

## بررسی تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba*) در رودخانه سیاه درویشان استان گیلان

- محمد اتفاق دوست\*: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران، صندوق پستی: ۱۱۴۴
- حمید علاف نویریان: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران، صندوق پستی: ۱۱۴۴

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: خرداد ۹۷

### چکیده

در این پژوهش، میزان غلظت ده فلز (آرسنیک، آهن، جیوه، روی، سرب، سلنیوم، کادمیوم، مس، منگنز و نیکل) در بافت عضله ۲۰ عدد ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba*) صید شده به وسیله تور پرتابی سالیکی از رودخانه سیاه درویشان استان گیلان در تابستان ۱۳۹۵، توسط دستگاه طیف سنجی جذب اتمی Varian مورد مطالعه قرار گرفتند. میزان کمترین و بیشترین تجمع فلزات سنگین به ترتیب: روی ۱۹/۵۵-۲۳/۱۵، آهن ۱۱/۵۰-۱۳/۴۱، مس ۱/۸۰-۱/۵۸، منگنز ۱/۴۵-۱/۶۶، سرب ۰/۵۶-۰/۶۷، آرسنیک ۰/۴۵-۰/۵۳، سلنیوم ۰/۳۹-۰/۴۸، نیکل ۰/۲۶-۰/۲۹، کادمیوم ۰/۱۶-۰/۱۹ و جیوه ۰/۰۵۹-۰/۰۷۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک، مشاهده گردید. با توجه به نتایج این مطالعه، میانگین غلظت تمام فلزات در بافت عضله ماهی سیاه کولی به جز آرسنیک (۰/۴۲±۰/۴۹)، سرب (۰/۵۶±۰/۶۰) و منگنز (۰/۹۸±۰/۵۵) پایینتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد جهانی FAO/WHO بودند.

**کلمات کلیدی:** فلزات سنگین، سیاه کولی، رودخانه سیاه درویشان، بافت عضله، تجمع زیستی



## مقدمه

(Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸) که در این ارتباط بافت‌های مختلف ماهیان به‌طور گسترده‌ای به‌منظور بررسی اثرات فیزیولوژیک فلزات سنگین می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (El-Moselhy و همکاران، ۲۰۱۴). از همین جهت با افزایش گسترده فعالیت‌های انسانی در نواحی حاشیه رودخانه‌ها و در نتیجه احتمال آلوده شدن این منابع آبی به فلزات سنگین (Islam و همکاران، ۲۰۱۵)، هم‌چنین با توجه به‌میزان مصرف بالای عضله ماهی و نقش مهمی که این بافت در قرارگیری فلزات سنگین در چرخه زیستی به وسیله مصرف آن توسط دیگر گونه‌های زنجیره غذایی (بزرگ‌نمایی بیولوژیک) و در نهایت انتقال به سطوح بالاتر این زنجیره (تغذیه انسانی) دارد (Bosch و همکاران، ۲۰۱۶)، لزوم بررسی تجمع این فلزات در عضله گونه مورد پژوهش، احساس گردید. از مطالعاتی که در این زمینه بر روی گونه‌های متفاوت ماهی انجام گرفته‌است می‌توان به پژوهش‌های واردی و همکاران (۱۳۹۱) بر ماهی سفید در دریای خزر، نصراله‌زاده‌ساروی و همکاران (۱۳۹۲) و هم‌چنین Siraj و همکاران (۲۰۱۸) روی کپور معمولی، اشاره نمود. بنابراین در این مطالعه جهت مشاهده ترکیب فلزات سنگین بافت عضله در ماهی سیاه کولی به‌عنوان یکی از ماهیان پرمصرف و مشاهده میزان سلامت آن برای مصارف انسانی، مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

**تهیه و آماده سازی نمونه ها:** جهت انجام این مطالعه، تعداد ۲۰ نمونه ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba*) در تابستان سال ۱۳۹۵ با اندازه‌های مختلف از رودخانه سیاه درویشان (طول و عرض جغرافیایی ۳۰°۴۹' شرقی، ۲۵°۳۷' شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۵- متر، صومعه سرا، گیلان، ایران؛ شکل ۱) به‌صورت تصادفی با تور پرتابی (سالیک، اندازه چشمه ۱۰ میلی‌متر، قطر دهانه ۳ متر) صید و به‌وسیله یخدان یونولیتی دارای پودر یخ به محل آزمایشگاه منتقل شدند. ماهی‌ها در ابتدا توسط آب دوبار تقطیر شستشو گردیدند تا آلودگی‌ها، پوشش لزج و ذرات خارجی جذب‌کننده فلزات، از لایه سطحی آن‌ها رفع شود و سپس مورد زیست‌سنجی قرار گرفتند. وزن ماهی‌ها با ترازوی دیجیتال Sartorius (Germany, Göttingen, CPA Series) با دقت ۰/۰۱ گرم و طول آن‌ها به‌وسیله کولیس Mitutoyo (Japan, ku) با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و نتایج به‌دست آمده، در جدول ثبت گردید. سپس بخش‌های اضافی نمونه‌ها (شامل پوست، استخوان، امعا و احشاء و ...) توسط تیغه استریل جدا و قسمت عضله، به‌طور کامل از آن خارج گردید. نمونه بافت‌های عضله، بسته‌بندی و شماره‌گذاری شد و در دستگاه خشک‌کن انجمادی (Zirbus 5, VaCo) تحت دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد

ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba*) گونه‌ای رودکوج، متعلق به خانواده کپورماهیان (*Cyprinidae*) است و بومی دریای خزر می‌باشد که در حدود ۲ تا ۴ سالگی بالغ شده و برای انجام تخم‌ریزی به مناطق بالادست رودخانه‌های دریای خزر مهاجرت می‌نماید و بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ هزار تخم می‌گذارد (ستاری و همکاران، ۱۳۸۳؛ Abdoli و Naderi، ۲۰۰۹). سیاه کولی از جمله گونه‌های با ارزش شیلاتی محسوب شده و دارای گوشت مطلوب و لذیذی می‌باشد (Coad، ۱۹۹۸) که در نواحی ساحلی و رودخانه‌های منتهی به دریای خزر به‌ویژه در استان گیلان تمایل زیادی به مصرف آن وجود دارد. میزان صید مجاز این گونه در طول سال‌های اخیر در حوزه جنوبی دریای خزر از ۱۸۵ تن در سال ۱۳۸۲ به ۲۳ تن در سال ۱۳۹۳ کاهش یافت (Esmaili و همکاران، ۲۰۱۵)، به‌طوری‌که اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) این ماهی را در لیست گونه‌های نیازمند حفاظت قرار داده است (Kiabi و همکاران، ۱۹۹۹) که یکی از دلایل مهم کاهش جمعیت آن‌ها علاوه بر فشار صیادی، آلودگی محیط‌های آبی و تغییرات عمده در عوامل شیمیایی آب زیستگاه این گونه می‌باشد که نتیجه آن کاهش ذخایر ماهی سیاه کولی است (Esmaili و همکاران، ۲۰۱۵). از جمله رودخانه‌های محل زیست سیاه کولی در حوزه جنوبی دریای خزر، رودخانه سیاه درویشان می‌باشد که از رودخانه‌های مهم تالاب انزلی و دریای خزر است که از سرشاخه‌های گشت‌رودخان، نظر آلات، حیدر آلات و قلعه رودخان نشأت می‌گیرد (Ghaderi و همکاران، ۲۰۰۱). میزان سطح حوزه آبی این رودخانه ۲۹۰/۵ کیلومتر مربع، طول آبراهه اصلی ۴۵ کیلومتر، شیب متوسط ۳/۲ و دبی متوسط سالانه ۶/۳۷ متر مکعب در ثانیه است که در سال‌های گذشته به‌دلیل دخالت‌های انسانی نظیر فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری، ورود فاضلاب‌های صنعتی و خانگی و... ترکیب عناصر آب این رودخانه را با تغییرات عمده‌ای مواجه ساخته است (Ghafari و همکاران، ۲۰۱۰). برخی از این عناصر، هرچند به مقدار بسیار کم، برای انجام فرآیندهای طبیعی فیزیولوژیک آبریان لازم و ضروری هستند، اما زمانی که میزان غلظت آن‌ها در محیط زیست از حد مجاز بالاتر برود و یا به‌طور مداوم وارد محل زندگی ماهیان شوند، ماهی‌ها با جذب آن‌ها از روش‌های مستقیم و یا غیرمستقیم و هم‌چنین تجمع این عناصر در بافت‌های مهمی مانند ماهیچه، کبد، کلیه و... دچار مسمومیت‌های مزمن می‌گردند و در صورت ادامه این روند، علائم ظاهری ویژه این نوع مسمومیت‌ها را بروز می‌دهند (Järup، ۲۰۰۳؛ Mendez و Castro، ۲۰۰۸). به‌همین دلیل مشاهده و بررسی تجمع این عناصر با اندازه‌گیری پیوسته آن‌ها در منابع آبی متفاوت، ضرورت می‌یابد. از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی، گزینش گونه‌های مختلف ماهیان به‌عنوان نشانگر زیستی عناصر مختلف در محیط‌های آبی می‌باشد



USA) و جیوه (Hg) باروش بخار سرد (CV-AAS) به وسیله Varian (USA, Palo Alto, VGA-77) انجام پذیرفت. به جهت ارزیابی صحت روش کار، اطمینان از روش آماده سازی و استخراج فلزات از نمونه های بافت عضله ماهی ها، از روش افزایش استاندارد (Standard addition) نمونه استاندارد مرجع (CRMs) بافت صدف اویستر SRM® 1566b (USA, Gaithersburg, NIST®) استفاده و آزمایش هر نمونه سه مرتبه تکرار (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) شد و درصد بازیابی فلزات، مورد ارزیابی قرار گرفت (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).

**تجزیه و تحلیل آماری:** در ابتدا برای تعیین نرمال بودن پراکنش داده های به دست آمده، از آزمون آماری (Kolmogorov-Smirnov) استفاده گردید و مقایسه میانگین داده ها، با تحلیل واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) به کمک نرم افزار IBM SPSS v 22. North. Castle USA) انجام گرفت. سپس در صورت اختلاف معنی دار، برای جدا نمودن گروه های نامشابه از آزمون Tukey در سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $P < 0.05$ ) استفاده شد. نتایج به دست آمده از این مطالعه به وسیله آزمون آنالیز واریانس تک نمونه ای (One-Sample T-Test) با استانداردهای پیشنهاد شده توسط سازمان های معتبر بین المللی، مقایسه گردیدند. در نهایت برای ترسیم جداول از نرم افزار Excel 2013 (USA, Redmond, Microsoft) بهره گرفته و داده ها براساس میکروگرم بر گرم وزن خشک (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{d.w.}$ ) بیان شده است (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).

## نتیجه

در ابتدای این پژوهش تعداد کل ۲۰ عدد ماهی سیاه کولی (V. vimba) جمع آوری شده از رودخانه سیاه درویشان، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از زیست سنجی آن ها در جدول ۱ نشان داده شده است که براساس آن، ماهی های مورد مطالعه دارای میانگین طولی  $17/31 \pm 1/42$  سانتی متر و میانگین وزنی  $60/51 \pm 3/50$  گرم بودند.

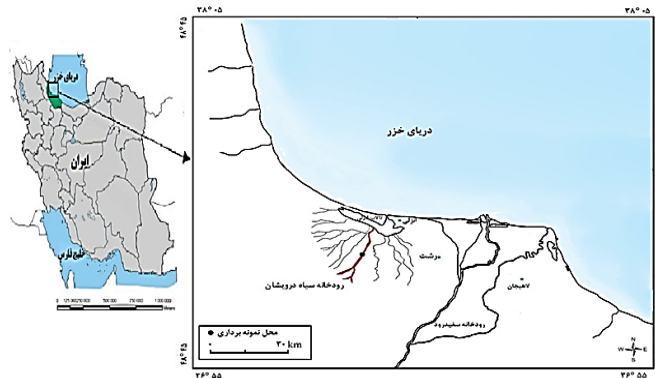
جدول ۱: نتایج حاصل از زیست سنجی ماهی سیاه کولی در رودخانه

سیاه درویشان

متغیرها	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
طول کل (سانتی متر)	۲۰	۱۷/۳۱	۱/۴۲	۱۴/۷۷	۲۰/۱۲
وزن کل (گرم)	۲۰	۶۰/۵۱	۳/۵۰	۵۸/۶۳	۷۳/۸۶

همان گونه که قبل تر اشاره گردید، جهت آگاهی یافتن از میزان اطمینان روش های انجام شده و استخراج فلزات از بافت عضله ماهی ها،

به مدت ۹-۱۰ ساعت، کاملاً خشک گردیدند. نمونه بافت های خشک شده، به وسیله هاون چینی آزمایشگاهی به طور کامل پودر و سپس با  $\text{HNO}_3$  ۱۰ درصد و آب دیونیزه Dw (کیمیا تهران اسید، تهران، ایران) شسته شدند (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محل جمع آوری ماهی سیاه کولی از رودخانه سیاه درویشان (صومعه سرا، استان گیلان، ایران)

**هضم شیمیایی بافت ها:** برای هضم نمونه بافت عضله ماهی ها از روش هضم بسته (Closed vessel) بهره گرفته شد که در ابتدا ۱ گرم از بافت نمونه خشک شده، به وسیله ترازوی Sartorius (ED Series, Germany, Göttingen) با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و به داخل لوله های دستگاه هضم کننده مایکروویو CEM (USA, Matthews, MARS 5) ریخته شد. سپس ۹ میلی لیتر  $\text{HNO}_3$  خالص Merck Millipore (۶۵٪، USA, Billerica) به لوله ها اضافه و نمونه ها در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد هضم گردیدند. به نمونه های کاملاً هضم شده، فرصت داده شد تا در دمای اتاق (حدود ۲۳ درجه سانتی گراد) خنک شوند و پس از عبور از کاغذ صافی Sigma-Aldrich (Whatman® ۴۰ میکرون، St. Louis, USA) با انتقال به بالن درجه بندی شده به وسیله آب فوق خالص به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس تا شروع مرحله سنجش غلظت فلزات سنگین، در ظروف پلی پروپیلن (Nalgene® ۲۱۲۶-series, USA, Rochester) نگهداری گردیدند (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).

**سنجش میزان غلظت فلزات سنگین:** نمونه های آماده شده، پس از به هم زدن و یکنواخت شدن برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه، به دستگاه طیف سنجی جذب اتمی (Atomic absorption spectroscopy) تزریق شدند. اندازه گیری غلظت فلزات (Fe, Cu, Mn, Zn) با روش شعله (Acetylene-air) به کمک دستگاه Varian (USA, Palo Alto, FS) ۲۸۰ و عناصر (Se, Ni, As, Cd, Pb) با دستگاه Varian (USA, Palo Alto, GT) ۲۸۰/Z/۱۲۰.



آمد. بیش‌ترین درصد بازیابی متعلق به فلز آهن و کم‌ترین درصد مربوط به منگنز بود که نشان داد روش‌های استفاده شده برای مشخص نمودن غلظت فلزات، از صحت و اطمینان لازم برخوردار است.

از روش افزایش استاندارد نمونه مرجع بافت صدف اویستر SRM® 1566b استفاده شد که نتایج حاصله، در جدول ۲ بیان شده است. براساس داده‌ها، میزان بازیابی فلزات مورد مطالعه بین ۸۶ تا ۱۰۱ درصد به‌دست

جدول ۲: مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت فلزات سنگین با مقادیر تایید شده (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در استاندارد مرجع SRM® 1566b (بافت صدف اویستر)

میزان بازیابی (درصد)	SRM® 1566b (بافت صدف اویستر)		تنظیمات دستگاه		عنصر
	مقادیر تایید شده (میکروگرم بر گرم)	مقادیر اندازه‌گیری شده (میکروگرم بر گرم)	عرض شکافت (نانومتر)	طول موج (نانومتر)	
۹۰	۷/۶۵ ± ۰/۶۵	۶/۹۳ ± ۰/۵۱	۰/۵	۱۸۸/۹۸	آرسنیک (As)
۱۰۱	۲۰۵/۸ ± ۶/۸	۲۰۶/۴۱ ± ۴/۲۰	۰/۲	۲۵۹/۹۴	آهن (Fe)
۹۴	۰/۰۵۷۱ ± ۰/۰۰۱۳	۰/۰۵۴۰ ± ۰/۰۰۰۲	۰/۵	۲۵۳/۷۱	جیوه (Hg)
۹۴	۱۴۲۴ ± ۴۶	۱۳۱۲ ± ۳۹	۰/۷	۲۳۱/۸۶	روی (Zn)
۹۱	۰/۳۰۸ ± ۰/۰۰۲	۰/۲۸۱ ± ۰/۰۰۲	۰/۷	۲۲۰/۳۵	سرب (Pb)
۹۴	۲/۰۶ ± ۰/۱۵	۱/۹۸ ± ۰/۱۱	۱/۰	۱۹۶/۰۲	سلنیوم (Se)
۹۵	۲/۴۸ ± ۰/۰۸	۲/۳۶ ± ۰/۲۱	۰/۷	۲۱۴/۴۴	کادمیوم (Cd)
۹۳	۷۱/۶ ± ۱/۶	۶۷/۸۳ ± ۲/۰۱	۰/۷	۳۲۷/۳۹	مس (Cu)
۸۶	۱۸/۵ ± ۰/۲	۱۵/۹۳ ± ۰/۰۳	۰/۲	۲۵۷/۶۱	منگنز (Mn)
۹۶	۱/۰۴ ± ۰/۰۹	۰/۹۹ ± ۰/۰۳	۰/۲	۲۳۱/۶۰	نیکل (Ni)

میکروگرم بر گرم، کم‌ترین میزان تجمع فلزات سنگین را در بافت عضله ماهی مورد مطالعه از خود نشان دادند. هم‌چنین با مقایسه میزان غلظت فلزات با آستانه مجاز استاندارد جهانی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد/سازمان بهداشت جهانی (FAO/WHO)، میانگین تجمع فلزهای آرسنیک، سرب و منگنز در بافت خوراکی عضله سیاه کولی بیش‌تر از حد مجاز اندازه‌گیری شده بود درحالی‌که میزان باقی عناصر، کم‌تر از استاندارد جهانی بودند.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فلزات سنگین بافت عضله در جدول ۳ قرار داده شده است. همان‌گونه که از نتایج جدول مشخص است، میانگین  $\pm$  انحراف معیار فلزات مورد بررسی به‌ترتیب با روی ۲۱/۳۶۳  $\pm$  ۱/۷۸۶، آهن ۱۲/۵۲۴  $\pm$  ۰/۹۶۳، مس ۱/۶۸۶  $\pm$  ۰/۱۱۹، منگنز ۱/۵۵۷  $\pm$  ۰/۰۹۸، سرب ۰/۶۰۲  $\pm$  ۰/۰۵۶، آرسنیک ۰/۴۹۰  $\pm$  ۰/۰۴۲، سلنیوم ۰/۴۴۷  $\pm$  ۰/۰۴۴، نیکل ۰/۲۷۶  $\pm$  ۰/۰۱۹، کادمیوم ۰/۱۷۸  $\pm$  ۰/۰۱۶ و جیوه ۰/۰۶۶  $\pm$  ۰/۰۰۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک به‌دست آمد که فلزهای روی با ۲۳/۱۵ میکروگرم بر گرم، بیش‌ترین و جیوه با ۰/۰۵۹

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) با مقدار آستانه مجاز استاندارد جهانی

عنصر	میزان تجمع		محدوده (میکروگرم بر گرم وزن خشک)		استاندارد جهانی
	انحراف معیار	انحراف معیار نسبی (درصد)	کمینه	بیشینه	
آرسنیک (As)	۰/۴۹۰	۸/۶۶	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۰۵
آهن (Fe)	۱۲/۵۲۴	۷/۶۹	۱۱/۵۰	۱۳/۴۱	۱۰۰
جیوه (Hg)	۰/۰۶۶	۹/۳۰	۰/۰۵۹	۰/۰۷۱	۰/۵
روی (Zn)	۲۱/۳۶۳	۱/۷۸۶	۱۹/۵۵	۲۳/۱۵	۱۰۰۰
سرب (Pb)	۰/۶۰۲	۹/۲۹	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۵
سلنیوم (Se)	۰/۴۴۷	۹/۹۱	۰/۳۹	۰/۴۸	۱
کادمیوم (Cd)	۰/۱۷۸	۸/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲
مس (Cu)	۱/۶۸۶	۶/۹۹	۱/۵۸	۱/۸۰	۳۰
منگنز (Mn)	۱/۵۵۷	۶/۲۸	۱/۴۵	۱/۶۶	۰/۰۵
نیکل (Ni)	۰/۲۷۶	۷/۰۷	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۴



## بحث

فلزات سنگین، عناصر پایدار و غیرقابل تجزیه‌ای هستند که به مرور در بافت‌های مختلف آبزیان همانند عضله، استخوان، پوست و ... تجمع می‌یابند و به همین طریق در طول حلقه‌های زنجیره غذایی با مصرف به‌وسیله دیگر گونه‌ها انتقال می‌یابند (Ahalya و همکاران، ۲۰۰۳). از جمله مهم‌ترین بافت‌های ماهیان که نقش عمده‌ای در تغذیه انسانی دارد، بافت عضله بوده (Carvalho و همکاران، ۲۰۰۵) که بیش‌تر مطالعات صورت گرفته بر روی تعیین میزان تجمع فلزات سنگین در بدن ماهیان به بررسی این بافت پرداخته شده است (Azaman و همکاران، ۲۰۱۵). زیرا به لحاظ نقش در سلامت غذایی مصرف‌کنندگان، دارای اهمیت بالایی می‌باشد (Castilhos و همکاران، ۲۰۰۶). به همین دلیل در این مطالعه، عضله که یکی از ارزشمندترین بخش‌های خوراکی ماهی‌ها محسوب می‌گردد به‌عنوان بافت هدف آزمایش، انتخاب گردید. در جدول ۴ مقایسه نوع ترتیب تجمع عناصر فلزی در پژوهش کنونی با سایر تحقیقات صورت گرفته بر گونه‌های متفاوت خانواده کپورماهیان در مناطق مختلف جهان، نشان داده شده است که براساس آن فلز روی و سپس فلز آهن، بیش‌ترین میزان غلظت را در بافت عضله ماهی سیاه کولی دارد که با مطالعات Canbek و همکاران (۲۰۰۷) روی سیاه ماهی (*C. capota*) رودخانه Porsuk کشور ترکیه، Uysal و همکاران (۲۰۰۹) بر گونه ماهی سفید رودخانه‌ای (*S. cephalus*) دریاچه پشت سد Enne در ترکیه و هم‌چنین Kaçar و همکاران (۲۰۱۷) روی ماهی شیریت (*B. grypus*) دریاچه Batman شهر دیاربکر ترکیه، هم‌خوانی داشت. درحالی‌که با آزمایش Uysal و همکاران (۲۰۰۹) بر اندازه‌گیری فلزات سنگین بافت عضله مروارید ماهی (*A. alburnus*) جمع‌آوری شده از دریاچه شهر Kütahya ترکیه، تفاوت داشت زیرا ترتیب توالی فلزات سنگین در مطالعه آن‌ها به‌صورت  $Fe > Zn$  مشاهده گردید. علت تجمع بالای عنصر روی، نشانگر نقش برجسته آن (با مقادیر اندک) در عملکردهای متابولیسمی ماهیان (به‌عنوان کاتالیزگر در فرآیندهای سوخت و ساز انرژی، کاهش سمیت عنصر کادمیوم در حضور فلز روی و...)، فراوانی پراکنش این فلز در محیط‌های طبیعی و درنهایت میزان دفع آهسته آن از بافت‌های بدن، است (Leung و همکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین فلز آهن به‌عنوان پرکاربردترین عنصر در صنایع و فعالیت‌های انسانی شناخته می‌شود و دهمین عنصر دارای بیش‌ترین میزان فراوانی با منشأ طبیعی بوده که عموماً ۰/۰۵ درصد وزن بدن ماهیان را تشکیل می‌دهد. این عنصر همانند فلز روی به مقدار کم برای عملکرد مطلوب فعالیت‌های حیاتی ماهی‌ها ضروری بوده (دارای نقش در ساختار هموگلوبین ماهیان) و علائم کمبود آن شامل کم‌خونی میکروسیتیک و هیپوکرومیک است که موجب کاهش اندازه و حجم گلبول‌های قرمز

خون می‌گردد (Uysal و همکاران، ۲۰۰۸؛ Dhanakumar و همکاران، ۲۰۱۵؛ Rakocevic و همکاران، ۲۰۱۸). میزان عناصر مس و منگنز در مطالعه حاضر، پس از روی و آهن قرار داشتند که با پژوهش Uysal و همکاران (۲۰۰۹) بر اندازه‌گیری غلظت این فلزات در ماهی کاراس (*C. carassius*) و Köse و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت ولی با آزمایش فرهادی و یآوری (۱۳۹۲) روی گونه (*C. damascina*) در رودخانه سزار استان لرستان مخالف بود. با توجه به نقش مهمی که این دو عنصر کمیاب، به‌ویژه فلز مس که در فرآیندهای سوخت و سازی، تنفسی، تشکیل برخی رنگدانه‌های پوست و عملکرد مناسب متالوآنزیم‌ها دارد (Tepe و همکاران، ۲۰۰۸؛ Tuzen، ۲۰۰۹؛ Spanopoulos و همکاران، ۲۰۱۷)، میزان غلظت بالای آن در بدن ماهیان را توجیه می‌کند. با این وجود در مطالعه اخیر میزان تجمع فلزات سنگین روی، آهن و مس پایین‌تر از استاندارد پیشنهاد شده بین‌المللی بود، درحالی‌که غلظت فلز منگنز در بافت عضله سیاه کولی، بالاتر از این حد مجاز استاندارد نشان داد. ترتیب تجمع عناصر سمی و غیرضروری سرب، آرسنیک، نیکل، کادمیوم و جیوه در پژوهش کنونی پس از فلزات ضروری روی، آهن و مس و عنصر کمیاب نیمه‌ضروری منگنز قرار داشتند که پژوهش اخیر با برخی مطالعات انجام شده هم‌چون واردی و همکاران (۱۳۹۱)، Anan و همکاران (۲۰۰۵) بر روی ماهی سفید دریای خزر (*R. kutum*) و هم‌چنین Siraj و همکاران (۲۰۱۸) بر کپور معمولی (*C. carpio*) در کشور پاکستان هم‌خوانی داشت. پایین‌تر بودن غلظت این عناصر در بافت عضله، نشان‌دهنده عدم نیاز زیستی گونه مورد مطالعه به عناصر مذکور است که عمدتاً میزان تجمع آن‌ها را در بافت ماهیان، شرایط خارجی همانند آلاینده‌های محیطی تعیین می‌کند (Makedonski و همکاران، ۲۰۱۷). این عناصر عموماً حاصل فعالیت‌ها انسانی شامل صنایع کشاورزی، دامپروری، پزشکی، باقی‌مانده سوخت‌های فسیلی، پساب‌های حاصل از حشره‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی مورد استفاده در فعالیت‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و ترکیبات آلیاژهای به‌کار رفته در تجهیزات الکترونیکی به محیط‌های آبی است (Duruibe و همکاران، ۲۰۰۷؛ Moore و Ramamoorthy، ۲۰۱۲؛ Alloway، ۲۰۱۳) که در نتیجه، تولید آن‌ها توسط عوامل انسانی بالاتر از منشأ طبیعی می‌باشد و تجمع بیش از حد آن‌ها موجب عوارض نامطلوبی هم‌چون کاهش رشد، توقف فعالیت‌های تولیدمثلی و مرگ و میر شدید می‌گردد (Mance، ۲۰۱۲). نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر نشان داد که میزان غلظت تمام فلزات سنگین مورد بررسی به‌جز منگنز، آرسنیک و سرب در بافت خوراکی عضله ماهی سیاه کولی در رودخانه سیاه درویشان واقع در استان گیلان، پایین‌تر از آستانه مجاز استاندارد تعیین شده توسط FAO/WHO بود. درحالی‌که بالا بودن تجمع این سه عنصر نسبت به



بررسی‌های دوره‌ای بیش‌تر و در نتیجه شناخت بهتر منابع ورودی و تولیدی آن‌ها در جهت کنترل و در نهایت جلوگیری از نفوذ چنین عوامل آلوده‌کننده‌ای به محل زیست این گونه می‌باشد.

حد مجاز پیشنهاد شده، بیانگر لزوم توجه به احتمال ورود منابع تولید کننده این آلاینده‌ها هم‌چون پساب‌های سموم کشاورزی، علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و باقی‌مانده ناشی از سوخت‌های فسیلی مورد استفاده در فعالیت‌های صنعتی به محیط زیست گونه مذکور است. بنابراین نیازمند

جدول ۴: مقایسه بین ترتیب غلظت فلزات سنگین موجود در بافت عضله ماهی سیاه کولی با سایر گونه‌های خانواده کپور ماهیان از نواحی مختلف جهان

گونه	ترتیب	ناحیه مورد مطالعه	منبع
<i>Rutilus frisii kutum</i>	Zn>Ni>Cu>Pb>Hg>Cd	سواحل فرح آباد ساری، دریای خزر، ایران	واردی و همکاران (۱۳۹۱)
<i>Capoeta damascina</i>	Fe>Zn>Pb>Ni>Cu>Cd	رودخانه سزار، لرستان، ایران	فرهادی و یآوری (۱۳۹۲)
<i>Cyprinus carpio</i>	Zn>Cu>Hg>Cd>Ni>Pb	کل سواحل جنوبی، دریای خزر، ایران	نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۲)
<i>Rutilus frisii kutum</i>	Zn>Se>Cu>Mn>Hg>Pb>Cd>Ni	کل سواحل جنوبی، دریای خزر، ایران	Anan و همکاران (۲۰۰۵)
<i>Barbus plebejus</i>	Zn>Fe>Ni>Mn>Pb>Cu>Cd	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Canbek و همکاران (۲۰۰۷)
<i>Capoeta capoeta</i>	Zn>Fe>Ni>Mn>Cu>Pb>Cd	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Canbek و همکاران (۲۰۰۷)
<i>Barbus grypus</i>	Fe>Zn>Pb>Cu>Mn>Ni	دریاچه سد Ataturk, Adiyaman, ترکیه	Oymak و همکاران (۲۰۰۹)
<i>Carassius carassius</i>	Zn>Fe>Cu>Mn>Cd	دریاچه سد Enne, Kütahya, ترکیه	Uysal و همکاران (۲۰۰۹)
<i>Chondrostoma nasus</i>	Fe>Zn>Ni>Cu>Cd	دریاچه سد Enne, Kütahya, ترکیه	Uysal و همکاران (۲۰۰۹)
<i>Squalius cephalus</i>	Zn>Fe>Ni>Cu>Mn>Cd	دریاچه سد Enne, Kütahya, ترکیه	Uysal و همکاران (۲۰۰۹)
<i>Alburnus alburnus</i>	Fe>Zn>Cd	دریاچه سد Enne, Kütahya, ترکیه	Uysal و همکاران (۲۰۰۹)
<i>Barbus grypus</i>	Zn>Pb>Ni>Cu>Mn>Cd	تالاب شادگان، خوزستان، ایران	Alhashemi و همکاران (۲۰۱۲)
<i>Barbus sharpeyi</i>	Zn>Pb>Cu>Mn>Ni>Cd	تالاب شادگان، خوزستان، ایران	Alhashemi و همکاران (۲۰۱۲)
<i>Cyprinus carpio</i>	Zn>Pb>Cu>Ni>Mn>Cd	تالاب شادگان، خوزستان، ایران	Alhashemi و همکاران (۲۰۱۲)
<i>Barbus tauricus</i>	Zn>Ni>Cu>Mn	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Köse و همکاران (۲۰۱۵)
<i>Capoeta baliki</i>	Zn>Ni>Cu>Mn	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Köse و همکاران (۲۰۱۵)
<i>Carassius gibelio</i>	Zn>Ni>Cu>Mn>As>Pb	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Köse و همکاران (۲۰۱۵)
<i>Capoeta sieboldii</i>	Zn>Cu>Mn>Ni	رودخانه Eskişehir, Porsuk, ترکیه	Köse و همکاران (۲۰۱۵)
<i>Barbus grypus</i>	Zn>Fe>Mn>Cu	دریاچه سد Batman, دیاربکر، ترکیه	Kaçar و همکاران (۲۰۱۷)
<i>Squalius fellowesii</i>	Zn>Cu>Mn>Pb>Cd	رودخانه Tersakan, ترکیه	Şaşı و همکاران (۲۰۱۷)
<i>Cyprinus carpio</i>	Zn>Fe>Ni>Cu>Pb>Mn>Cd>Hg	رودخانه Kabul, Khyber Pakhtunkhwa, پاکستان	Siraj و همکاران (۲۰۱۸)
<i>Vimba vimba</i>	Zn>Fe>Cu>Mn>Pb>As>Se>Ni>Cd>Hg	رودخانه سیاه درویشان، صومعه‌سرا، ایران	مطالعه حاضر

## منابع

- ستاری، م.؛ شاهسونی، د. و شفیعی، ش.، ۱۳۸۳. ماهی شناسی (۲) (سیستماتیک) انتشارات حق شناس. ۵۰۲ صفحه.
- فرهادی، ا. و یآوری، و.، ۱۳۹۲. پایش زیستی فلزات سنگین (Pb, Cu, Ni, Fe, Cd) توسط بافت‌های مختلف سیاه ماهی فلس ریز (*Capoeta damascina*) در رودخانه سزار، استان لرستان. مجله علمی شیلات ایران. شماره ۲۲، صفحات ۱۲۶ تا ۱۳۱.
- نصراله‌زاده ساروی، ح.؛ پورغلام، ر.؛ پورنگ، ن.؛ رضایی، م.؛ مخلوق، ا. و یونسی پور، ح.، ۱۳۹۲. مطالعه تجمع برخی از فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی کپور و برآورد میزان سیبل خطر در
- واردی، س.؛ نصراله‌زاده ساروی، ح.؛ نجف پور، ش.؛ غلامی پور، س.؛ یونسی پور، ح. و علوم، ی.، ۱۳۹۱. مطالعه بر روی آلودگی‌های محیطی (فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، سموم ارگانوکلره و شوینده‌ها) در آب، بستر و ماهی‌های نواحی جنوبی دریای خزر (سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۸). گزارش نهایی. ساری. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر.
- Abdoli, A. and Naderi, M., 2009. Biodiversity of fishes of the southern basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication, Tehran. Vol. 238, 237 p.
- Ahalya, N.; Ramachandra, T. and Kanamadi, R., 2003. Biosorption of heavy metals. Research Journal of Chemistry and Environment. Vol. 7, pp: 71-79.
- Alhashemi, A.H.; Sekhavatjou, M.; Kiabi, B.H. and Karbassi, A., 2012. Bioaccumulation of trace elements in



- species in Iran: Diversity, environmental impacts and management. Iranian Journal of Ichthyology. Vol. 1, pp: 61-72.
۲۳. Ghaderi, N.; Qoddusi, J. and Tabatabai, M.R., 2001. Evaluation the Landuse Effects on Surfacewater Quality and pollution Transport Modelling by Mathematical Model (AQUALM) in Siah-Darvishan basin of Gilan. Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research Center. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID:IR2008001177>.
۲۴. Ghafouri, M.; Ghaderi, N.; Tabatabaei, M.; Versace, V.; Ierodiakonou, D.; Barry, D. and Stagnitti, F., 2010. Land use change and nutrients simulation for the Siah Darvishan basin of the Anzali wetland region, Iran. Bulletin of environmental contamination and toxicology. Vol. 84, pp: 240-244.
۲۵. Islam, M.S.; Ahmed, M.K.; Raknuzzaman, M.; Habibullah-Al-Mamun, M. and Islam, M.K., 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. Ecological Indicators. Vol. 48, pp: 282-291.
۲۶. Järup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. British medical bulletin. Vol. 68, pp: 167-182.
۲۷. Kaçar, E.; Akan, H.K. and Uğurlu, P., 2017. Determination of Heavy Metals in Tissues of *Barbus grypus* (Heckel, 1843) from Batman Dam, Turkey. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 17, pp: 789-794.
۲۸. Kiabi, B.H.; Abdoli, A. and Naderi, M., 1999. Status of the fish fauna in the South Caspian Basin of Iran. Zoology in the Middle East. Vol. 18, pp: 57-65.
۲۹. Köse, E.; Çiçek, A.; Uysal, K.; Tokath, C.; Emiroğlu, Ö. and Arslan, N., 2015. Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment, and Some *Cyprinid* Species in Porsuk Stream (Turkey). Water Environment Research. Vol. 87, pp: 195-204.
۳۰. Leung, H.; Leung, A.; Wang, H.; Ma, K.; Liang, Y.; Ho, K.; Cheung, K.; Tohidi, F. and Yung, K., 2014. Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China. Marine pollution bulletin. Vol. 78, pp: 235-245.
۳۱. Łuczyńska, J.; Paszczyk, B. and Łuczyński, M.J., 2018. Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health. Ecotoxicology and environmental safety. Vol. 153, pp: 60-67.
۳۲. Makedonski, L.; Psycheva, K. and Stancheva, M., 2017. Determination of heavy metals in selected black sea fish species. Food Control. Vol. 72, pp: 313-318.
۳۳. Mance, G., 2012. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Springer Science and Business Media. Vol. 1, 363 p. ISBN: 1851660399.
۳۴. Moore, J.W. and Ramamoorthy, S., 2012. Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Springer Science and Business Media. Vol. 1, 263 p. ISBN: 978-261-4612-5210-4618.
۳۵. Oymak, S.; Karadede-Akin, H. and Dogan, N., 2009. Heavy metal in tissues of *Tor grypus* from Atatürk Dam Lake, Euphrates River-Turkey. Biologia. Vol. 64, pp: 151-155.
۳۶. Rakocevic, J.; Sukovic, D. and Maric, D., 2018. Distribution and Relationships of Eleven Trace Elements in Muscle of Six Fish Species from Skadar Lake (Montenegro). water, sediment, and six fish species from a freshwater wetland, Iran. Microchemical Journal. Vol. 104, pp: 1-6.
۸. Alloway, B.J., 2013. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: Alloway B. (eds). Environmental Pollution, Springer, Dordrecht. Vol. 22, pp: 11-50.
۹. Anan, Y.; Kunito, T.; Tanabe, S.; Mitrofanov, I. and Aubrey, D.G., 2005. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin. Vol. 51, pp: 882-888.
۱۰. Authman, M.M.; Zaki, M.S.; Khallaf, E.A. and Abbas, H.H., 2015. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. Journal of Aquaculture Research & Development. Vol. 6, pp: 1-13.
۱۱. Azaman, F.; Juahir, H.; Yunus, K.; Azid, K.M.; Toriman, M.E.; Mustafa, A.D.; Amran, M.A.; Che, H. and Mohd, S., 2015. Heavy metal in fish: Analysis and human health-a review. Jurnal Teknologi. Vol. 77, pp: 61-69.
۱۲. Bosch, A.C.; O'Neill, B.; Sigge, G.O.; Kerwath, S.E. and Hoffman, L.C., 2016. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol. 96, pp: 32-48.
۱۳. Canbek, M.; Demir, T.A.; Uyanoglu, M.; Bayramoglu, G.; Emiroglu, Ö.; Arslan, N. and Koyuncu, O., 2007. Preliminary Assessment of Heavy Metals in Water and Some *Cyprinidae* species from the Porsuk River, Turkey. Journal of Applied Biological Sciences. Vol. 87, pp 195-204.
۱۴. Carvalho, M.; Santiago, S. and Nunes, M.L., 2005. Assessment of the essential element and heavy metal content of edible fish muscle. Analytical and Bioanalytical Chemistry. Vol. 382, pp: 426-432.
۱۵. Castilhos, Z.C.; Rodrigues-Filho, S.; Rodrigues, A.P.C.; Villas-Bôas, R.C.; Siegel, S.; Veiga, M.M. and Beinhoff, C., 2006. Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. Science of the Total Environment. Vol. 368, pp: 320-325.
۱۶. Castro-González, M. and Méndez-Armenta, M., 2008. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. Environmental toxicology and pharmacology. Vol. 26, pp: 263-271.
۱۷. Coad, B.W., 1998. Systematic biodiversity in the freshwater fishes of Iran. Italian Journal of Zoology. Vol. 65, pp: 101-108.
۱۸. Dhanakumar, S.; Solaraj, G. and Mohanraj, R., 2015. Heavy metal partitioning in sediments and bioaccumulation in commercial fish species of three major reservoirs of river Cauvery delta region, India. Ecotoxicology and environmental safety. Vol. 113, pp: 145-151.
۱۹. Duruibe, J.O.; Ogwuegbu, M. and Hgwurugwu, J., 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International journal of physical sciences. Vol. 2, pp: 112-118.
۲۰. El-Moselhy, K.M.; Othman, A.; El-Azem, H.A. and El-Metwally, M., 2014. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences. Vol. 1, pp: 97-105.
۲۱. Esmaeili, H.R.; Coad, B.W.; Mehraban, H.R.; Masoudi, M.; Khaefi, R.; Abbasi, K.; Mostafavi, H. and Vatandoust, S., 2015. An updated checklist of fishes of the Caspian Sea basin of Iran with a note on their zoogeography. Iranian Journal of Ichthyology. Vol. 1, pp: 152-184.
۲۲. Esmaeli, H.R.; Teimori, A.; Feridon, O.; Abbasi, K. and Brian, W.C., 2015. Alien and invasive freshwater fish



- Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 18, pp: 647-657.
۳۷. **Şaşı, H.; Yozukmaz, A. and Yabanli, M., 2017.** Heavy metal contamination in the muscle of Aegean chub (*Squalius Fellowesii*) and potential risk assessment. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 25, pp: 1-9.
۳۸. **Siraj, M.; Khisroon, M.; Khan, A.; Zaidi, F.; Ullah, A. and Rahman, G., 2018.** Bio-monitoring of Tissue Accumulation and Genotoxic Effect of Heavy Metals in *Cyprinus carpio* from River Kabul Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. Bulletin of environmental contamination and toxicology. Vol. 100, pp: 1-6.
۳۹. **Spanopoulos-Zarco, P.; Ruelas-Inzunza, J.; Aramburo Moran, I.; Bojórquez-Leyva, H. and Páez-Osuna, F., 2017.** Differential Tissue Accumulation of Copper, Iron, and Zinc in Bycatch Fish from the Mexican Pacific. Biological trace element research. Vol. 176, pp: 201-206.
۴۰. **Tepe, Y.; Türkmen, M. and Türkmen, A., 2008.** Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas. Environmental monitoring and assessment. Vol. 146, pp: 277-284.
۴۱. **Tuzen, M., 2009.** Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. Food and Chemical Toxicology. Vol. 47, pp: 1785-1790.
۴۲. **Uysal, K.; Emre, Y. and Köse, E., 2008.** The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchemical journal. Vol. 90, pp:67-70.
۴۳. **Uysal, K.; Köse, E.; Bülbül, M.; Dönmez, M.; Erdoğan, Y.; Koyun, M.; Ömeroğlu, Ç. and Özmal, F., 2009.** The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). Environmental monitoring and assessment. Vol. 157, pp: 355-362.

