Archive of SID

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

- **محمد اتفاق‌دوست***: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران، صندوق‌پستی: ۱۱٤٤
- **حمید علاف‌نویریان**: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران، صندوق‌پستی: ۱۱٤٤

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹٦ 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 به‌وسیله تور پرتابی سالیک از رودخانه سیاه درویشان استان گیلان در تابستان ۱۳۹۵، توسط دستگاه‌طیف‌سنجی جذب اتمی Varian موردمطالعه قرار گرفتند. میزان کم‌ترین و بیش‌ترین تجمع فلزات‌سنگین به‌ترتیب: روی ۱۹/۵۵-۲۳/۱۵، آهن ۱۱/۵۰-۱۳/٤۱، مس ۱/۵۸-۱/۸۰، منگنز ۱/٤۵-۱/٦٦، سرب ۰/۵٦-۰/٦۷، آرسنیک ۰/٤۵-۰/۵۳، سلنیوم ۰/۳۹-۰/٤۸، نیکل ۰/۲٦-۰/۲۹، کادمیوم ۰/۱٦-۰/۱۹ 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 به‌جز آرسنیک (۰/۰٤۲±۰/٤۹۰)، سرب (۰/۰۵٦±۰/٦۰۲) و منگنز (۰/۰۹۸±۱/۵۵۷)، 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

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ettefaghdoost@phd.guilan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba*) گونه‌ای رودکوچ، 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 ازجمله گونه‌های باارزش 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 سال های اخیر در حوزه جنوبی دریای خزراز ۱۸۵ تن در سال ۱۳۸۲به ۲۳ تن در سال ۱۳۹۳ کاهش یافت (Esmaeili 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 درعوامل شیمیایی آب زیستگاه این گونه می‌باشد که نتیجه آن کاهش ذخایر ماهی سیاه کولی است (Esmaeli و همکاران، ۲۰۱۵). ازجمله رودخانه‌های محل زیست سیاه کولی در حوزه جنوبی دریای خزر، رودخانه سیاه درویشان می باشد 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 مکعب‌در ثانیه است که در سال‌های گذشته به‌دلیل دخالت‌های انسانی نظیر فعالیت‌های کشاورزی‌و دامپروری،ورود فاضلاب‌های صنعتی و خانگی و... ترکیب عناصر آب این رودخانه را با تغییرات عمده‌ای مواجه ساخته است (Ghafouri و همکاران، ۲۰۱۰). برخی از این عناصر، هرچند به مقدار بسیار کم، برای انجام فرآیندهای طبیعی فیزیولوژیک آبزیان لازم و ضروری هستند، اما زمانی‌که میزان غلظت آن‌ها در محیط زیست ازحد مجاز بالاتر برودو 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؛ Castro و Mendez، ۲۰۰۸). به‌همین دلیل مشاهده و بررسی تجمع این عناصر با اندازه‌گیری پیوسته آن‌ها در منابع آبی متفاوت، ضرورت می‌یابد.ازمهم‌ترین روش‌های ارزیابی، گزینش گونه‌های مختلف ماهیان به‌عنوان نشانگر زیستی عناصر مختلف در محیط‌های آبی می‌باشد (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 انجام‌گرفته‌است‌می‌توان به پژوهش‌های‌واردی و همکاران(۱۳۹۱)بر ماهی سفیددر 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 درماهی‌سیاه کولی به‌عنوان یکی از ماهیان پرمصرف و مشاهده میزان سلامت آن برای مصارف انسانی، مورد بررسی قرار گرفته است.

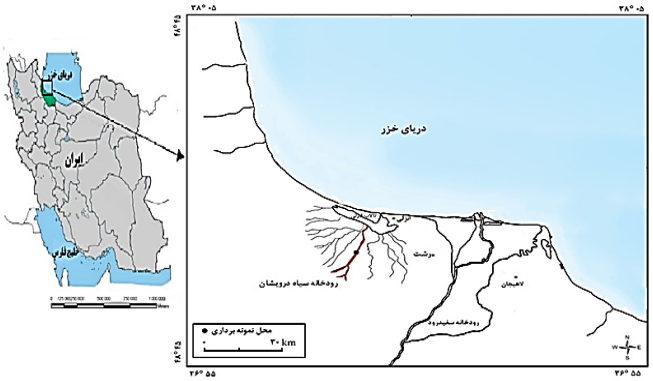
موادوروش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه ها: جهت انجام این مطالعه، تعداد ۲۰ نمونه ماهی سیاه‌کولی (*Vimba vimba*)در تابستان سال ۱۳۹۵ با اندازه‌های مختلف از رودخانه سیاه درویشان (طول و عرض جغرافیایی ۴۹°۳۰ شرقی؛ ۳۷°۲۵ 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 وسپس‌موردزیست‌سنجی قرارگرفتند. وزن ماهی‌ها با ترازوی‌دیجیتال Sartorius(CPA Series، Göttingen، Germany)با دقت ۰/۰۱ گرم و طول آن‌ها به‌وسیله کولیس Mitutoyo (۵۰۱-۵۰۳ series، Takatsu-ku، Japan) با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری‌و نتایج به‌دست آمده، در جدول ثبت گردید.سپس بخش‌های‌اضافی 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 دستگاه‌خشک‌کن‌انجمادی Zirbus (VaCo 5، Bad Grund، Germany) تحت‌دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد

www.SID.ir

Archive of SID

به‌مدت ۹-۱۰ ساعت، کاملاً خشک گردیدند. نمونه بافت‌های خشک شده، به وسیله هاون چینی آزمایشگاهی به‌طور کامل پودر و سپس با ۱۰ درصد HNO_3 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 جمع‌آوری ماهی سیاه کولی از رودخانه سیاه درویشان (صومعه‌سرا، استان گیلان، ایران)

هضم شیمیایی بافت‌ها: برای هضم نمونه بافت عضله ماهی‌ها از روش هضم بسته (Closed vessel) بهره گرفته شد که در ابتدا ۱ گرم از بافت نمونه خشک شده، به‌وسیله ترازوی Sartorius (ED Series، Göttingen، Germany) با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و به‌داخل لوله‌های دستگاه هضم‌کننده مایکروویو CEM (MARS 5، Matthews، USA) ریخته شد. سپس ۹ میلی‌لیتر HNO_3 خالص Merck Millipore (۶۵٪، Billerica، USA) به لوله‌ها اضافه و نمونه‌ها در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد هضم گردیدند. به نمونه‌های کاملاً هضم شده، فرصت داده شد تا در دمای اتاق (حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد) خنک شوند و پس از عبور از کاغذ صافی Sigma-Aldrich (Whatman® ۴۰ میکرون، St. Louis، USA) با انتقال به بالن درجه‌بندی شده به‌وسیله آب فوق خالص به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس تا شروع مرحله سنجش غلظت فلزات سنگین، در ظروف پلی‌پروپیلن Nalgene® (۲۱۲۶- series، Rochester، USA) نگه‌داری گردیدند (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).

سنجش میزان غلظت فلزات سنگین: نمونه‌های آماده شده، پس از به‌هم زدن و یکنواخت شدن برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه، به دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی (Atomic absorption spectroscopy) تزریق شدند. اندازه‌گیری غلظت فلزات (Zn، Mn، Cu، Fe) با روش شعله (Acetylene-air) به کمک دستگاه Varian (FS۲۸۰، Palo Alto، USA) و عناصر (Pb، Cd، As، Ni، Se) به‌روش کوره گرافیتی با دستگاه Varian (GT۲۸۰Z/۱۲۰، Palo Alto، USA) و جیوه (Hg) با روش بخار سرد (Cv-AAS) به‌وسیله Varian (VGA-77، Palo Alto، USA) انجام پذیرفت. به جهت ارزیابی صحت روش کار، اطمینان از روش آماده‌سازی و استخراج فلزات از نمونه‌های بافت عضله ماهی‌ها، از روش افزایش استاندارد (Standard addition) نمونه استاندارد مرجع (CRMs) بافت صدف اویستر SRM® 1566b (NIST®، Gaithersburg، USA) استفاده و آزمایش هر نمونه سه مرتبه تکرار (میانگین ± 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 داده‌های به‌دست آمده، از آزمون آماری (Kolmogorov–Smirnov) استفاده گردید و مقایسه میانگین داده‌ها، با تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) به‌کمک نرم‌افزار SPSS v 22 (IBM، North Castle، USA) انجام گرفت. سپس در صورت اختلاف معنی‌دار، برای جدا نمودن گروه‌های نامشابه از آزمون Tukey در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<0/05$) استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه به‌وسیله آزمون آنالیز واریانس تک‌نمونه‌ای (One-Sample T-Test) با استانداردهای پیشنهاد شده توسط سازمان‌های معتبر بین‌المللی، مقایسه گردیدند. در نهایت برای ترسیم جداول از نرم‌افزار Excel 2013 (Microsoft، Redmond، USA) بهره گرفته و داده‌ها براساس میکروگرم بر گرم وزن خشک (میانگین± انحراف معیار) ($\mu g\ g^{-1}d.w.$) بیان شده است (Authman و همکاران، ۲۰۱۵؛ Łuczyńska و همکاران، ۲۰۱۸؛ Siraj و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج

در ابتدای این پژوهش تعداد کل ۲۰ عدد ماهی سیاه کولی (*V. vimba*) جمع‌آوری شده از رودخانه سیاه درویشان، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از زیست‌سنجی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است که براساس آن، ماهی‌های مورد مطالعه دارای میانگین طولی ۱/۴۲±۱۷/۳۱ سانتی‌متر و میانگین وزنی ۳/۵۰±۶۰/۵۱ گرم بودند.

جدول۱: نتایج حاصل از زیست‌سنجی ماهی سیاه کولی در رودخانه سیاه درویشان

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

همان‌گونه که قبل‌تر اشاره گردید، جهت آگاهی یافتن از میزان اطمینان روش‌های انجام‌شده و استخراج فلزات از بافت عضله ماهی‌ها،

www.SID.ir

Archive of SID

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 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.

جدول ۲: مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت فلزات سنگین با مقادیر تایید شده (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در استاندارد مرجع SRM® ۱۵۶۶b (بافت صدف اویستر)

عنصر	تنظیمات دستگاه		SRM®۱۵۶۶ b (بافت صدف اویستر)		میزان بازیابی (درصد)
	طول موج (نانومتر)	عرض شکافت (نانومتر)	مقادیر اندازه‌گیری شده (میکروگرم بر گرم)	مقادیر تایید شده (میکروگرم بر گرم)	
آرسنیک (As)	۱۸۸/۹۸	۰/۵	۶/۹۳ ± ۰/۵۱	۷/۶۵ ± ۰/۶۵	۹۰
آهن (Fe)	۲۵۹/۹۴	۰/۲	۲۰۶/۴۱ ± ۴/۲۰	۲۰۵/۸ ± ۶/۸	۱۰۱
جیوه (Hg)	۲۵۳/۷۱	۰/۵	۰/۰۵۴۰ ± ۰/۰۰۲	۰/۰۵۷۱ ± ۰/۰۰۱۳	۹۴
روی (Zn)	۲۳۱/۸۶	۰/۷	۱۳۱۲ ± ۳۹	۱۴۲۴ ± ۴۶	۹۴
سرب (Pb)	۲۲۰/۳۵	۰/۷	۰/۲۸۱ ± ۰/۰۲	۰/۳۰۸ ± ۰/۰۰۲	۹۱
سلنیوم (Se)	۱۹۶/۰۲	۱/۰	۱/۹۸ ± ۰/۱۱	۲/۰۶ ± ۰/۱۵	۹۴
کادمیوم (Cd)	۲۱۴/۴۴	۰/۷	۲/۳۶ ± ۰/۲۱	۲/۴۸ ± ۰/۰۸	۹۵
مس(Cu)	۳۲۷/۳۹	۰/۷	۶۷/۸۳ ± ۲/۰۱	۷۱/۶ ± ۱/۶	۹۳
منگنز (Mn)	۲۵۷/۶۱	۰/۲	۱۵/۹۳ ± ۰/۰۳	۱۸/۵ ± ۰/۲	۸۶
نیکل(Ni)	۲۳۱/۶۰	۰/۲	۰/۹۹ ± ۰/۰۳	۱/۰۴ ± ۰/۰۹	۹۶

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

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

عنصر	میزان تجمع			محدوده (میکروگرم بر گرم وزن خشک)		استاندارد جهانی
	میانگین (میکروگرم بر گرم)	انحراف معیار	انحراف معیار نسبی (درصد)	کمینه	بیشینه	FAO/WHO
آرسنیک (As)	۰/۴۹۰	۰/۰۴۲	۸/۶۶	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۰۵
آهن (Fe)	۱۲/۵۲۴	۰/۹۶۳	۷/۶۹	۱۱/۵۰	۱۳/۴۱	۱۰۰
جیوه (Hg)	۰/۰۶۶	۰/۰۰۶	۹/۳۰	۰/۰۵۹	۰/۰۷۱	۰/۵
روی(Zn)	۲۱/۳۶۳	۱/۷۸۶	۸/۴۲	۱۹/۵۵	۲۳/۱۵	۱۰۰۰
سرب (Pb)	۰/۶۰۲	۰/۰۵۶	۹/۲۹	۰/۵۶	۰/۶۷	۰/۵
سلنیوم (Se)	۰/۴۴۷	۰/۰۴۴	۹/۹۱	۰/۳۹	۰/۴۸	۱
کادمیوم (Cd)	۰/۱۷۸	۰/۰۱۶	۸/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲
مس (Cu)	۱/۶۸۶	۰/۱۱۹	۶/۹۹	۱/۵۸	۱/۸۰	۳۰
منگنز (Mn)	۱/۵۵۷	۰/۰۹۸	۶/۲۸	۱/۴۵	۱/۶۶	۰/۰۵
نیکل(Ni)	۰/۲۷۶	۰/۰۱۹	۷/۰۷	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۴

www.SID.ir

Archive of SID

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). ازجمله 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 به‌لحاظ نقش در سلامت غذایی مصرف‌کنندگان، دارای اهمیت بالایی می‌باشد (Castilhos و همکاران، ۲۰۰۶). به‌همین 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 باسایر 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. capoeta*) 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 شیربت (*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 بامنشأطبیعی بوده که عموماً ۰/۰۰۵ درصد وزن بدن ماهیان را تشکیل می دهد. 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 میکروسیستیک 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 یاوری (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 حدمجاز 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 مورداستفاده 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 مورداستفاده در فعالیت‌های صنعتی به محیط‌زیست گونه مذکور است.بنابراین نیازمند بررسی‌های دوره‌ای بیش‌تر و درنتیجه شناخت بهتر منابع ورودی و تولیدی آن‌ها درجهت کنترل و درنهایت‌جلوگیری ازنفوذ چنین عوامل آلوده‌کننده‌ای به محل زیست این گونه می‌باشد.

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

منابع

۱. **ستاری، م.؛ شاهسونی، د. و شفیعی، ش.، ۱۳۸۳.** ماهی شناسی (۲) (سیستماتیک) انتشارات حق شناس. ۵۰۲ صفحه.

۲. **فرهادی، ا. و یاوری، و.، ۱۳۹۲.** پایش زیستی فلزات سنگین (Pb, Cd, Fe, Zn, Ni, Cu) توسط بافت‌های مختلف سیاه ماهی فلس ریز (*Capoeta damascina*) در رودخانه سزار، استان لرستان. مجله علمی شیلات ایران. شماره ۲۲، صفحات ۱۲۶ تا ۱۳۱.

۳. **نصراله‌زاده‌ساروی، ح.؛ پورغلام، ر.؛ پورنگ، ن.؛ رضایی، م.؛ مخلوق، ا. و یونسی‌پور، ح.، ۱۳۹۲.** مطالعه تجمع برخی از فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی کپور و برآورد میزان سیبل خطر در حوزه (*Cyprinus carpio*) ایرانی دریای خزر (سال ۱۳۸۹). مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. شماره ۱۰۳، صفحات ۳۳ تا ۴۴.

۴. **واردی، س.ا؛ نصراله‌زاده‌ساروی، ح.؛ نجف‌پور، ش.؛ غلامی‌پور، س.؛ یونسی‌پور، ح. و علومی، ی.، ۱۳۹۱.** مطالعه‌برروی‌آلودگی‌های محیطی(فلزات‌سنگین،هیدروکربن‌ها، سموم ارگانوکلره و شوینده‌ها) در آب، بستر و ماهی‌های نواحی جنوبی دریای خزر (سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۸).گزارش‌نهایی.ساری.پژوهشکده اکولوژی دریای خزر.

۵. **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.

۶. **Ahalya, N.; Ramachandra, T. and Kanamadi, R., 2003.** Biosorption of heavy metals. Research Journal of Chemistry and Environment. Vol. 7, pp: 71-79.

۷. **Alhashemi, A.H.; Sekhavatjou, M.; Kiabi, B.H. and Karbassi, A., 2012.** Bioaccumulation of trace elements in

www.SID.ir

Archive of SID

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.** PreliminaryAssessment 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 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. Kurdestan Agricultural and Natural Resources Research Center. http:// agris. fao. org / agris - search / search. do? record ID : IR 2008 001177.

۲۴. **Ghafouri, M.; Ghaderi, N.; Tabatabaei, M.; Versace, V.; Ierodiaconou, 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.; Akın, 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.; Tokatlı, 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.; Peycheva, 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).

www.SID.ir

Archive of SID

Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 18, pp: 647-657.

۳۷. **Şaşi, 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.

www.SID.ir