**علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره شش، شهریورماه ۹۸**

# بررسی تجمع زیستی فلزات در رسوبات و عضله ماهیان رودخانه دز در سال ۱۳۹۳

**ثمر مرتضوی[1*]**
*mortazavi.s@gmail.com*
**پریسا نوروزی فرد[2]**

**تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۸** **تاریخ پذیرش:۹۵/۲/۸**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** ضرورت سنجش عناصر در آب‌زیان به دو مبحث مدیریت زیست‌بوم‌ها و سلامت غذایی انسان‌ها باز می‌گردد. در پژوهش حاضر غلظت عناصر Cu, Pb, Zn و Cd در رسوبات و بافت عضله چهار گونه ماهی بومی رودخانه دز مورد بررسی قرار گرفت تا آلودگی فلزات و ارتباط آن با عامل وضعیت (CF) و عامل تغلیظ زیستی (BCF) مطالعه گردد.

**روش بررسی:** پس از زیست‌سنجی نمونه‌های ماهی، هضم نمونه‌ها با ترکیب یک به چهار اسیدنیتریک به اسیدپرکلریک انجام و غلظت عناصر با دستگاه جذب‌اتمی اندازه‌گیری گردید.

**یافته‌ها:** میانگین غلظت فلزات در رسوبات و بافت عضله به‌ترتیب روند کاهشی کادمیوم<سرب<مس<روی و سرب<کادمیوم<مس<روی را نشان می‌دهد. تحلیل آماری نتایج بیان‌گر بیش‌ترین هم‌بستگی بین تجمع فلزات و CF در گونه توییني و بیش‌ترین بارگیری آلودگی آن با محاسبه شاخص MPI می‌باشد. BCF حاصل نیز نشان دهنده روند کاهشی جذب فلزات کادمیوم، روی، مس و سرب از محیط است. از سویی مقادیر CF، از حدود مناسب معرفی شده برای ماهیان آب‌های آزاد کم‌تر به دست آمد. هم‌چنین مقایسه غلظت فلز روی در رسوبات از استاندارد جهانی CaISQG و سطح قابل تحمل IAEA-407 بالاتر و در بافت عضله، غلظت روی و کادمیوم به ترتیب از استانداردهای UK(MAFF) و NHMRC بالاتر می‌باشد که نشان دهنده سطوح خطرناک آن‌ها برای سلامتی انسان است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد شرایط منطقه مورد مطالعه از رودخانه دز در مقایسه با آب‌های آزاد برای ماهیان نامساعد بوده و بالا بودن غلظت کادمیوم در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان ناشی از پساب زمین‌های کشاورزی مشرف به رودخانه دانست.

**واژه‌های کلیدی:** رودخانه دز، فلزات، عامل وضعیت، عامل تغلیظ زیستی.

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر* (مسوول مکاتبات)
۲- دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

*J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.6, August, 2019*

# Investigation of Metals Bioaccumulation in Sediment and Fish Muscle of Dez River in 1393

**Samar Mortazavi** [1*]
*mortazavi.s@gmail.com*
**ParisaNorozi Fard** [2]

Date Received: December 9, 2015
Admission Date:April 27, 2016

**Abstract**

**Background and Objectives:** The necessity of measuring elements in aquatic life comes from two aspects of ecological management and human nutritional health. In the present study, concentrations of Cu, Pb, Zn and Cd in sediments and muscle tissue of four native fish species of Dez River were studied to study metal contamination and its relationship with status factor (CF) and bioconcentration factor BCF).

**Materials and Methods:** After bioassay of fish samples, digestion of the samples was performed by combining one to four nitric acids with perchloric acid and the concentration of the elements was measured by an absorbent apparatus. On the other hand, CF values were lower than the thresholds introduced for salmonids. Also comparisons of Zn concentrations in sediments are higher than the world standard CaISQG and tolerable IAEA-407 levels and in muscle tissue, Zn and Cd concentrations are higher than UK standards (MAFF) and NHMRC, respectively, indicating dangerous levels. They are for human health.

**Fidings:** The mean concentrations of metals in sediments and muscle tissue showed a decreasing trend for Cd, Pb, Cu, Zn and Pb, Cd, Cu, respectively. Statistical analysis of the results showed the highest correlation between the accumulation of metals and CF in the twin species and the highest loading of its contamination by calculating the MPI index. The resulting BCF also shows a decreasing trend in the uptake of cadmium, zinc, copper and lead from the environment**.**

**Discussion & Conclusion:** It seemsthat the conditions of the study area from Dez River are unfavorable for fish compared to free waters and high cadmium concentration in studied samples can be due to effluent. The farmland overlooks the river.

**Keywords:** Dez River, Metals, Condition Factor, Biodegradation Factor.

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer * (Corresponding Author)
2- PhD student of Faculty of Natural Resources and Environment, University of Malayer

**مقدمه**

تحولات ایجاد شده در صنعت کشاورزی و ارتقاء سطح زندگی بشر در دهه‌های اخیر، کاربرد فلزات را در زمینه‌های مختلف اجتناب‌ناپذیر نموده است (۱ و ۲). از آن‌جایی‌که میزان ورود فلزات به محیط زیست، بیش‌تر از مقداری است که توسط فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند، بنابراین تجمع فلزات در محیط مورد توجه می‌باشد. سیستم‌های آبی دریافت کننده‌ی نهایی این فلزات هستند (۳)؛ به همین دلیل با افزایش تجمع فلزات نگرانی‌هایی در کاهش کیفیت محیط زیست و موجودات زنده ساکن در آن وجود دارد (۴). به‌منظور شناسایی آلودگی-های یک محیط از شاخص‌ها و نمایه‌های زیستی استفاده می-شود. در این راستا ماهیان هم می‌توانند به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در برآورد سطوح آلودگی فلزات در زیست‌بوم-های آبی به شمار روند (۵). با وجودی‌که ماهیان به‌طور مداوم در معرض فلزات موجود در آب‌های آلوده قرار دارند، دریافت فلزات توسط آن‌ها در زیست‌بوم‌های آبی آلوده متفاوت است (۶). عواملی مانند مکان زیست، رفتار تغذیه‌ای، سطح غذایی، سن، اندازه، زمان ماندگاری فلزات و فعالیت‌های تنظیمی هوموستازی بدن بر جذب آلاینده‌ها از جمله فلزات تاثیر گذار می‌باشند (۷)؛ هم‌چنین رسوبات نیز به‌عنوان جایگاه نهایی آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز محل تغذیه بسیاری از کف-زیان در جذب و انتقال آلاینده‌ها به سطوح غذایی بالاتر نقش به سزایی دارند (۸).

مطالعات متعددی در زمینه‌ی بررسی تجمع فلزات در ماهیان انجام شده است. از جمله در ایران می‌توان به مطالعه بافت‌های عضله، کبد و آب‌شش ماهی بیاه (*Liza abu*) در رودخانه‌های دز و بهمن‌شیر (۹)، بافت‌های عضله و کبد ماهی شیربت (*Barbus grypus*) در رودخانه دز (۱۰)، بافت‌های عضله، کبد و آب‌شش ماهی بیاح (*Liza abu*) در رودخانه‌ی دز (۱)، بافت‌های عضله و کبد ماهی لوتک (*Cyprinion macrostomus*) در روخانه‌ی کارون (۱۱)، بافت عضله ماهی شوریده (*Otolithes rubber*) در بندر ماه‌شهر (۱۲) و بافت عضله ماهیان مصرفی شهرستان خرم‌شهر از جمله ماهی شوریده (*Otolithes rubber*) و ماهی حلوا سفید (*Pampus argenteus*) (۱۳) در ایران اشاره نمود. در خارج از کشور نیز در ترکیه، پنج گونه ماهی مختلف و نمونه‌های رسوب از روخانه Yeşcilırmak (۱۴)، در اسپانیا رسوبات دریایی و بافت ماهی *Cathorops spixii* در دریای Lots و نقاط Caroi و Lisas (۱۵)، در چین بافت هفت گونه ماهی و ارتباط بین غلظت فلزات و اندازه ماهی در رودخانه Yangtze (۱۶) و در خلیج Manila فیلیپین نیز تجمع زیستی سرب و تأثیر آن بر تغییرات بافت شناسی، در عضله پنج گونه ماهی، مورد مطالعه قرار گرفته است (۴).

**محاسبه عامل وضعیت (CF[1])**

از جمله عامل‌های کلی سلامتی، عامل وضعیت می‌باشد که برای بررسی شرایط عمومی ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمایه بیان‌گر توانایی موجود در برابر تحمل استرس‌های محیطی است. CF یک عامل کلی است که اثرات کلی آلودگی در ماهی را نشان می‌دهد، هزینه کم و سادگی آن باعث شده به‌عنوان ابزاری با ارزش کاربرد گسترده‌ای یابد (۱۷). عامل وضعیت که توسط Schreck and Moyle در سال ۱۹۹۰ ارایه شده، مطابق رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (۱۸):

$$CF = \frac{\text{وزن}}{(\text{طول})^{3}} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

**محاسبه شاخص آلودگی فلزات (MPI[2])**

شاخص آلودگی فلزات به منظور مقایسه سطوح کلی تجمع فلزات در بافت‌های گوناگون ماهیان مختلف به کار می‌رود. مقادیر MPI برای هر گونه که توسط Usero et al. در سال ۱۹۹۷مطرح گردید، با استفاده از رابطه‌ای (۲) محاسبه می‌شود:

$$MPI = (C_{f1} \times C_{f2} \times \ldots \times C_{fn})^{1/n} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن $C_{fn}$ غلظت فلز n در نمونه است (۲۰).

1- Condition factor
2- Metal Pollution Index

**عامل تغلیظ زیستی (BCF[1])**

عامل تغلیظ زیستی (BCF) برای بررسی ارتباط بین فلزات سنگین در رسوبات و موجودات زنده به کار می‌رود. میانگین غلظت فلزات سنگین رسوبات برای بررسی تغلیظ زیستی استفاده شده بود. BCF مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$BCF=C_{biota}/C_{sediment} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که $C_{biota}$ غلظت کلی فلزات در هر رده موجود زنده ($mg\ kg^{-1}$) و $C_{sediment}$ غلظت کلی در رسوبات ($mg\ kg^{-1}$) می‌باشد (۲۰).

در پژوهش حاضر منطقه‌ی مورد مطالعه رودخانه‌ی دز بوده که یکی از رودخانه‌های پر آب کشور و از شاخه‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی کارون بزرگ می‌باشد. این رودخانه به‌دلیل مجاورت با محیط انسانی، از آلودگی‌های ناشی از ریختن زباله‌های شهری متأثر گردیده که آثار زیان‌باری را در محیط زیست آن ایجاد نموده است. علاوه بر این فاضلاب شهرستان دزفول نیز، به حوضه‌ی آب‌ریز کارون- دز وارد می‌گردد. از این رو کنترل، کاهش بار آلودگی و ممانعت از به هم خوردن زنجیره غذایی در این بوم سازگان حایز اهمیت می‌باشد. از آن‌جا که نیازهای اکولوژیکی و اندازه موجودات آب‌زی در تجمع آلاینده‌ها تأثیرگذار می‌باشد و هم‌چنین تجمع فلزات اغلب در بافت‌های دارای فعالیت متابولیکی بالا مانند کبد، کلیه و عضله رخ می‌دهد (بافت عضله به علت نقش مهم آن در رژیم غذایی انسان، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (۲۱)، لذا درک روابط بین اندازه‌ی موجودات و غلظت فلزات ضروری و غیر ضروری اهمیت بیش‌تری می‌یابد. در همین راستا، سنجش غلظت فلزات (مس، سرب، روی و کادمیوم) در بافت عضله‌ی چهار گونه ماهی بومی در رودخانه‌ی دز به منظور مقایسه با استانداردهای سلامت عمومی و حفاظت از محیط زیست آبی و نیز بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط بین عامل وضعیت و غلظت فلزات (Cu, Pb, Zn و Cd) از اهداف اصلی این مطالعه می‌باشند.

**روش بررسی**

رودخانه‌ی دز از استان لرستان سرچشمه گرفته و با طی مسافتی به طول تقریبی ۱۸۶ کیلومتر و گذر از شهرستان دزفول به رودخانه‌ی کارون ریخته و در نهایت به خلیج فارس منتهی می‌گردد. استان خوزستان در نیمه‌ی غربی کشور ایران قرار گرفته که شهرستان دزفول در شمال آن واقع شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی خروجی رودخانه از شهرستان دزفول و در موقعیت جغرافیایی "۴۸°۲۲′۲۴ طول شرقی و"۳۲°۲۱′۴۴ عرض شمالی واقع شده است.

مطالعات میدانی و بازدید از منطقه از مهر ماه سال ۱۳۹۲ آغاز گردید و نمونه‌گیری در دی ماه سال ۱۳۹۲ صورت گرفت. جامعه‌ی آماری مورد بررسی شامل ۸۰ عدد ماهی از چهار گونه بومی رودخانه (۲۰ تکرار برای هر گونه) مطابق جدول (۱) بوده که توسط ماهی‌گیرهای محلی (در نقطه‌ای که محل تجمع اکثر ماهی‌گیرها برای صید و فروش ماهی در بازار است) صید گردیده است.

1- Bioaccumulation Factor

**جدول ۱- نام علمی و سایر اطلاعات گونه‌های مورد بررسی**

Table 1. Scientific and local name of the fish species

| نام علمی | نام خانواده | نام فارسی | نام محلی |
|---|---|---|---|
| *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) | Cyprinidae | تووینی | بُتک |
| *Luciobarbus pectoralis* (Heckel, 1843) | Cyprinidae | برزم معمولی | بِرزُم |
| *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) | Cyprinidae | نازک، حیف نان | شِیس |
| *Carasobarbus luteus* (Heckel, 1843) | Cyprinidae | حمری | زَنگور، زنبور |

نمونه‌های رسوب نیز از همان مکان با پنج تکرار از لایه‌ی سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) با استفاده از گرب در مناطق عمیق و به طور دستی توسط بیلچه پلاستیکی برداشت گردید. پس از ثبت موقعیت ایستگاه توسط GPS و کدگذاری، نمونه‌ها در یخدان محتوی یخ نگه‌داری و به آزمایش‌گاه منتقل شد. در آزمایش‌گاه بعد از زیست‌سنجی اولیه ماهی‌ها شامل اندازه‌گیری وزن و طول کل، نمونه‌ها در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی-گراد نگه‌داری شدند تا مرحله انجماد را پشت سر گذارند. قبل از کالبد شکافی، ابتدا نمونه‌ها با آب مقطر شست و شو داده شد تا پوشش لزج و ذرات خارجی جذب کننده فلزات از سطح بدن دفع گردد. تمام نمونه‌های عضله از عمق پوست و از قسمت راست بدن ماهیان به دست آمد. نمونه‌های بافت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت نگه‌داری شدند (۸). پس از خشک شدن، نمونه‌ها در هاون کوبیده و نمونه‌های رسوب از الک عبور داده شدند. به منظور هضم نمونه‌ها ابتدا یک گرم از نمونه خشک شده رسوب یا بافت ماهی توسط ترکیبی از اسید نیتریک و اسید پرکلریک به نسبت چهار به یک بر روی دستگاه هضم کننده[1] ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت یک ساعت و سپس در دمای ۱۴۰ درجه به مدت سه ساعت هضم گردید. سپس نمونه‌ها با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم رسانده شدند و توسط کاغذ صافی واتمن شماره یک فیلتر گردیدند (۲۲). جهت اطمینان از دقت عملیات هضم و رفع خطای ناشی از آماده-سازی نمونه و عدم تأثیر مواد مصرفی بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه‌ی شاهد[2] در نظر گرفته شد. غلظت فلزات در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل analytic jena ContrAA 700 مشخص گردید. در این مرحله غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌های شاهد نیز اندازه-گیری و از مقادیر به دست آمده برای نمونه‌ها کسر گردید.

به‌منظور انجام آنالیزهای آماری، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ و آزمون Shapiro-Wilk، مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها ($p>۰/۰۵$)، با استفاده از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مشخصه‌های آمار توصیفی به دست آورده شد. با به کارگیری آزمون لون (Levene test)، همگن یا ناهمگن بودن گروه‌ها بررسی و از آن‌جایی‌که گروه‌های ما ناهمگن بودند جهت تعیین اختلاف بین گروه‌ها، از آزمون Dunnett T3 استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور تعیین وجود و یا عدم وجود ارتباط بین مقادیر غلظت در رسوبات و بافت عضله از آزمون غیر پارامتریک اسپیرمن و تعیین ارتباط بین غلظت فلز در عضله و عامل وضعیت و نیز ارتباط بین غلظت فلزات با یک‌دیگر از ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده شد. به منظور مقایسه مقادیر غلظت فلزات در بافت عضله با استانداردهای موجود و یا حدود قابل تحمل از آزمون آماری Independent Sample T-test استفاده گردید. برای رسم نمودارها نرم افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ به کار گرفته شد.

1- Heating block

2- Blank

**یافته‌ها**

در جدول (۲) میانگین طول، وزن و مقادیر به دست آمده از عامل وضعیت ارایه شده است. این عامل که از ارتباط بین طول و وزن هر گونه به دست می‌آید، می‌تواند بیان‌گر شرایط محیطی محل زیست گونه و میزان حساسیت و تأثیرپذیری گونه از شرایط محیطی باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقادیر عامل وضعیت در گونه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی حمری، تووینی، برزم معمولی و نازک می‌باشد.

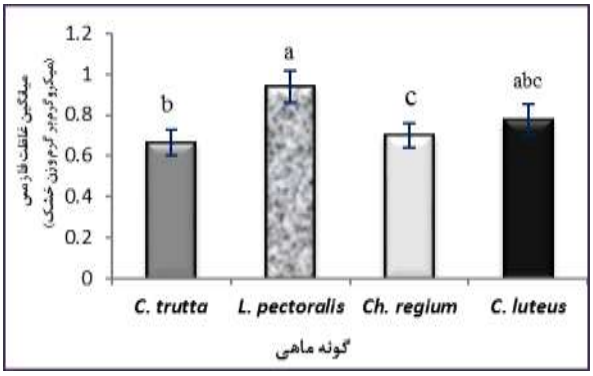
**جدول ۲- معرفی گونه‌های مورد بررسی و میانگین طول، وزن و مقادیر عامل وضعیت**

Table 2. Results of species biometry (length, weight) and condition factor values

| نام علمی | میانگین وزن (gr) | میانگین طول (cm) | عامل CF |
|---|---|---|---|
| *Capoeta trutta* | ۸۵/۱۰۷ | ۲۰/۸ | ۰/۹۴۵ |
| *Luciobarbus pectoralis* | ۱۰۰/۱۰۹ | ۲۲/۵ | ۰/۸۷۸ |
| *Chondrostoma regium* | ۷۹/۳۵ | ۲۰/۹ | ۰/۸۶۹ |
| *Carasobarbus luteus* | ۶۲/۵۲ | ۱۶/۱ | ۱/۴۹۸ |

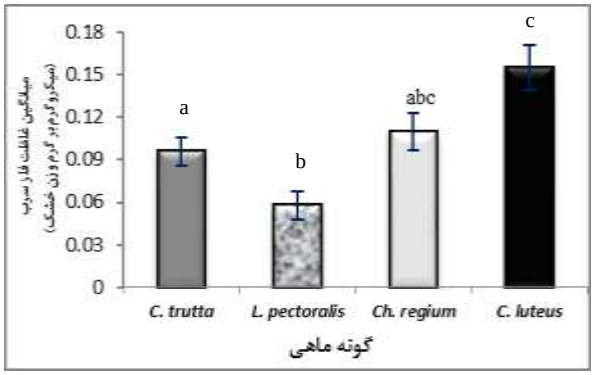
* از هر نمونه ماهی ۲۰ تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی آماری نتایج به دست آمده به کمک آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد بین غلظت فلز مس در عضله‌ی گونه‌ی برزم با تووینی و نازک از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵٪ وجود دارد ($p<۰/۰۵$). در رابطه با غلظت فلز سرب در عضله بین گونه‌ی تووینی با برزم و حمری و نیز بین گونه‌ی برزم با نازک و حمری اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵٪ وجود دارد ($p<۰/۰۵$). نتایج آماری اختلاف معنی‌داری را از غلظت فلز روی در بین گونه‌های مختلف نشان نمی‌دهد ($p>۰/۰۵$)؛ اما در رابطه با غلظت فلز کادمیوم بین همه گونه ها به جز تووینی با برزم اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵٪ وجود دارد ($p<۰/۰۵$). در شکل‌های (۱، ۲، ۳ و۴) به ترتیب نمودارهای مربوط به غلظت فلزات مس، سرب، روی و کادمیوم در عضله ماهیان مورد مطالعه آورده شده است.



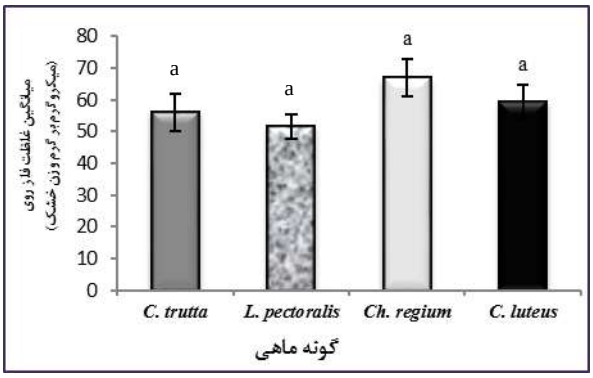

**شکل ۱- نمودار غلظت فلز مس در عضله**

Figure 1. Cu concentration in muscle



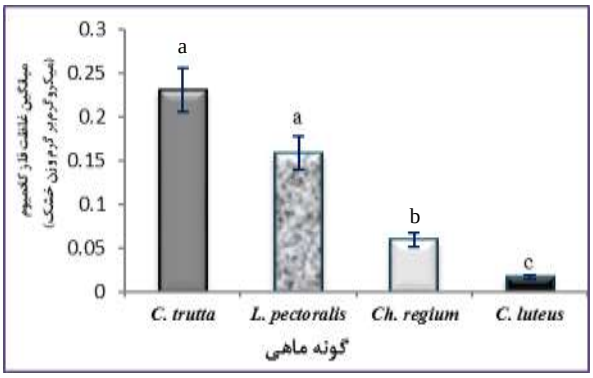

**شکل ۲- نمودار غلظت فلز سرب در عضله**

Figure 2. Pb concentration in muscle




**شکل ۳- نمودار غلظت فلز روی در عضله**

Figure 3. Zn concentration in muscle




**شکل ۴- نمودار غلظت فلز کادمیوم درعضله**

Figure 4. Cd concentration in muscle

**جدول ۳- غلظت فلزات در رسوبات (میانگین± انحراف معیار) بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک**

Table 3. Heavy metal concentration in sediments (mean± Standard deviation) (µg/g dry weight)

| | فلز مس | فلز سرب | فلز روی | فلز کادمیوم |
|---|---|---|---|---|
| میانگین غلظت فلز در رسوبات | ۱۶/۱±۹۹۲/۲۴ | ۳/۰±۹۷۵/۹۵۸ | ۱۳۲/۲۶±۲۹/۱۷۵ | ۰/۰±۱۴۱/۰۳۷ |

**هم‌بستگی بین غلظت فلزات در بافت عضله گونه‌های مختلف ماهی**

مطابق نتایج حاصل از جدول (۴) بین غلظت فلز سرب در گونه نازک و مس در برزم، هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۶۴۱)، بین غلظت فلز روی در گونه توییینی و مس در توییینی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۷۰۶)، بین غلظت فلز روی در گونه نازک و سرب در توییینی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۷۳۰)، بین غلظت فلز روی در گونه حمری و مس در حمری هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد (r = ۰/۹۶۸)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه توییینی و مس در توییینی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۶۴۸)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه توییینی و سرب در نازک هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد (r = ۷۸۲)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه توییینی و روی در توییینی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد (r = ۰/۸۵۴)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه نازک و سرب در توییینی هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۶۵۶)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه برزم و روی در برزم هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد (r = ۰/۸۴۲)، بین غلظت فلز کادمیوم در گونه نازک و روی در نازک هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد (r = ۰/۹۱۴) و بین غلظت فلز کادمیوم در گونه حمری و سرب در برزم هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با احتمال ۹۵ درصد (r = ۰/۶۳۳) وجود دارد.

جدول ۴- هم‌بستگی بین غلظت فلزات در بافت عضله گونه‌های مختلف

Table 4. Correlation between heavy metal concentrations in muscle of fish species

| سطح معناداری | | مس | | | سرب | | | روی | | | کادمیوم | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب هم بستگی | | توبینی | برزم | نازک | حمری | توبینی | برزم | نازک | حمری | توبینی | برزم | نازک | حمری | توبینی | برزم | نازک | حمری |
| مس | توبینی | ۱ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | برزم | -۰/۳۶۰<br>-۰/۳۰۶ | ۱ | | | | | | | | | | | | | | |
| | نازک | -۰/۴۸۸<br>-۰/۱۵۲ | ۰/۲۷۳<br>۰/۴۴۶ | ۱ | | | | | | | | | | | | | |
| | حمری | -۰/۱۳۱<br>-۰/۲۱۹ | ۰/۲۹۵<br>-۰/۴۰۲ | ۰/۰۸۵<br>۰/۸۵۹ | ۱ | | | | | | | | | | | | |
| سرب | توبینی | ۰/۰۵۲<br>۰/۸۸۷ | -۰/۱۹۹<br>۰/۵۸۲ | -۰/۰۱۳<br>۰/۹۷۴ | ۰/۵۰۲<br>۰/۱۴۰ | ۱ | | | | | | | | | | | |
| | برزم | -۰/۳۰۶<br>۰/۳۹۰ | ۰/۱۹۰<br>۰/۵۹۹ | ۰/۰۶۴<br>۰/۸۶۱ | ۰/۵۱۱<br>۰/۱۳۱ | -۰/۰۴۵<br>۰/۹۰۱ | ۱ | | | | | | | | | | |
| | نازک | -۰/۴۲۳<br>۰/۴۹۶ | ۰/۶۹۱۳<br>۰/۰۰۴ | ۰/۴۸۳<br>۰/۱۵۸ | ۰/۰۴۰۸<br>۰/۹۴۳ | -۰/۴۸۸<br>۰/۳۳۷ | -۰/۳۴۰<br>۰/۴۳۷ | ۱ | | | | | | | | | |
| | حمری | ۰/۳۶۸<br>۰/۲۹۶ | -۰/۰۴۱<br>۰/۹۱۰ | ۰/۰۹۴<br>۰/۷۹۲ | ۰/۰۵۰<br>۰/۸۹۱ | ۰/۶۱۹<br>۰/۰۵۶ | -۰/۱۶۲<br>۰/۴۵۵ | -۰/۰۲۹<br>۰/۹۳۶ | ۱ | | | | | | | | |
| روی | توبینی | ۰/۲۰۶۳<br>۰/۰۲۷ | -۰/۱۹۳<br>۰/۵۹۳ | -۰/۴۲۳<br>۰/۲۱۲ | ۰/۱۹۲<br>۰/۵۹۵ | ۰/۰۲۸<br>۰/۸۳۰ | ۰/۲۴۸<br>۰/۴۹۰ | -۰/۴۸۵<br>۰/۱۵۵ | -۰/۳۴۱<br>۰/۳۳۵ | ۱ | | | | | | | |
| | برزم | ۰/۱۳۲<br>۰/۶۱۶ | ۰/۴۹۳<br>۰/۴۱۲ | -۰/۰۴۹<br>۰/۸۹۲ | ۰/۳۲۹<br>۰/۳۵۳ | -۰/۲۰۲<br>۰/۵۲۴ | -۰/۰۹۶<br>۰/۸۳۵ | ۰/۱۲۲<br>۰/۶۳۲ | -۰/۲۰۴<br>۰/۵۶۱ | ۰/۴۴۱<br>۰/۵۰۳ | ۱ | | | | | | |
| | نازک | -۰/۴۵۴<br>۰/۴۷۹ | -۰/۰۹۹<br>۰/۷۸۵ | ۰/۵۴۰<br>۰/۱۰۷ | ۰/۴۸۸<br>۰/۴۱۹ | ۰/۷۳۰۲<br>۰/۰۱۶ | -۰/۱۳۴<br>۰/۶۱۳ | -۰/۰۶۴<br>۰/۸۶۰ | ۰/۴۱۵<br>۰/۲۲۳ | -۰/۲۲۹<br>۰/۵۳۴ | -۰/۰۱۹<br>۰/۹۵۸ | ۱ | | | | | |
| | حمری | -۰/۰۳۶<br>۰/۹۲۵ | ۰/۳۱۸<br>۰/۳۷۱ | -۰/۰۴۹<br>۰/۸۹۴ | ۰/۵۸۹**<br>۰/۰۰۰ | ۰/۴۴۵<br>۰/۱۹۸ | -۰/۴۲۰<br>۰/۲۲۷ | ۰/۲۲۲<br>۰/۵۲۸ | ۰/۳۲۹<br>۰/۳۲۶ | ۰/۳۰۹<br>۰/۳۸۴ | ۰/۲۴۰<br>۰/۴۸۹ | ۱ | | | | | |
| کادمیوم | توبینی | -۰/۶۴۸*<br>۰/۰۴۳ | -۰/۵۶۴<br>۰/۰۹۱ | ۰/۱۴۸<br>۰/۷۹۲ | ۰/۰۹۴<br>۰/۷۹۲ | ۰/۷۲۷**<br>۰/۰۱۱ | ۰/۲۲۹<br>۰/۵۲۴ | ۰/۷۸۴**<br>۰/۰۰۸ | ۰/۴۰۴<br>۰/۵۲۲ | ۰/۵۵۴**<br>۰/۰۰۲ | ۰/۰۱۴<br>۰/۹۶۹ | ۰/۱۳۶<br>۰/۷۰۲ | ۰/۹۱۴<br>۰/۵۵۳ | ۱ | | | |
| | برزم | -۰/۰۸۶<br>۰/۸۱۲ | ۰/۲۶۱<br>۰/۶۹۶ | ۰/۳۵۸<br>۰/۳۱۰ | ۰/۱۵۲۷<br>۰/۶۹۵ | ۰/۰۱۲<br>۰/۵۰۰ | ۰/۴۰۴<br>۰/۳۹۳ | ۰/۱۱۱۸<br>۰/۷۲۴ | ۰/۰۵۸<br>۰/۸۷۳ | ۰/۸۶۲۰۰**<br>۰/۰۰۷ | ۰/۲۴۶<br>۰/۴۹۷ | ۰/۳۱۰<br>۰/۵۹۰ | -۰/۱۰۹<br>۰/۹۰۰ | ۱ | | |
| | نازک | -۰/۲۷۴<br>۰/۵۳۳ | -۰/۳۲۹<br>۰/۳۳۸ | ۰/۵۲۲<br>۰/۱۲۱ | ۰/۲۲۵<br>۰/۵۲۲ | ۰/۹۵۴*<br>۰/۰۲۹ | ۰/۰۱۷<br>۰/۹۶۲ | ۰/۲۰۷<br>۰/۵۶۷ | ۰/۲۴۹<br>۰/۴۸۸ | ۰/۱۹۵<br>۰/۶۴۹ | ۰/۹۱۴۳*<br>۰/۰۰۰ | ۰/۱۴۸<br>۰/۶۸۲ | -۰/۲۰۵<br>۰/۵۲۰ | -۰/۰۵۰<br>۰/۸۹۲ | ۱ | |
| | حمری | ۰/۰۴۵<br>۰/۸۵۸ | -۰/۲۱۷<br>۰/۶۴۶ | -۰/۴۵۹<br>۰/۱۸۲ | ۰/۲۲۵<br>۰/۵۲۲ | ۰/۲۲۲<br>۰/۵۱۹ | ۰/۶۳۳۳<br>۰/۰۹۹ | -۰/۱۵۵۲<br>۰/۰۹۸ | ۰/۱۲۲<br>۰/۷۱۷ | ۰/۳۶۰<br>۰/۳۰۷ | ۰/۴۱۶<br>۰/۳۷۹ | ۰/۳۳۱<br>۰/۵۲۰ | ۰/۵۳۲<br>۰/۲۱۶ | ۰/۳۶۱<br>۰/۴۶۶ | -۰/۱۳۲<br>۰/۵۱۷ | -۰/۱۳۰<br>۰/۱۴۴ | ۱ |

**هم‌بستگی سطح ۹۹ ٪، * هم‌بستگی سطح ۹۵ ٪

نتایج بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط بین غلظت فلزات در گونه‌های مختلف با عامل وضعیت هر گونه مطابق جدول (۵) ارایه شده است.

**جدول ۵- مقادیر سطح معنی‌داری و ضریب هم‌بستگی پیرسون بین غلظت فلزات و عامل وضعیت**

Table 5. Significant level and correlation factor between heavy metal concentration and condition factor

| | گونه | مس | سرب | روی | کادمیوم |
|---|---|---|---|---|---|
| **توبینی** | سطح معنی داری | ۰/۰۴۴ | ۰/۵۰۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۱ |
| | ضریب هم‌بستگی | ۰/۶۴۶* | ۰/۲۴۰ | ۰/۹۵۹** | ۰/۸۹۲** |
| **برزم** | سطح معنی داری | ۰/۵۲۹ | ۰/۸۳۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۱۴ |
| | ضریب هم‌بستگی | ۰/۲۲۷ | -۰/۰۷۵ | ۰/۹۵۷** | ۰/۷۴۴* |
| **نازک** | سطح معنی داری | ۰/۲۶۴ | ۰/۷۶۷ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۳ |
| | ضریب هم‌بستگی | ۰/۳۹۱ | -۰/۱۰۸ | ۰/۹۶۵** | ۰/۸۲۸** |
| **حمری** | سطح معنی داری | ۰/۰۰۰ | ۰/۴۲۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۴۷۶ |
| | ضریب هم‌بستگی | ۰/۹۵۱** | ۰/۲۸۷ | ۰/۹۷۳** | ۰/۲۵۶ |

**هم‌بستگی سطح ۹۹ ٪، *هم‌بستگی سطح ۹۵ ٪

مطابق جدول (۶) مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص آلودگی فلزات یا شاخص بارگیری آلودگی نشان داده شده است:

**جدول ۶- شاخص آلودگی فلزات**

Table 6. Heavy metal pollution index

| گونه ماهی | *Carasobarbus luteus* | *Chondrostoma regium* | *Luciobarbus pectoralis* | *Capoeta trutta* |
|---|---|---|---|---|
| مقادیر شاخص MPI | ۰/۸۶۱ | ۰/۵۹۱ | ۰/۸۱۷ | ۰/۹۵۳ |

## بحث و نتیجه‌گیری

### داده های ماهی

مقادیر به دست آمده از میانگین کلی غلظت فلزات در بافت عضله بیان‌گر روند کاهشی زیر می‌باشد (جدول ۷):

مس> روی > کادمیوم> سرب

فلزات پس از ورود به گردش خون در اندام‌های بدن توزیع می-شوند. میزان این انتشار در اندام‌ها به عواملی مانند نیاز غذایی بدن ماهی به عنصر مورد نظر (مس و روی)، تمایل سیستم دفاعی به دفع فلز (کادمیوم و سرب) و تغییراتی که بر فلز وارد شده در سلول‌ها روی می‌دهد، بستگی دارد. کادمیوم و سرب از جمله عناصری هستند که احتمالاً ماهیان قادر به تنظیم آن بوده و با اتصال به متالوپروتین‌ها به شکل متالوتیونین از طریق موکوس آب‌شش‌ها دفع می‌گردند (۸). الگوی تجمع فلزات در گونه‌های مختلف به صورت زیر است (شکل‌های ۱ ، ۲ ، ۳ و۴):

*Capoeta trutta , Luciobarbus pectoralis*: مس> روی > کادمیوم> سرب

*Chondrostoma regium, Carasobarbus luteus*: مس> روی > سرب> کادمیوم

تشابه در روند تجمع فلزات احتمالاً به دلیل نحوه‌ی زیست مشابه بین گونه‌های خانواده‌ی کپور ماهیان است. از آن‌جایی که خانواده‌ی کپور ماهیان همه چیز خوار بوده و بالغین اساساً از بی‌مهرگان، مواد خرده ریز بستر، مواد گیاهی و تخم ماهی تغذیه می‌کنند، چنین به نظر می‌رسد برای موجود همه چیزخوار تفاوتی در توزیع منابع غذایی وجود ندارد که سبب ایجاد اختلاف سطح گردد (۲۳). با وجود این تفاوت‌های جزیی در تجمع فلزات سرب و کادمیوم در گونه‌های مختلف، احتمالاً ناشی از تفاوت‌های فردی-گونه‌ای، فیزیولوژیکی- متابولیکی و نحوه‌ی زندگی این گونه‌ها می‌باشد (۲۵). بیش‌تر بودن مقادیر

غلظت سرب نسبت به کادمیوم در گونه‌های نازک و حمری با مطالعات دادالهی سهراب و همکاران در سال ۱۳۸۷ (۲۵) و محمدی و همکاران در سال ۱۳۸۹ (۱۰) بر روی ماهی شیربت مطابقت دارد.

به‌منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در بافت عضله با استانداردهای مختلف، در جدول (۷) مقادیر غلظت فلزات در این مطالعه و مقادیر استانداردهای جهانی فلزات آورده شده است.

**جدول ۷- مقایسه غلظت فلزات در بافت عضله ماهی با آستانه‌ی استانداردهای بین‌المللی (میکروگرم بر گرم وزن خشک)**

Table 7. Comparison of heavy metals concentration in muscle fish to International standards (µg/g dry weight)

| | فلز مس | فلز سرب | فلز روی | فلز کادمیوم | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| WHO[1] | ۱۰ | ۰/۵ | ۱۰۰۰ | ۰/۲ | (۲۶) |
| FDA[2] | - | ۵ | - | ۱ | (۲۷) |
| NHMRC[3] | ۱۰ | ۱/۵ | ۱۵۰ | ۰/۰۵ | (۲۸) |
| UK (MAFF)[4] | ۲۰ | ۲ | ۵۰ | ۰/۲ | (۲۹) |
| مطالعه حاضر | ۰/۰±۷۷۱/۰۹۱ | ۰/۰±۱۰۵/۰۴۶ | ۵۸/۱۶±۵۳/۱ | ۰/۰±۱۱۶/۰۶۵ | – |

1 Word Health Organization
2 Food and Drug Administration
3 National Health and Medical Research Council
4 Ministry of Agriculture Fisheries and Food

نتایج حاصل از آزمون آماری Independent Sample T-test نشان داد، بین غلظت این فلزات با استانداردهای تعریف شده اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) وجود دارد که مقایسه‌ی میانگین مقادیر به دست آمده از این مطالعه با استانداردهای جهانی نشان می‌دهد که غلظت فلز مس و سرب از حد استانداردهای مختلف پایین‌تر بوده اما غلظت فلز روی از استاندارد جهانی وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان و نیز غلظت فلز کادمیوم از استاندارد انجمن بهداشت ملی و تحقیقات پزشکی استرالیا بالاتر می‌باشند. این نتایج مطالعات عسکری ساری و همکاران (۱۳۹۰) بر روی ماهی بیاه رودخانه کارون و بهمن‌شیر (۳۰)، مطالعه عسکری ساری و همکاران در سال (۱۳۹۰) بر روی ماهی بیاه رودخانه دز و بهمن‌شیر در رابطه با فلز کادمیوم (۹)، مطالعات ولایت زاده و طبیب زاده (۱۳۹۰) بر روی ماهی لوتک از رودخانه کارون، در رابطه با فلزات سرب و کادمیوم (۱۱)، مطالعات خیرو و دادالهی سهراب (۱۳۸۹) بر روی ماهی شیربت در اروندرود در رابطه با فلزات کادمیوم و مس (۸)، مطالعات بندانی و همکاران (۱۳۸۹) بر روی ماهی کپور در سواحل استان (۲۳) و مطالعات زلقی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی ماهی برزم در رودخانه کارون در رابطه با فلز سرب (۳۱) مطابقت دارد.

در حالت‌های خاص موجودات آب‌زی قادرند غلظت‌های بالایی از این فلزات را در خود جای دهند بدون این‌که ظاهراً به خود آن‌ها آسیبی وارد آید. ولی مصرف آن‌ها توسط انسان می‌تواند باعث اختلال در سلامتی و حتی مسمومیت گردد. مساله اساسی مقادیر قابل تحمل فلزات توسط انسان می‌باشد. اعضای پایین‌تر زنجیره‌ی غذایی مانند پلانکتون‌ها می‌توانند فلزات را در خود محبوس سازند. زمانی که پلانکتون‌ها توسط اعضای بالاتر زنجیره غذایی خورده می‌شوند این فلزات به آن‌ها منتقل می‌شود. به این ترتیب مقادیر فلزات از طریق بزرگ‌نمای زیستی افزایش می‌یابد. جدول (۸) مقادیر قابل تحمل فلزات را در بافت ماهی نشان می‌دهد.

**جدول ۸- مقادیر قابل تحمل فلزات مورد مطالعه در ماهی (میکروگرم بر گرم وزن خشک)**

Table 8. Tolerable amounts of heavy metals in fish (µg/g dry weight)

| | فلز مس | فلز سرب | فلز روی | فلز کادمیوم | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| UNEP | - | ۰/۳ | - | ۰/۳ | (۳۲) |
| IAEA-407 | ۳/۲۸ | ۰/۱۲ | ۶۷/۱ | ۰/۱۹ | (۱۵) |
| TFC | ۲۰ | ۰/۲ | - | ۰/۰۵ | (۳۳) |
| Directive 2005/78/EC | - | ۰/۲ | - | ۰/۰۵ | (۳۴) |

نتایج حاصل از آزمون آماری Independent Sample T-test نشان داد، بین غلظت این فلزات با مقادیر قابل تحمل، اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) وجود دارد که مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده از غلظت فلزات مورد مطالعه در گونه‌های مختلف ماهی بیان می‌کند سطوح فلزات مس، سرب و روی از مقادیر قابل تحمل ارایه شده کم‌تر بوده اما مقادیر به دست آمده از غلظت فلز کادمیوم در گونه‌های تویینی و برزم معمولی از مقادیر ارایه شده توسط TFC و EC بالاتر می‌باشد. این موضوع بیان‌گر وضعیت آلودگی درحال رسیدن به سطوح خطرناک برای سلامتی انسان می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعات Öztürk et al. در سال ۲۰۰۹ نشانه بالاتر بودن غلظت‌های به دست آمده برای فلزات سرب و کادمیوم از سطح قابل تحمل می‌باشد که در رابطه با فلز کادمیوم با نتایج مطالعه‌ی حاضر مطابقت دارد (۵). نتایج حاصل از مطالعات Mohammed و همکاران در سال ۲۰۱۲ بیان‌گر بالاتر بودن غلظت فلزات مس و سرب از مقادیر قابل تحمل آژانس بین المللی انرژی اتمی می‌باشد که با نتایج مطالعه‌ی حاضر مطابقت ندارد (۱۵).

در جدول (۹) جهت مقایسه نتایج پژوهش حاضر، مقادیر به دست آمده از سایر مطالعات بر روی عضله‌ی ماهیان که اکثر

آن‌ها از خانواده‌ی کپور ماهیان بوده و یا در رودخانه‌ی دز یافت می‌شوند، آورده شده است.

**جدول ۹- مقادیر به دست آمده از سایر مطالعات بر روی تجمع فلزات در عضله ماهی (میکروگرم بر گرم وزن خشک)**

Table 9. Heavy metals concentration in muscle fish of some study (µg/g dry weight)

| گونه | مس | سرب | روی | کادمیوم | مکان | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cyprinus carpio* | - | ۰/۰۷۹ | ۲/۲۷۶ | ۰/۰۳۹ | سواحل گلستان | (۲۳) |
| *Barbus grypus* | - | ۱/۲۹۴۴ | - | ۱/۰۹۹۷ | رودخانه دز | (۱۰) |
| *Liza abu* | ۰/۷ | - | ۰/۳۳ | - | رودخانه دز | (۱) |
| *Barbus grypus* | ۲/۶۸ | ۱۶/۴۲ | - | ۲/۸۳ | اروندرود | (۸) |
| *Cyprinion macrostomus* | - | ۰/۲۲۲ | - | ۰/۱۱۱ | رودخانه کارون | (۱۱) |
| *Liza abu* | - | ۰/۹۰۳ | - | ۰/۳۴۸ | رودخانه دز | (۹) |
| *Liza abu* | - | ۰/۹۳۰ | - | ۰/۴۳۴ | رودخانه بهمن‌شیر | (۹) |
| *Otolithes rubber* | - | ۱/۸۹ | - | ۰/۵۸ | خرم‌شهر | (۱۳) |
| *Pampus argenteus* | - | ۱/۵۲ | - | ۰/۴۸ | خرم‌شهر | (۱۳) |
| *Hypophthalmichthys molitrix* | ۰/۷۷۱ | ۰/۵۲۹ | ۳/۳۹ | ۰/۰۶۲ | Yangtze River | (۱۶) |
| *Ctenopharyngodon idellus* | ۰/۸۳۴ | ۰/۲۱ | ۲/۸ | ۰/۰۴۵۷ | Yangtze River | (۱۶) |
| *Carassius auratus* | ۰/۹۳۴ | ۰/۸۱۱ | ۶/۴۴۵ | ۰/۱۳۲ | Yangtze River | (۱۶) |
| *Cyprinus carpio* | ۰/۹۹ | ۰/۴۳ | ۵/۰ | ۰/۰۹۶ | Yangtze River | (۱۶) |
| *Cathorops spixii* | ۲۰/۱ | ۰/۸۹ | ۴۳۹ | - | Caroni | (۱۵) |
| *Cathorops spixii* | ۱۸/۷ | ۰/۴۴ | ۲۶۵ | ۰/۰۵ | Point Lisas | (۱۵) |

مقایسه میانگین غلظت به دست آمده از این مطالعه در اکثر موارد از مقادیر به دست آمده در سایر مطالعات کم‌تر بوده، به جز در رابطه با غلظت فلز روی که از غلظت این فلز در اکثر مطالعات بیش‌تر می‌باشد. هر گونه تغییر در روند جذب و تجمع عناصر در ماهی می‌تواند به دلیل تأثیرگذاری عوامل مختلف از قبیل نوع عنصر، گونه‌ی ماهی، جنسیت، وزن، سن آبزی (ماهیان جوان قدرت جذب بالایی دارند)، عادات غذایی، خصوصیات فیزیولوژیک ماهی، خصوصیات اکولوژیک و شرایط محیطی، خواص فیزیکوشیمیایی محیط از قبیل سختی آب، درجه حرارت، مواد مغذی باشد (۸).

**هم‌بستگی بین غلظت فلزات در بافت عضله گونه‌های مختلف ماهی**

مطابق جدول (۴) همان طور که مشاهده می‌گردد، بیش‌ترین هم‌بستگی بین فلز کادمیوم و روی و نیز کادمیوم و سرب می‌باشد. این امر می‌تواند مربوط به ساختار زمین‌شناسی باشد که به طور معمول سنگ معدن روی غنی از روی است و نیز ماهیت این دو فلز کادمیوم و روی که در جدول تناوبی در یک گروه قرار می‌گیرند. از سوی دیگر بالا بودن مقدار عامل تغلیظ زیستی در دو فلز روی و کادمیوم می‌تواند توانایی بالای انتقال و تحرک این دو فلز در طول زنجیره غذایی باشد که این امر هم‌بستگی و رفتار مشابه این دو فلز را می‌تواند تا حدودی توجیه‌پذیر سازد. از سویی هم‌بستگی بین مس و روی در گونه حمری

می‌تواند به ماهیت نزدیک به هم و نیز مغذی بودن آن‌ها برای ماهی مرتبط باشد.

**شاخص‌های(CF) و (MPI) در ماهی**

تجزیه و تحلیل عامل وضعیت در این مطالعه نشان می‌دهد، گونه‌های مختلف ماهی شرایط مناسبی از نظر سلامتی و تحمل استرس های محیطی دارا نیستند؛ زیرا مقادیر CF به دست آمده برای آن‌ها خارج از محدوده‌ای قرار گرفته که به عنوان دامنه مناسب برای ماهیان آب‌های آزاد معرفی شده است (۴/۸-۲/۹). این مساله می‌تواند نتیجه تأثیر عوامل محیطی بوده و به این حقیقت اشاره دارد که شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه از رودخانه‌ی دز در مقایسه با بستر آب‌های آزاد برای ماهی‌ها نامساعد می‌باشد (۳۵). اما نتایج بررسی ارتباط بین غلظت فلزات در گونه‌های مختلف با عامل وضعیت (جدول ۵) بیان‌گر وجود هم‌بستگی مثبت و معنی دار بین تجمع فلزات و مقادیر به دست آمده از (CF) در اکثر موارد می‌باشد. این هم‌بستگی در رابطه با فلز روی و کادمیوم در گونه‌های مختلف محسوس‌تر بوده و در گونه‌ی تووینی هم‌بستگی بین تجمع فلز و عامل وضعیت چشم‌گیرتر است.

براساس نتایج حاصل و محاسبه شاخص MPI، می‌توان مدل زیر را از شاخص آلودگی فلزات ارایه داد (جدول ۶):

مقدار این شاخص در گونه‌های مورد بررسی اختلاف چندانی با یک‌دیگر ندارد. این احتمال مطرح است که به علت همه-چیزخوار بودن خانواده کپور ماهیان، تفاوت چندانی در توزیع منابع غذایی وجود ندارد که منجر به اختلاف چشم‌گیری شود. با وجود این، گونه تووینی نسبت به سایر گونه‌ها توانایی بیش-تری در بارگیری آلودگی دارد. مقدار عامل وضعیت در این گونه نسبت به گونه‌های برزم و نازک بالاتر بوده و از نظر رژیم غذایی، به تغذیه از جلبک‌های سبز و حشرات آب‌زی تمایل دارد. هم-چنین در این گونه غلظت کادمیوم بیش‌تر از سرب بوده که مطابق نتایج ارایه شده در جدول (۱۱) عامل تغلیظ زیستی در این تحقیق، کادمیوم بیش‌تر از سایر فلزات از محیط اطراف جذب موجود زنده می‌شود. این مسایل می‌تواند استدلالی بر بالا بودن شاخص بارگیری آلودگی این گونه نسبت به سایر گونه‌ها باشد.

در مقایسه بعد از تووینی، گونه‌ی حمری دارای بیش‌ترین مقدار عامل وضعیت بوده که می‌تواند نمایان‌گر مقاوم‌تر بودن گونه نسبت به استرس‌های محیطی باشد، اما تمایل بیش‌تر آن به گیاه‌خواری می‌تواند منجر به تجمع کم‌تر فلزات نسبت به گونه-ی تووینی شود. از طرفی در این گونه تجمع سرب بیش‌تر از کادمیوم است و فلز سرب از نظر عامل تجمع بیولوژیکی دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد.

گونه‌های نازک و برزم نیز دارای مقادیر عامل وضعیت نسبتاً مشابهی هستند، اما از نظر شاخص بارگیری آلودگی، گونه‌ی برزم دارای توانایی بیش‌تری در تجمع فلزات است که در این گونه نیز تجمع فلز کادمیوم بیش‌تر از سرب است. در کل می توان اختلاف بین مقادیر شاخص بارگیری آلودگی را به تفاوت-های بین گونه‌ای نسبت داد.

**داده‌های رسوب**

میانگین غلظت در رسوبات با اختلاف چشم‌گیری از میانگین-های غلظت در بافت عضله بیش‌تر است که با نتایج Mendil and Uluozlii در سال ۲۰۰۶ مطابقت دارد (۳۶). در رابطه با غلظت فلزات در رسوبات روند کاهشی زیر برقرار است (جدول ۳):

مس< روی < سرب< کادمیوم

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، روند کاهشی غلظت فلزات در رسوبات و بافت عضله گونه‌های نازک و حمری کاملاً مشابه است، اما در تجمع فلزات کادمیوم و سرب با گونه‌های برزم و تووینی اختلاف جزیی وجود دارد. در جدول (۱۰) غلظت فلزات در رسوبات این مطالعه در مقایسه با رسوبات دیگر مناطق آورده شده است.

**جدول ۱۰- مقایسه مقادیر غلظت فلزات مورد مطالعه در رسوبات با مطالعات دیگر (میکرو گرم بر گرم وزن خشک)**

Table 10. Comparison of sediment heavy metal concentration with other studies (µg/g dry weight)

| مکان | Cu | Pb | Zn | Cd | منابع |
|---|---|---|---|---|---|
| Hindon River, India | ۹/۱۹۵-۴۲/۱ | ۵/۵۹-۰۷/۱ | ۳/۸۵-۹۸/۰ | ۱/۳-۱۵/۴۷ | (۳۷) |
| Tigris River, Turkey | ۱۹۴۱/۹ | ۳۹۳/۹ | ۵۳۰/۴ | ۲/۴ | (۳۸) |
| Tigris River, Turkey | ۱۲۵۷/۷۶ | ۳۸۰/۴۵ | ۵۰۹/۸۴ | ۳/۰۲ | (۳۹) |
| اروند رود | ۲۵/۲۱ | ۴۷/۰۷ | - | ۷/۵۰ | (۸) |
| رودخانه دز | ۱۶/۹۹۲ | ۳/۹۷۵ | ۱۳۲/۲۹ | ۰/۱۴۱ | مطالعه حاضر |

در اکثر مطالعات انجام شده منابع آلاینده بیش‌تر ناشی از فاضلاب‌های صنعتی، تردد کشتی‌های تجاری، نفت‌کش‌ها، وقوع آتشفشان‌ها و ..... می باشد. این در حالی است که رودخانه‌ی دز محیطی نسبتاً بکر و دست‌نخورده‌تر است، لذا نتایج حاصل از این مطالعه از مقادیر به دست آمده در سایر مطالعات کم‌تر می-باشد.

**ماهی، رسوب و عامل(BCF)**

مطابق جدول (۱۱) مقادیر حاصل از محاسبه‌ی عامل تغلیظ زیستی و میانگین غلظت به دست آمده از رسوبات این مطالعه در مقایسه با راهنمای کیفیت رسوب کانادا و سطوح قابل تحمل آژانس بین‌المللی انرژی اتمی آورده شده است:

**جدول ۱۱- مقادیر عامل تغلیظ زیستی و مقایسه میانگین غلظت فلزات در رسوبات با مقادیر قابل تحمل و استاندارد کشور کانادا (۱۶)**

Table 11. Bio concentration factor and Comparison of sediment heavy metal concentration with tolerable amount and Canadian standard

| فلزات | BCF | CaISQG[1] | سطح قابل تحمل IAEA[2]407 | میانگین غلظت فلزات در مطالعه حاضر |
|---|---|---|---|---|
| Cu | ۰/۰۴۵ | ۱۸/۷ | ۳۰/۸ | ۱۶/۱±۹۹۲/۲۴ |
| Pb | ۰/۰۲۶ | ۳۰/۲ | ۲۶ | ۳/۰±۹۷۵/۹۵۸ |
| Zn | ۰/۴۴۲ | ۱۲۴ | ۱۰۱ | ۱۳۲/۲۶±۲۹/۱۷۵ |
| Cd | ۰/۸۲۲ | ۰/۷ | ۰/۱۵ | ۰/۰±۱۴۱/۰۳۷ |

1- Canadian Interim Sediment Quality Guidelines
2- International Atomic Energy Agency

مقایسه‌ی میانگین غلظت فلزات در رسوبات با سطح قابل تحمل IAEA و راهنمای کیفیت رسوب کانادا، بیان‌گر پایین‌تر بودن میانگین غلظت فلز مس، سرب و کادمیوم و بالاتر بودن میانگین غلظت فلز روی در رسوبات این مطالعه می‌باشد. در این مطالعه غلظت فلز روی هم در رسوبات و هم در بافت عضله دارای بیش‌ترین مقدار بوده و از سطح استانداردهای جهانی مربوط به بافت خوراکی ماهیان بالاتر می‌باشد که با نتایج قوتی و همکاران (۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد (۲). از آن‌جایی‌که روی در طبیعت به ندرت به صورت یون‌های آزاد وجود دارد و اغلب در ترکیب با سایر عناصر معدنی یافت می‌شود، در غلظت‌های بالاتر از نیاز زیستی برای آب‌زیان سمی می‌باشد. افزایش سطوح روی در زیست‌بوم‌های آبی می‌تواند بر اثر تخلیه‌ی پساب‌های صنعتی، تخلیه و رسوب روی از طریق اتمسفر، فاضلاب‌های محلی، مواد زاید فعالیت‌های معدنی، مصرف آفت‌کش‌ها و ... باشد (۲).

نتایج حاصل از محاسبه عامل تغلیظ زیستی از روند کاهشی زیر برخوردار است که بالا بودن مقادیر این عامل بیان‌گر جذب بیش‌تر این فلزات از محیط می‌باشد.

مقادیر عامل تغلیظ زیستی :<مس <روی < کادمیوم سرب

به‌منظور بررسی ارتباط بین غلظت عناصر مورد مطالعه در رسوبات و بافت عضله، تحلیل آماری داده‌ها با به کارگیری ضریب هم‌بستگی اسپیرمن صورت گرفت و نتایج نشان داد که هیچ‌گونه ارتباطی میان آن‌ها وجود ندارد ($p>۰/۰۵$) که با نتایج خیرو و دادالهی سهراب (۱۳۸۹) در رابطه با فلزات مس، سرب و کادمیوم مطابقت دارد (۸).

در نهایت می‌توان گفت نتایج این تحقیق نشان دهنده بالا بودن مقادیر دو عنصر کادمیوم و روی در بافت عضله ماهیان مورد مطالعه در مقایسه با استاندارد بین‌المللی می‌باشد. در این مطالعه باقیمانده‌ی فلزات تنها در بافت عضله ماهیان، مورد بررسی قرار گرفت. این در حالی است که میزان تجمع و ذخیره‌ی فلزات در بافت عضله بسیار ناچیز و به مراتب کم‌تر از سایر بافت‌ها از جمله بافت کبد، کلیه و آبشش‌ها می‌باشد و احتمال حضور باقی‌مانده‌ی فلزات در کبد و کلیه‌ی این ماهیان بسیار بالا است. از سویی ورود تدریجی فلزات به محیط آبی منجر به تجمع این مواد در بستر شده که تنها بخشی از آن از طریق چرخه‌ی غذایی در بدن ماهی ذخیره می‌گردد و سایر موجودات آب‌زی اعم از بنتوزها، گیاهان و پلانکتون‌ها نیز از خطرات فلزات در امان نیستند. میزان بالای غلظت کادمیوم در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان به مهم‌ترین منبع آلاینده‌ی رودخانه یعنی پساب‌های کشاورزی ناشی از کوددهی بیش از حد مزارع کشاورزی مشرف به رودخانه ارتباط داد. کودهای فسفاته در امر کشاورزی با مقادیر بیش از حد کادمیوم می‌تواند نقش موثری در افزایش کادمیوم در آب، رسوبات بستر، گیاهان و نهایتاً اندام‌های موجودات آب‌زی رودخانه داشته باشد. از دیگر عوامل مؤثر در افزایش بار آلودگی خصوصاً در پایین دست این رودخانه می‌توان به تخلیه پساب‌های صنعتی، کشاورزی، بیمارستانی و شهری اشاره نمود. بنابراین جلوگیری از تخلیه مستقیم پساب به رودخانه دز و مجهز نمودن صنایع مختلف به سیستم تصفیه فاضلاب، استفاده از کودهای فسفاته استاندارد با درصد کادمیوم پایین در امور کشاورزی، عدم استفاده‌ی بی‌رویه از سموم و آفت‌کش‌ها، شناسایی منابع آلاینده‌ی احتمالی و ... می‌تواند کاهش چشم‌گیری در میزان بار آلودگی ناشی از این فلزات داشته باشد.

## Reference


1. Beheshti, M., Askari Sari, A., Khodadadi, M., Velayate Zadeh, M., 2010, Measurement and comparison of concentrations of heavy metals (Cu, Fe, Zn, Mn) in different species of *Liza abu* in Dez River of Khuzestan Province. Journal of Wetland, Islamic Azad University of Ahvaz. 6, 79-71. (In Persian)
2. Ghovati, N., Mohammadi, S., Mohammadi, V., 2011, Comparison of hardness and alkalinity changes with heavy metal poisoning in common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Islamic Azad University Wetland of

Ahvaz Branch. 8, 28-21. In Persian

3. Bagheri, H., Sharmad, T., Khairabadi, V., Bastami Darvish, K., Bagheri, Z., 2011, Measurement and evaluation of heavy metal pollution in Gorganrood River sediments. Journal of Oceanography. 5, 39-35. (In Persian)
4. Sia Su, Glenn L., Ramos, Gliceria B., Sia Su, Maria Lilibeth L., 2013. Bioaccumulation and histopathological alteration of total lead in selected fishes from Manila Bay, Philippines. Biological Sciences 20, 353-355.
5. Özturk, M., Özözen, G., Minareci, O., Minareci, E., 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam lake in Turkey. Environmental Health Science Engineering 6(2), 73-80.
6. Dogan M. and Yilmaz A.B., 2007. Heavy metals in water and in tissues of Himri *(Carasobarbus luteus)* from Orontes (Asi) River Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 53, 161-163.
7. Askari Sari, A., 2009, Investigation of heavy elements (lead, mercury and cadmium) in native freshwater fish of *Barbus graypus* and *Liza abu* in Karun and Karkheh rivers in winter, Journal of Marine Biology. 4, 107-95. (In Persian)
8. Kheiro, N and Dadollahi S, A., 2010, Heavy metal concentrations in sediments and shrimp (*Barbus grypus*) in Arvandrood. Journal of Environmental Science and Technology. 12(2) 131-123. (In Persian)
9. Askari Sari, A., Velayate Zadeh, M., Khodadadi, M., Kazemian, M, 2011, Mercury, Lead and Cadmium levels in the lizards of Diza and Bahmanshir rivers, Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research. 9(3), 1-12. (In Persian)
10. Mohammadi, M., Askari Sari, A., Khodadadi, M., 2009. Cadmium and Lead levels in muscle and liver of *Barbus grypus* in Dez River. Journal of Wetland, Ahvaz Islamic Azad University. 1(4), 96-91. (In Persian)
11. Velayate Zadeh, M., Tabibzadeh, M., 2011, Study and comparison of Mercury, Cadmium and Lead heavy metal accumulation in muscle and liver of *Cyprinion macrostomus.* Journal of Food Science and Technology.1, 27-32. (In Persian)
12. Khorasani, N., Hussein, S, M., Pourbagher, H., Hosseini, S, V., Aflaki, F., 2013, Measurement of some heavy metals in *Otolithes ruber*: a case study of Mahshahr Port. Journal of Natural Environment. 66(2), 190-181. (In Persian)
13. Khazaee, S, H., Ahmadi Alkoubi, Z., Shahriari, M., 2013, Evaluation of Lead, Nickel and Cadmium concentrations in consumed fishes of Khorramshahr. Jundishapur Journal of Medical Science. 85, 418-409. (In Persian)
14. Mendil, D., Ünal, Ö. F., Tüzen, M., Solak, M., 2010. Determination of trace metals in different fish species and sediments from the River Yeşilırmak in Tokat, Turkey. Food and Chemical Toxicology 48, 1383-1392.
15. Mohammed, A., May, T., Echols, K., Walther, M., Manoo, A., Maraj, D., et al., 2012. Metals in sediments and fish from Sea Lots and Point Lisas Harbors, Trinidad and Tobago. Marine pollution bulletin 64, 169-173.
16. Yi, Y.J., Zhang, S.H., 2012. The

relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River, Procedia. Environmental Sciences. 13, 1699-1707.

17. Omar, W. A., Zaghloul, Kh. H., Abdel-Khalek, A. A., Abo-Hegab S., 2012. Genotoxic effectes of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. Mutation Research. 746 (1), 7-14.
18. Schreck, C. B., Moyle, P. B., 1990. Methods for fish Biology, American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
19. Usero, J., Gonzalez-Regalado, E., Gracia, I., 1997. Trace metal in the bivalve mollusks *Ruditapes decussates* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic coast of southern Spain. Environment International. 23, 291-298.
20. Zare., M., Hamidian, A, H., Pourbagher, H., Ashrafi, S., Vaziri, L., 2012, Green Algae: biological indicator of heavy metal pollution in the Salt River, Robat Karim. Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources. 65(2), 204-193. (In Persian)
21. Mendoza-Carranza, M., Sepúlveda-Lozada, A., Dias-Ferreira, C., 2016. Distribution and bioconcentration of heavy metals in a tropical aquatic food web: A case study of a tropical estuarine lagoon in SE Mexico Violette Geissen. Environmental Pollution. 210, 155-165.
22. Yap, C.K., Ismail, A., Cheng, W.H., Tan, S.G., 2006. Crystalline style and tissue redistribution in *Perna viridis* as indicators of Cu and Pb bioavailabilities and contamination in coastal waters. Ecotoxicology and Environmental Safety. 63, 413-423.
23. . Bandani, G, A., Rostami, kh., Yalgi, H., Shekarzadeh, M., Nazari, H, 2010, Heavy metal levels (lead, cadmium, chromium and zinc) in muscle and liver of carp (*Cyprinus carpio*) offshore of Golestan province. Iranian Fisheries Journal.19(4), 10-1. (In Persian)
24. Pashahirad, S., Saeedi, H., Abtahi, B., Keyabi, B, 2010, Evaluation of some heavy metal's accumulation in the soft and crustal texture of edible bivalves (*Amiantis umbonella*) in Bandar Abbas coast, Persian Gulf. Journal of Animal Environment. 2, 9- 22. In Persian
25. Dadelahi, Sohrab, A., Nabavi, M, B., Khiru, N., 2008, Relationship between some biomaterial characteristics with heavy metal accumulation in muscle tissue and gill of *Barbus grypus* in Arvand River. Iranian Fisheries Journal. 17(4), 27-27. (In Persian)
26. WHO, 1985. Review of potentially harmful substances- cadmium, lead and tin. WHO, Geneva. (Repotrs and Studies No. 22. MO/ FAO/ UNESCO/ WMO/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution).
27. Chen, Y.C. and Chen, M.H., 2001. Heavy metal concentration in nine species of fishes caught in coastal-waters off Ann-Ping, S.W. Taiwan. Food and Drug Analysis 9, 107-114.
28. Darmono, D. and Denton, G.R.W., 1990. Heavy metal concentration in the banana prawn *Penaeus merguiensis* and leader prawn *P. monodon* in the Townsvile region of

Australia. Environmental Contamination and Toxicology 44, 479-486.

29. MAFF., 1995. Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1993. Aquatic Environment Monitoring Report No. 44. Direcorate of Fisheries Research, Lowestoft.
30. Askari Sari, A., Velayatzadeh, M., Beheshti, M., Khodadadi, M., 2011, Heavy metals accumulation of mercury, lead and cadmium in the tissues of *Liza abu* in Karun and Bahmanshir Rivers, Khuzestan province. Iranian Journal of Fisheries. 2, 140-131. (In Persian)
31. Zalaghi, F., Haieripour, S., Askari Sari, A., 2011, Evaluation of lead and cadmium concentration in liver and muscle tTissues of *Barbus Pectoralis* in Karun River. Journal of Wetland, Ahmad Ahwaz Islamic Azad University. 8, 75-68. (In Persian)
32. UNEP, 1985. Reference Methods for Marine Pollution Studies, Determination of total Hg in marine sediments and suspended solids by cold vapour AAS, 26.
33. TFC, Turkish Food Codes, 2002. Official Gazette, 23 September 2002, No. 24885.
34. EC (European Commission), 2005. Commission Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals, L 16/43–45.
35. Uttah, C., Utth, E., Ayanda, I., 2012. Environmental Quality Assessment of Anthropogenically Impacted Estuary using Fish Genera Composition, Tissue Analysis, and Condition Factor. Science and Technology 13 (2), 537-542.
36. Mendil, D., Uluozlii, O.D., 2006. Oetermination of trace metal levels in sediment and five fish species form lakes in Tokat Turkey. Food Chemistry 2, 281-285.
37. Suthar, S. Nema, A.K. Chabukdhara, M. Gupta, S.K., 2009. Assessment of metals in water and sediments of Hindon River, India: Impact of industrial and urban discharges. Hazardous Materials 171, 1088-1095.
38. Varol M., 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. Hazarous Materials 195, 355-364.
39. Varol, M., Sen B., 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. Catena 92, 1-10.