

## ***Heavy Metal Concentrations in Edible Tissue of *Cyprinus Carpio* and Its Target Hazard Quotients in the Southern Iranian Caspian Sea Coast, (2010)***

Hassan Nasrollahzadeh Saravi<sup>1</sup>,  
Reza Pourgholam<sup>1</sup>,  
Nima Pourang<sup>2</sup>,  
Maryam Rezaei<sup>1</sup>,  
Asieh Makhloogh<sup>1</sup>,  
Horieh Unesipour<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Caspian Sea Ecology Research Centre, Sari, Iran  
<sup>2</sup> Institute of Fisheries Research Organization, Tehran, Iran

(Received February 24, 2013 ; Accepted June 26, 2013)

### ***Abstract***

**Background and purpose:** Heavy metals are non-degradable pollutants that could accumulate in marine animals including fish. The aim of this study was to determine the levels of six heavy metals (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd and Hg) in edible tissue of Caspian carp (*Cyprinus Carpio*). We also studied the bioaccumulation factor (BFA) and target hazard quotients (THQ) of this fish in the southern Iranian Caspian Sea coast.

**Materials and methods:** Twenty eight samples of fish were collected from seine and trawl during winter and spring 2010. Heavy metals were prepared (using Freeze dryer) by digestion and extraction process and then analyzed using atomic absorption equipped with flame, graphite and cold vapor system.

**Results:** Results showed that Zinc ( $185\pm 57$ ) and Cu ( $3.68\pm 0.30$ )  $\mu\text{g/g.dw}$  were seen more amongst the contaminants in the edible tissue of the Caspian carp. Concentration of Hg was  $0.50\pm 0.17$   $\mu\text{g/g.dw}$  and levels of Cd and Pb were below the limit of detection. BAF of metals were  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Hg}$ .

**Conclusion:** Ni, Cd and Pb in the Caspian carp muscle were lower than standard levels, but concentration of Hg was higher than the standard levels recommended by WHO, and ERL and ERM limits.

**Keywords:** Heavy metals pollutants, bioaccumulation, Target hazard quotients, Caspian carp

# مطالعه تجمع برخی از فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی کپور [*Cyprinus Carpio*] و برآورد میزان سیبل خطر در حوزه ایرانی دریای خزر [سال ۱۳۸۹]

حسن نصراله زاده ساروی<sup>۱</sup>

رضا پورغلام<sup>۱</sup>

نیما پورنگ<sup>۲</sup>

مریم رضایی<sup>۱</sup>

آسیه مخلوق<sup>۱</sup>

حوریه یونسی پور<sup>۱</sup>

## چکیده

**سابقه و هدف:** فلزات سنگین جزو آلاینده‌های غیر قابل تجزیه می‌باشند که بر موجودات در آب از جمله ماهی‌ها اثر می‌گذارند. این مطالعه به بررسی غلظت شش فلز سنگین (روی، مس، نیکل، سرب، کادمیم و جیوه) در بافت خوراکی ماهی کپور (*Cyprinus Carpio*) منطقه جنوبی دریای خزر در سال ۱۳۸۹ به همراه تجمع زیستی و برآورد میزان سیبل خطر می‌پردازد.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق تعداد ۲۸ نمونه ماهی کپور در پره‌های صیادی و به وسیله تور ترال طی فصول زمستان و بهار تهیه گردید. فلزات موجود در نمونه‌های مورد نظر پس از آماده‌سازی (خشک شدن در دستگاه فریز درایر) و انجام فرآیندهای استخراج و هضم، با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به سه سیستم شعله، گرافیت و سیستم بخار اندازه‌گیری گردیدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد حداکثر میانگین به همراه خطای معیار در بافت عضله ماهی کپور مربوط به فلزات روی و مس به ترتیب  $185 \pm 57$ ،  $30 \pm 0/68$  میکروگرم بر گرم وزن خشک بوده است. در میان فلزات سمی و غیر ضروری جیوه غلظتی برابر  $17 \pm 0/50$  میکروگرم بر گرم وزن خشک داشته است و دو فلز سرب و کادمیم زیر حد تشخیص دستگاه بوده‌اند. در ضمن فاکتور تجمع زیستی برای روی بیشتر از مس و در مورد مس بیشتر از جیوه بوده است.

**استنتاج:** مقادیر فلزات نیکل، کادمیم و سرب در عضله ماهی کپور دریای خزر در مقایسه با حد مجاز استانداردهای مختلف ناچیز بوده اما غلظت جیوه بیش تر از حد مجاز WHO مشاهده گردید.

**واژه‌های کلیدی:** آلاینده فلزی، تجمع زیستی، سیبل خطر، ماهی کپور دریای خزر

## مقدمه

استخراج، فرآیند ذوب، احتراق مواد سوختی و صنعتی شدن به محیط زیست راه یافته‌اند، از مسیرهای گوناگون مانند نزولات جوی، تخلیه مواد زائد، نشت اتفاقی، تخلیه آب توازن کشتی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی

تحولات ایجاد شده در بخش‌های صنعتی و کشاورزی و ارتقاء سطح زندگی بشر در دهه‌های اخیر، کاربرد فلزات سنگین را در زمینه‌های مختلف اجتناب‌ناپذیر نموده است. فلزات سنگین که به روش‌های مختلف نظیر

E-mail: hnsaravi@yahoo.com

مؤلف مسئول: حسن نصراله زاده ساروی - ساری: فرح آباد، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، صندوق پستی: ۹۶۱

۱. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، ساری، ایران

۲. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۶ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۲/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۵

پرداختند (۱۳-۱۰). با توجه به این که ماهی کپور (*Cyprinus Carpio*) یکی از ماهیان اقتصادی دریای خزر محسوب می گردد لذا، اندازه گیری غلظت شش فلز ضروری (مس و روی)، نیمه ضروری (نیکل) و غیر ضروری (سرب، کادمیم و جیوه) که بیشترین فراوانی را در سیستم‌های آبی دارا می‌باشند (۱۴)، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد به منظور تعیین تجمع زیستی و برآورد سیل خطر در بافت خوراکی آن و هم‌چنین مقایسه با مطالعات اخیر و استاندارد های جهانی حائز اهمیت است.

## مواد و روش‌ها

از آنجایی که پیک صید ماهی کپور دریای خزر در فصول زمستان و بهار می‌باشد و منطقه شرقی حوزه جنوبی دریای خزر زیستگاه اصلی این ماهی می‌باشد و بیش از ۹۵ درصد برداشت و صید این گونه در این ناحیه صورت می‌گیرد، لذا در این تحقیق تعداد ۲۸ نمونه ماهی کپور دریایی در حد امکانات آزمایشگاهی و اعتبار تحقیق در پره‌های صیادی (لاریم، نوذرآباد، جهان نما و بهشتی) و به وسیله تور ترال (کشتی تحقیقاتی پژوهشکده) طی فصول فوق در ناحیه ذکر شده تهیه گردید (جدول شماره ۱). ابتدا بیومتری (اندازه طول کل، وزن و جنسیت) ماهیان انجام شد و سپس بافت خوراکی آن‌ها جدا گردید و آن‌گاه با آب مقطر دوبار تقطیر شست و شو داده شدند. نمونه‌های آماده شده جهت نگهداری در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد فریز گردیدند. عمل هضم بر روی ۰/۳ گرم از نمونه خشک شده ماهی (به روش فریز درایر) با افزودن ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام گردید. برای اندازه‌گیری جیوه، عمل هضم با روش مشابه فوق و با افزودن ۴۵ میلی‌گرم (۰/۰۴۵I) اکسید وانادیم ( $V_2O_5$ ) انجام شد. نمونه‌های هضم شده پس از خنک شدن با افزودن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم (۲ درصد) به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند (۱۵). در تمام نمونه‌ها نمونه‌ای به عنوان شاهد برای تزیق دستگاه آماده سازی گردید.

و خانگی و فرسایش خاک به محیط‌های آبی منتقل می‌شوند (۲۰۱). به دنبال انتقال آلاینده‌های ذکر شده به محیط‌های دریایی ممکن است مقداری از برخی فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی یا از طریق آب توسط ماهی جذب شود (۳). سن، طول، وزن، جنسیت، عادت تغذیه‌ای، نیازهای اکولوژیک، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب، مدت زمان ماندگاری ماهی در محیط آبی، فصلی دو خواص شیمیایی آب (شوری، سختی، دما) عوامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهی می‌باشند (۴). آلاینده‌های آلی و معدنی از جمله عناصر سنگین پس از تجمع در بدن آب‌زیان و در جریان چرخه‌های زیستی به سطوح غذایی بالاتر و در نهایت به انسان منتقل می‌شوند. فلزات سنگین به علت اثرات سمی، توان تجمع زیستی در گونه‌های مختلف آب‌زیان و به دلیل وارد شدن به زنجیره‌های غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۵،۱).

در زمینه اندازه‌گیری فلزات سنگین در ماهیان دریای خزر مطالعات زیادی صورت گرفته است، که از میان آن‌ها می‌توان به تحقیقات صباغ کاشانی در عضله، کبد، کلیه، آبشش و تخمدان ماهی کفال (*Liza aurata*) دریای خزر، مطالعه واردی و همکاران بر روی بافت عضلانی ماهیان آزاد و سوف دریای خزر، مطالعه شریف فاضلی و همکاران در بافت‌های کبد، آبشش، کلیه، تخمدان و عضله ماهی کفال اوراتوس دریای خزر، مطالعه امینی رنجبر و ستوده در عضله ماهی کفال اوراتوس و صادقی راد و همکاران در بافت عضله و خاویار دو گونه از تاسماهیان دریای خزر اشاره کرد (۳، ۹-۶).

همچنین Pourang و همکاران به بررسی بافت خوراکی پنج گونه تاسماهی حوزه جنوبی دریای خزر، Agusa و همکاران به بررسی بافت عضله پنج گونه از ماهیان خاویاری کشورهای مختلف دریای خزر، Anan و همکاران به بررسی بافت ماهیان استخوانی مناطق مختلف کشورهای حاشیه دریای خزر، واردی و همکاران به بررسی بافت خوراکی ماهیان سفید و کفال سالینس دریای خزر

EFr = تناوب در معرض گذاری (۳۶۵ روز / سال)  
 EDtot = مدت معرض گذاری (باطول عمر متوسط ۷۰ سال) (۲۲)  
 SFI = نرخ قورت غذایی (۳۵ گرم / فرد / در روز) (۲۳)  
 (۲۰/۳ گرم / فرد / در روز) (۲۴).  
 MCS<sub>inorg</sub> = غلظت فلز در غذا (ماهی) (میکروگرم / کیلوگرم وزن تر)

R<sub>FD</sub> = دوز مرجع (میکروگرم / کیلوگرم / روز)  
 BW<sub>a</sub> = متوسط وزن بدن ۵۹/۹ کیلوگرم برای بزرگسالان  
 AT<sub>n</sub> = متوسط در معرض قرار گرفتن طی ۳۶۵ روز در سال  
 در شرایط غیر سرطانزایی (Noncarcinogens) و با  
 فرض ۷۰ سال (۲۵،۲۱) (۷۰ × ۳۶۵)  
 $10^{-3}$  = ضریب تبدیل (اگر وزن شخص به واحد گرم در  
 نظر گرفته شود نیاز به این ضریب تبدیل نیست).  
 دوز مرجع (TRV) برای فلزات روی، مس، نیکل،  
 سرب، کادمیم و جیوه به ترتیب برابر ۳۰۰، ۴۰، ۲۰،  
 ۲/۲۵، ۲ و ۰/۵ میکروگرم بر کیلوگرم در روز بوده  
 است. برای فلزاتی که زیر حد تشخیص دستگاه بوده‌اند  
 همان غلظت حد تشخیص (Limit of Detection=LOD)  
 در نظر گرفته شد. پس از محاسبه برآورد سیبل خطر  
 (THQ) هر فلز می‌توان شاخص خطر (HI) را براساس  
 معادله شماره ۳ محاسبه نمود:

معادله شماره ۳:

$$I(TTHQ) = THQ_{Zn} + THQ_{Cu} + THQ_{Ni} + THQ_{Pb} + THQ_{Cd} + THQ_{Hg}$$

ارزیابی خطر سلامت برای انسان بر اساس برآورد  
 سیبل خطر (THQ=Target Hazard Quotient) یعنی  
 نسبت دوز تعیین شده آلاینده به سطح دوز مرجع  
 (RfD) بیان می‌شود. اگر نسبت کم‌تر از ۱ باشد، خطر  
 آشکاری وجود نخواهد داشت. در غیر این صورت  
 اگر دوز مساوی یا بزرگ‌تر از RfD باشد نگرانی  
 خطرات سلامتی برای مصرف کنندگان وجود دارد (۲۰).  
 در تجزیه و تحلیل آماری با آزمون شاپیرو-ویلک و  
 رسم نمودار Q-Q نرمال بودن داده‌ها تأیید گردید (۲۶).  
 برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون‌های پارامتریک

جدول شماره ۱: موقعیت مکانی پره های صیادی و ترال کشی  
 جهت جمع آوری نمونه های ماهی کپور دریای خزر (سال ۱۳۸۹)

| ردیف | مکان                 | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|------|----------------------|---------------|---------------|
| ۱    | پره نودرآباد         | ۵۳ ۱۱ ۴۷      | ۳۶ ۴۹ ۴۷      |
| ۲    | پره جهان نما         | ۵۳ ۰۸ ۲۷      | ۳۶ ۴۹ ۰۴      |
| ۳    | پره بهشتی            | ۵۳ ۰۲ ۳۱      | ۳۶ ۴۷ ۳۰      |
| ۴    | پره آزادی لاریم      | ۵۲ ۵۷ ۰۸      | ۳۶ ۴۶ ۰۵      |
| ۵    | پره شهید قریشی لاریم | ۵۲ ۵۵ ۵۰      | ۳۶ ۴۵ ۴۰      |
| ۶    | منطقه ترال کشی       | ۵۳ ۴۷ ۱۵      | ۳۶ ۳۷ ۵۷      |

فلزات روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، سرب  
 (Pb)، کادمیم (Cd) و جیوه (Hg) با استفاده از جذب  
 اتمی (مدل Thermo-M5) مجهز به سه سیستم شعله،  
 گرافیتی و سیستم بخار با لامپ زمینه دوتریم تعیین  
 غلظت گردیدند. اندازه گیری جیوه به روش بخارات  
 سرد اتمی (Cold Vapour) با دستگاه مذکور انجام  
 گردید (۱۶). طول موج جذب برای فلزات روی، مس،  
 نیکل، سرب، کادمیم و جیوه به ترتیب برابر ۲۱۴، ۳۲۵،  
 ۲۳۲، ۲۱۷، ۲۲۹ و ۲۵۴ و حد تشخیص دستگاه (LOD)  
 به ترتیب ۰/۱۱ ppm، ۰/۰۲۷ ppm، ۰/۰۷۷ ppb،  
 ۰/۳۳ ppb، ۰/۳۹ ppb بوده است. ضمن آن که راندمان این  
 فلزات در دامنه ۸۹ تا ۱۰۵ درصد متغیر بود. تجمع  
 زیستی (Bioaccumulation Factor=BAF) براساس  
 فرمول شماره ۱ محاسبه شد (۱۷):

فرمول شماره ۱:

$$BAF = (\text{Conc. in organism } (\mu\text{g/g.dw}) / \text{Conc. in water } (\mu\text{g/l})) * 100$$

BAF ماهی کپور دریای خزر با محاسبه بر غلظت  
 متوسط سالانه در آب (روی، مس و جیوه به ترتیب برابر  
 ۱۱۲، ۷ و ۷۳ میکروگرم بر لیتر) انجام شد (۱۸). خطرات  
 ریسک مصرف ماهی توسط مردم بر اساس THQ  
 ارزیابی می‌شود. در این راستا، THQ بر اساس فرمول  
 شماره ۲ محاسبه گردید (۲۱-۱۹).

معادله شماره ۲:

$$THQ = \frac{EFr * ED_{tot} * SFI * MCS_{inorg}}{R_{FD} * BW_a * AT_n} * 10^{-3}$$

معنی دار نداشته است ( $p > 0/05$ ). بنابراین جهت نشان دادن ارتباط این متغیرها از آزمون چند متغیره مولفه اصلی استفاده گردید. در بررسی متغیرهای سه فلز سنگین در بافت ماهی کپور به همراه طول چنگالی، وزن و سن در آنالیز PCA تغییرات شاخص KMO برابر  $0/59$  و آزمون Bartlett دارای اختلاف معنی دار بوده است. در آنالیز مولفه‌های اصلی سه متغیر فلزات سنگین و سه متغیر شاخص‌های زیستی بر اساس منحنی سنگ ریزه‌ای (Scree plot) و مقدار ویژه (Eigenvalue) بالای یک به سه مؤلفه (PC) با  $82/1$  درصد از کل واریانس کاهش یافتند. در هر مؤلفه با توجه به تعداد نمونه‌ها، متغیرهای دارای ضرایب بار عاملی (Loading Factor) بیش از  $0/7$  وارد آنالیز شدند. مؤلفه یک به تنهایی  $45$  درصد از کل واریانس را شامل گردید و متغیرهای زیستی در آن مشارکت داشته است (جدول شماره ۲). مؤلفه دو با واریانس  $19$  درصد (از کل واریانس) شامل دو عنصر روی (ضروری) و جیوه (غیر ضروری) و مؤلفه سوم با واریانس  $18$  درصد شامل عنصر مس گردیدند.

جدول شماره ۲: روابط بین غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های زیستی در بافت عضله ماهی کپور دریای خزر در ماتریکس مولفه‌های دوران یافته در آنالیز چند متغیره PCA (سال ۱۳۸۹)

| متغیرها | مؤلفه‌ها    |             |             |
|---------|-------------|-------------|-------------|
|         | PC1 ۴۵ درصد | PC2 ۱۹ درصد | PC3 ۱۸ درصد |
| Zn      |             | $-0/75$     |             |
| Cu      |             |             | $0/93$      |
| Hg      |             | $0/85$      |             |
| FL      | $0/97$      |             |             |
| Weight  | $0/95$      |             |             |
| Age     | $0/85$      |             |             |

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
A Rotation converged in 5 iterations.

پراکندگی غلظت سه عنصر روی، مس و جیوه با وزن ماهی کپور در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که همبستگی بین غلظت فلزات روی، مس و جیوه با شاخص‌های زیستی از جمله وزن ماهی قوی و معنی دار نبوده است.

بر روی داده‌های نرمال شده استفاده گردید. ثبت اطلاعات و کلاسه بندی داده‌ها در نرم افزار Excel, 2010, 2003 و تجزیه و تحلیل داده‌ها در برنامه‌های آماری (SPSS (Version 11.5) انجام گردید. در ضمن تمام میانگین‌ها به همراه خطای استاندارد (SE) آورده شده است. جهت طبقه‌بندی داده‌ها از آزمون مؤلفه اصلی ( $PCA^1$ ) که روش ریاضی برای تقلیل داده‌ها است استفاده شده است (۲۷). در ابتدا آزمون شایستگی داده‌ها (کفایت نمونه‌برداری) تحت آزمون کیزر مایر ( $KMO^2$ ) انجام شد ( $28,29$ ). ارزشیابی وضعیت ماتریس همبستگی بین متغیرها تحت آزمون بارتلت (Bartlett's test) انجام شد ( $30$ ). سپس جهت تحلیل از روش مؤلفه‌های اصلی با تعیین همبستگی بین متغیرها استفاده شد. در صورت مشخص نشدن دسته عامل برای متغیر، از طریق دوران عاملی<sup>۳</sup> واریماکس استخراج جدید صورت پذیرفت (۳۱).

## یافته‌ها

میانگین غلظت فلزات سنگین روی و مس به ترتیب  $184/47 \pm 57/92$  ( $1378/66 - 48/33$ ) و  $3/68 \pm 0/3$  ( $9/66 - 1/67$ ) میکروگرم بر گرم وزن خشک و فلز Hg  $498/58 \pm 165$  ( $360/1/67 - 0/35$ ) نانوگرم بر گرم وزن خشک ثبت گردید. نتایج نشان داد که وزن، طول چنگالی (FL) و سن به ترتیب در محدوده  $110$  تا  $865$  ( $288 \pm 42$ ) گرم،  $12$  تا  $38$  ( $23/9 \pm 1/1$ ) سانتی‌متر و  $2$  تا  $5$  متغیر بوده است و حداکثر و حداقل میانگین غلظت فلزات به ترتیب مربوط به فلز روی و جیوه بوده است. در ضمن غلظت بقیه فلزات زیر حد تشخیص دستگاه بوده است.

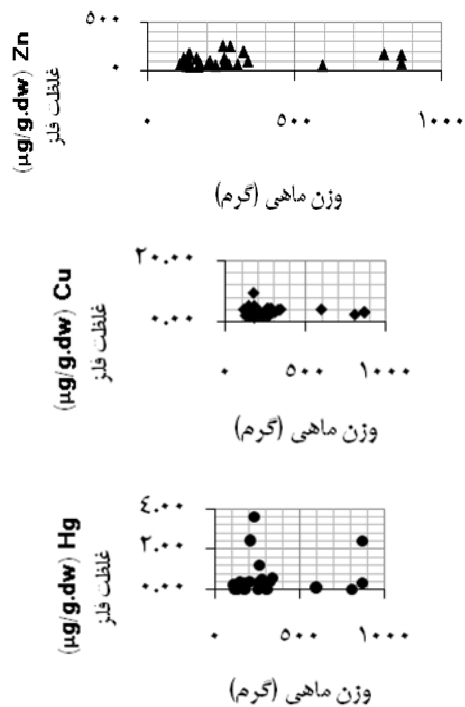
در این مطالعه بر اساس آزمون همبستگی پیرسون مشخص شد که غلظت روی، مس و جیوه در بافت عضله ماهی کپور با طول چنگالی، وزن و سن همبستگی

1. Principal Component Analysis  
2. Kaiser-Meyer-Olkin Test  
3. Factor Rotation

درصد جذب و سرعت خروج آن‌ها متفاوت بوده و معمولاً با ترتیب  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Hg}$  در بافت تجمع می‌یابند. در اکثر ماهیان فلز روی تقریباً  $10 \mu\text{g/g.dw}$ ، فلزات سرب و مس کم‌تر از  $1 \mu\text{g/g.dw}$  تجمع کادمیم و جیوه در غلظت کم‌تر از  $1 \mu\text{g/g.dw}$  تجمع می‌یابند (۳۲). در تحقیق حاضر ترتیب فلزات در حد تشخیص دستگاه به صورت  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Hg}$  بوده است که با نتایج بررسی فوق هماهنگی دارد در ضمن غلظت به دست آمده برای این سه فلز نیز در محدوده غلظت فلزات فوق بوده است.

Evans و همکاران در مطالعات شان گزارش کردند که ماهیان با رژیم غذایی مختلف، تفاوت آشکاری را در میزان تجمع آلاینده‌ها نشان می‌دهند که دلیل آن را می‌توان در متغیرهای بیولوژیکی، پارامترهای محیطی، فیزیولوژی و زیستگاه ماهی جستجو نمود. هم‌چنین ماهیان مختلف در محیط آبی مشابه میزان تجمع فلزات آن‌ها متفاوت می‌باشد که این اختلافات را می‌توان در زندگی و زیست‌گاه آن‌ها جست و جو کرد (۳۳). برخی مطالعات نشان داد که ماهیان شکارگر در مقایسه با ماهیان غیر شکارگر تمایل به تجمع جیوه دارند اما ماهیان بنتوزخوار تجمع کادمیم و روی در آن‌ها بیش‌تر است (۳۴، ۳۵).

Ney و Van Hassel نشان داد که غلظت سرب و روی در ماهیان بنتوزخوار بالا بوده است (۳۶). مطالعه Campbell نشان داد که علاوه بر فلز روی تجمع نیکل نیز در ماهیان شکارگر بیش از ماهیان بنتوزخوار بوده است و هم‌چنین ماهیان بنتوزخوار در تجمع کادمیم برتری داشته‌اند (۳۷). براساس نتایج تحقیق حاضر نیز ماهی کپور دریای خزر به دلیل رژیم غذایی بنتوزخواری دارای غلظت بالایی از فلز روی در بافت عضله بوده است که با نتایج Kidwell و همکاران و Ney و Van Hassel هماهنگی دارد اما میزان کادمیم در بافت، زیر حد تشخیص دستگاه بوده است (۳۵، ۳۶). هم‌چنین غلظت این عنصر (کادمیم) در رسوبات نیز زیر



نمودار شماره ۱: نمودار پراکندگی (Scatter Plot) غلظت فلزات روی، مس و جیوه با وزن ماهی کپور دریای خزر (سال ۱۳۸۹)

#### - فاکتور تجمع زیستی (BAF)

تغییرات درصد تجمع زیستی (Bioaccumulation Factor) فلزات سنگین روی (%، مس (%، و جیوه (% ماهی کپور دریای خزر (سال ۱۳۸۹) به ترتیب برابر  $165 \pm 52$  ( $0/00 - 4/93$ )،  $0/68 \pm 0/23$  و  $24 - 138$ )  $53 \pm 4$  ( $43 - 1231$ ) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فاکتور تجمع زیستی برای فلزات روی و جیوه به ترتیب بالاترین و کم‌ترین مقدار را دارا بوده است.

پراکندگی فاکتورهای تجمع زیستی سه عنصر روی، مس و جیوه با شاخص‌های زیستی طول چنگالی، وزن و سن ماهی کپور نشان داد که ارتباط بین فاکتور تجمع زیستی فلزات روی و جیوه با شاخص‌های زیستی مثبت و فلز مس ارتباط منفی داشته است.

#### بحث

نتایج مطالعات متعدد در تجمع فلزات در ماهیان در محیط زندگی شان نشان داد که در بافت‌های مختلف

حد تشخیص دستگاه ثبت گردید. درجه آلودگی به عنصر جیوه، رسوبات دریای خزر بالا بوده است، بنابراین همانطور که انتظار می‌رود غلظت این فلز در بافت ماهی کپور دریای خزر نیز بالا بوده است که با تحقیقات Kidwell و همکاران در مورد بیش‌تر بودن تمایل ماهیان شکارگر به تجمع جیوه مغایرت دارد. این اختلاف احتمالاً به بالا بودن غلظت جیوه در رسوبات و نیز نحوه زندگی این ماهی مرتبط می‌باشد (۳۵). زیرا همانطور که Jezierska and Witeska بیان نمودند بالا بودن غلظت فلزات در محیط احتمالاً سبب افزایش جذب و تجمع در بافت ماهیان می‌گردد (۳۲). شایان ذکر است که به دلیل نیمه عمر بالای جیوه و کمپلکس این عنصر با پروتئین، تجمع جیوه در بافت عضله و کبد بیش‌تر می‌باشد که این خصوصیات پایداری جیوه و تجمع زیستی آن را در این بافت‌ها افزایش می‌دهد. ضمن آن‌که خروج این عنصر نیز از بافت عضله به کندی صورت می‌پذیرد و سبب مسمومیت ماهی می‌شود (۳۴، ۴۱-۳۸).

مطالعات محققین نشان داد که بین فلزات مختلف در ماهیان همبستگی وجود دارد. مطالعات مختلف نشان داد که این ارتباط می‌تواند اثرات سینرژیک (افزایش اثرات آن فلز) و یا آنتاگونیستیک (کاهش اثرات آن فلز) داشته باشد (۳۲). Beckvar و همکاران گزارش کردند که اثرات منفی جیوه در ماهیان مختلف زمانی اتفاق می‌افتاد که غلظت کل جیوه به یک میکروگرم بر گرم برسد (۴۲). اثرات سینرژیک در غلظت‌های بالا و اثرات آنتاگونیستیک در غلظت پایین به وقوع می‌پیوندد. در تحقیق حاضر میانگین غلظت جیوه در بافت عضله  $0.17 \pm 0.05$  میکروگرم بر گرم وزن خشک ماهی ثبت گردید که نصف غلظت بیان شده توسط Beckvar و همکاران به دست آمده است (۴۲) بنابراین امکان وقوع اثرات سینرژیک در ماهی کپور دریای خزر را کم می‌کند. در تحقیق حاضر ارتباط معکوس فلز روی و جیوه در بافت عضله ماهی کپور براساس آزمون مؤلفه اصلی به دست آمد که غلظت بالای تجمع عنصر روی

می‌تواند تجمع عنصر جیوه را کاهش داده به طوری که سبب کاهش اثرات سمی جیوه در این بافت گردد. در مطالعه Monsef Rad و همکاران بر روی ماهی سفید دریای خزر، همبستگی مثبت روی با جیوه در بافت کبد بیان‌گر افزایش تجمع روی به همراه افزایش فلز جیوه بوده است (۴۳).

DeForest و همکاران گزارش کردند که با فاکتور تجمع زیستی (BAF) به تنهایی نمی‌توان مخاطرات و ضررهای فلزات را پیش‌بینی کرد زیرا حداکثر میزان این فاکتور به معنی کم بودن غلظت فلز در معرض گذاشته برای آبی در مقایسه با تجمع آن در بافت ماهی می‌باشد (سمیت و ضرر کم) (۴۴). در بین عناصر بررسی شده در این تحقیق، فلز روی بالاترین مقدار BAF دارا بوده است که نشان دهنده پایین بودن غلظت در معرض گذاشته در محیط آبی در مقایسه با تجمع آن در بافت ماهی بوده است و در مقابل فلز جیوه با کم‌ترین مقدار BAF بیانگر بالا بودن غلظت معرض‌گذاری در محیط آبی در مقایسه با تجمع آن در بافت ماهی می‌باشد.

در مقالات مختلف نتایج متفاوتی از ارتباط بین فلزات تجمع یافته با شاخص‌های زیستی ماهیان ارائه شده است. به طوری که Cross و همکاران، Pentreath و Giesy و Wiener بیان نمودند که هیچ ارتباطی بین سطح غلظت فلزات در بافت با طول، وزن و سن ماهی وجود ندارد (۴۵، ۴۶). نتایج تحقیق حاضر ارتباط بین فاکتور تجمع زیستی (BAF) با شاخص‌های زیستی نشان داد که فاکتور BAF عنصر مس با طول چنگالی، وزن و سن ماهی کپور دارای ارتباط منفی و ضریب همبستگی بسیار پایین بوده است که با نتایج بالا هماهنگی داشته است. اما Bohn و McElroy، Giesy و Wiener (۱۹۷۷) و Bull و همکاران بیان نمودند که همبستگی معنی‌داری (منفی و یا مثبت) از سطح غلظت فلزات در بافت با طول، وزن و سن وجود دارد (۴۸-۴۶). در مطالعه حاضر همبستگی بین غلظت سه فلز روی، مس و جیوه با طول، وزن و سن ماهی کپور دریای خزر با نتایج بالا هماهنگی

سایر مناطق حوزه جنوبی خزر و کم‌تر از میزان آن‌ها در سایر گونه‌های خانواده کپور ماهیان در سایر مناطق آبی بوده است.

Anan و همکاران گزارش کردند که غلظت فلزات روی و جیوه در ماهیان استخوانی دریای خزر در مقایسه با دیگر فلزات بیش‌تر بوده و در برخی موارد بیش‌تر از حد استاندارد بوده است که با تحقیق حاضر مشابهت دارد. شایان ذکر است که در تحقیق حاضر غلظت جیوه در بافت عضلانی ماهی کپور دریای خزر در مقایسه با سایر مناطق حوزه جنوبی (به غیر از مطالعه Anan در سال ۲۰۰۵ در ماهی سفید دریای خزر) مقادیری بیش‌تری نشان داده است (۱۲).

تاکنون هیچ منبع واحدی برای مقایسه غلظت فلزات سنگین در مواد خوراکی با استانداردها ارائه نشده است و سازمان و دولت‌های مختلف استانداردهای متنوعی را برای غلظت این آلاینده‌ها در مواد غذایی تعیین کرده‌اند (۵۳). بنابراین، نتایج تحقیق کنونی با استانداردهای مجاز تعیین شده فلزات سنگین در اتحادیه اروپایی، سازمان بهداشت جهانی، سازمان خواربار کشاورزی، انجمن بهداشت استرالیا، وزارت کشاورزی و شیلات و مواد غذایی انگلستان و چند کشور اروپایی و اداره غذا و دارو در جدول شماره ۴ مقایسه شده است (۲۳، ۶۰-۵۴). این مقایسه نشان داد که مقادیر فلزات نیکل، کادمیم و سرب در عضله ماهی کپور دریای خزر

داشته است. به طوری که BAF فلز روی نیز با طول چنگالی (۳۵/۰) و وزن ماهی (۳۳/۰) ضریب همبستگی قابل ملاحظه داشته اما با فاکتور سن ضریب همبستگی پایین داشته است. هم‌چنین BAF فلز جیوه با هر سه پارامتر زیستی طول چنگالی (۱۸/۰)، وزن (۱۸/۰) و سن (۲۵/۰) همبستگی مثبت داشته است.

مقایسه غلظت عناصر فلزی در خانواده های کپور ماهیان (Cyprinidae) و کفال ماهیان (Mugilidae) در مناطق مختلف جغرافیایی در جدول شماره ۳ درج شده است. با توجه به این جدول میزان فلز سرب در عضله ماهی کپور در منطقه حوزه جنوبی دریای خزر ناچیز و با مقادیر این فلز در نمونه‌های ماهی سفید از کل سواحل جنوبی دریای خزر مشابه می‌باشد. غلظت فلز سرب در ماهی کپور دریای خزر در مقایسه با ماهی کفال دریای خزر و سایر کپور ماهیان از دیگر مناطق جغرافیایی کم‌تر بوده است. میزان فلز روی و مس در عضله ماهی کپور دریای خزر مقادیر بسیار بیش‌تری نسبت به گونه اوراتوس و سفید دریای خزر و سایر مناطق جغرافیایی نشان می‌دهد ولی غلظت این دو فلز در ماهی کفال پوزه باریک مقادیر بالاتری نسبت به گونه کپور دریای خزر و سایر گونه‌ها در سایر مناطق جغرافیایی نشان داده است (۷، ۱۲، ۱۳، ۵۲-۴۹).

در تحقیق کنونی میزان تجمع فلزات نیکل و کادمیم در عضله ماهی کپور دریای خزر در حد ناچیز و مشابه

جدول شماره ۳: مقایسه غلظت های فلزات سنگین در بافت عضلانی ماهیان در دریای خزر و نقاط مختلف دنیا (برحسب ppm وزن تر)

| گونه مورد مطالعه                        | منطقه جغرافیایی                                   | Zn     | Cu    | Ni     | Pb     | Cd     | Hg     | منابع                  |
|---|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|------------------------|
| <i>Cyprinus carpio</i> (کپور دریایی)    | کل سواحل جنوبی دریای خزر                          | ۱/۴۶   | ۰/۹۲  | nd     | nd     | ۰/۰۱   | ۰/۱۲   | تحقیق کنونی (سال ۱۳۸۹) |
| <i>Rutilus rutilus</i> ماهی سفید        | فرح آباد ساری                                     | ۰/۴۰   | ۰/۱۳  | <۰/۰۴۸ | <۰/۰۱۲ | <۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۱۶ | (۷)                    |
| <i>Liza saliens</i> کفال سالیانس        | سواحل جنوب شرقی دریای خزر                         | ۲۱۷/۸۱ | ۱۰/۸۳ | ۰/۴۰۹  | ۲/۶۳   | ۰/۶۳۱  | ۰/۰۰۱۳ | (۷)                    |
| <i>Lizzaauratus</i> کفال اوراتوس        | سواحل جنوبی دریای خزر                             | ۱۴/۳۳  | ۱/۰۰  | -      | ۲/۳۱   | ۰/۳۲   | -      | (۱۳)                   |
| <i>Rutilus rutilus</i> ماهی سفید        | کل سواحل جنوبی دریای خزر                          | ۱۷/۲   | ۱/۰۱  | -      | ۰/۰۰۸  | ۰/۰۰۱  | ۰/۱۹   | (۱۲)                   |
| <i>Mugilauratus</i> کفال خاکستری        | سواحل جنوبی دریای خزر                             | ۴۳/۴۶  | ۳/۱۴  | -      | -      | -      | -      | (۴۹)                   |
| <i>Rutilus rutilus</i> ماهی سفید        | Southern Atlantic of Spin                         | ۳۷/۹۹  | ۳/۶۹  | -      | -      | -      | -      | (۴۹)                   |
| <i>Cipruscarpio</i> کپور معمولی         | Southern Atlantic of Spin                         | ۷۳/۸۱  | ۳/۳۹  | -      | -      | -      | -      | (۴۹)                   |
| <i>Cyprinidae</i> (خانواده کپور ماهیان) | Jarun lake of Zagreb                              | -      | -     | -      | ۱۲۵    | ۱۰     | -      | (۵۰)                   |
| <i>Abramisbram</i> ماهی سیم             | Man-made of Zemborzyce reservoir (lublin, poland) | -      | -     | -      | ۱۶/۹   | ۵/۰۸   | -      | (۵۱)                   |
| <i>Rutilus rutilus</i> ماهی کلمه        | Man-made of zemborzyce (lublin, poland)           | ۵۵۶۵   | -     | -      | ۲۷/۲   | ۴/۲    | -      | (۵۱)                   |
| <i>Cipruscarpio</i> کپور معمولی         | Ataturk Dam Lake, Turkey                          | ۹/۷۲   | ۲/۲۳  | nd     | nd     | nd     | nd     | (۵۲)                   |

\* علامت - نشان دهنده فقدان اطلاعات. ( $\mu\text{g/g}$ , wet weight)



ناچیز بوده و پایین تر از حد مجاز اتحادیه اروپایی، سازمان بهداشت جهانی، انجمن بهداشت استرالیا، وزارت کشاورزی و شیلات و مواد غذایی انگلستان، اداره غذا و دارو و چند کشور دیگر (نیوزیلند، هنگ کنگ، دانمارک و سوئیس) بود. در بافت عضلانی ماهی کپور تجمع جیوه با استانداردهای WHO، EC، مطابق می‌نماید و از حد مجاز استاندارد FDA و UKMAFF پایین تر بوده است (جدول شماره ۴).

میانگین غلظت فلز روی (۱۸۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در این تحقیق بیش از دامنه آثار حداقل مس خیلی کم تر از دامنه آثار حداقل (ERL=۳۴) مشاهده گردید. در خصوص فلز جیوه غلظت آن (۰/۵۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در ماهی کپور بیش از دامنه آثار متوسط (Effect Range Medium= ۰/۱۷) و دامنه آثار حداقل (ERL= ۰/۱۵) بوده است.

در جدول شماره ۵، THQ برای جذب فلزات (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) در مصرف کنندگان ماهی (برای

بزرگ سالان) آمده است. بر اساس این جدول THQ برای تمام فلزات در افراد بزرگ سال کم تر از ۱ به دست آمد (THQ<۱). هم چنین مجموع THQ تمام فلزات کم تر از واحد (۰/۱۶) با مقیاس ایران و ۰/۲۷ با مقیاس FAO شده است بنابراین خطر مصرف ماهی کپور دریای خزر برای سلامت افراد ناچیز و مشابه با نتایج به دست آمده ماهیان پرورشی تیانجین چین (THQ<1) (۶۶) و ماهیان سفید و کفال در دریای خزر بوده است (۱۳). با توجه با اطلاعات به دست آمده مصرف این ماهی به مقدار ۱۴۲ گرم در هفته برای فرد بالغ از نظر بهداشتی هیچ ممنوعیتی با توجه به پایین بودن THQ فلزات مختلف ندارد. البته برای تعیین دقیق مقدار مصرف نیاز است که فلزات دیگر به همراه ماهیان مورد مصرف این منطقه مورد بررسی قرار بگیرد.

### سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی مؤسسه تحقیقات شیلات ایران و وزارت جهاد کشاورزی اجرا گردید. بر خود لازم می‌دانیم که از پرسنل بخش اکولوژی و

جدول شماره ۴: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در ماهی کپور دریای خزر با ماکزیمم غلظت قابل قبول (بر اساس استانداردهای بهداشت جهانی، انجمن بهداشت استرالیا و ...) (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر)

| References | Hg      | Pb      | Cd    | Ni  | Cu   | Zn   | محل جغرافیایی و استانداردها                        |
|------------|---------|---------|-------|-----|------|------|--|
| (۵۴)       | ۰/۵-۰/۱ | ۱/۵-۰/۵ | ۲/۰   | ۴/۰ | -    | ۱۵۰  | WHO <sup>1</sup>                                   |
| (۲۳)       | -       | ۵/۰     | ۵/۰   | -   | ۳۰   | ۴۰   | FAO  |
| (۵۵)       | ۵/۰     | ۲/۰     | ۰/۵/۰ | -   | -    | -    | EC   |
| (۵۶)       | ۱       | ۵       | ۱     | -   | -    | -    | FDA <sup>2</sup>                                   |
| (۵۷)       | -       | ۵/۱     | ۰/۵/۰ | -   | -    | -    | NHMRC <sup>3</sup>                                 |
| (۵۸)       | ۱       | ۲       | ۲/۰   | -   | ۳۰   | ۵۰   | UKMAFF <sup>4</sup>                                |
| (۵۹)       | -       | ۲       | ۱     | -   | ۲۰   | ۴۰   | New Zealand  |
| (۵۹)       | -       | ۶       | ۲     | -   | -    | -    | Hong Kong  |
| (۵۹)       | -       | ۱       | ۱/۰   | -   | -    | -    | Switzerland  |
| (۶۰)       | -       | ۲       | -     | -   | -    | -    | Denmark  |
| (۱۳۸۹)     | ۰/۱۳    | ۰/۰۱    | nd    | nd  | ۳/۶۷ | ۴۶/۱ | Caspian Sea (ماهی کپور) ( <i>Cyprinus carpio</i> ) |

\*نتایج تحقیق کنونی برای مقایسه با استانداردها بر حسب وزن تر محاسبه شد. فقدان اطلاعات معتبر، ۱- سازمان بهداشت جهانی، ۲- اداره غذا و دارو، ۳- انجمن بهداشت استرالیا، ۴- وزارت کشاورزی، شیلات و مواد غذایی انگلستان

جدول شماره ۵: برآورد سیبیل خطر (THQ=Target Hazard Quotient) با مصرف گونه ماهی کپور دریای خزر برای فلزات مختلف (سال ۱۳۸۹)

| Iran  |       |        | FAO   |       |       | گونه ماهی |        |       |      |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|------|
| Hg    | Cd    | Pb     | Cu    | Zn    | Hg    | Cd        | Pb     | Cu    | Zn   |
| ۰/۰۹۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۵۶ | ۰/۱۵۶ | ۰/۰۰۰۱    | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۱۴ | ۰/۱۰ |

(ماهی کپور) (*Cyprinus carpio*)

همکاری در نمونه برداری و نیز سرکارخانم علوی برای تنظیم این مقاله سپاس گزاری نمایم.

بیوتکنولوژی در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر برای آنالیز نمونه‌ها، کاپیتان و خدمه کشتی تحقیقاتی گیلان و پرسنل تعاونی پره‌های استان مازندران جهت

## References

1. Filazi A, Baskaya R, Kum C, Hismiogullari SE. Metal concentration in tissues of the Black Sea fish *Mugil auratus* from Sinop-Icliman, Turkey. Hum Exp Toxicol 2003; 22(2): 85-87.
2. Karadede H, Oymak SA, Unlu E. Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Environ Int 2004; 30(2): 183-188.
3. Amini Ranjbar Gh, Sotodehnia F. Accumulation of Heavy Metals in the edible Tissue of *Lizza auratus* and related to Biometric index (Fork Length, Age, Sex). Iran J Fish Sci 2005; 4(3): 1-19 (Persian).
4. Demirak A, Yilmaz F, Tuna AL, Ozdemir N. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere 2006; 63(9): 1451-1458.
5. Choi KY, Kim SK, Chon HT. Distributions and Accumulations of Heavy Metals in the Sediments of Harbors and Coastal Areas in Korea. Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), 4th IGCP 516, and 5th APSEG; Bangkok, Thailand. 2008.
6. Sabghkashani A. Study on Heavy Metals concentration in the Muscle, Liver, Kidney, Gill and Gonad of *Lizaaurata* in the southern Caspian Sea, M.Sc. Thesis, Tarbiatmodaress University, Noor. 2001 (Persian).
7. Varedi SE. Study on Heavy Metals Concentration in the Edible Tissue of *Salmonidae* and *Percidae* in the Southern Caspian Sea, Proceeding of First Congress on Rare Elements of Iran, Research Deputy of Health and Medical University of Iran, Tehran, 2006 (Persian).
8. Shariffazeli M, Abtahi B, Sabaghkashani A. Determination on accumulation of Pb, Ni and Zn in the edible Tissue of *Lizza auratus* in the southern Caspian Sea. Iran J Fish Sci 2005; 4(1): 65-78 (Persian).
9. Sadeghirad M, Aminiranjbar Gh, Joshideh H. Comparison on accumulation of Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg) in the Edible Tissue and Caviar of Two Sturgeon Species (*AcipenserPersicus* and *AcipenserStellatus*) in the southern Caspian Sea. Iran J Fish Sci, 2005; 4(3): 79-100 (Persian).
10. Pourang N, Tanabe S, Rezvani S, Dennis JH. Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the Caspian Sea. Environ Monit Assess 2005; 100(1-3): 89-108.
11. Agusa T, Kainito T, Tanabe S, Pourkazemi M, Aubrey DG. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. Mar Pollut Bull 2004; 49(9-10): 789-800.
12. Anan Y, Kunito T, Tanabe S, Mitrofanov I, Aubrey DG. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. Mar Pollut Bull 2005; 51(8-12): 882-888.
13. Varedi SE, Nasrollahzadeh Saravi H, Najafpour Sh, Gholamipour S, Unesipour H, Ulomi Y. Study on Environmental Pollutions (Heavy

- Metals, Oil Hydrocarbons, Organochloro Pesticides and Detergent Pollutants) in the Water, Sediment and Fish in the Southern Caspian Sea (2008-09), Final Report, Sari: Caspian Sea Ecology Reaesrch Center. 2010 (Persian).
14. Dabiri M. Environmental Pollutions (Air, Water, Soil, Sound). Tehran: Etehad Publisher, 1996 (Persian).
  15. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. Manual of oceanographic observations and pollutant analyses methods. 3<sup>rd</sup> ed. Kuwait: ROPME; 1999.
  16. APHA (American Public Health Association). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, USA: American Public Health Association; 2005.
  17. Asha PS, Krishnakumar PK, Kaladharan P, Prema D, Diwakar K, Valsalaand KKG. Heavy metal concentration in sea water, sediment and bivalves off Tuticorin. J Mar Biol Assoc India 2010; 52(1): 48-54.
  18. Nasrollahzadeh Saravi H, Najafpour Sh, Pourgholam R, Gholamipour S, Kor D, Firuzkandian Sh. Determination of Heavy Metals in the Water, Sediment and Fish in the Southern Caspian Sea (2010-2011), Final Report, Sari: Caspian Sea Ecology Reaesrch Center, 2012 (Persian).
  19. USEPA. Guidance manual for assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish. Washington, D.C., USA:U.S. Environmental Protection Agency (EPA-503/8-89-002), 1989.
  20. USEPA. Risk-based concentration table. Philadeiphia PA, Washington. DC., USA: United State Environmental Protection Agency, 2000.
  21. Chien LC, Hung TC, Choang KY, Yeh CY, Meng PJ, Shieh MJ, et al. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. Sci Total Environ 2002; 285(1-3): 177-185.
  22. Bennett DH, Kastenber WE, McKone TE. A multimedia, multiple pathway risk assessment of atrazine: the impact of age differentiated exposure including joint uncertainty and variability. Reliab Eng Syst Safe 1999; 63(2): 185-198.
  23. Nauen CE. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO Fisheries Circular. 764. Rome: FAO; 1983. p. 102.
  24. Statistical Calender of Iranian Fishery Company from 2000 to 2008. Iran, Tehran: Iranian Fishery Organization, 2010 (Persian).
  25. Cooper CB, Doyle ME, Kipp K. Risk of consumption of contaminated seafood, the Quincy Bay case study. Environ Health Perspect 1991; 90: 133-140.
  26. Siapatis A, Giannoulaki M, Valavanis VD, Palialexis A, Schismenou E, Machias A, et al. Modelling potential habitat of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Aegean Sea. Hydrobiologia 2008; 612: 281-295.
  27. Simeonov V, Sarbu C, Massart DL, Tsakovski S. Danube River Water Data Modelling by Multivariate Data Analysis. Springer-verlag. Mikrochim. Acta 2001; 137(304): 243-248.
  28. Hair JF, Anderson RE, Tatham RL. Multivariate Data Analysis. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, Upper Saddle River; 1995.
  29. Stevenson JR, Irz XT, Alcalde RG, Petit J, Morissens P. A Typology of brackish- water pond aquaculture systems in the Philippines. (ResearchPaper). Philippines: The university of Reading publisher; 2004. p. 41.
  30. Raftery A. Bayesian model selection in structural equation models. In: Bollen K, Long J, (eds). Testing structural equation models.

- Newbury Park: California: 1993. p. 163-180.
31. Ghiyasvand A. Application of Statistical and SPSS Software for Analysis of Data. Tehran: Loyeh Publisher; 2008 (Persian).
  32. Jezierska B, Witeska M. Metal Toxicity to Fish, University of Podlasie, Siedlce, Poland. Rev Fish Biol Fishers 2001; 11(3): 279.
  33. Evans MS, Lockhart WL, Doetzel L, Low G, Muir D, Kidd K, et al. Elevated mercury concentration in fish in lakes in the Mackenzie River basin: The role of physical, chemical and biological factors. Sci Total Environ 2005; 351-352: 479-500.
  34. Voigt HR. Concentrations of mercury (Hg) and cadmium (Cd), and the condition of some coastal Baltic fishes. Environmentalica Fennica 2004; 21: 1-26.
  35. Kidwell JM, Phillips LJ, Birchard GF. Comparative analyses of contaminant levels in bottom feeding and predatory fish using the national contaminant biomonitoring program data. Bull Environ Con Tox 1995; 54(6): 919-923.
  36. Ney JJ, Van Hassel JH. Sources of variability in accumulation of heavy metals by fishes in a roadside stream. Arch Environ Con Tox 1983; 12(6): 701-706.
  37. Campbell KR. Concentrations of heavy metals associated with urban runoff in fish living in storm water treatment ponds. Arch Environ Con Tox 1994; 27(3): 352-356.
  38. Goldstein RM, Brigham ME, Stauffer JC. Comparison of mercury concentrations in liver, muscle, whole bodies, and composites of fish from the Red River of the North. Can J Fish Aquat Sci 1996; 53(2): 244-252.
  39. Munn MD, Short TM. Spatial heterogeneity of mercury bioaccumulation by walleye in Franklin D. Roosevelt Lake and the upper Columbia River, Washington. T Am Fish Soc 1997; 126(3): 477-487.
  40. Semenovich IS. Water pollution and its impact on fish and aquatic invertebrate, Interaction, Food, Agriculture and Environment, Vol.1. Moscow: EOLSS publisher; 2001.
  41. Green NW, Knutzen J. Organohalogenes and metals in marine fish and mussels and some relationships to biological variables at reference localities in Norway. Mar Pollut Bull 2003; 46(3): 362-374.
  42. Beckvar N, Field J, Salazar S, Hoff R. Contaminants in Aquatic Habitats at Hazardous Waste Sites: Mercury. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 100. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA publisher, Seattle; 1996.
  43. MonsefRad SF, Imanpour Namin J, Heidary S, Mohammadi M, Hosseini SM. Interaction of essential and nonessential metals in tissues of *Rutilus frisii kutum* from southwestern basins of the Caspian Sea. Iran J Natural Res 2012; 65(1): 79-879 (Persian).
  44. DeForest DK, Brix KV, Adams WJ. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. Aquat Toxicol 2007; 84(2): 236-246.
  45. Pentreath RJ. Some further studies on the accumulation and retention of <sup>65</sup>Zn and <sup>54</sup>Mn by the plaice, *Pleuronectes platessa* L. J Exp Mar Biol Ecol 1976; 21(2): 179-89.
  46. Giesy JP, Wiener JG. Frequency distribution of trace metal concentrations in five freshwater fishes. T Am Fish Soc 1977; 106(4): 393-403.
  47. Bohn A, Mcelroy RO. Trace metals (As, Cd, Cu, Fe and Zn) in Arctic cod, *Boreogadus saida*, and selected zooplankton from Strathcona

- Sound, northern Baffin Island. J Fish Res Board Can 1976; 33(12): 2836-2840.
48. Bull KR, Dearsley AF, Inskip MH. Growth and mercury content of roach (*Rutilus rutilus* L.), perch (*Perca fluviatilis* L.) and pike (*Esox lucius*, L.) living in sewage effluent. Environm Pollut Ser 1981; 25(3): 229-240.
49. Zeynali F, Tajik H, Asri RS, Meshkini S, Fallah A, Rahnema M. Determination of Coper, Zinc and Iron levels in Edible Muscel of three Commercial Fish Species from Iranian Coastal water of the Caspian Sea. J Anim Vet Adv 2009; 8(7): 1285-1288.
50. Bosnir J, Puntaric D, Skes I, Klaric M, Simic S, Zoric I, et al. Toxic Metals in Freshwater Fish from the Zagreb Area as Indicators of Environmental Pollution. Coll Antropol 2003; 27(sup1): 31-39.
51. Dobrowolski R, Skowrońska M. The study of trace metal levels in select environmental components of the Zemborzyce Reservoir. Pol J Environ Stud 2006; 15(4): 537-542.
52. Karadede H, Ünlü E. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Chemosphere 2000; 41(9): 1371-1376.
53. Ebrahimi Sirizi Z, Sakizadeh M, Esmaeeli Sari A, Bahramifar N, Ghasempouri M, Abassi K. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu and Zn) Contamination in Muscle tissue of *Esox lucius* from Anzali International Wetland: Accumulation and Risk Assessment. J Mazand Univ Med Sci 2012; 22(87): 57-63 (Persian).
54. Biney CA, Ameyibor E. Trace metal concentrations in the pink shrimp *Penaeus notialis*, from the coast of Ghana. Water Air Soil Pollut 1992; 63(3-4): 273-279.
55. EC (European Commission). As regards heavy metals. Official Journal of the European Union. Europe: Commission Regulation, No 466/2001 and No 78/2005, 2005.
56. Chen YC, Chen MH. Heavy metal concentration in nine species of fishes caught in coastal water off Ann- Ping, S.W. Taiwan. J Food Drug Anal 2001; 9(2): 107-114.
57. Darmono D, Denton GR. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguensis*, and leader prawn, *P. monodon*, in the Townsville Region of Australia. Bull Environ Contam Toxicol 1990; 44(3): 479-486.
58. MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food). Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminant in the aquatic environment and activities regulating the disposal of water at sea, 1995 and 1996. 1993. UK: Directorate of Fisheries Research, Lowestoft, 1995.
59. Nauen CE. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. Rome, Italy: FAO Fisheries Circular No. 746, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983.
60. Huss HH. Assurance of Seafood Quality. Rome, Italy: FAO Fisheries Technical Paper No. 334, 1994.