرب و کادمیوم تنها در کبد اردک‌ماهی ۴ ساله اندازه‌گیری شدند. فلز مس تنها در روده اردک‌ماهیان ۳ و ۴ ساله اندازه‌گیری شد، به‌طوری‌که میزان آن در گروه ۴ ساله‌ها بیش از ماهیان ۳ ساله بود ($p<0/05$). در مقابل عنصر روی در روده تمامی اردک‌ماهیان اندازه‌گیری شد، به‌طوری‌که بیشترین آن در گروه سنی ۴ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۵ ساله مشاهده گردید ($p<0/05$). همچنین فلزات سرب و کادمیوم در روده اردک‌ماهیان در حد نامشخص (ND) بودند. انگل رافیدآسکاریس آکوس در سه گروه سنی ۳، ۴ و ۵ سال اردک‌ماهیان مشاهده شد. که در این بین عنصر مس تنها در انگل رافیدآسکاریس آکوس اردک‌ماهیان ۴ ساله اندازه‌گیری شد. بیشترین میزان روی در انگل رافیدآسکاریس آکوس اردک‌ماهیان ۶ ساله و کمترین نیز در ماهیان ۳ ساله مشاهده گردید ($p<0/05$). در مورد سرب و کادمیوم نیز در تمام سنین در حد نامشخص (ND) بودند. انگل تریانوفوروس کراسوس در دو گروه سنی ۳ و ۴ سال اردک‌ماهیان مشاهده شدند، که البته میزان مس، سرب و کادمیوم در انگل تریانوفوروس کراسوس در اردک‌ماهی‌های ۳ و ۴ ساله در حد نامشخص (ND) بود. فقط میانگین روی در انگل تریانوفوروس کراسوس در اردک‌ماهیان ۳ ساله بیش از ماهیان ۴ ساله بود ($p<0/05$).

**جدول ۴- میانگین تغییرات فلزات سنگین در اندام‌های مختلف اردک‌ماهی در سنین متفاوت**

| سن / فلز سنگین | اندام | ۳ سال | ۴ سال | ۵ سال | ۶ سال |
|---|---|---|---|---|---|
| مس (µg/g) | عضله | ۰/۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۵ [b] | ۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۰۴ [b] | ۰/۰۰۸ ± ۰/۰۰۰۵ [b] | ۰/۰۰۶ ± ۰/۰۰۳ [a] |
| روی (µg/g) | | ۰/۰۸۳ ± ۰/۰۰۸ [b] | ۰/۰۸۰ ± ۰/۰۱۵ [b] | ۰/۰۹۵ ± ۰/۰۱۵ [b] | ۰/۰۴۷ ± ۰/۰۴۵ [a] |
| سرب (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ [a] | ۰/۰ ± ۰/۰ [a] | ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۲ [a] | ۰/۰ ± ۰/۰ [a] |
| کادمیوم (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| مس (µg/g) | گناد | ۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۴ [a] | ۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۳ [a] | ۰/۰۰۷ ± ۰/۰۰۵ [a] | ۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۳ [a] |
| روی (µg/g) | | ۰/۴۱۷ ± ۰/۱۸۶ [a] | ۰/۵۹۷ ± ۰/۴۴۵ [a] | ۰/۱۱۴ ± ۰/۰۲۵ [a] | ۰/۴۷۴ ± ۰/۱۲۱ [a] |
| سرب (µg/g) | | ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۴ | ۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| کادمیوم (µg/g) | | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ | ۰/۰ ± ۰/۰ |
| مس (µg/g) | کبد | ۲۶/۲۷۱ ± ۵/۱۴۴ [a] | ۲۱/۶۳۳ ± ۱۳/۱۳۱ [a] | ۲۱/۲۵۰ ± ۹/۸۷۴ [a] | ۱۴/۴۸۱ ± ۴/۲۵۴ [b] |
| روی (µg/g) | | ۱۰۶/۷۷۶ ± ۲۴/۰۸۶ [a] | ۱۰۴/۳۴۳ ± ۵۹/۵۶۵ [a] | ۸۱/۴۲۵ ± ۱۰/۳۵۲ [b] | ۶۸/۵۵۲ ± ۱۱/۳۷۴ [c] |
| سرب (µg/g) | | ND | ۰/۰۴۲ ± ۰/۰۳۴ | ND | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | ND | ۰/۰۹۳ ± ۰/۰۲۰ | ND | ND |
| مس (µg/g) | روده | ۰/۶۹۹ ± ۰/۴۹۷ [b] | ۲/۸۸۲ ± ۱/۴۳۹ [a] | ND | ND |
| روی (µg/g) | | ۶۰۰/۹۹۵ ± ۴۷۶/۰۱۳ [b] | ۷۵۰/۱۲۳ ± ۵۷۴/۳۹۵ [a] | ۲۳۴/۷۶۲ ± ۱۰۴/۲۱۴ [c] | ۲۶۱/۷۸۰ ± ۹۰/۴۲۵ [c] |
| سرب (µg/g) | | ND | ND | ND | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | ND | ND | ND | ND |
| مس (µg/g) | انگل رافید آسکاریس آکوس | ND | ۰/۱۷۶ ± ۰/۱۴۸ | ND | ---- |
| روی (µg/g) | | ۷/۷۳۱ ± ۳/۵۴۸ [c] | ۱۸/۳۴۵ ± ۷/۹۴۱ [b] | ۸۸۳/۳۳۳ ± ۱۱/۳۷۴ [a] | ---- |
| سرب (µg/g) | | ND | ND | ND | ---- |
| کادمیوم (µg/g) | | ND | ND | ND | ---- |
| مس (µg/g) | انگل تریانوفوروس کراسوس | ND | ND | ND | ND |
| روی (µg/g) | | ۸۴/۱۵۴ ± ۳۱/۵۶۴ [a] | ۷۱/۰۶۸ ± ۳۳/۰۴۲ [b] | ۸۴/۱۵۴ ± ۳۱/۵۶۴ [a] | ۷۱/۰۶۸ ± ۳۳/۰۴۲ [b] |
| سرب (µg/g) | | ND | ND | ND | ND |
| کادمیوم (µg/g) | | ND | ND | ND | ND |

- حروف لاتین غیرمشترک در هر ردیف، نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارها است ($p<0/05$).

میزان جذب بافت عضله ماهیان بالغ اردک‌ماهی، حدمجاز مصرف فلزات سنگین سازمان بهداشت جهانی (Who, 1996)، دوز مرجع (میکروگرم برگرم وزن بدن در روز)، همچنین جذب‌روزانه (میکروگرم/گرم/وزن بدن/روز) و هفتگی (میکروگرم/گرم/وزن بدن/هفته) فلزات در بدن بزرگسالان و کودکان و استاندارد حداکثر حدمجاز جذب هفتگی (میکروگرم/گرم/وزن بدن ۷۰ کیلوگرم/هفته) نشان می‌دهد. بررسی غلظت فلزات در اردک‌ماهی نشان داد که غلظت فلزات مورد بررسی در بافت عضله متفاوت بود. به‌طوری‌که بیشترین آن در فلز روی و کمترین آن در فلز مس براساس میکروگرم بر گرم وزن تر دیده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حدمجاز مصرف فلزات سنگین پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی است (جدول ۵). در جدول ۶ میزان ریسک خطر، حدمجاز مصرف و تعداد مجاز وعده در ماه نشان‌داده شده است. براساس این نتایج، حدمجاز مصرف فلزات سنگین پایین‌تر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی بود. محاسبه شاخص خطر نشان داد که همگی، مقادیر کمتر از یک دارند و نشان‌دهنده آن است که مصرف ادرک ماهی اثر مضری برای مصرف کنندگان ندارد. همچنین مقدار شاخص خطرکل در این مطالعه زیر ۱ (۰) به‌دست آمد.

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

**جدول ۱- میانگین و انحراف معیار میزان جذب بافت عضله ماهی، حدمجاز مصرف فلزات سنگین، جذب روزانه و هفتگی فلزات سمی و غیرسمی در بدن بزرگسالان و کودکان**

| فلز | میزان جذب فلز | میزان جذب تر فلز | استاندارد WHO (1996) | دوز مرجع USEPA, (2011) | دوز روزانه بزرگسالان | دوز هفتگی بزرگسالان | دوز روزانه کودکان | دوز هفتگی کودکان | PTWI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pb | ۰/۰۰۰۳±۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۴ | ۰/۰۰۳۵ | ۰/۰۰۰۰±۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۰۱±۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۱۰±۰/۰۰۳۱ | ۲۵ |
| Cd | ۰/۰۰۰۰± ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۰±۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰±۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰±۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰۰±۰/۰۰۰۲ | ۷ |
| Cu | ۰/۰۰۷۴±۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۰۱۵ | ۱۰ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۰۰۸±۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۵۶±۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۳۹±۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۲۷۲±۰/۰۰۲۲ | ۳۵۰۰ |
| Zn | ۰/۰۸۰۴±۰/۰۱۷۶ | ۰/۰۱۶۱ | ۱۰۰ | ۰/۳ | ۰/۰۰۸۷±۰/۰۰۱۹ | ۰/۰۶۱۱±۰/۰۱۳۴ | ۰/۰۴۲۱±۰/۰۰۹۲ | ۰/۲۹۸۴±۰/۰۶۴۷ | ۷۰۰۰ |

- واحدها: جذب فلز و جذب تر فلز: میکروگرم برگرم؛
- دوز مرجع (RfD): میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز؛
- میزان جذب روزانه (EDI) : میکروگرم بر گرم در روز؛
- میزان جذب هفتگی (EWI): میکروگرم بر گرم در هفته؛
- استاندارد حداکثرحد مجاز جذب هفتگی (PTWI): میکروگرم/گرم/وزن بدن ۷۰ کیلوگرم/هفته.

**جدول ۲- میانگین و انحراف معیار میزان شاخص ریسک خطر، حدمجاز مصرف و تعداد مجاز وعده در ماه**

| فلز | شاخص خطر | حد مجاز مصرف بزرگسالان | حد مجاز مصرف کودکان | نرخ مجاز مصرف بزرگسالان | نرخ مجاز مصرف کودکان |
|---|---|---|---|---|---|
| pb | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ |
| Cd | ۰/۰۰۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ | ۰/۰۰±۰/۰۰ |
| Cu | ۰/۰۰۰۰ | ۱۷۵۶/۹۴±۱۴۸/۶۳ | ۳۶۳/۹۳±۳۰/۷۸ | ۳۳/۲۸±۲/۸۱ | ۱۳/۷۲±۱/۱۶ |
| Zn | ۰/۰۰۰۰ | ۱۳۷۷/۸۲±۳۷۲/۵۵ | ۲۸۵/۴۰±۷۷/۱۷ | ۲۶/۰۹±۷/۰۵ | ۱۰/۷۶±۲/۹۱ |
| HI | ۰ | | | | |

- واحدها: نرخ مجاز مصرف ماهی ($CR_{mm}$): وعده در ماه؛ حد مجاز مصرف ماهی بر حسب ($Cr_{lim}$): کیلوگرم در روز.

## ۴ | بحث و نتیجه‌گیری

فلزات سنگین اندام‌های مختلف اردک‌ماهی: یافته‌های این تحقیق نشان داد که میانگین فلزات سنگین در اندام‌های مختلف اردک‌ماهی تالاب انزلی به‌صورت Zn>Cu>Cd>Pb بود. از بین این‌ها، میانگین عنصر روی در کل اندام‌های مورد بررسی بیش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی بود و مس نیز در مرز هشدار قرار داشت. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2014) و پناهنده و مروتی (Panahandeh and Morovati, 2018) نیز مقادیر بالای عنصر روی را در اردک‌ماهی تالاب انزلی نسبت به سایر فلزات سنگی گزارش نمودند.

اردوغان و همکاران (Erdoğane *et al*., 2021) مقادیر بالای روی را نسبت به سرب و مس در اردک ماهی در دریاچه لادیک (Ladik) ترکیه گزارش کردند. ایون و غفاری (Even and Ghaffari, 2011) نیز مقادیر خیلی کم کادمیوم را اردک‌ماهی رودخانه میسوری آمریکا بیان کردند. لاژینسکا و پاژیک (Łuczy´nska and Paszczyk, 2019) مقادیر بالای روی در اندام کبد نسبت به عضله را در اردک‌ماهی دو دریاچه وارمیا (Warmia) و مازوری (Mazury) لهستان گزارش کردند. البته بیشتر بودن میزان روی و مس به‌دلیل بالا بودن مقادیر این دو عنصر در آب و رسوب تالاب‌انزلی می باشد (Babaei *et al*., 2007; *Khosravi et al*., 2011; Panahandeh and Morovati, 2018)، که خود تالاب‌انزلی نیز از عوامل مختلف من‌جمله رودخانه‌های ورودی تحت‌تأثیر قرارمی‌گیرد (Ghavidel and Moattar, 2014). دربین اندام‌های مختلف نیز، بالاترین مقادیر مس در کبد و بالاترین مقادیر روی در روده و سپس در انگل رافیدآسکاریس، کبد و انگل تریانوفوروس مشاهده شد. درحالی‌که دو عنصر سرب و کادمیوم به میزان خیلی کمتری اندازه‌گیری شدند، به‌طوری‌که تعدادی از اندام‌ها فاقد این دو عنصر (درحدتشخیص دستگاه اندازه‌گیری=ND) بودند. مطالعات متعدد نشان‌دهنده تمایل به تجمع فلزات سنگین به مقادیر زیاد در بافت کبد است (Yilmaz, 2005). عضله مکان اولیه ذخیره فلزات نمی‌باشد. در ابتدا، فلزات سنگین در کبد ذخیره و سپس به عضله انتقال می‌یابند (Beheshti, 2011). میزان انباشت فلزات مختلف در بافت‌ها وابسته به نقش فیزیولوژیک آن‌ها بوده و از آنجایی که کبد و آبشش از جمله بافت‌های فعال متابولیکی می‌باشند، تجمع فلزات در این بافت ها نسبت به بافت عضله بیشتر است (Al-Yousuf *et al*., 2000; Carvalho *et al*., 2005). بالابودن فلزات سنگین در کبد اردک‌ماهی مشابه بررسی‌های انجام‌گرفته در ماهی‌سفید دریای‌خزر توسط سلطانی و همکاران (Soltani *et al*., 1393) و ماهی‌کپور تالاب‌انزلی به‌وسیله بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2007) می‌باشد. به‌طورکلی، معمولاً بافت عضله پایین‌ترین مقدار فلزات سنگین در ماهیان را داشته و این فلزات در بافت‌هایی نظیر کلیه، کبد و آبشش تجمع می یابند (Al-Al-Yousuf *et al*., 2000; Filazi *et al*., 2003). تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان ممکن است به‌علت تفاوت در توان فلزات‌سنگین درجهت‌غلبه بر پیوندهای‌فلزی پروتئین‌هامانند متالوتیونین‌ها باشد. علاوه‌بر این، نیازهای اکولوژیک و فعالیت متابولیک ماهیان عامل مهم دیگری است (Canli and Atli, 2003). فلزات سنگین اندام هدف خود را باتوجه به فعالیت متابولیک آن اندام‌ها انتخاب می‌کنند. با

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

توجه به این نکته، دلیل تجمع بیشتر فلزات سنگین در بافت‌هایی نظیر کبد، کلیه و آبشش نسبت به بافت ماهیچه (با فعالیت متابولیک پایین) را می‌توان درک کرد (Filazi *et al*., 2003). وجود مقادیر بالای فلزات سنگین در کبد و روده باتوجه به نقش این اندام در متابولیسم بدن و وجود مقادیر بالای فلزات سنگین در روده باتوجه به نقش این اندام در گوارش غذا و وجود پرزها و موکوس روده‌ای که سبب جذب موادغذایی و عناصر می‌شود قابل توجیه است. در واقع، جذب شیمیایی عناصر با ترکیبات موجود در بافت‌ها تحت‌تأثیر قرار گرفته و کبد و روده به نوعی با جذب مواد مضر باعث کاهش جذب در سایر اندام‌ها نظیر عضله شده و در نتیجه، میزان فلزات سنگین عضله کمتر می‌باشد (Newman and Unger, 2003). به‌نظر می‌رسد میزان فلزات سنگین در اندام‌های دخیل در جذب و متابولیسم و اندام‌های درمعرض آب و غذا و در نتیجه فلزات سنگین بیشتر بوده و پس از جذب مقدار کمتری فلز سنگین وارد عضله و گوشت ماهی می‌شود. در واقع امعاء و احشاء و سایر اندام‌ها به‌دلیل نقش خود در جذب و متابولیسم کاهش‌دهنده زنجیره انتقال فلزات سنگین به عضله می‌باشند و به نوعی به‌صورت سدی کاهشی عمل می‌کنند (Al-Yousuf *et al*., 2000).

درمطالعه حاضر، مقادیر بالای فلز روی در انگل‌های اردک‌ماهیان مشاهده شد. اگرچه مس تنها در انگل رافیدآسکاریس ماهیان ۳ ساله وجود داشت و دو عنصر سرب و کادمیوم در این دو انگل در حد قابل اندازه‌گیری (ND) نبودند. محققیقن دیگراز قبیل متوی و پیتراک (Matwee and Pietrock, 2019) تجمع فلزات سنگین را در انگل *Raphidascaris acus* اردک‌ماهی در دریاچه مونترال کانادا؛ پاپیلک و همکاران (Popiołek *et al*., 2007) و برازوا و همکاران (Brázová *et al*., 2015) میزان تجمع فلزات سنگین را در انگل‌های ماهی سوف حاجی‌طرخان؛ باروش و همکاران (Baruš *et al*., 2012) در انگل‌های ماهی سیم، سیم پرک و کلمه گزارش کرده اند. برطبق تحقیات صورت گرفته انگل‌ها به‌عنوان شاخص‌های زیستی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی مطرح هستند (Hassan *et al*., 2018). ازطرفی در بین مردم علاوه‌بر گوشت ماهی، گنادهای آنها نیز طرفداران زیادی دارد. به‌خصوص تخم ماهی‌ها که با نام اشپیل و به‌صورت تازه، دودی و شور مورد استفاده قرار می گیرد. باتوجه به بررسی‌های انجام گرفته گنادها نیز می‌توانند منبع تجمع فلزات سنگین باشند (Soltani *et al*., 2014; Abhay, 2014). باتوجه به این برررسی‌ها به‌نظر می‌رسد که انگل‌ها به‌عنوان جذب‌کننده فلزات سنگین (به‌ویژه عنصر روی و مس) یا انتقال‌دهنده آن‌ها از محیط بیرون به بدن ماهی عمل می‌کنند. البته باتوجه به بالا بودن میزان روی در روده اردک‌ماهی تالاب‌انزلی این وضعیت قابل توجیه‌تراست. اثر جنسیت اردک‌ماهی روی میزان فلزات سنگین، بررسی بین دو جنس نر و ماده اردک‌ماهی بیان‌کننده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بیشتر موارد بود (به‌غیر از فلز روی در کبد و روده اردک‌ماهان نر و ماده). بنابراین، مصرف خوراکی دو جنس مختلف و اردک‌ماهی تفاوتی در میزان جذب فلزات سنگین و اثر آن در انسان ندارد. شاخص‌هایی مانند طول، وزن، جنسیت، عادت تغذیه‌ای، نیازهای اکولوژیک، غلظت فلزات سنگین موجود در آب و رسوبات، مدت‌مان قرار گرفتن ماهی در آب، فصل صید و خواص فیزیکی و شیمیایی آب از عوامل تأثیرگذار در تجمع فلزات سنگین در اندام ماهیان می‌باشد (Fialkowski *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2011). مطالعه روی کفال طلائی نشان داد که عامل جنسیت بر میزان تجمع کادمیوم، مس و روی در بافت عضله بی‌تأثیر گزارش گردیده است (Amini Ranjbar and Sotodehnia, 2005). فابریس و همکاران (Fabris *et al*., 2006) نشان دادند که در بیشتر موارد بین جنس نر و ماده ماهی زمین کن (*Platycephalus bassensis*)، لابستر (*Jasus edwardsis*) و آبالون (*Haliotis rubra*) از نظر غلظت فلزات سنگین اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. با این‌حال، به‌نظر می‌رسد جنسیت تا حدودی باید بر مقادیر فلزات سنگین اثرگذار باشد که می‌توان علت را در هورمون‌های موجود در دو جنس متفاوت جستجو کرد. فلزات سنگین موجود در دو جنس نر و ماده نشان‌دهنده اختلاف بوده که این اختلاف ناشی از تفاوت کارکرد هورمون‌های گنادوتروپین در دو جنس، زادآوری و تخم‌ریزی در جنس ماده است (Marijic and Raspor, 2006). اثر سنین مختلف اردک‌ماهی روی میزان فلزات سنگین، بررسی بین سنین مختلف اردک‌ماهی نیز نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سنین مختلف در برخی موارد بود (مس در عضله، روی در عضله، کبد و روده، انگل رافیدآسکاریس و انگل تریانوفوروس). به‌طوری‌که، ماهیان ۳، ۴ و ۵ ساله دارای بالاترین مقادیر مس و ماهیان ۳ و ۴ ساله دارای بالاترین مقادیر روی بودند. از نظر مقادیر سرب و کادمیوم نیز در سنین مختلف اردک‌ماهی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. این مطالعه نشان می‌دهد که ماهیان با سن متوسط دارای مقادیر بالاتری از فلزات سنگین هستند. با این‌حال، این مسئله دقیق نبوده و در بسیاری از موارد هم سن تأثیر معنی‌داری نداشت. از جمله عوامل تأثیرگذار بر غلظت فلزات سنگین می‌توان به اندازه، جنس، سن، رشد گونه ماهیان، نوع بافت مورد بررسی و شرایط فیزیولوژیکی ماهی، نوع و سطح آلودگی آب، شکل شیمیایی فلز، دمای آب، pH، اکسیژن محلول و شفافیت اشاره کرد (Raja *et al*., 2009; Naeem *et al*., 2011). پدرام‌جرف و همکاران (Pedram Jarf *et al*., 2013) با مطالعه اردک‌ماهی و سوف تالاب امیرکلایه بیان کرد که ارتباطی بین فلزات سنگین با وزن، طول کل و سن ماهیان وجود ندارد. نیکولیچ و همکاران (Nikolić *et al*., 2021) در کانال (Vizelj) در بلگراد صربستان به نقش سن در افزایش میزان فلزات سنگین در اردک‌ماهی اشاره کردند. مشکینی و رسولی‌اقدم (Meshkiniy and Rasooli Aghdam, 2019) بیان کردند که میزان فلزات سنگین با شاخص‌های زیستی مانند سن، طول و وزن ماهی‌کپور ارتباط معنی‌داری ندارد. طباطبایی و همکاران (Tabatabaie *et al*., 2011) بیان کردند که هیچ ارتباطی بین سطح فلزات سنگین بافت‌ها با طول، وزن و سن ماهی وجود ندارد. مطالعه روی ماهیان کاد، ماکرل، لیماند و حلوا نشان داد که بین اندازه ماهی و تجمع فلزات سنگین در ماهیان رابطه معنی‌داری وجود ندارد (Henry *et al*., 2004). هنری و همکاران (Henry *et al*., 2004) اعتقاد دارند که عدم‌وجود ارتباط بین غلظت فلزات در بافت کبد و اندازه ماهی متأثر از عواملی مانند تفاوت در متابولیسم فلزات در گونه‌های مختلف ماهیان و بافت مورد مطالعه، رقابت،

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

اثرات متقابل بین سن و رشد اندام‌ها و میزان دسترسی به فلزات در محیط می‌باشد (Gašpić *et al.*, 2002). ظرفیت بدن برای تنظیم غلظت فلزات و فعالیت اندازه بدن و فاکتورهای وابسته، تأثیر ناچیزی دارد یا هیچ تأثیری بر تجمع فلزات سنگین ندارد (Pourang *et al.*, 2005). پورنگ و همکاران (Pourang *et al.*, 2005) همبستگی منفی بین اندازه ماهی و سطوح عناصر را گزارش کردند و دلیل آن را رشد سریع‌تر ماهی نسبت به تجمع فلزات در بافت، سرعت بالاتر متابولیسم و عادات تغذیه‌ای درطی دوره رشد عنوان کردند. مطالعه روی فلزات سنگین عضله اردک‌ماهی تالاب‌انزلی نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین غلظت فلزات سرب، مس و روی با طول و وزن نمونه‌ها دیده نشد اما یک همبستگی منفی معنی‌دار بین غلظت کادمیوم با طول نمونه‌ها مشاهده گردید (Ebrahimi *et al.*, 2012). مطالعات نشان‌دهنده همبستگی منفی معنی‌دار بین غلظت سرب و وزن بدن اردک‌ماهی می‌باشد (Imanpour Namin *et al.*, 2011). همبستگی منفی بین شاخص‌های فیزیکی و میزان تجمع یک فلز به اثر رقیق-سازی نسبی میزان چربی بافت‌ها مربوط می‌شود. علاوه‌بر این، این فرضیه با درصد پایین چربی بافت ماهیان جوان تأیید می‌شود (Shulman, 1974; Weatherley and Gill, 1987). در ماهیان بزرگ‌تر، نسبت سطح به حجم بدن کاهش یافته و در نتیجه جذب سطحی و دفع فلزات در ماهیان کوچکتر بیشتر است. باتوجه به این که ماهیان جوان‌تر فعالیت متابولیک بیشتری به‌ازای هر گرم وزن بدن نسبت به ماهیان بزرگتر دارند، نسبت‌به ماهیان بزرگتر فلزات را سریع‌تر جذب می‌کنند (Pazooki *et al.*, 2009). بنابراین، تجمع فلزات در بافت عضله ماهیان با افزایش وزن کاهش می‌یابد (Singh *et al.*, 1991; Heath, 1995). نتایج مطالعه روی ماهیان استخوانی دریای‌خزر نشان داد که با افزایش اندازه ماهیان میزان تجمع فلزات در بافت عضله کاهش می‌یابد. این رابطه می‌تواند متأثر از فاکتورهایی نظیر روند متابولیسم بدن و یا رقیق شدگی فلزات در اثر رشد باشد (Anan *et al.*, 2005). با این‌حال، اگر غلظت فلز در آب افزایش یابد نه تنها این کاهش غلظت در بافت حاصل از رشد و یا کاهش فعالیت متابولیک بدن مشاهده نخواهد شد، بلکه تجمع فلز در بافت افزایش می‌یابد و ممکن است بین غلظت فلزات در بافت و اندازه ماهی رابطه مثبتی ایجاد گردد (Canli and Atli, 2003). به‌طورکلی، می‌توان گفت که اگر سرعت رشد موجود زنده بیشتر از روند تجمع فلزات باشد، با افزایش سن و وزن، حتی با وجود افزایش آلودگی در محیط، میزان فلزات در بدن کاهش خواهد یافت (Gašpić *et al.*, 2002). به‌طورکلی جذب فلزات با تغییر در رژیم غذایی ماهیان با افزایش سن مرتبط بوده و باتوجه به اینکه برخی از گروه‌های گیاهی و جانوری مانند سخت‌پوستان و نرم‌تنان قابلیت بالایی جهت تجمع فلزات و سایر آلاینده‌ها دارند، به‌عنوان مواد غذایی حامل سبب انتقال فلزات به بدن ماهیان می‌شوند (Burger and Gochfeld, 2007).

مقایسه فلزات سنگین با استانداردهای جهانی و مدیریت بهداشتی: سازمان بهداشت جهانی (WHO) میزان حدمجاز فلزات سنگین مس، روی، سرب و کادمیوم را به‌ترتیب ۱۰، ۱۰۰، ۰/۳ و ۰/۲ میکروگرم در گرم وزن تر گوشت ماهی برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی اعلام کرده است (WHO, 1996). با این اوصاف، میزان حدمجاز مس، روی، سرب و کادمیوم در ماهی مورد مطالعه در بیشتر موارد پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز بود. با این‌حال، در اردک‌ماهی، مقادیر فلز مس در کبد و مقادیر فلز روی در کل بدن و روده بالاتر از استانداردهای مجاز بود. باتوجه به اینکه تجمع این فلزات سنگین بالاتر از حدمجاز استاندارد جهانی بود، گواه این مطلب است که آلودگی آب دریای‌خزر و تالاب‌انزلی و به دنبال آن آبزیان درحال افزایش است. از آنجایی که مقادیر فلزات سنگین در عضله و حتی گنادهای اردک‌ماهی (از نظر خوراکی) بسیار کمتر از حدمجاز تعیین شده بود، می‌توان بیان کرد که ازلحاظ مصرف انسانی مشکلی وجود ندارد. با این‌حال، باید مراقبت‌های بهداشتی را بالاتر برده و درجهت کاهش این عناصر و یا نحوه مصرف ماهیان اقداماتی انجام داد. زیرا این احتمال وجود دارد با افزایش منابع آلوده‌کننده و غلظت آلاینده‌ها، در آینده غلظت این عناصر در عضله ماهیان نیز افزایش یابد. بنابراین، بهتر است از مصرف سایر اندام‌هایی که قابلیت جذب و متابولسیم بیشتری نسبت به فلزات سنگین دارند خودداری شود و با مصرف اندام‌های سالم‌تر در هر ماهی نوعی برنامه مدیریتی را به اجرا بگذاریم.

در مطالعه حاضر، از نظر فلزات سنگین نیز میزان سرب و کادمیوم نسبت به دو فلز سنگین دیگر کمتر بود. نامشخص بودن مقادیر فلزات سنگین در بسیاری از نمونه‌ها می‌تواند به‌دلیل ناچیز بودن آن در غذای ماهیان و عملکرد مکانیسم های تنظیمی باشد (Roesijadi, 1994). علاوه بر این، می‌تواند به‌علت افزایش شوری و افزایش جزئی pH در آب دریا باشد. بنابراین، قابلیت حل فلزات سنگین در آب کاهش می‌یابد. سطح بالای کلر موجود در آب دریا سبب تشکیل کمپلکس‌های کلرید با فلزات سنگین شده که ممکن است ازجمله دلایل کاهش سمیت این فلزات باشد (Pärt *et al.*, 1985). باتوجه به اینکه تجمع فلزات سنگین در سیستم بیولوژیکی هم برای انسان و هم برای سایر موجودات زنده خطرناک است، نیازمند نظارتی ترتیبی یا فصلی غلظت فلزات سنگین در محیط‌های آبی به‌منظور حفاظت از محیط‌زیست و اقدامات حفاظتی می‌باشد. در یک نتیجه‌گیری‌کلی می‌توان گفت که اردک‌ماهی دارای بالاترین مقادیر فلز سنگین (به‌ویژه مس و روی) در اندام‌های کبد و روده نسبت به عضله و گنادها بود. بررسی بین دو جنس نر و ماده اردک ماهی بیان کننده عدم‌وجود اختلاف معنی‌دار در بیشتر موارد بود. بنابراین، مصرف خوراکی دو جنس مختلف اردک‌ماهی تفاوتی در میزان جذب فلزات سنگین و اثر آن در انسان ندارد. ماهیان با سن متوسط دارای مقادیر بالاتری از فلزات سنگین بودند.. علاوه‌بر این، مقادیر بالایی فلز سنگین در انگل‌های ماهیان مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد که انگل‌ها به‌عنوان جذب‌کننده فلزات سنگین یا انتقال‌دهنده آن‌ها از محیط بیرون به بدن ماهی عمل می‌کنند. میزان حدمجاز مس، روی، سرب و کادمیوم در اردک ماهی در بیشتر موارد پایین‌تر از حد استانداردهای مجاز بود. از آنجایی که مقادیر فلزات سنگین در عضله و حتی گنادهای ماهی (ازنظر خوراکی) بسیار کمتر از حد مجاز تعیین شده بود، می‌توان بیان کرد که از لحاظ مصرف انسانی مشکلی وجود ندارد.

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

**پست الکترونیک نویسندگان**

علی صدری‌نژاد: a.sadrinezhad@gmail.com
لیلا گلستان: golestan57@yahoo.com
حسین خارا: h.khara1974@yahoo.com
آزاده قربانی حسن‌سرایی: azade380@yahoo.com
محدثه احمدنژاد: m_ahmadnezhad@yahoo.com

**REFERENCES**

Abbasi K., Valipour A.R., Talebi Haghighi D., Sarpanah A.N., Nezami Sh.A. 1999. Atlas of Iranian Fishes: Gilan Inland Waters. The Inland Water Fishes of Iran. Gilan Fisheries Research Centre, Rasht, Iran. 113p.

Abhay S. 2014. Study on Histopathological changes in the Gonads of a freshwater Teleost Fish, *A. mola* exposed to the heavy metals. Journal of Global Biosciences, 3(4): 763-771.

Adel M., Dadar M., Fakhri Y., Conti G.O., Ferrante M. 2016. Heavy metal concentration in muscle of pike (*Esox Lucius* Linnaeus, 1758) from Anzali international wetland, southwest of the Caspian Sea and their consumption risk assessment.Toxin Reviews, 35(3-4): 217-223.

Ahmadi M., Khanipour A., Abolghasemi S. 2014. Heavy metals (Cd, Ni and Zn) concentrations in the edible muscle tissue of Pike (*Esox lucius*) from Anzali Wetland. Iranian Scientific Fisheries Journal, 24(1): 75-82.

Al-Yousuf M.H., El-Shahawi M.S., Al-Ghais S.M. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. Science of the Total Environment, 256: 87-94.

Amini Ranjbar G., Sotodehnia F. 2005. Investigation of heavy metals accumulation in muscle tissue of *Mugil auratus* in relation to standard length, weight, age and sex. Iranian Scientific Fisheries Journal, 14(3): 1-18.

Anan Y., Kunito T., Tanabe S., Mitrofanov I., Aubrey D.G. 2005. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin, 51: 882-888.

APHA (American Public Health Association). 1992. Standard Method for the examination of water and waste water. Sthed. pp: 1-3.

Ashja Ardalan A., Sohrabi M., Mirheydari S., Abdollah Beiki H. 2009. Determination of Hg, Pb, Zn, Cu in muscle and liver of tissue of European Perch (*Perca fluviatilis*) in areas of Abkenar and Sheyjan of Anzali Lagoon in spring. Journal of Marine Science and Technology, 4(2): 49-66.

Babaei H., Kkodaparast H., Abedini A. 2007. Contamination of sediments with heavy metals CD, CN, FE, PH in the east of Anzali Lagoon. Iranian Scientific Fisheries Journal, 16(1): 9-16.

Babaei H., Khodaprast S.H. 2013. Evaluating the contamination of heavy metals in sediment of fish (*Cyprinus carpio*) from Anzali international wetland, Giulan. Feyz, 16 (7): 667-668.

Baruš V., Simková A., Prokeš M., Milan Peňáz1 M.,Vetešník L. 2012. Heavy metals in two host-parasite systems: Tapeworm vs. fish. Acta Veterinaria Brno, 81(3):313-317.

Beheshti M. 2011. Comparative study of concentration of heavy metals (Cu, Fe, Zn, Mn) in muscle liver and gill organ of fish (*Liza abu*) in the Karoon and Karkheh rivers in Khoozestan province. Journal of Water and Wastewater, 3: 125-133. (In Persian).

Brázová T., Hanzelová V., Miklisová D., Šalamún P., Vidal-Martínez V.M. 2015. Host-parasite relationships as determinants of heavy metal concentrations in perch (*Perca fluviatilis*) and its intestinal parasite infection. Ecotoxicology and Environmental Safety, 122: 551-556.

Burger J., Gochfeld M. 2007. Risk to consumers from mercury in pacific cod (*Godus macrocephalus*) from the Aleutians: Fish age and size effect. Environmental Research, 105: 276-284.

Bykhovsky–Pavloskaya I.F., Gussev A.V., Dubinia M. N., Izyumova N.A., Smirnova T.S., Sokolovskaya I.L., Shulman S.S., Epshtein V.M. 1964. Key to the parasite of Freshwater Fishes of the U.S.S.R Izdatelstrov, Akademii Nauk S.S.S.R Moskva-Leningrad. 1962. Program for acientific Translation, Jerusalem, Israel. 919p.

Canli M., Atli G. 2003. The relationships between heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution, 121: 129-136.

Carvalho G.P., Cavalcante P.R.S., Castro A.C.L., Rosaj M.O.A.I. 2005. Preliminary assessment of heavy metal levels in *Mytella falcate* (Bivalvia, Mytilidae) from Bacanga river estuary, Sao Luis, State of Maranhao, Northeastern Brazil. Revista Brasileira de Biologia, 60: 1-7.

Cheggour M., Chafik A., Langston W.J., Burt G.R., Benbrahim S., Texier H. 2001. Metals in sediments and the edible cockle Cerastoderma edule from two Moroccan Atlantic lagoons: Moulay Bou Selham and Sidi Moussa. Environmental Pollution, 115(2): 149-160.

Chien L.C., Hung T.C., Choang K.Y., Yeh C.Y., Meng P.J., Shieh M.J., Han B.C. 2002. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. Science of the Total Environment, 285, 177-85.

Cooper C.B., Doyle M.E., Kipp K. 1991. Risk of consumption of contaminated seafood, the Quincy Bay Case Study. Environmental Health Perspectives, 90: 133-40.

Ebrahimi Sirizi Z., Sakizadeh M., Esmaili Sari A., Bahramifar N., Ghasempouri S.M., Abbasi K. 2012. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu and Zn) Contamination in Muscle tissue of *Esox luciusn* from Anzali International Wetland: Accumulation and Risk Assessment. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 22 (87): 57-63.

Erdoğan K., Kandemir S., Ilker Doğru M., Doğru A., Şimşek I., Yılmaz S., Örün G., Altaş L., Yazıcıoğlu O., Korkmaz N., Örün I. 2021. The effects of seasonal heavy-metal pollution of Ladik Lake on pike fish (*Esox lucius*). Biological Rhythm Research, 52(6): 821-845.

Even J, Ghaffari Sh. 2011. Determination of Cadmium and Lead in Northern Pike from the Missouri River. American Journal of Undergraduate Research, 10(3):15-20.

Fabris G., Turoczy N.J., Stagnitti F. 2006. Trace metals concentration in edible tissue of snapper, flathead,

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

lobster and abalone from coastal waters of Victoria, Australia. Ecotoxicology and Environmental Safety, 63(2): 286-292.

Fialkowski W., Fialkowska E., Smith B.D., Rainbow P.S. 2003. Biomonitoring survey of trace metal Pollution in streams of a catchment draining a zinc and leadmining area of upper Silesia, Poland using the amphipod *Gammarus fossarum*. International Review of Hydrobiology, 88(3): 187-200.

Filazi A., Baskaya R., Kum C. 2003. Metal concentration in tissues of the Black Sea fish *Mugil auratus* from Sinop-Icliman Turky. Human Experiment Toxic, 22: 85-87.

Ghavidel A., Moattar F. 2014. Investigation of Pb, Zn and Ni in Watershed of Anzali Wetland (case study: Goharrood River), Journal of Environmental Science and Technology, 16(1): 89-96.

Gašpić Z.K., Zvonarić T., Vrgoč N., Odžak N., Barič A. 2002. Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. Water Research, 36: 5023-5028.

Hassan A., Moharram S., El Helaly H. 2018. Role of Parasitic Helminths in Bioremediating Some Heavy Metal Accumulation in the Tissues of Lethrinus mahsena. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 18: 435-443.

Heath A.G. 1995. Water pollution and fish physiology. CRC press. USA. 384p.

Henry F., Amara R., Courcot L., Lacouture D., Bertho M.L. 2004. Heavy metals in four fish species from the French coast of the eastern englishchannel and Southern Bight of the North Sea. Environment International, 30: 675- 683.

Imanpour Namin J., Mohammadi M., Heydari S., Monsef Rad F. 2011. Heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in tissue, liver of *Esox lucius* and sediment from the Anzali International Lagoon, Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 9(1): 1-8.

Jamalzad Fallah F., Khara H., Daghigh Rohi J., Sayadborani S. 2015. Hematological parameters associated with parasitism in Esox lucius caught from Anzali wetland. Journal of Parasitic Diseases, 39(2): 245-248.

Juned S., Arjun B. 2010. The study of zinc metal concentration by spectrophotometric method from Godavari River at Nanded, Maharashatra. Pelagia Research Library, Der chemical Sinica. 1(2): 104-109.

Khara H., Nezami Sh.A. 2004. Studying fish biodiversity and abundance in Boujagh Wetland of Kiashahr, South-Western Caspian Sea. Iranian Scientific Fisheries Journal, 13(4): 41-54.

Khara H., Nezami Sh.A., Jafarzadeh A., Ajang B., Sattari M., Mosavi S.A. 2004. Occurance and intensity of parasites from Pike (*Esox Lucius*) In Amirkelayeh Lagoon. Journal of Veterinary Research, 59(4): 333-339.

Khara H., Nezami S., Sattari M., Mir hashemi nasab F., Mosavi A. 2006. An investigation on digestive parasites of fishes in Boojagh wetland, North Iran. Iranian Scientific Fisheries Journal, 15(2): 9-18.

Khara H., Nezami S., Sattari M., Mosavi A., Kosari A., Daneshvar S., Alinia M. 2007. Ocurance and intensity of parasites in Pike (*Esox Lucius*) in river of Chamkhaleh. Iranian Scientific Fisheries Journal, 16(2): 37-50.

Khosravi M., Bahramifar N., Ghasempour M. 2011. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) Contamination in Sediment of Three Sites Anzali Wetland. Journal of Health and Environment .4 (2): 223-232.

Lakzaei F., Babaei H., Khodaparast S.H. 2015. Heavy metal determination in different tissues of Liza aurata from Kiashar and Talesh region of south coast of Caspian Sea. Journal of Aquaculture Development, 9(3), 51-58.

Lavilla I., Vilas P., Bendicho C. 2008. Fast determination of arsenic, selenium, nickel and vanadium in fish and shellfish by electrothermal atomic absorption spectrometry following ultrasound-assisted extraction. Food Chemistry, 106: 403-409.

Łuczy´nska J., Paszczyk B. 2019. Health Risk Assessment of Heavy Metals and Lipid Quality Indexes in Freshwater Fish from Lakes of Warmia and Mazury Region, Poland. International Journal of Environmental Research and Public Health, 6(19):370-380.

Marijic V.F., Raspor B. 2006. Age- and tissue-dependent metallothionein and cytosolic metal distribution in a native Mediterranean fish, *Mullus barbatus*, from the Eastern Adriatic Sea. Comparative Biochemistry and Physiology, 143: 382-387.

Matwee L., Pietrock M. 2019. Parasites and Metals in Walleye (*Sander vitreus*) and Northern Pike (*Esox lucius*) from Boreal Montreal Lake (Saskatchewan, Canada): Assessment of Human Health Risks. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 103: 240-245.

Meshkiniy S., Rasooli Aghdam H. 2019. Comparing Accumulation of Some Heavy Metals (Mercury, Copper, Zinc) In Liver and Muscle Tissues of Grown Carp and Sea Carp, Veterinary Researches & Biological Products, 32(2): 75-83.

Mohammad Salehi A., Velayatzadeh M. 2019. Measurement and comparison of heavy metals Ni, Cd and Zn in muscle and liver pike (*Esox lucius*) of Estuary Rivers in Mazandaran and Gilan Province (Caspian Sea). Environmental Researches, 9(18):157-17.

Moravec F. 1994. Parasitic Nematodes of Freshwater Fishes of Europe. Kluwer Academic Publishers. 473p.

Naeem M., Salam A., Tahir S., Rauf N. 2011. The effect of fish size and condition on the contents of twelve essential and non essential elements in *Aristichthys nobilis*. Pakistan Veterinary Journal, 31(2): 109-112.

Nezami Sh.A., Khara H. 2004. Species composition and abundance of fishes in Amirkelayeh Wetland. Iranian Scientific Fisheries Journal, 12(4): 193-206.

Newman M.C., Unger M.A. 2003. Fundamentals of ecotoxicology. CRC Press, USA. 458 p.

Nikolić D., Skorić S., Janković S., Hegediš A., Djikanović V. 2021. Age-specific accumulation of toxic metal (loid)s in northern pike (*Esox lucius*) juveniles. Environmental Monitoring and Assessment, 193(4): 24-37.

Panahandeh M., Morovati M. 2018. Risk of Heavy Metals (Copper, Zinc, Lead, Cadmium and Chromium) on the Life of Fish in Anzali Wetland Ecosystem. Applied Bio

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

-logy, 31(3): 23-39.
Pärt P., Svanberg O., Kiessling A. 1985. The availability of cadmium to perfused rainbow trout gills in different water qualities. Water Research. 19(4): 427-434.
Pazooki J., Abtahi B., Rezaei F. 2009. Determination of heavy metals (Cd, Cr) in the muscle and skin of (*Liza aurata*) from the Caspian Sea (Bandar Anzali). Environmental Science, 7(1): 21 -32.
Pedram Jarf M., Khoshkhoo J., Khara H., Babaei H. 2013. Determination of heavy metals in fish muscle tissue using the flame atomic absorption. Feyz, 16(7): 615-616.
Popiolek M., Okulewicz A., Dobicki W., Nowak R. 2007. Heavy metal concentration in plerocercoids of Triaenophorus nodulosus [Pallas, 1781] [Cestoda: Triaenophoridae] and in different organs of their host - perch *Perca fluviatilis* [L.]. Wiadomości Parazytologiczne, 53(1): 21-24.
Pourang N., Dennis J.H., Ghourchian H. 2005. Distribution of heavy metals in *Penaeus semisulcatus* from Persian Gulf and possible role of metallothionein in their redistribution during storage. Environmental Monitoring and Assessment, 100(1-3): 71-88.
Raja P., Veerasingam S., Suresh G., Marichamy G., Venkatachalapathy R. 2009. Heavy metals concentration in four commercially valuable marine edible fish species from Parangipettai Coast, South East Coast of India. International Journal of Animal and Veterinary Advances, 1(1): 10-14.
Roesijadi G. 1994. Metal regulation in aquatic animals: Mechanism of uptake, accumulation and release. Molecular mechanisms in aquatic toxicology, pp:387-420.
Sadeghi rad, M. 1997. Heavy metal determination in fish species of Anzali Lagoon. Iranian Scientific Fisheries Journal, 5(4): 1-16.
Sadrinezhad A., Khara H., Gudarzi G. 2016. Investigation of parasites of pikes (*Esox Lucius* Linnaeus, 1785) from Chamkhale River, Anzali and Amirkelayeh wetlands, Iran. Journal of Parasitic Diseases, 40(3):1033-1037.
Shulman G.E. 1974. Life cycles of fish. 1st ed. Wiley. New York, USA.
Singh J.G., Chang-Yen I., Stoute V.A., Chatergoon L. 1991. Distribution of selected heavy metals in skin and muscle of Five Tropical Marine Fishes. Enviromental pollution, 69: 203-215.
Soltani M., Bozorgnia A., Seyadpour R., Barzegar M., Taheri Mirghaed A. 2014. Concentration of heavy metals Cu, Cd and Pb in liver, gonad and muscle of the Caspian Kutum, *Rutilus Kutum* and the Caspian Roach, *Rutilus rutilus* in the thoueast coasts of Caspian Sea. Marine Biology, 6(2): 45-54.
Sures B. 2001. The use of fish parasites as bioindicators of heavy metals in aquatic ecosystems: a review. Aquatic Ecology, 35: 245-255.
Tabatabaie T., Ghomi Amiri M.R., Zamani-ahmadmahmoodi R. 2011. Comparative study of mercury accumulation in two fish species (*Cyprinus carpio* and *Sander lucioperca*) from Anzali and Gomishan Wetlands in the Southern Coast of the Caspian Sea. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 87(3): 674-677.
USEPA (US Environmental Protection Agency). 2011. Exposure actors handbook. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. USA. (EPA/600/R-09/052F).
USEPA (US Environmental Protection Agency). 2009. Risk-based Concentration Table Environmental Protection Agency, Philadelphia PA, Washington, DC.USEPA (US Environmental Protection Agency), 1996. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Ground water: White Paper. Office of Health and Environmental Assessment, Oak Ridge TN USA.
USEPA (US Environmental Protection Agency). 2000. Guidance for assessing chemical contamination data for use in fish advisories volume II Risk assessment and fish consumption limits. EPA/823–B94-004. United States Environmental Protection Agency, Washington, USA.
Weatherley A.H., Gill H.S. 1987. The Biology of Fish Growth. Orlando, FL: Academic Press. USA.
WHO 1996. World Health Organization. Health criteria other supporting information. In: Guidelines for Drinking Water Quality 2nd ed 2. 388p.
Yaghobzadeh Y., Hossein-Nezhad M., Asadi-Shiran G., Pourali M. 2014. An investigation of lead concentration in Rutilus frisii kutum form Caspian Sea case study of Bandar Anzali and Roodsar, Iran. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 23(110): 102-108. (In Persian).
Yilmaz B.A. 2005. Comparison of heavy metal levels of grey Mullet (*Mugil cephalus*) and sea Bream (*Sparus aurata*) caught in Iskenderun Bay (Turkey). Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 29: 257- 262.
Yilmaz F., Ozdemir N., Demirak A., Tuna A.L. 2007. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. Food Chem, 100: 830-835.
Zhang C., Qiao Q., Piper J.D.A., Huang B. 2011. Assessment of heavy metal Pollution from a Fe-smelting Plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. Environmental Pollution, 159: 3057-3070.
Zhao S., Feng G., Quan X., Shen Z. 2012. Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. Mar Pollut Bull, 64: 1363-1171.

**نحوه استناد به این مقاله:**

صدری‌نژاد ع.، گلستان ل.، خارا ح.، قربانی حسن‌سرایی آ.، احمدنژاد م. ارزیابی بهداشتی فلزات سنگین سرب، روی، کادمیوم و مس در عضله، کبد، گناد، روده و انگل‌های گوراشی اردک‌ماهی (*Esox lucius*) تالاب‌انزلی. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی دانشگاه گنبدکاووس. ۱۴۰۰، ۵۰-۳۸ :(۳)۹ .

Sadrinezhad A., Golestan L., Khara H., Ghorbani-Hasansaraei A., Ahmadnezhad M. Health assessment of heavy metals (Pb, Zn, Cd and Cu), in muscle, liver, gonad, intestine and probable digestive parasites of Pike (Esox lucius) Anzali wetland. Journal of Applied Ichthyological Research, University of Gonbad Kavous. 2021, 9(3): 38-50.

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]

# Health assessment of heavy metals (Pb, Zn, Cd and Cu), in muscle, liver, gonad, intestine and probable digestive parasites of Pike (Esox lucius) Anzali wetland

**Sadrinezhad A[1]., Golestan L[1*]., Khara H[2]., Ghorbani-Hasansaraei A[3]., Ahmadnezhad M[4].**

[1] Dept. of Food Hygiene, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[3] Dept. of Fisheries, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
[2] Dept. of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[4] Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Sciences research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran.

**Type:**

Original Research Paper

**Paper History:**

Received: 28-06-2021
Accepted: 15-12- 2021

**Corresponding author:**

Golestan L. Dept. of Fisheries, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Email: golestan57@yahoo.com

## Abstract

The present study was performed to measure heavy metals (Pb, Zn, Cd and Cu) in the muscle, liver, gonad, intestine and digestive parasites of Pike (*Esox lucius*) in Anzali wetland. For this purpose, 30 fish Pike were sampled from Anzali wetland during 2020 and in the reproductive season (winter). During the experiment, total length, fork length, standard length and total weight were measured. The age and sex of the fish were also determined. After emptying the viscera, muscle tissue, gonads, intestines, liver, and parasites were isolated. Then, chemical digestion and metal analysis were performed. The results showed that liver (especially copper: 220.270 mg / kg and zinc: 99.199 mg / kg) and intestine (especially copper: 650.1 mg / kg and zinc: 605,014 mg / kg) had the highest levels of metals. It was heavy in duck fish ($p<0.05$). The study showed that there was no significant difference between males and females in most cases ($p>0.05$). Also, middle-aged fish had higher amounts of heavy metals ($p<0.05$). However, this was not accurate and in many cases the same age did not have a significant effect ($p>0.05$). In addition, high amounts of heavy metal were observed in fish parasites ($p<0.05$). Parasites appear to act as absorbers of heavy metals or transport them from the outside environment to the fish body. In terms of heavy metals, the amount of lead (average of total organs: 0.005 mg / kg) and cadmium (average of total organs: 0.0105 mg / kg) was lower than the other two heavy metals. Copper, lead, and cadmium levels were in most cases below the WHO standards. Since the amount of heavy metals in the muscle and even the gills of duckfish (in terms of food) is much less than the allowable limit, it can be said that there is no problem in terms of human consumption and to some extent the presence of these elements in The fish ignored. But oral consumption of the liver and intestines has the highest risk among the organs. In addition, the oral consumption of two different species of duck fish does not differ in the rate of absorption of heavy metals and its effect on humans.

**Keywords:** Heavy Metals, Pike, Organ, Gender, Age, Permitted Standard

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.22034/jair.9.3.41 ]