



ارزیابی پتانسیل ریسک خطر فلزات سنگین (مس، وانادیوم، سرب و نیکل) در بافت عضله و کبد ماهی شورت (*Silago sihama*) و رسوبات سطحی خورموسی، خلیج فارس

صابر قاسمی*

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی بندرعباس، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	این مطالعه با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین (مس، وانادیوم، سرب و نیکل) در نمونه‌های آب، رسوبات و بافت عضله و کبد ماهی شورت (<i>Silago sihama</i>) در خورموسی، استان خوزستان انجام شد. نمونه‌ها در دو فصل زمستان (۱۳۹۱) و تابستان (۱۳۹۲) به صورت تصادفی از ۳ ایستگاه برداشت و غلظت میزان فلزات سنگین با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج تحقیق، شاخص زیستی کبد برای این چهار عنصر در فصل زمستان به ترتیب ۱۸۳/۳۳، ۰/۰۵، ۰/۲۹ و ۲/۳۵ و در فصل تابستان به ترتیب ۲۱/۷، ۰/۰۷، ۰/۲۵ و ۱/۰۵ و شاخص تجمع زیستی بافت ماهیچه در فصل زمستان به ترتیب ۱۳۰، ۰/۰۲، ۰/۰۷ و ۱/۴۵ و در فصل تابستان به ترتیب ۱۸/۳، ۰/۰۲، ۰/۰۷ و ۰/۴۹ محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد که رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت عناصر سنگین در رسوب با میزان تجمع فلزات در بافت عضله و کبد ماهی شورت دیده می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق، شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک (RI) خورموسی در محدوده ریسک اکولوژیک کم ارزیابی شد. می‌توان گفت که در خورموسی به عنوان یکی از مناطق حساس اکولوژیکی و زیست‌محیطی شناخته شده، نشانه‌هایی از روند رو به افزایش میزان آلودگی فلزات وجود دارد که سطح نگرانی در منطقه را به لحاظ اکولوژیک و سلامت عمومی مردم بالا می‌برد.
تاریخچه مقاله: دریافت: ۹۷/۰۸/۲۰ اصلاح: ۹۸/۱۱/۲۱ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۵	
کلمات کلیدی: تجمع زیستی خور موسی خوزستان ریسک اکولوژیک فلزات سنگین ماهی شورت	

مقدمه

فلزات سنگین از مسیرهای گوناگون مانند نزولات جوی، تخلیه مواد زائد، نشت اتفاقی، تخلیه آب از مخازن تعادل کشتی‌ها، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی و فرسایش خاک به محیط‌های آبی منتقل شده (Dukes et al., 2020) و به دنبال این انتقال، این احتمال به وجود می‌آید که ماهی مقادیری از برخی فلزات سنگین را از طریق زنجیره غذایی یا از طریق آب از محیط جذب نماید (Salih et al., 2017). بررسی‌ها نشان می‌دهد که این آلاینده‌ها پس از تجمع در بدن آبزیان، در جریان چرخه‌های زیستی به سطوح غذایی بالاتر و در نهایت به انسان منتقل می‌شوند (Aghajeri et al., 2011). بیشتر فلزات سنگین در بافت‌هایی مانند کلیه، کبد، عضله و آبشش‌ها تجمع می‌کنند (Seifzadeh et al., 2018). از طرف دیگر بررسی مطالعات نشان می‌دهد که میزان تجمع این فلزات در اندام‌های مختلف آبزیان تحت تأثیر پارامترهایی از قبیل سن، طول، وزن، جنسیت، عادت تغذیه‌ای و نیازهای اکولوژیک، فصل صید و خواص شیمیایی آب (شوری، سختی، دما) قرار دارد (Norouzi et al., 2018).

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Saberghasemi@gmail.com

(*al.*, 2018). غلظت عناصر در بافت‌های یکسان از گونه‌های متفاوت نیز ممکن است تغییرات زیادی داشته باشد (*Jamalpour et al.*, 2011). حتی به نظر می‌رسد میزان چربی بافت‌ها، عامل مهمی در تجمع آلاینده‌ها در اندام‌های مختلف مانند استخوان، مغز، عضله، آبشش، گناد و کبد باشد (*Dadkhah et al.*, 2018).

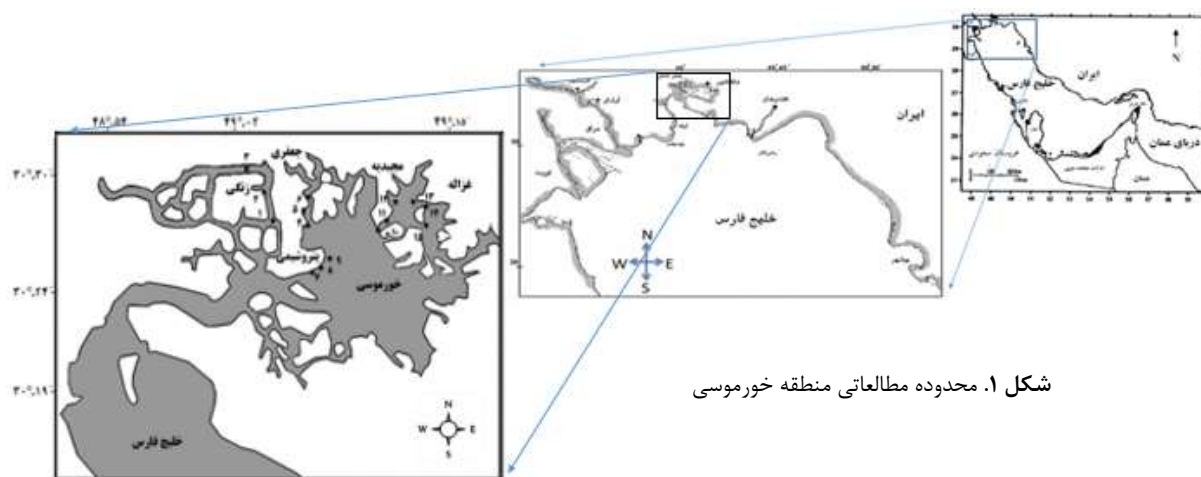
شورت ماهی نقره‌ای (*Sillago sihama* (Forsskål, 1775) یکی از ۳ گونه موجود از خانواده Sillaginidae در آب‌های خلیج فارس است. این ماهی از گونه ماهی‌های کرانه‌ای است که با تراکم قابل ملاحظه در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان پراکنش داشته و از نظر استفاده خوراکی، مقبولیت خاصی در بین ساحل‌نشینان دارد (*Sadeghi et al.*, 2017).

با توجه به آلودگی شدید نواحی شمالی خلیج فارس و وجود صنایع مختلف پتروشیمی و نفت در محدوده خور موسی، ماهیان این منطقه به‌طور مداوم در معرض فلزات سنگین موجود در آب‌های آلوده هستند (*Oryan et al.*, 2011). این فلزات می‌توانند در بافت‌های شورت ماهی به میزان متفاوت تجمع یابند (*Jayaprakash et al.*, 2015). بنابراین شورت ماهیان شاخص زیستی مناسبی جهت تعیین غلظت فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی هستند (*Kaya and Turkoglu*, 2017)؛ اگرچه اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین نمی‌تواند تصویر واقعی از آلودگی یک محیط آبی به دست دهد (*Karbassi*, 1998).

مطالعات متعددی جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در موجودات آبی از جمله ماهی در محیط‌های مختلف دنیا و ایران انجام شده است که از آن جمله می‌توان به بررسی مقادیر تجمع کروم، نیکل، کادمیوم و سرب در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در هندوستان (*Vinodhini and Narayanan*, 2008)، تجمع آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، منگنز، نیکل، وانادیوم و روی در ماهی‌ها و صدف‌های خلیج کاتانیای ترکیه (*Copat et al.*, 2013)، غلظت کادمیوم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، نیکل و روی در عضلات و کبد چهارده گونه ماهی در ترکیه در دریاهای مدیترانه، اژه، مرمره و دریای سیاه (*Korkmaz et al.*, 2017; *Keskin et al.*, 2007)، تجمع فلزات سنگین در سیم ماهی (*Brama L.*)، اردک‌ماهی (*Esox lucius L.*)، ماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus L.*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio L.*) در رودخانه تیسرا، صربستان (*Štrbac et al.*, 2015)، غلظت جیوه، سرب، کادمیوم در بافت عضله ماهی شوریده در بنادر صیادی آبادان و بندرعباس (*Askary Sary et al.*, 2012)، تجمع فلزات سنگین وانادیوم، نیکل، کادمیوم و سرب در بافت عضله ماهی حلوا سفید (*Pampus argenteus*) (*Oryan et al.*, 2011) و بررسی میزان کادمیوم، سرب، مس و روی در بافت ترکیبی عضله ماهی کفال و رسوبات سطحی تالاب میانکاله (*Mahdinezhad et al.*, 2018)، بررسی میزان فلزات سنگین در بافت‌های عضله، کبد و آبشش ماهی بیاح (*Liza abu*) در رودخانه‌های کارون و بهمنشیر (*Askary Sary et al.*, 2011) و در ماهی کفشک گرد (*Euryglossa orientalis*) در خور موسی استان خوزستان (*Parvaneh et al.*, 2011) اشاره کرد. در چند سال اخیر بررسی‌هایی روی تولید مثل (*Alizadeh et al.*, 2014) و تغذیه (*Khan et al.*, 2014) ماهی شورت نیز انجام گرفته است. همچنین غلظت فلزات سنگین (Cd, Ni, Pb, Cr) در بافت‌های عضله، کبد و آبشش این ماهی برای اولین بار در منطقه حفاظت‌شده حرا (*Mohammadnabizadeh and Pourkhabbaz*, 2013) و سه منطقه قشم، بندر خمیر و بندر پهل (*Koosej et al.*, 2020) واقع در استان هرمزگان بررسی شده است؛ ولی تاکنون تجمع فلزات سنگین در بافت‌های آن در استان خوزستان و به‌ویژه در محدوده خورموسی بررسی نشده است. هدف از این تحقیق ارزیابی ریسک فلزات سنگین (مس، وانادیوم، سرب و نیکل) در بافت عضله و کبد ماهی شورت (*Silago sihama*) و رسوبات سطحی خورموسی در شمال غرب خلیج فارس در استان خوزستان است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی، خورموسی واقع در شمال غرب خلیج فارس در جنوب استان خوزستان است (شکل ۱). این خور، با طول ۵۶ کیلومتر و عرض متوسط ۳۵ کیلومتر و به وسعت تقریبی ۱۳۴۷ کیلومترمربع در حالت جزر، بین ۴۹ تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، از جمله اکوسیستم‌های حساس در محدوده استان خوزستان است.



شکل ۱. محدوده مطالعاتی منطقه خورموسی

تعداد ۳۰ نمونه ماهی در دو فصل زمستان ۱۳۹۱ و تابستان ۱۳۹۲ به صورت تصادفی از ۳ ایستگاه در خور برداشت شد. نمونه‌های ماهی با استفاده از تور ترال صید شده و پس از زیست‌سنجی‌های اولیه و بیومتری، هر ماهی در یک کیسه پلاستیکی قرار داده شدند به طوری که با محیط خارج در تماس نباشند. مجموعه نمونه‌ها تا زمان انتقال به آزمایشگاه، پس از کدگذاری به صورت مرتب و با دقت در یخدان مخصوص نمونه‌برداری چیده شده و بین هر ردیف از نمونه‌ها با پودر یخ پوشانیده شد. پس از انتقال به آزمایشگاه، نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه نگهداری شدند.

برای اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در بافت عضله، از قسمتی از عضله در بخش بالایی بدن (زیر باله پشتی) برداشت شده و بافت کبد نیز به صورت کامل برداشت شد. بافت‌های به دست آمده، پس از توزین، در پتری دیش قرار داده و بعد برای خشک شدن و به وزن ثابت رسیدن به مدت ۲۴ ساعت در آن قرار داده شدند.

برای هضم نمونه‌ها از روش مرطوب استفاده شد. بدین منظور بافت عضله از چند قسمت ماهی جدا و میکس شد. سپس در آن خشک و یک گرم از آن با ۸ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ مخلوط شد. پس از یک روز محتوی عضله حرارت دهی و قبل از خشک شدن کامل، حرارت دهی متوقف شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به نسبت نصف آن (۴ سی‌سی) اسید پرکلریک غلیظ (HClO_4) اضافه و حرارت داده شد تا شفاف شود. نمونه‌های به دست آمده بعد از سرد شدن به منظور اطمینان از عدم وجود ذرات اضافی از صافی وات من ۴۲ عبور داده شد. در مرحله آخر نمونه‌ها در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شدند و برای تزریق به دستگاه جذب اتمی انتقال داده شدند که برای سنجش غلظت فلز نیکل، مس، وانادیوم و سرب مناسب و از راندمان بالایی برخوردار است (Safahieh *et al.*, 2012). در مورد کبد هم به همین روش عمل شد.

نمونه‌برداری رسوب هم‌زمان با صید ماهی‌ها از همان ایستگاه‌هایی که برای ماهی نمونه‌برداری شده بود، انجام شد. بدین ترتیب نمونه‌های رسوب، از سه ایستگاه با ۶ تکرار تصادفی با استفاده از ون وین گرب برداشت شدند. به منظور انجام آنالیزهای آماری و سنجش میزان فلزات از هر ایستگاه سه تکرار برداشت شد. رسوبات با استفاده از کاردک چوبی از گرب جدا و در ظرف پلی‌اتیلن مخصوص در دمای ۴- درجه نگهداری و جهت اندازه‌گیری فلزات به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌های رسوب در کوره با درجه حرارت ۷۰ سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت نگهداری شدند.

تضمین کیفیت (QA) و کنترل کیفیت (QC) توسط اندازه‌گیری نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تکراری (با دقت ۴ تا ۶ درصد) با استفاده از مواد مرجع NIST 2710 انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به تعداد نمونه‌های اخذ شده، آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگراف-اسمیرنوف^۱ به تفکیک انجام گردید که نتایج این آزمون نشان‌دهنده توزیع نرمال داده‌ها در تمام موارد است. همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون^۲ بررسی شد. همچنین شاخص تجمع زیستی^۳ به‌عنوان شاخص نسبت غلظت فلز در اندام ماهی به غلظت عنصر در آب محاسبه شد. برای تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن میزان هریک از عناصر در آب، رسوب با بافت‌های عضله و کبد ماهی و همچنین تعیین میزان همبستگی انباشت هر یک از فلزات در بین کبد و عضله، آزمون‌های آماری توکی، t-test و آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA و ضریب همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ver 20 و برای ترسیم نمودارها از Excel 2013 استفاده شد. کلیه میانگین‌ها به‌صورت (میانگین \pm انحراف معیار) ثبت شد و مقایسه بین دو فصل نیز انجام گرفت.

در مطالعه ارزیابی کیفیت رسوبات، شاخص‌های ضریب آلودگی^۴ (Cf)، درجه آلودگی^۵ (Cd) و شاخص ریسک اکولوژیک (RI) از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینه روند آلودگی را نشان می‌دهند. شاخص ضریب آلودگی (Cf) که توصیفی از آلودگی مربوط به فلز موردبررسی را ارائه می‌دهد، در سال ۱۹۸۰ به‌وسیله Hakanson تعریف گردید. این فاکتور از تقسیم غلظت هر عنصر در نمونه رسوب به غلظت زمینه در رسوبات غیر آلوده به دست می‌آید (رابطه ۱).

$$Cf = \frac{M_x}{M_b} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b در این رابطه فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است که مقدار آن برای عناصر مس، وانادیوم، سرب و نیکل به ترتیب ۴۵، ۱۳۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در نظر گرفته شده است (Turekian and Wedepohl, 1961).

شاخص درجه آلودگی (Cd) یا درجه کلی آلودگی رسوب منطقه که به آن درجه آلودگی هاکنسون^۶ نیز گفته می‌شود، از مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cf_i \quad \text{رابطه ۲:}$$

رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی Cf و درجه آلودگی Cd رسوبات در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی Cf و درجه آلودگی Cd رسوبات (Hakanson, 1980)

مقدار Cf	ضریب آلودگی رسوب	مقدار Cd	کیفیت رسوب
$Cf \leq 1$	ضریب آلودگی پایین	$Cd \leq 7$	درجه آلودگی پایین
$1 < P \leq 3$	ضریب آلودگی متوسط	$7 < P \leq 14$	درجه آلودگی متوسط
$3 < P \leq 6$	ضریب آلودگی قابل توجه	$14 < P \leq 28$	درجه آلودگی قابل توجه
≥ 6	ضریب آلودگی بسیار بالا	≥ 28	درجه آلودگی بسیار بالا

جدول ۲ طبقه‌بندی شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک (Hakanson, 1980) را نشان می‌دهد. در ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات محیط‌های آبی، Hakanson (1980) شاخص (RI) را به‌صورت رابطه زیر بیان کرده است:

¹ One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

² Leven's Test

³ Bioaccumulation factor

⁴ Contamination Factor

⁵ Degree of contamination

⁶ Hakanson

$$RI = \sum Er, E_r = T_r * C_f$$

رابطه ۳:

که در این معادله، E_r پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر یک از عناصر و RI بیانگر پتانسیل ریسک اکولوژیکی کل فلزات (تجمیعی) است. C_f ضریب آلودگی رسوب و T_r به صورت ضریب سمیت هاکنسون تعریف شده برای مس و سرب عدد ۵ و برای وانادیوم و نیکل عدد ۲ است.

جدول ۲. طبقه بندی شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک (Hakanson, 1980)

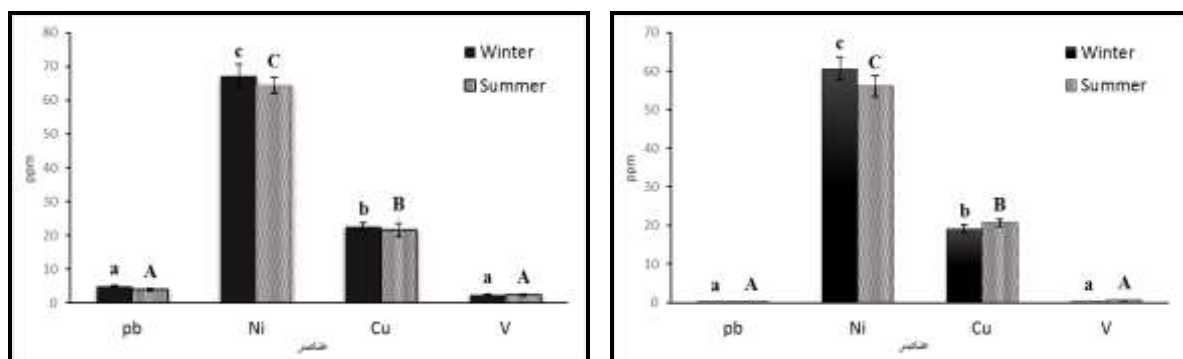
شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک (RI)	طبقه بندی وضعیت ریسک اکولوژیک
$RI \leq 150$	کم
$150 < RI \leq 300$	متوسط
$300 < RI \leq 600$	قابل قبول
$RI \geq 600$	بسیار بالا

نتایج

میزان فلزات در آب و رسوبات محدوده مطالعاتی

میانگین مس، وانادیوم، سرب و نیکل در آب های خورموسی در فصل زمستان به ترتیب $19/11 \pm 0/01$ ، $0/2 \pm 0/001$ ، $0/006 \pm 0/001$ و $60/6 \pm 2/84$ (ppm) و در فصل تابستان به ترتیب $20/7 \pm 0/87$ ، $0/57 \pm 0/04$ ، $0/47 \pm 0/005$ و $56/0 \pm 2/72$ (ppm) محاسبه گردید (شکل ۲). تجزیه و تحلیل داده ها نشان می دهد که تفاوت معنی داری بین میانگین غلظت وانادیوم ($t = -8.84, p < 0.001$) در نمونه های آب فصول زمستان و تابستان دیده می شود در حالی که در مورد فلز مس ($t = -1.1, p \geq 0.05$) این تفاوت دیده نمی شود. همچنین تفاوت معنی داری بین میانگین فلزات سنگین فصول زمستان و تابستان در سرب ($t = -7.7, p < 0.001$) دیده می شود.

بررسی میزان مس، وانادیوم، سرب و نیکل در نمونه های رسوب گرفته شده از خور موسی نشان می دهد که میانگین این عناصر در فصل زمستان به ترتیب $22/56 \pm 1/11$ ، $2/45 \pm 0/16$ ، $4/99 \pm 0/45$ ، $67/22 \pm 6/53$ (میکروگرم بر گرم) و در فصل تابستان به ترتیب $21/56 \pm 2/03$ ، $2/32 \pm 0/21$ ، $0/3/97 \pm 0/4$ ، $64/33 \pm 2/37$ (میکروگرم بر گرم) است. تجزیه و تحلیل داده ها نشان می دهد که اگرچه تفاوت معنی داری بین غلظت عناصر در هر دو فصل تابستان و زمستان دیده می شود ($p < 0.05$) اما تفاوت معنی داری بین میانگین غلظت مس ($t = 0.32, p > 0.05$)، وانادیوم ($t = 0.49, p > 0.05$)، سرب ($t = 1.71, p > 0.05$) و نیکل ($t = 0.42, p > 0.05$) در بین نمونه های رسوب فصل های زمستان و تابستان دیده نمی شود.



شکل ۲. مقایسه میانگین های فلزات سنگین آب سطحی (سمت راست) و رسوب (سمت چپ) محدوده مطالعاتی در دو فصل زمستان و تابستان

شاخص ضریب آلودگی (Cf) رسوبات در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای نیکل ضریب آلودگی متوسط و سه عنصر مس، سرب و وانادیوم، ضریب آلودگی پایین ارزیابی شد. همچنین شاخص درجه آلودگی (Cd) رسوبات برای چهار عنصر نیکل، مس، سرب و وانادیوم به ترتیب ۲۰/۹۸، ۹/۴۹، ۰/۰۰۵ و ۰/۳۷ محاسبه گردید که نشان داد درجه آلودگی رسوبات منطقه از نظر فلزات نیکل قابل توجه و سه عنصر دیگر با درجه آلودگی پایین ارزیابی می‌شود. همچنین در راستای ارزیابی ریسک اکولوژیک خور موسی، مقدار پتانسیل ریسک اکولوژیک برای چهار عنصر نیکل، مس، سرب و وانادیوم به ترتیب ۴۱/۹۶، ۴۷/۴۴، ۰/۰۲ و ۰/۷۵ و پتانسیل ریسک اکولوژیک کل منطقه (RI) ۹۰/۱۸ محاسبه گردید که با توجه به طبقه‌بندی ریسک اکولوژیک Hakanson (۱۹۸۰) منطقه خور موسی در محدوده $RI \leq 150$ (ریسک اکولوژیک کم) قرار می‌گیرد.

بیومتری نمونه‌های ماهی صیدشده

بررسی نتایج بیومتری نمونه‌های ماهی نشان داد که میانگین طول نمونه‌های فصل زمستان و تابستان به ترتیب $22/35 \pm 0/28$ و $26/55 \pm 0/40$ سانتیمتر و میانگین وزن نمونه‌های فصل زمستان و تابستان به ترتیب $94/07 \pm 2/62$ و $139/47 \pm 2/83$ گرم بوده است (جدول ۳). مقایسه میزان داده‌های خام طول و وزن ماهی‌ها در دو فصل زمستان و تابستان با استفاده از آزمون t نشان داد که تفاوت بسیار معنی‌داری بین میانگین‌های طول و وزن ماهی‌ها در دو فصل زمستان و تابستان دیده می‌شود ($p < 0.01$) و میانگین طول و وزن ماهی از زمستان تا تابستان از روند افزایشی برخوردار بوده است.

جدول ۳. خلاصه نتایج آماری زیست‌سنجی طول و وزن ماهیان شورت در دو فصل زمستان و تابستان

پارامتر	زمستان			تابستان		
	میانگین	واریانس تغییرات	دامنه تغییرات	میانگین	واریانس تغییرات	دامنه تغییرات
طول (سانتیمتر) (n=30)	$22/35 \pm 0/28$	۱/۵۳	۲۰-۲۵	$26/55 \pm 0/40$	۲/۲۱	۲۳-۳۰
وزن (گرم) (n=30)	$94/07 \pm 2/62$	۱۴/۳۴	۶۰-۱۱۸	$139/47 \pm 2/83$	۱۵/۴۸	۱۰۰-۱۷۰

اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمونه‌های ماهی‌های صیدشده

میانگین مس، وانادیوم، سرب و نیکل در بافت‌های عضله ماهی شورت در فصل زمستان به ترتیب $0/29 \pm 0/04$ ، $1/42 \pm 0/03$ ، $0/78 \pm 0/04$ و $0/78 \pm 0/04$ (ppm) و در فصل تابستان به ترتیب $0/78 \pm 0/06$ ، $1/36 \pm 0/02$ ، $0/28 \pm 0/02$ و $1/14 \pm 0/07$ (ppm) و در بافت کبد ماهی در فصل زمستان به ترتیب $5/62 \pm 0/22$ ، $0/47 \pm 0/04$ ، $1/1 \pm 0/06$ و $2/74 \pm 0/3$ (ppm) و در فصل تابستان به ترتیب $5/27 \pm 0/21$ ، $0/6 \pm 0/03$ ، $1/02 \pm 0/05$ و $3/65 \pm 0/21$ (ppm) به دست آمد (جدول ۴ و ۵).

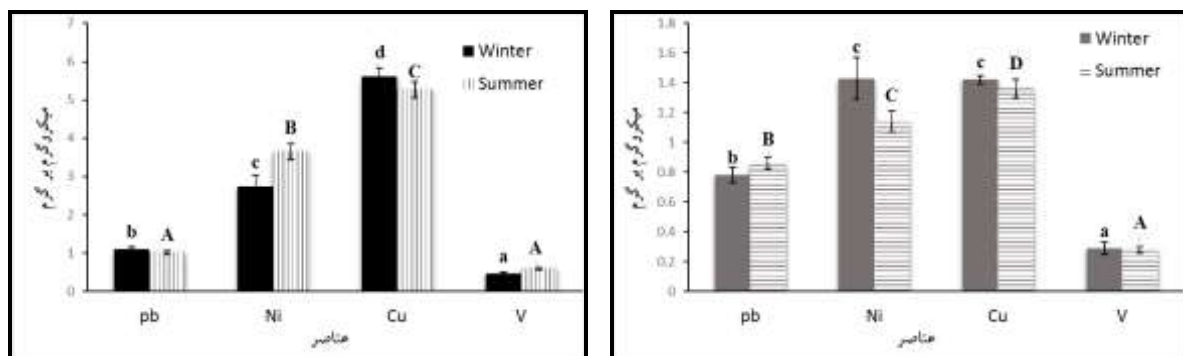
جدول ۴. اندازه‌گیری فلزات سنگین در عضله ماهی شورت در فصل زمستان و تابستان

فلزات سنگین	فصل نمونه‌گیری	میانگین	اشتباه استاندارد	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
pb	زمستان	0.78	0.26	0.05	0.20	1.60
	تابستان	0.86	0.23	0.04	0.40	1.40
Ni	زمستان	1.43	0.78	0.14	0.10	3.30
	تابستان	1.14	0.39	0.07	0.40	2.00
Cu	زمستان	1.42	0.18	0.03	1.12	1.83
	تابستان	1.36	0.31	0.06	0.81	2.22
V	زمستان	0.29	0.20	0.04	0.02	0.81
	تابستان	0.28	0.09	0.02	0.15	0.46

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های عناصر در بافت کبد ماهی در دو فصل زمستان و تابستان

فلزات سنگین	فصل نمونه‌گیری	میانگین	اشتباه استاندارد	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
pb	زمستان	1.10	0.33	0.06	0.50	2.10
	تابستان	1.02	0.25	0.05	0.50	1.40
Ni	زمستان	2.74	1.65	0.30	0.10	7.10
	تابستان	3.65	1.14	0.21	1.50	6.10
Cu	زمستان	5.62	1.23	0.22	3.44	8.64
	تابستان	5.27	1.16	0.21	3.33	7.74
V	زمستان	0.47	0.20	0.04	0.11	0.92
	تابستان	0.60	0.16	0.03	0.28	0.88

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین فلزات سنگین در بین فصول زمستان و تابستان در نیکل ($t=-2.50, p<0.05$) و وانادیوم ($t=-2.70, p<0.05$) دیده می‌شود در حالی که تفاوت معنی‌داری بین میانگین سرب ($t=1.05, p\geq 0.05$) و مس ($t=1.13, p\geq 0.05$) در طی دو فصل زمستان و تابستان دیده نمی‌شود. همچنین تحلیل آنالیز و واریانس مقادیر فلزات سنگین (ANOVA) نشان می‌دهد که تفاوت بسیار معنی‌داری بین میانگین چهار عنصر مورد مطالعه هم در فصل زمستان ($F_{3,116}=144.8, p<0.001$) و هم در فصل تابستان ($F_{3,116}=216.52, p<0.001$) دیده می‌شود. مقایسه میانگین غلظت فلزات در آب‌های سطحی محدوده مطالعاتی در دو فصل زمستان و تابستان با استفاده از آزمون توکی نیز نشان می‌دهد که در بین میانگین دو عنصر سرب و وانادیوم در فصل تابستان، تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های فلزات سنگین بافت عضله (سمت راست) و بافت کبد (سمت چپ) محدوده مطالعاتی در دو فصل زمستان و تابستان (میزان تفاوت در فصل زمستان با حرف کوچک و در فصل تابستان با حروف بزرگ نشان داده شده است)

آزمون آماری ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین میزان سرب در رسوب و بین میزان سرب آب در فصل زمستان رابطه خطی مستقیم معنی‌داری وجود ندارد ($r=0.49, p=0.17$). همچنین بررسی‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه معنی‌داری بین میزان عناصر در آب و در رسوب، غلظت عناصر در آب با میزان تجمع فلزات در عضله ماهی‌ها و میان غلظت عناصر در آب با میزان تجمع فلزات در کبد ماهی‌ها دیده نمی‌شود. در حالی که رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت عناصر در رسوب با میزان تجمع فلزات در عضله و کبد ماهی‌ها دیده می‌شود. به‌طور مثال میزان سرب در عضله در زمستان از یک همبستگی معنی‌دار مثبت ($r=0.23, p=0.05$) و در تابستان از یک همبستگی معنی‌دار منفی ($r=-0.01, p=0.04$) پیروی می‌کند. میزان وانادیوم در کبد در زمستان از یک همبستگی معنی‌دار مثبت ($r=0.68, p=0.03$) پیروی می‌کند. همچنین رابطه معنی‌داری نیز در بین غلظت عناصر در عضله و کبد ماهی شورت در زمستان و تابستان دیده می‌شود.

مقادیر شاخص زیستی بافت کبد برای سرب، نیکل، مس و وانادیوم در فصل زمستان به ترتیب ۱۸۳/۳۳، ۰/۰۵، ۰/۲۹ و ۲/۳۵ و در فصل تابستان به ترتیب ۲/۷، ۰/۰۷، ۰/۲۵ و ۱/۰۵ محاسبه گردید. همچنین مقادیر شاخص زیستی بافت ماهیچه برای

چهار عنصر مورد مطالعه شامل سرب، نیکل، مس و وانادیوم در فصل زمستان به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۷ و ۱/۴۵ و در فصل تابستان به ترتیب ۱۸/۳، ۰/۰۲، ۰/۰۷ و ۰/۴۹ محاسبه گردید.

بحث

افزایش بی‌رویه و شدید در تولید و مصرف فلزات سنگین طی چند دهه اخیر (Cunningham *et al.*, 2019) باعث شده است که مقادیر زیادی از آن‌ها وارد محیط‌های آبی شوند و به علت عدم تجزیه بیولوژیکی باعث بروز اثرات مخربی شده‌اند (Askary, 2010). نظر به جایگاه ویژه خور موسی در استان خوزستان، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل، مس و وانادیوم) و میزان تجمع آن‌ها در عضله و کبد شورت ماهی‌ها طی دو فصل زمستان و تابستان مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌های خام غلظت عناصر در رسوبات منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین تمامی فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب زمستان و تابستان دیده می‌شود ($p < 0.05$) و میانگین تمام عناصر در رسوبات با کاهش حدود ۵ درصد روبرو بوده‌اند به جز سرب که با کاهش ۲۰ درصدی روبرو بود. بررسی سوابق نشان می‌دهد که به‌طور کلی در فصل زمستان در این منطقه احتمال وقوع پدیده فراجوشی وجود دارد (Kasting *et al.*, 1993) و به‌علاوه تبخیر در زمستان در خلیج فارس شدیدتر است که می‌تواند سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات در این فصل می‌شود (Hastenrath and Lamb, 1980). اگرچه غلظت فلزات سنگین در آب‌های شمال‌غرب خلیج فارس (منطقه خور موسی) نسبت به ورودی آن (بندر شهید رجایی) کمتر است (Navan Maghsoudi *et al.*, 2007). Bahador و همکاران (2015) نشان دادند که در خلیج فارس نیکل و روی مقادیر بیشتری را نسبت به اکثر مناطق دریایی دارند.

میانگین سالانه سرب، نیکل، مس و وانادیوم در رسوبات خور موسی (با اندازه‌گیری در دو فصل زمستان و تابستان) به ترتیب $4/48 \pm 0/32$ ، $65/78 \pm 3/39$ ، $22/06 \pm 1/54$ و $2/39 \pm 0/13$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) محاسبه گردید. مقایسه داده‌ها با غلظت فلزات در رسوبات سایر نقاط در خلیج فارس و استانداردهای جهانی (جدول ۶) نشان می‌دهد که میانگین سالانه غلظت سرب در رسوبات خور موسی، ضمن اینکه از میانگین غلظت در رسوبات خلیج فارس کمتر است، تفاوت بسیار زیادی نیز با میانگین رسوبات جهانی (Karbassi *et al.*, 2008)، سواحل امارات متحده عربی (De Mora *et al.*, 2004)، بوشهر (Eslami AndarGoli, 2008) و چابهار (Einollahi, 2008) دارد که نکته‌ای قابل توجه است. غلظت مس در رسوبات خور موسی اگرچه نزدیک به میانگین غلظت در سواحل امارات متحده عربی (De Mora *et al.*, 2004) است اما در مجموع بسیار بالاتر از سایر مناطق به‌ویژه در محدوده خلیج فارس است. برعکس غلظت نیکل و وانادیوم در رسوبات خور موسی بسیار کمتر از میانگین غلظت در رسوبات خلیج فارس و میانگین غلظت در رسوبات اقیانوسی (Karbassi *et al.*, 2008) است و نشان‌دهنده آن است که هنوز خور موسی به‌واسطه شرایط فیزیکی پویا و جریان‌های دریایی عمقی و سطحی، توانایی خود پالایی آلاینده‌های حاصل از فعالیت‌های صنایع تولیدکننده نیکل و وانادیوم در این منطقه را دارا است. در تأیید مطلب فوق، در این بررسی شاخص ضریب آلودگی (Cf) رسوبات در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری عمدتاً پایین و پتانسیل ریسک اکولوژیک کل منطقه (RI) در محدوده ریسک اکولوژیک کم ارزیابی شد. می‌توان گفت که خور موسی دارای انشعابات زیادی است که هر یک از آن‌ها نیز به عنوان یک خور کوچک شناخته می‌شوند و طبعاً شدت آلودگی خورها با توجه به موقعیت مکانی و نیز فاصله‌ای که تا منابع آلاینده دارند، متفاوت است که همین عامل ارزیابی‌های محیطی را در خور موسی پیچیده ساخته است.

بررسی نتایج بیومتری نمونه‌های ماهی نشان داد که تفاوت بسیار معنی‌داری بین میانگین طول و وزن ماهی‌ها در دو فصل زمستان و تابستان دیده می‌شود ($p < 0.01$) به طوری که میانگین طول ماهی از زمستان ۹۱ تا تابستان ۹۲ از $22/35 \pm 0/28$ سانتیمتر به $26/55 \pm 0/40$ سانتیمتر افزایش پیدا کرده است. همچنین این نسبت برای وزن از $94/07 \pm 2/62$ گرم به $139/47 \pm 2/83$ گرم افزایش پیدا کرده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که بین میانگین سرب و وانادیوم نمونه‌های آب زمستان و تابستان، تفاوت معنی‌داری وجود داشته (برای هر دو عنصر $p < 0.001$) و از یک‌روند افزایشی پیروی کرده است، به

طوری که مقادیر سرب و وانادیوم در طی ۶ ماه به ترتیب حدود ۷/۸ و ۲/۸ برابر شده است، درحالی که تفاوت معنی داری بین میانگین نیکل ($p \geq 0.05$) و مس ($p \geq 0.05$) در این دو فصل دیده نمی شود.

جدول ۶. مقایسه فلزات موجود در رسوبات خورموسی با مقادیر استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و محیط زیست کانادا (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

USEPA, 1999 ^۷		استاندارد محیط زیست کانادا $\mu\text{g kg}^{-1}$ dry weight, ^۸ CCME		کیفیت رسوب آمریکا ^۹ NOAA		خورموسی	فلزات سنگین
LAL	HAL	ISQGs	PEL	ERL	ERM		
۲	۲۱۸	۳۰/۲۰	۱۱۲	۴۶/۷	۲۱۸	۴/۴۸±۰/۳۲	سرب
۲	۲۷۰	۱۸/۷	۱۰۸	۳۴	۲۷۰	۶۵/۷۸±۳/۳۹	مس
۳	۵۰	۱۵/۹	۴۲/۸	۲۰/۹	۵۱/۶	۲۲/۰۶±۱/۵۴	نیکل
		No Data	No Data			۲/۳۹±۰/۱۳	وانادیوم
Bowen, 1979		Zin <i>et al.</i> , 2017		Zhao <i>et al.</i> , 2018		مطالعه حاضر	

ERM= Effects Range Low, ERL=Effects Range Medium, HAL=Highest Alert Level, LAL=Lowest Alert Level, PEL=Probable Effects Level

داده‌های حاصل شده نشان می‌دهد که از نظر کمی، ترتیب میانگین غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی شورت در این مطالعه برای فصل زمستان $\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{V}$ و برای فصل تابستان $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{V}$ و در بافت کبد برای فصل زمستان و تابستان، $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{V}$ است. درحالی که این ترتیب در استان هرمزگان $\text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb}$ برای کبد و $\text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr}$ برای بافت ماهیچه این ماهی ثبت شده است (Mohammadnabizadeh *et al.*, 2012) و مؤید آن است که در خورموسی تجمع فلز مس بخصوص در بافت کبد بیش از سایر بخش‌ها است. این درحالی که است که در ردیابی زیستی فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان شورت در ذخیره‌گاه زیست کره حرا در استان هرمزگان، کبد در مقایسه با آبشش و عضلات، بالاترین غلظت فلزات کادمیوم، کروم، سرب و نیکل را در ماهی شورت دارا بوده است (Mohammadnabizadeh and Pourkhabbaz, 2013).

در این تحقیق میزان تجمع فلزات (به‌ویژه نیکل و مس) در بافت کبد ماهی صید شده از خورموسی بالاتر از بافت عضله‌ها بود. این امر می‌تواند ناشی از این باشد که رفتار هر عنصر از دیگری متمایز است و عملکرد هر عنصر در انتخاب اندام هدف، بر اساس میزان فعالیت متابولیک آن متفاوت است (Filazi *et al.*, 2003). در استان خوزستان نیز، طی این تحقیق نشان داده شد که میزان سرب در کبد و عضله ماهی صید شده از خورموسی در هر دو فصل زمستان و تابستان بالاتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۰/۵ ppm) است. دیگر مطالعه انجام شده در استان خوزستان در رودخانه‌های کارون و دز نیز مؤید آن است که غلظت سرب در اندام‌های ماهی گطان (*Barbus xanthopterus*) بالاتر از آستانه استاندارد سازمان بهداشت جهانی است (Askary Sary *et al.*, 2010). بنابراین می‌توان ادعان داشت که میزان تجمع عناصر سنگین در بدن ماهی، به نوع ماهی بستگی دارد و در مقایسه با رودخانه بهمنشیر و کارون، خورموسی هنوز با محدوده خطر آلودگی زیست‌محیطی فاصله دارد. البته مطالعات Dehghan Madiseh و همکاران (2008) روی رسوبات و ماهیان رودخانه بهمنشیر (کفشک زبان گاوی، شوریده، شبه شوریده و زمین کن معمول)، مشخص کرد که میانگین غلظت سرب در رسوبات و عضله ماهیان در مقایسه با نتایج این تحقیق بسیار بالاتر است. Filazi و همکاران (2003) نشان داده‌اند که اصولاً کمترین میزان غلظت بیشتر فلزات سنگین در بین بافت‌هایی مانند عضله، کلیه، کبد و آبشش‌ها، در بافت عضله است که در مقام مقایسه از فعالیت متابولیک پایین‌تری برخوردار است. در این خصوص می‌توان گفت کبد بافتی است که تنظیم ترکیبات فلزی در بدن را انجام می‌دهد، همچنین تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان می‌تواند ناشی از متغیر بودن این فلزات در زمینه غلبه بر پیوندهای فلزی

⁷ United State Environmental Protection Agency

⁸ Canadaian Council of Ministers of the Environment

⁹ National Oceanic and Atmospheric Administration

پروتئین‌ها نظیر متالوتیونین‌ها باشد و اینکه قابلیت تجمع پذیری در کبد نسبت به عضله برای فلزات سنگین بیشتر است. علاوه بر این، اتصال فلزات سنگین با موکوس، مکانیسمی مهم برای تجمع و دفن آن‌ها است.

جدول ۷. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین با غلظت قابل قبول استانداردهای بهداشت جهانی و فانو (برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر)

منبع	V	Cu	Ni	pb	استاندارد
Biney and Ameybor, 1992	-	-	۴	۰/۵	WHO
Nauen, 1983	-	۳۰	-	۵	FAO
-	۰/۳۸	۱۹/۸۹	۵۸/۲۸	۰/۰۳	تحقیق حاضر

مقایسه مقادیر شاخص زیستی بافت‌های عضله و کبد ماهی شورت در خور موسی نشان می‌دهد که بیشترین شاخص مربوط به فلز سرب و به‌ویژه در فصل زمستان است که احتمالاً با کاهش میزان عنصر در آب به‌واسطه خود پالایی و بارندگی در منطقه ارتباط دارد (جدول ۸). از طرف دیگر محاسبات شاخص زیستی فلزات نشان داد که کبد بالاترین و عضله کمترین را دارا است که با مطالعات Mohammadnabizadeh و Pourkhabbaz (2013) همخوانی دارد. از طرف دیگر با توجه به اینکه میزان فلزات سنگین در کبد و عضله ماهی در فصل زمستان کمتر از فصل تابستان بود، می‌توان چنین توجیه نمود که غلظت این عناصر در فصول بارانی کمتر است که احتمالاً به دلیل کاهش غلظت آلودگی است. مطالعات Farkas و همکاران (2003) نیز نشان داده است که اثر آلاینده‌ها به عواملی از قبیل میزان مصرف آن‌ها، نسبت سطح پوست بدن به حجم بدن ماهی، رفتارهای تغذیه‌ای، نسبت جنسیت، میزان چربی بدن، سن ماهی و تغییرات عوامل جوی و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب (محیط) مانند دما، زمینه زیستی، موضع اثر و غیره بستگی دارد.

جدول ۸. مقایسه مقادیر شاخص زیستی بافت‌های عضله و کبد ماهی شورت در خور موسی

شاخص زیستی	مقدار عنصر در منابع محیطی		دامنه تغییرات	میانگین مقدار عنصر	بافت	فصل نمونه‌برداری	عنصر
	آب	رسوب					
۱۸۳/۳۳	۰/۰۰۶±۰/۰۰۱	۴/۹۹±۰/۴۵	۲/۱۰-۰/۵	۱/۱±۰/۰۶	کبد	زمستان	سرب
۱۳۰/۰			۱/۶-۰/۲	۰/۷۸±۰/۰۵	ماهیچه		
۲۱/۷	۰/۰۴۷±۰/۰۰۵	۳/۹۷±۰/۴	۱/۴-۰/۵	۱/۰۲±۰/۰۵	کبد	تابستان	سرب
۱۸/۳			۱/۴-۰/۴	۰/۸۶±۰/۰۴	ماهیچه		
۰/۰۵	۶۰/۶±۲/۸۴	۶۷/۲۲±۶/۵۳	۷/۱-۰/۱	۲/۷۴±۰/۳	کبد	زمستان	نیکل
۰/۰۲			۳/۳-۰/۱	۱/۴۳±۰/۱	ماهیچه		
۰/۰۷	۵۶/۰±۲/۷۲	۶۴/۳۳±۲/۳۷	۶/۱-۱/۵	۳/۶۵±۰/۲۱	کبد	تابستان	نیکل
۰/۰۲			۲-۰/۴	۱/۱۴±۰/۰۷	ماهیچه		
۰/۲۹	۱۹/۱±۱/۱۱	۲۲/۵۶±۱/۱۱	۸/۶۴-۳/۴۴	۵/۶۲±۰/۲۲	کبد	زمستان	مس
۰/۰۷			۱/۸۳-۱/۱۲	۱/۴۲±۰/۰۳	ماهیچه		
۰/۲۵	۲۰/۷±۰/۸۷	۲۱/۵۶±۲/۰۳	۷/۷۴-۳/۳۳	۵/۲۷±۰/۲۱	کبد	تابستان	مس
۰/۰۷			۲/۲۲-۰/۸۱	۱/۳۶±۰/۰۶	ماهیچه		
۲/۳۵	۰/۲±۰/۰۰۱	۲/۴۵±۰/۱۶	۰/۹۲-۰/۱۱	۰/۴۷±۰/۰۴	کبد	زمستان	وانادیوم
۱/۴۵			۰/۸۱-۰/۰۲	۰/۲۹±۰/۰۴	ماهیچه		
۱/۰۵	۰/۵۷±۰/۰۴	۲/۳۲±۰/۲۱	۰/۸۸-۰/۲۸	۰/۶±۰/۰۳	کبد	تابستان	وانادیوم
۰/۴۹			۰/۴۶-۰/۱۵	۰/۲۸±۰/۰۲	ماهیچه		

ارزیابی خطر غذایی مصرف گونه مورد مطالعه در سه منطقه قشم، بندرخمیر و بندر پهل واقع در استان هرمزگان (Koosej *et al.*, 2020) نشان‌دهنده آن بوده است که مصرف این ماهی با میزان مصرف فعلی از نظر فلزات سرب، نیکل، روی، آهن و مس خطری برای مصرف‌کنندگان ندارد. از آنجائی که منطقه مورد بررسی تحقیق حاضر هم جزء یکی از مناطق حساس اکولوژیکی و زیست‌محیطی است، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خوشبختانه آلودگی در ماهی مورد بررسی بیشتر از حد مجاز وجود ندارد که این موضوع برای سلامتی جامعه انسانی مصرف‌کننده از ماهیان مذکور امیدوارکننده است ولیکن اگر به روند تغییرات تجمع فلزات سنگین در خورموسی در گذشته و حال توجه گردد، علیرغم شرایط فیزیکی پویا در این منطقه، نشانه‌هایی از روند رو به افزایش میزان آلودگی فلزات مشاهده می‌شود که نگرانی جدی را برای منطقه به لحاظ اکولوژیک و سلامت عمومی مردم به وجود می‌آورد و لذا مسئولان زیست‌محیطی و بهداشت سلامت جامعه انسانی بایستی به فکر چاره‌اندیشی باشند.

ارزیابی خطر غذایی مصرف گونه مورد مطالعه در سه منطقه قشم، بندرخمیر و بندر پهل واقع در استان هرمزگان (Koosej *et al.*, 2020) نشان‌دهنده آن بوده است که مصرف این ماهی با میزان مصرف فعلی از نظر فلزات سرب، نیکل، روی، آهن و مس خطری برای مصرف‌کنندگان ندارد. از آنجائی که منطقه مورد بررسی تحقیق حاضر هم جزء یکی از مناطق حساس اکولوژیکی و زیست‌محیطی است، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که خوشبختانه آلودگی در ماهی مورد بررسی بیشتر از حد مجاز وجود ندارد که این موضوع برای سلامتی جامعه انسانی مصرف‌کننده از ماهیان مذکور امیدوارکننده است ولیکن اگر به روند تغییرات تجمع فلزات سنگین در خورموسی در گذشته و حال توجه گردد، علیرغم شرایط فیزیکی پویا در این منطقه، نشانه‌هایی از روند رو به افزایش میزان آلودگی فلزات مشاهده می‌شود که نگرانی جدی را برای منطقه به لحاظ اکولوژیک و سلامت عمومی مردم به وجود می‌آورد و لذا مسئولان زیست‌محیطی و بهداشت سلامت جامعه انسانی بایستی به فکر چاره‌اندیشی باشند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بخشی از طرح تحقیقاتی ارزیابی ریسک اکولوژیک محیط دریایی خلیج فارس است. آزمایش‌های مربوط به طرح در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس انجام شد و بدینوسیله از حمایت معاونت محترم پژوهش و کلیه همکاران آزمایشگاه که با صبر و حوصله مقدمات انجام این پژوهش را فراهم نمودند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. جمع‌آوری داده‌ها توسط هدی مولا هویزه دانشجوی کارشناسی ارشد زیست‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال انجام گرفت و بخشی از نتایج طرح به عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیولوژی دریا با راهنمایی جناب آقای دکتر عبدالرحیم وثوقی و سرکار خانم دکتر افتخار شیروانی مهدوی ارائه شد.

منابع

- Aghajeri, N., Taherizadeh, M., Akbarzadeh, G. 2011. Nickel Concentration in *Penaeus indicus* from Jask coastal waters, Persian Gulf. Iranian Scientific Fisheries Journal. 20(2): 153-158. (in Persian)
- Alizadeh, R., Kamrani, E., Safaei, M., Momeni, M. 2014. Reproductive Biology of Sand Whiting, *Sillago sihama* (Forsskal) in the Persian Gulf (Coastal Waters of Hormozgan Province). Journal of Oceanography. 5(17): 41-47. (in Persian)
- Askary Sary, A., Velayatzadeh, M., Beheshti, M., Khodadadi, M. 2011. The comparison of heavy metals Hg, Cd and Pb in the tissues of *Liza abu* from Karoon and Bahmanshir Rivers, Khuzestan Province. Iranian Scientific Fisheries Journal. 20 (2): 131-140. (in Persian)
- Askary Sary A., Javahery Baboli, M., Mahjob, S., Velayatzadeh, M. 2012. The comparison of heavy metals (Hg, Cd, Pb) in the muscle of *Otolithes ruber* in Abadan and Bandar Abbas Ports, the Persian Gulf. Iranian Scientific Fisheries Journal. 21(3): 99-106. (in Persian)

- Askary Sary, A., Khodadadi, M., Kazemian, M., Velayatzadeh, M., Beheshti, M. 2010. Measurement and comparison of heavy metals (Mn, Cu, Zn, Fe) in *Liza abu* in the Karoon and Bahmanshir Rivers in Khoozestan Province. *Journal of Marine Science and Technology Research*. 5(1): 68-80. (in Persian)
- Bahador, M., Moradi, A., Naji, A., Dehghani, M. 2015. Anthropogenic impacts on heavy metals (Pb, Ni, Zn and Fe) concentration in surface sediments of Shoor River Estuary, Bandar Abbas. *Journal of Aquatic Ecology*. 5(2): 38-48. (in Persian)
- Biney, C.A., Ameybor, E. 1992. Trace metal concentrations in the pink shrimp *Penaeus notialis*, from the coast of Ghana. *Water Air and Soil Pollution*. 63(3-4): 273-279.
- Bowen, H.J.M. 1979. Environmental chemistry of the elements. New York: Academic Press 1997.
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., Ferrante, M. 2013. Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*. 53: 33-37.
- Cunningham, P.A., Sullivan, E.E., Everett, K.H., Kovach, S.S., Rajan, A., Barber, M.C. 2019. Assessment of metal contamination in Arabian/Persian Gulf fish: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 143: 264-283.
- Dadkhah, P., Chamani Orcid, A., Mortazavi, S. 2018. The risk assessment of Lead, Cadmium and Zinc in the two edible fishes species (*Carcharhinus limbatus*) and (*Epinephelus coioides*) of Persian Gulf in 2016. *Journal of Research in Environmental Health*. 4(2): 85-93. (in Persian)
- De Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Wyse, E., Azemard, S., Cassi, R. 2004. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 48(1): 61-77.
- Dehghan Madiseh, S., Savari, A., Parham, H., Marammazy, J., Papahn, F., & Sabzalizadeh, S. 2008. Heavy metals contaminant evaluation in sediments of Khour-e-Musa creeks, northwest of Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 7(2s): 137-156.
- Dukes, A.D., Eklund, R.T., Morgan, Z.D., Layland, R.C. 2020. Heavy Metal Concentration in the Water and Sediment of the Lake Greenwood Watershed. *Water, Air, and Soil Pollution*. 231(1):11.
- Einollahi, F. 2008. Study on the heavy metals (Cu, Pb and Ni) in sediments and *Saccostrea cucullata* of Bushehr Intertidal Zone. M.Sc. thesis, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology. 85 p. (in Persian)
- Eslami Andargoli, T. 2008. Study on the heavy metals (Cu, Pb and Ni) in sediments and *Barbatia helblingii* of Bushehr Intertidal Zone. M.Sc. thesis, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology. 85 p. (in Persian)
- Farkas, A., Salánki, J., Specziár, A. 2003. Age- and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated site. *Water Research*. 37(5): 959-964.
- Filazi, A., Baskaya, R., Kum, C., Hismiogullari, S.E. 2003. Metal concentrations in tissues of the Black Sea fish *Mugil auratus* from Sinop-Icliman, Turkey. *Human and Experimental Toxicology*. 22(2): 85-87.
- Hakanson, L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research*. 14: 975-1001.
- Hastenrath, S., Lamb, P.J. 1980. On the heat budget of hydrosphere and atmosphere in the Indian Ocean. *Journal of Physical Oceanography*. 10(5): 694-708.
- Jayaprakash, M., Kumar, R.S., Giridharan, L., Sujitha, S., Sarkar, S., Jonathan, M. 2015. Bioaccumulation of metals in fish species from water and sediments in macrotidal Ennore creek, Chennai, SE coast of India: A metropolitan city effect. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120: 243-255.
- Jamalpour, M., Mohammadi, Gh., Khodadadi, M. 2011. Study on the Relationship between Length and Weight of Byah (*Liza macrolepis*) in Musa Estuary. *Journal of Wetland Ecobiology*. 3(9): 85-91. (in Persian)
- Karbassi, A.R. 1998. Geochemistry of Ni, Zn, Cu, Pb, Co, Cd, V, Mn, Fe, Al and Ca in sediments of North Western part of the Persian Gulf. *International Journal of Environmental Studies*. 54: 205-212.

- Karbassi, A.R., Nouri, J., Mehrdadi, M., Ayaz, G.O. 2008. Flocculation of heavy metals during mixing of freshwater with Caspian Sea water. *Environmental Geology*. 53(8): 1811-1816.
- Kasting, J.F., Whitmire, D.P., Reynolds, R.T. 1993. Habitable zones around main sequence stars. *Icarus*. 101(1): 108-128.
- Kaya, G., Turkoglu, S. 2017. Bioaccumulation of heavy metals in various tissues of some fish species and green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) from İskenderun Bay, Turkey, and risk assessment for human health. *Biological Trace Element Research*. 180(2): 314-326.
- Keskin, Y., Baskaya, K., Ozyaral, O., Yurdun, J., Luleci, N.E., Hayran, O. 2007. Cadmium, Lead, Mercury and Copper in fish from the Marmara Sea, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 78: 258-261.
- Khan, M.A., Yousuf, K., Riaz, S. 2014. Food and Feeding Habits of *Sillago sihama* (Forsskal, 1775) (Family: Sillaginidae) from Karachi Coast. *International Journal of Fauna and Biological Studies*. 1(3): 27-31.
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Çolakfakioğlu, C., Cicik, B., Erdem, C. 2017. Heavy metal levels in muscle tissues of *Solea solea*, *Mullus barbatus*, and *Sardina pilchardus* marketed for consumption in Mersin, Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*. 228(8): 315.
- Koosej, N., Jafariyan, H., Rahmani, A., Gholipour, H. 2020. Potential health risk assessment of some heavy metals (lead, Nickel, Zink, Copper and Iron) in muscle of Silago Sihama in Qeshm, Khamir Port and Pol Port, Hormozgan. *Journal of Applied Ichthyological Research*. 8(1): 48-57. (in Persian)
- Mahdinezhad, S., Tavana, A., Rahnvard, A. 2018. Determination of cadmium, lead, copper and zinc in combination muscle tissue mullet and surface sediments of wetlands Miankaleh. *Iranian Journal of Health Sciences Articles in Press*, Available Online from 20 January 2018. (in Persian)
- Mohammadnabizadeh, S., Pourkhabbaz, A. 2013. Biomonitoring of heavy metals of fish tissues in Khamir and Laft ports of Hormozgan Province. *Iranian Veterinary Journal*. 9(1): 64-75. (in Persian)
- Mohammadnabizadeh, S., Pourkhabbaz, A., Afshari, R., Nowrouzi, M. 2012. Concentrations of Cd, Ni, Pb, and Cr in the two edible fish species *Liza klunzingeri* and *Sillago sihama* collected from Hara biosphere in Iran. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 94(6): 1144-1151.
- Nauen C.E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. *FAO Fisheries Circular*. 764. Rome: FAO; p.102.
- Navan Maghsoudi, M., Esmaeli Sari, A., Madadzadeh, Gh. 2007. A survey of the water pollution with heavy metals Ni, Pb, Hg, Cr, Cd, V, As and total hydrocarbon in Bandar Shahid Rajaii, Bandar Abbas. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 16(2): 161-166. (in Persian)
- Norouzi, M., Bagheri Tavana, M., Ghodrati, Sh., Amirjannati, A. 2018. Evaluate and Compare the Accumulation of the Heavy Metals in Tissues of the Gray Mullet (*Liza aurata*) during the Sexual Maturity and Sexual Rest. *Journal of Natural Environment*. 71(1): 125-137. (in Persian)
- Oryan, S., Tatina, M., Gharibkhani, M. 2011. The impact of oil pollution on the accumulation of heavy metals (Ni, Pb, Cd & V) in muscle tissue of *Pampus argenteus* from the northern part of the Persian Gulf. *Journal of Oceanography*. 1(4): 61-68. (in Persian)
- Parvaneh, M., Khaiyar, N., Nikpour, Y., Nabavi, S. 2011. Heavy metals (Hg, Cd, Pb, Ni, Cu) concentrations in *Euryglossa orientalis* and sediments from Khur-e-Musa Creek in Khuzestan Province. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 20(2): 17-26. (in Persian)
- Sadeghi, E., Pirsahab, M., Mohammadi, M., Salati, A.P., Sharafi, H., Mirzaei, N., Bohlouli, S. 2017. Evaluation of cadmium and lead levels in fillet marine fish (*Otolithes ruber* and *Lutjanus johni*) from Persian Gulf. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*. 10(4): 1015-1018.
- Safahieh, A., Farhad, M., Nabavi, S.M.B., Ghanemi, K., Movahedi Nia, A., Darabpour, M. 2012. Accumulation of Heavy Metals Ni, V, Cu and Pb in Sediments and Bivalves *Crassostrea gigas* in Bandar Imam Khomeini. *Journal of Oceanography*. 2(8): 49-59. (in Persian)
- Salihi, I.U., Kutty, S.R.M., Isa, M.H. 2017. Equilibrium and Kinetic Studies on Lead (II) Adsorption by Sugarcane Bagasse Derived Activated Carbon. *International Journal of Engineering. Transactions B: Applications*. 30(11): 1647-1653.

- Seifzadeh, M., Golshahi, E., Safiyari, Sh. 2018. Study the concentrations of lead and cadmium in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Talesh of Guilan. Journal of Animal Science Researches. 28(2): 65-79. (in Persian)
- Štrbac, S., Kašanin-Grubin, M., Jovančičević, B., Simonović, P. 2015. Bioaccumulation of heavy metals and microelements in silver bream (*Brama brama* L.), northern pike (*Esox lucius* L.), sterlet (*Acipenser ruthenus* L.), and common carp (*Cyprinus carpio* L.) from Tisza River, Serbia. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 78(11): 663-665.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. Geological Society of America Bulletin. 72: 175-192.
- Vinodhini, R., Narayanan, M. 2008. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish *Cyprinus carpio*. Journal of Environment Science Technology. 5: 179-182.
- Zhao, B., Wang, X., Jin, H., Feng, H., Shen, G., Cao, Y., Yu, C., Lu, Z., Zhang, Q. 2018. Spatiotemporal variation and potential risks of seven heavy metals in seawater, sediment, and seafood in Xiangshan Bay, China (2011–2016). Chemosphere. 212: 1163-1171.
- Zin, K.P., Lim, L., Bandara, J.S., Thippeswamy, H. 2017. Heavy metals in paddy soils of Brunei Darussalam and their relationship with selected soil properties. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis. 5(3): 64-70.