

بررسی تجمع عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ماهی سس (*Barbus barbus*) ساکن رودخانه سیروان کردستان

لیما طیبی^{۱*}، سهیل سبحان اردکانی^۲، سید میلاد جعفری^۳

^۱ دکترای تخصصی شیلات، استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
^۲ دکترای تخصصی علوم محیط زیست، استاد گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: ماهی‌ها به‌عنوان منبع مهم تامین کننده پروتئین، آلاینده‌ها و به‌ویژه فلزات سنگین را از محیط‌های آبی دریافت و در بافت‌های بدن خود انباشته می‌کنند که این موضوع از نظر ایمنی غذایی حایز اهمیت است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تجمع عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های قزل‌آلای رنگین کمان و ماهی سس صید شده از رودخانه سیروان استان کردستان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش توصیفی، پس از انتخاب پنج ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه، در مجموع تعداد ۳۰ عدد از دو گونه ماهی صید شد. پس از هضم اسیدی نمونه‌ها، غلظت عناصر به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry: ICP-OES) خوانده شد و پردازش آماری نتایج نیز توسط نرم‌افزار SPSS انجام یافت.

یافته‌ها: میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله ماهی قزل‌آلا به‌ترتیب برابر با ۰/۰۲۲، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۷۸ میکروگرم در گرم و در ماهی سس نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۴۲ میکروگرم در گرم بود. همچنین، مقایسه آماری میانگین غلظت عناصر با رهنمود FAO/WHO، ATSDR، FDA و EU نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر کم‌تر از بیشینه رواداری بوده است.

نتیجه‌گیری: اگرچه در زمان اجرای پژوهش مصرف ماهیان مورد مطالعه از حیث نرخ تجمع عناصر در بافت عضله ماهی تهدیدی را متوجه سلامتی مصرف‌کنندگان نمی‌کند، اما عدم مدیریت اصولی اراضی مجاور رودخانه به‌ویژه اراضی زیرکشت می‌تواند منجر به ورود انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین و باقی‌مانده آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و آلی از طریق تخلیه زه‌آب کشاورزی به رودخانه شده و ضمن تجمع آلاینده‌ها در بافت‌های بدن آبزیان ساکن، سلامت مصرف‌کنندگان را نیز با مخاطره مواجه کند.

کلمات کلیدی: ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، ماهی سس، فلز سنگین، ایمنی غذایی، رودخانه سیروان

مقدمه

از بین هزاران ماده آلی و معدنی وارد شده به بوم‌سازگان‌های آبی، فلزات سنگین به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی همچون سمیت، نیم‌عمر طولانی، پایداری و عدم تجزیه‌پذیری زیستی، بزرگ‌نمایی (Biomagnification) و همچنین تجمع‌زیستی (Bioconcentration) از اهمیت بیش‌تری برخوردار هستند^۱. مهم‌ترین دلیل افزایش آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های دریایی را می‌توان با فعالیت‌های انسانی مرتبط دانست^{۲،۳}. به‌طوری که، توسعه صنایع و معادن و رشد بی‌رویه جمعیت شهرها و روستاها و در پی آن، توسعه سطح زیر کشت و استفاده از نهاده‌های کشاورزی، موجب می‌شود تا مقادیر بسیار زیادی از فاضلاب‌های صنعتی و شهری و به‌تبع آن پساب‌های کشاورزی حاوی انواع آلاینده‌های معدنی و آلی به بوم‌سازگان‌های آبی وارد شوند^۴. فلزات سنگین در محیط‌های دریایی می‌توانند در فرم‌های محلول و معلق حضور داشته، در سطح بستر رسوب کرده و یا این‌که توسط موجودات زنده جذب شوند^۵. باید توجه داشت که تجمع فلزات سنگین در هر یک از این اجزاء می‌تواند منجر به تغییرات بوم‌شناختی جدی شود^۶.

آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی را می‌توان از طریق مطالعه آب، رسوبات و موجودات آبی ارزیابی کرد، اما پردازش مقادیر فلزات در بافت موجودات زنده به دلیل این‌که فلزات در بافت‌های بدن بعضی از موجودات زنده در غلظت‌های بالا تجمع یافته و از این‌رو اطلاعات مهمی را در مورد آلودگی محیط مجاور آب ارائه می‌کند، نسبت به سایر روش‌ها مناسب - تر است^{۷،۸}. نتایج مطالعات بیان‌گر آن است که تجمع فلزات سنگین در بافت‌های بدن آبزیان به‌طور کلی به پارامترهایی همچون غلظت فلز در آب، مدت زمان قرار گرفتن در معرض فلز، شوری، pH، سختی، دمای آب، نیازهای بوم‌شناختی، شرایط فیزیولوژیکی، عادات غذایی، سن، جنس و وزن جانور وابسته است^۹ که در میان گونه‌های آبی، ماهی‌ها به دلیل اهمیتی که در رژیم غذایی انسان دارند و نیز قرار گرفتن در

سطوح مختلف زنجیر غذایی، نشانگرهای خوبی برای پایش طولانی‌مدت تجمع فلزات سنگین در بوم‌سازگان‌های آبی محسوب می‌شوند^{۱۰،۱۱}.

آرسنیک و به‌ویژه آرسنیک محلول در آب، به‌عنوان یک عنصر سمی و سرطان‌زا، در شمار یکی از عناصر مخاطره‌آمیز برای سلامت انسان محسوب می‌شود. ابتلا به سرطان‌های پوست، ریه، کلیه، کبد و مثانه از جمله مهم‌ترین عوارض قرار گرفتن در معرض مقادیر بیش‌تر از حد مجاز این عنصر محسوب می‌شوند^{۱۲}. سرب به‌واسطه چرخه اقیانوسی و اتمسفری از گستره انتشار وسیعی در محیط‌زیست برخوردار است^{۱۳}. این فلز از قابلیت بزرگ‌نمایی و انتقال زیستی (Biotransformation) در موجودات زنده برخوردار بوده و در نهایت در گونه‌های راس هرم غذایی تغلیظ می‌یابد^{۱۴}. بروز اختلالات رفتاری، گوارشی، کلیوی، تولیدمثلی و گردش خون از مهم‌ترین پیامدهای قرارگیری در معرض فلز سرب هستند^{۱۵}. مس برای فعالیت‌های متابولیکی و زیستی موجودات زنده در مقادیر اندک مورد نیاز است و محدوده باریکی بین ضرورت و سمیت این عنصر وجود دارد. مس در مقادیر کم به‌عنوان تشکیل‌دهنده آنزیم‌ها و نیز برای سلامتی در ماهی‌ها ضروری بوده و باید از طریق آب، غذا یا رسوب جذب شود. اما، در غلظت‌های بالا می‌تواند منجر به مسمومیت شود^{۱۶}.

با توجه به آن‌که تجمع فلزات سنگین در بافت‌های بدن آبزیان اثرات منفی از جمله کاهش رشد، تغییرات رفتاری و ژنتیکی و مرگ و میر را برای جانور به‌دنبال دارد و از طرفی، با مصرف گونه‌های آبی آلوده توسط انسان، فلزات سنگین به‌صورت ترکیب با آنزیم، حمل توسط پروتئین و یا محلول در چربی به بدن راه پیدا کرده و باعث اختلالات عصبی، تنفسی و قلبی-عروقی، تضعیف سیستم ایمنی بدن و ناباروری می‌شوند، بنابراین، مصرف این قبیل محصولات نگرانی‌هایی را در سطح جهانی موجب شده است^{۱۷،۱۸}. از این‌رو، امروزه مقوله ایمنی غذایی و به‌ویژه پایش غلظت تجمع‌یافته فلزات

سمی در مواد و فرآورده‌های غذایی، مساله مهمی برای متخصصان علوم تغذیه، پزشکی و محیط‌زیست محسوب می‌شود.^{۱۳،۱۴}

ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) از خانواده *Salmonidae* و راسته آزاد ماهی‌شکلان *Salmoni forms* از ماهیان سردابی به‌شمار می‌آید که در شرایط طبیعی در دریاچه، رودخانه و جریان‌های زلال و سرشار از اکسیژن با دمای مطلوب در حدود ۱۳ تا ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد زیست می‌کند.^{۱۵} این ماهی به‌دلیل گوشت‌خوار بودن و دارا بودن روده کوتاه، به‌طور طبیعی از لارو حشرات آبی، نرم‌تنان، ماهیان ریز و سایر آبزیان تغذیه می‌کند.^{۱۶}

ماهی سس (*Barbus barbus*) از خانواده کپور ماهیان (*Cyprinidae*) بوده که در قسمت‌های میانی رودخانه‌هایی با جریان سریع و دارای بستر ماسه‌ای، گل و لای و قلوه‌سنگی زیست می‌کند. این گونه در دوران لاروی از حشرات آبی و سایر بی‌مهرگان تغذیه می‌کند و در زمان رشد رژیم گوشت‌خواری پیدا کرده و از سایر ماهی‌ها نیز استفاده می‌کند، به‌طوری‌که در روده آن بقایای خرچنگ رودخانه‌ای به همراه شن و ماسه و حشرات آبی را می‌توان یافت.^{۱۷} این ماهی اغلب به‌منظور مصرف غذایی صید می‌شود و در برخی مناطق جغرافیایی از جنبه تجاری نیز قابل توجه است.^{۱۸} به‌طور کلی، گونه‌های ماهی همه‌چیز خوار و رسوب‌خوار مانند کپور ماهیان به‌علت غلظت تجمع‌یافته بالاتر فلزات در رسوب در مقایسه با آب، ممکن است از نرخ تجمع بالاتری از فلزات سنگین نسبت به گونه‌های دریایی برخوردار باشند^{۱۹}، بنابراین، مطالعه آن‌ها به‌منظور پایش غلظت تجمع‌یافته فلزات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برداشت شن و ماسه پس از جنگ تحمیلی به‌منظور بازسازی و از طرفی اقدام به سد سازی در سال‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های کشاورزی در دشت‌های سندج و کامیاران و نیز احداث استخرهای پرورش ماهی در نزدیکی روستای

پلنگان باعث شده است که کیفیت آب رودخانه سیروان رو به کاهش گذارد.^{۲۰} با توجه به افزایش مصرف ماهی قزل‌آلا طی سالیان اخیر به‌دلیل محتوای قابل توجه پروتئین، اسید چرب امگا ۳ و ویتامین D از سویی^{۲۱} و از سوی دیگر، کاهش کیفیت آب رودخانه سیروان، این پژوهش با هدف بررسی غلظت تجمع‌یافته عناصر بالقوه سمی آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و سس صید شده از رودخانه سیروان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه سیروان از نظر جغرافیایی در استان‌های کردستان و کرمانشاه واقع شده است. این رودخانه با حوضه آبریزی به مساحت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع به‌عنوان بزرگترین رودخانه استان کردستان، نقش بسیار راهبردی چه از لحاظ سیاسی و چه از نظر کشاورزی و تامین آب شرب برای ساکنین منطقه دارد.^{۲۲} در بررسی ماهیان رودخانه سیروان، ۹ گونه ماهی شامل هفت گونه بومی و دو گونه غیر بومی شناسایی شده است که در بین ماهیان شناسایی شده می‌توان به خانواده‌های *Salmonidae*، *Balitoridae*، *Sisoridae*، *Cyprinidae* اشاره کرد. در خانواده کپور ماهیان (*Cyprinidae*) از جنس *Capoetta* دو گونه *C. damascina* و *C. trutta*، از جنس *Barbus* گونه *B. barbus*، از جنس *Leuciscus* گونه *L. cephalis* و از جنس *Garra* گونه *G. rufa*، از خانواده گربه ماهیان (*Sisoridae*) جنس و گونه *Glyptothorax* و از خانواده *Balitoridae* جنس و گونه *Nemacheilus angorae*، و از جمله ماهیان غیر بومی وارد شده به رودخانه سیروان نیز می‌توان به گونه‌های قزل‌آلای رنگین کمان و کاراس اشاره کرد.^{۲۳} هم‌چنین، در سایر بررسی‌ها نیز سه گونه از سس ماهیان شامل *B. lacerta*، *B. esocinus*، *B. esocinus* و مار

ماهی خاردار *Mastacembelus mastacembelus* مشاهده شده است.^{۲۴}

نمونه برداری

در این پژوهش توصیفی-مقطعی، با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوط به حمایت مالی و همچنین تحمیل کمترین خسارت به جمعیت آبزیان ساکن در بوم‌سازگان، پس از انتخاب پنج ایستگاه نمونه برداری در طول رودخانه، در مجموع تعداد ۳۰ عدد ماهی (۱۵ عدد از هر گونه ماهی) در فصل بهار سال ۱۳۹۸ به طور کاملاً تصادفی صید شدند. به علاوه، برخی از پارامترهای فیزیوشیمیایی آب رودخانه شامل: غلظت اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، پی‌اچ، دما و کل جامدات محلول نیز با استفاده از دستگاه قابل حمل Multi-Parameter مدل HQ30D ساخت شرکت Hach در محل اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). پس از بیومتری ماهی‌های صیدشده، نسبت به کد و برچسب‌گذاری و قرار دادن آن‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی اقدام و نمونه‌ها توسط یخ‌دان به آزمایشگاه منتقل شدند. نقشه محدوده مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است.

آماده‌سازی و تعیین محتوی عناصر در نمونه‌ها

به منظور بررسی غلظت تجمع یافته عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های ماهی مورد مطالعه، یک گرم از بافت عضله هر نمونه برداشت و پس از شستشو با آب مقطر و بسته‌بندی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی، تا زمان انجام فرآیند آنالیز شیمیایی در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.^{۱۸،۱۲،۹} برای هضم نمونه‌ها، از روش هضم مرطوب استفاده شد. بدین صورت که ابتدا نمونه‌ها توسط مخلوط‌کن همگن و به ظروف تفلون منتقل شده و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک یک مولار به آن‌ها، با اعمال برنامه هضم ماکروویو شامل فشار ۲۰۰ psi، زمان هم‌زدن ۲۵ دقیقه، دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر قدرت ۳۰۰ وات و زمان ماند ۱۰ دقیقه، در آون ماکروویو (سیستم هضم مایکروویو CEM MARS-5) قرار داده شدند. سپس، به منظور تجزیه آن دسته از

مواد آلی که ممکن است در فرآیند هضم اسیدی، هضم نشده باشند، ۱/۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ به محلول‌ها افزوده و مجدداً طبق همان برنامه قبل به آن‌ها حرارت داده شد. نمونه باقی‌مانده از هضم، پس از سرد شدن به فلاسک ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با استفاده از آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شد. پس از آن، محلول‌ها از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شدند.^{۲۵،۱۲} در نهایت، پس از ساخت محلول استاندارد عناصر (مرک آلمان) و کالیبراسیون دستگاه نشر اتمی ICP-OES (Optima 2100 DV, Perkin Elmer)، محتوی عناصر آرسنیک، سرب و مس در نمونه‌ها بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر در سه تکرار و به ترتیب در طول موج‌های ۱۸۸/۹۸۰، ۲۲۰/۳۵۳ و ۳۲۴/۷۵۴ نانومتر خوانده شدند.^{۱۲}

تضمین و کنترل کیفیت اندازه‌گیری‌ها

تضمین و کنترل کیفیت (Quality Assurance/Quality Control) اندازه‌گیری‌ها با استفاده از مرجع استاندارد DORM-4 خریداری شده از شرکت سیگما-آلد ریچ اسپانیا انجام^۴ شد که مقادیر حد تشخیص (LOD) و حد کمی شدن (LOQ) عناصر مورد مطالعه هر دو بر حسب میکروگرم در گرم در جدول ۲ آورده شده‌اند.

پردازش آماری داده‌ها

برای پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. بدین صورت که، برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk Test) و برای مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر در نمونه‌ها با رهنمود سازمان‌های خواربار و کشاورزی ملل متحد/بهداشت جهانی (FAO/WHO)، آژانس ثبت مواد سمی و بیماری‌های ایالات متحده آمریکا (ATSDR)، سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا (FDA) و کمیسیون اتحادیه اروپا (EU) برابر با ۱/۰۰ میکروگرم در گرم برای آرسنیک، ۰/۲۰۰ میکروگرم در گرم برای سرب و ۳۰/۰ میکروگرم در گرم برای مس^{۱۳} از آزمون تی تک‌نمونه‌ای (One Sample T Test) استفاده شد.

به علاوه، همبستگی بین میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی آب رودخانه با میانگین مقادیر عناصر در بافت عضله گونه‌های ماهی صیدشده توسط آزمون ضریب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) سنجیده شد.

یافته‌ها

میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های ماهی مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت استقرار رودخانه سیروان

جدول ۱. میانگین غلظت* عناصر مورد ارزیابی در بافت عضله گونه‌های ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و سس (میکروگرم در گرم وزن تر) و مقادیر پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب رودخانه

گونه آماره	ماهی قزل‌آلای رنگین کمان			ماهی سس			پارامتر فیزیکی شیمیایی			
	آرسنیک	سرب	مس	آرسنیک	سرب	مس	pH	DO (mg/l)	T (°C)	TDS (mg/l)
میانگین	۰/۰۲۲	۰/۰۳۴	۰/۰۷۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۴۲	۷/۳۰	۹/۱۲	۱۶/۷	۱۷۲
انحراف معیار	۰/۰۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۱۵۰	۰/۷۸۰	۱/۶۵	۹/۱۷
کمینه	۰/۰۱۹	۰/۰۲۹	۰/۰۶۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹	۶/۹۰	۸/۶۵	۱۴/۶	۱۶۴
بیشینه	۰/۰۲۹	۰/۰۴۳	۰/۰۹۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۷	۰/۰۵۰	۷/۸۰	۹/۷۳	۱۸/۱	۱۸۰
ضریب تغییرات (%)	۶۸/۲	۷۶/۵	۵۶/۴	۷۲/۲	۵۰/۰	۴۵/۲	۲/۰۵	۸/۵۵	۹/۸۸	۵/۳۳

* مقادیر مربوط به میانگین غلظت سه تکرار هستند.

جدول ۲. مقادیر حد تشخیص و حد کمی شدن عناصر مورد مطالعه (میکروگرم در گرم) به تفکیک گونه ماهی

گونه	ماهی قزل‌آلای رنگین کمان	ماهی سس
------	--------------------------	---------

عنصر	LOD	LOQ	LOD	LOQ
آرسنیک	۰/۰۱۵	۰/۰۵۰	۰/۰۱۸	۰/۰۵۷
سرب	۰/۰۲۱	۰/۰۶۵	۰/۰۳۰	۰/۰۸۵
مس	۰/۰۱۹	۰/۰۶۰	۰/۰۲۴	۰/۰۷۴

ماهی صیدشده همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشته است ($P > ۰/۰۵$).

بحث

نتایج مطالعات بیان‌گر آن است که عوامل محیطی مانند چرخه‌های فصلی جذب/انحلال عناصر در مناطق اقیانوسی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی محلی مانند دما، شوری و طبیعت رسوبات بر انباشتگی زیستی آرسنیک موثر هستند^{۲۶}. هم‌چنین، بررسی‌ها نشان می‌دهند که منشاء طبیعی آرسنیک که اکثراً به‌صورت آرسنوبتاین (Arsenobetaine) و به‌عنوان ترکیب غیرسمی آرسنیک است، به‌طور معمول از طریق رژیم غذایی در موجودات دریازی تجمع پیدا می‌کند، تا از طریق فعالیت‌های انسانی (۳۱). حداکثر غلظت مجاز عنصر آرسنیک برای گونه‌های آبی مطابق رهنمود سازمان‌های FAO/WHO، ATSDR، FDA و EU، ۱/۰۰ میکروگرم در گرم تعیین شده است^{۱۳}، بنابراین، میانگین غلظت تجمع‌یافته آرسنیک در بافت عضله گونه‌های قزل‌آلای رنگین کمان و ماهی سس به‌ترتیب با ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۸ میکروگرم در گرم کم‌تر از حد مجاز بود. در مقایسه نتایج با دستاورد سایر مطالعه‌ها، عبادی فتح آباد و همکاران (۲۰۱۹) غلظت تجمع‌یافته عنصر آرسنیک در بافت عضله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان خریداری شده از بازار مصرف شهر رشت را برابر با ۰/۶۸۰ میکروگرم در گرم^{۲۸} و سبحان اردکانی و جعفری (۲۰۱۴) نیز غلظت تجمع‌یافته عنصر آرسنیک در بافت عضله ماهی کپور صید شده از تالاب زیروار را در دامنه ۰/۰۰۶-۰/۰۰۴ میکروگرم در گرم گزارش

نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله ماهی قزل‌آلای به‌ترتیب برابر با ۰/۰۲۲، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۷۸ میکروگرم در گرم و در ماهی سس نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۴۲ میکروگرم در گرم بوده است. به‌علاوه، مقادیر حد تشخیص و حد کمی شدن نشان داد که روش مورد استفاده برای تعیین محتوی عناصر مورد مطالعه از اطمینان کافی و دقت مناسب برخوردار بوده است.

نتایج بیومتری گونه‌های صید شده نشان داد که میانگین طول و وزن گونه قزل‌آلای رنگین کمان به‌ترتیب برابر با ۱۴/۸±۱/۰۱ سانتی‌متر و ۷۲/۲±۱۱/۲۰ گرم و ماهی سس نیز به‌ترتیب برابر با ۴۲/۶±۳/۱۸ سانتی‌متر و ۲۴۵۰±۱۰۲ گرم بوده است.

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک بیان‌گر توزیع نرمال مقادیر مربوط به عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های ماهی قزل‌آلای و ماهی سس بود.

نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد ارزیابی با رهنمود سازمان‌های FAO/WHO، ATSDR، FDA و EU بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار ($P < ۰/۰۵$) بود. به‌طوری‌که میانگین غلظت تجمع‌یافته همه عناصر کم‌تر از حد بیشینه رواداری سازمان‌های مارالذکر بود.

نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب رودخانه با میانگین مقادیر عناصر مورد ارزیابی در بافت عضله گونه‌های

کردند^{۲۹}. از طرفی، سبحان اردکانی و همکاران (۲۰۱۱) غلظت تجمع یافته عنصر آرسنیک در بافت عضله پنج گونه ماهی تجاری *Pampus argenteus*, *Otolithes rubber* و *Parastromateus niger*, *Scomberomorus commerson*, *Onchorynchus mykiss* عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان را در دامنه ۰/۰۴۰-۰/۰۰۷ میکروگرم در گرم^{۱۷} و همچنین، بیلاندریچ و همکاران (۲۰۱۱) غلظت آرسنیک در بافت عضله چهار گونه ماهی (*Red mullet*, *Anchovy*, *Mackerel* و *Picarel*) صید شده از دریای آدریاتیک را در محدوده ۰/۰۱۰-۷۱/۰ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۰}. به علاوه، توزن (۲۰۰۹) غلظت آرسنیک در عضله گونه های ماهی صید شده از دریای سیاه را در محدوده ۰/۱۱۰-۰/۳۲۰ میکروگرم در گرم گزارش کرد^{۳۱}. در پژوهشی دیگر، هاس-شون و همکاران (۲۰۰۶) غلظت تجمع یافته آرسنیک در بافت عضله پنج گونه ماهی صید شده از رودخانه *Neretva* کرواسی را در محدوده ۰/۰۱۶-۰/۴۲۰ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۱۱} که با بررسی این پژوهش ها می توان به تشابه دستاورد آن ها با نتایج مطالعه حاضر از نظر عدم تجاوز میانگین غلظت تجمع یافته آرسنیک در بافت عضله گونه های ماهی مورد مطالعه از رهنمود *FAO/WHO*, *ATSDR*, *FDA* و *EU* اشاره کرد. این در حالی است که تحسینی و احمدپور (۲۰۱۹) غلظت تجمع یافته عنصر آرسنیک در بافت عضله ماهی قزل آلا ی رنگین کمان پرورشی شهرستان های سمنجن و کامیاران را برابر با ۱۵/۷ میکروگرم در گرم و بیش تر حد مجاز *WHO* گزارش کردند^{۲۷}. ایلماز و همکاران (۲۰۱۰) مقادیر تجمع یافته عنصر آرسنیک در بافت عضله سه گونه ماهی کفزی صید شده از خلیج اسکندریه ترکیه را در محدوده ۰/۹۸۰-۱/۷۴ میکروگرم در گرم و بیش تر از رهنمود کمیسیون اتحادیه اروپا گزارش کردند^{۳۲}. در پژوهشی دیگر، شاه و همکاران (۲۰۰۹) محتوی آرسنیک در بافت عضله ۱۰ گونه ماهی صید شده از دریاچه *Manchar* پاکستان را در محدوده

۲/۱۲-۱۵/۲ میکروگرم در گرم^{۳۳} و فالکو و همکاران (۲۰۰۶) نیز محتوی این عنصر در بافت عضله گونه های *Anchovy*, *Red mullet*, *Mackerel* صید شده از ایالت کاتالونیا اسپانیا را در محدوده ۱/۷۳-۱۷/۸ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۴}. علاوه بر این، آزو و همکاران (۲۰۰۴) مقادیر عنصر آرسنیک در بافت عضله سه گونه ماهی *Solea vulgaris*, *Anguilla* و *Anguilla Liza aurata* صید شده از مرداب های نمکی ساحل جنوبی آتلانتیک در اسپانیا را در محدوده ۰/۵۲۰-۳/۹۶ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۵}.

از دیگر سو، مورمد و دیویس (۲۰۰۱) محتوی آرسنیک در بافت عضله پنج گونه ماهی (*Lophius piscatorius*, *Aphanopus carbo*, *Molva dypterygia*, *Micromesistius* و *poutassou* و *Merluccius merluccius*) صید شده از دماغه *Rockall* اسکاتلند را در محدوده ۱/۲۵-۸/۶۳ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۶} که می توان به تجاوز میانگین غلظت تجمع یافته آرسنیک در بافت عضله گونه های مورد مطالعه از رهنمود سازمان های مارالذکر و عدم تشابه بین نتایج گزارش شده با دستاورد پژوهش حاضر اشاره کرد. مقایسه نتایج این پژوهش با دستاورد سایر مطالعه ها در جدول ۳ آورده شده است.

حداکثر غلظت مجاز عنصر سرب برای گونه های آبیزی مطابق رهنمود سازمان های *FAO/WHO*, *ATSDR*, *FDA* و *EU*، ۰/۲۰۰ میکروگرم در گرم تعیین شده است^{۱۳}، بنابراین، میانگین غلظت تجمع یافته سرب در بافت عضله گونه های قزل آلا ی رنگین کمان و ماهی سس به ترتیب با ۰/۰۳۴ و ۰/۰۱۲ میکروگرم در گرم کم تر از حد مجاز بود. در مقایسه نتایج حاصل با دستاورد سایر پژوهش هایی که در آن ها میانگین غلظت سرب در بافت عضله گونه های مختلف ماهی کم تر از رهنمود سازمان های مارالذکر بود، می توان به مطالعه های راجشکومار و مونوسوامی (۲۰۱۱) که میانگین غلظت فلز سرب در بافت عضله ماهی شیر (*Chanos*)

chanos) صید شده از جزیره Kaattuppalli در جنوب غربی هند را برابر با ۰/۰۵۸ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۷}، ایبوه و همکاران (۲۰۰۶) که محتوی فلز سرب در بافت عضله پنج گونه ماهی تجاری Catfish, Tilapia, Ilisha, Bonga و Mudskipper در نیجریه را در محدوده ۰/۰۰۲-۰/۰۰۱ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۳۸}، سبحان اردکانی و همکاران (۲۰۱۱) که محتوی فلز سرب در بافت عضله پنج گونه ماهی عرضه شده در بازار مصرف شهر همدان را در محدوده ۰/۰۹۰-۰/۰۰۷ میکروگرم در گرم گزارش کردند^{۱۷}، پژوهشی که محتوی فلز سرب در بافت عضله پنج گونه ماهی صید شده از دماغه Rockall اسکاتلند را در محدوده ۰/۰۰۹-۰/۰۰۲ میکروگرم در گرم گزارش کرد^{۳۹}، و از طرفی، پژوهشی که در آن محتوی فلز سرب در بافت ماهیچه ۱۲ گونه ماهی دریایی صید شده از نواحی ساحلی مالزی در محدوده ۰/۱۹۱-۰/۰۰۵ میکروگرم در گرم گزارش شد^{۴۰}، اشاره کرد. این در حالی است که در پژوهش های عبادی فتح آباد و همکاران (۲۰۱۹) که غلظت تجمع یافته عنصر سرب در بافت عضله ماهی قزل آلا رنگین کمان خریداری شده از بازار مصرف شهر رشت برابر با ۲/۵۱ میکروگرم در گرم^{۲۸}، بیلاندریچ و همکاران (۲۰۱۱) که غلظت تجمع یافته سرب در بافت عضله چهار گونه ماهی صید شده از دریای آدریاتیک در محدوده ۰/۴۶۰-۰/۰۰۱ میکروگرم در گرم^{۳۰}، و هم چنین، پژوهش هایی که در آن ها میانگین غلظت عنصر سرب در بافت عضله ماهی شیریت (Barbus grypus) رودخانه دز برابر با ۱/۲۹ میکروگرم در گرم^{۳۹}، در بافت ماهیچه سه گونه ماهی تجاری Sparus aurata, Dicentrarchus labrax و Mugil cephalus صید شده از مرداب Tuzla ترکیه در محدوده ۲/۴۴-۰/۴۰۰ میکروگرم در گرم^{۴۰}، در بافت عضله دو گونه ماهی Leuciscus cephalus و Lepomis gibbosus صید شده از جنوب غربی آناتولی در محدوده ۰/۸۷۴-۰/۰۶۸ میکروگرم در گرم^{۴۱}، در بافت عضله ۶ گونه ماهی A. F. parvipinnis

M. galloprovincialis, L. armatus, G. mirabilis, affinis و T. californianus صید شده از مرداب های Mugu, Malibu و Ballona کالیفرنیا در محدوده ۶/۸۰-۰/۵۰۰ میکروگرم در گرم^۶، در بافت ماهیچه ۶ گونه ماهی Sparus auratus, Trigl. cuculus, Mugil cephalus, Atherina hepsetus و Sardina pilchardus صید شده از دریای مدیترانه در محدوده ۶/۱۲-۴/۲۷ میکروگرم در گرم^{۴۲}، در بافت عضله سه گونه ماهی Cyprinus carpio, Mugila auratus و Rutilus frisikutum صید شده از حوزه جنوبی دریای خزر در محدوده ۱۶۹-۵۳/۷ میکروگرم در گرم^{۴۳}، گزارش شد، میانگین غلظت سرب در بافت عضله گونه های ماهی مورد مطالعه بیش تر از حد مجاز بود. مقایسه نتایج این پژوهش با دستاورد سایر مطالعه ها در جدول ۳ آورده شده است.

غذاهای دریایی منبع قابل توجه فلز مس که عنصری ضروری برای انسان است، محسوب می شوند، اما، جذب بیش تر از حد نیاز این عنصر (بیش تر از ۱۲۰ میکروگرم در گرم) می تواند منجر به بروز مشکلاتی برای سلامتی از جمله آسیب به کلیه و کبد شود^{۴۴، ۴۵}. حداکثر غلظت مجاز عنصر مس برای گونه های آبزی مطابق رهنمود سازمان های FAO/WHO, ATSDR, FDA و EU، ۳۰/۰ میکروگرم در گرم تعیین شده است^{۴۶}، بنابراین، میانگین غلظت تجمع یافته این عنصر در بافت عضله گونه های قزل آلا رنگین کمان و ماهی سس به ترتیب با ۰/۰۷۸ و ۰/۰۴۲ میکروگرم در گرم، از رهنمود سازمان های مارالذکر کم تر بود. از جمله پژوهش هایی با دستاورد مشابه می توان به نتایج مطالعه سبحان اردکانی و جعفری (۲۰۱۴) که غلظت تجمع یافته عنصر مس در بافت عضله ماهی کپور معمولی صید شده از تالاب شیرین سو در استان همدان را برابر با ۰/۰۱۰ میکروگرم در گرم^{۴۸}، ابراهیمی سیریزی و همکاران (۲۰۱۲) که میانگین غلظت عنصر مس در بافت عضله اردک ماهی (Esox lucius) تالاب انزلی را ۵/۶۸

میکروگرم در گرم^۶، کسکین و همکاران (۲۰۰۷) که محتوی عنصر مس در بافت ماهیچه ماهی‌های صید شده از دریای مرمره در ترکیه را در محدوده ۰/۲۳۰-۹/۴۹ میکروگرم در گرم^۷، ترکمن و همکاران (۲۰۰۵) که محتوی عنصر مس در بافت ماهیچه سه گونه ماهی *Saurida undosquamis*, *Sparus aurata*, *Mullus barbatus* صید شده از خلیج اسکندریه ترکیه را در محدوده ۰/۷۴۰-۲/۲۴ میکروگرم در گرم^۸، کارادیده و اولنیو (۲۰۰۰) که غلظت تجمع یافته عنصر مس در بافت عضله گونه کپور معمولی ساکن دریاچه سد آتاترک ترکیه را ۲/۲۳ میکروگرم در گرم^۹، ترکمن و همکاران (۲۰۰۹) که محتوی فلز مس در بافت عضله ۱۲ گونه ماهی صید شده از دریا‌های اژه و مدیترانه را در محدوده ۰/۳۲۰-۶/۴۸ میکروگرم در گرم^{۱۰}، نصراله زاده ساروی و همکاران (۲۰۱۳) که میانگین غلظت تجمع یافته مس در بافت خوراکی ماهی کپور منطقه جنوبی دریای خزر را برابر با ۰/۹۲۰ میکروگرم در گرم^{۱۱}، تپه و همکاران (۲۰۰۷) که محتوی مس در بافت عضله دو گونه ماهی تجاری *Mullus barbatus*, *Merlangius merlangus* صید شده از آب‌های ساحلی ترکیه را در محدوده ۰/۵۰۶-۰/۱۵۰ میکروگرم در گرم^{۱۲}، راجشکومار و مونوسوامی (۲۰۱۱) که میانگین غلظت فلز مس در بافت عضله ماهی شیر صید شده از جزیره Kaattuppalli هند را برابر با ۱/۲۱ میکروگرم در گرم^{۱۳}، بهشتی و همکاران (۲۰۱۰) که میانگین غلظت عنصر مس در بافت عضله ماهی بیاح رودخانه دز را

برابر با ۰/۳۳۰ میکروگرم در گرم^{۱۴}، دورال و همکاران (۲۰۰۷) که غلظت فلز مس در بافت ماهیچه سه گونه ماهی تجاری صید شده از مرداب Tuzla را محدوده ۰/۲۶۰-۰/۸۲۰ میکروگرم در گرم^{۱۵}، ایلماز و همکاران (۲۰۰۷) که غلظت فلز مس در بافت عضله دو گونه ماهی *L. cephalus* و *L. gibbosus* را در محدوده ۰/۱۹۳-۲/۶۱ میکروگرم در گرم^{۱۶}، مورمده داوین (۲۰۰۱) غلظت تجمع یافته فلز مس در بافت عضله پنج گونه ماهی صید شده از دماغه Rockall اسکاتلند را در محدوده ۰/۲۹۰-۰/۱۲۰ میکروگرم در گرم^{۱۷}، آگوسا و همکاران (۲۰۰۵) که محتوی عنصر مس در بافت ماهیچه ۱۲ گونه ماهی دریایی صید شده از نواحی ساحلی مالزی را در محدوده ۰/۷۲۰-۴/۶۳ میکروگرم در گرم^{۱۸} و تاپیا و همکاران (۲۰۰۶) که محتوی مس در بافت عضله گونه *Micropogonias* صید شده از دریاچه Budi شیلی را از ۰/۷۰۰ تا ۲۷/۰ میکروگرم در گرم^{۱۹} گزارش کردند، اشاره کرد. این در حالی است که غلظت مس در بافت عضله چهار گونه ماهی صید شده از دریای آدریاتیک در محدوده ۰/۵۷۳-۰/۰۰۱ میکروگرم در گرم^{۲۰} و در بافت عضله ۶ گونه ماهی صید شده از مرداب‌های *Malibu*, *Mugu* و *Ballona* در کالیفرنیا جنوبی در محدوده ۴۴۰-۱/۹۰ میکروگرم در گرم^{۲۱} و بیش تر از حد مجاز گزارش شد. مقایسه نتایج این پژوهش با دستاورد سایر مطالعه‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با دستاورد مطالعه‌های مشابه از نظر میانگین غلظت تجمع یافته

عناصر مورد ارزیابی در بافت عضله ماهی (میکروگرم در گرم)

منبع	عنصر مورد ارزیابی			منطقه جغرافیایی	گونه/های مورد مطالعه
	مس	سرب	آرسنیک		
پژوهش حاضر	۰/۰۷۸	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	ایران	<i>Onchorynchus mykiss</i>
	۰/۰۴۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸		<i>Barbus barbus</i>
۶	-	-	۱/۹۰-۴۴۰	آمریکا	<i>F. parvipinnis</i> , <i>A. affinis</i> , <i>G. mirabilis</i> , <i>L. armatus</i> , <i>M. galloprovincialis</i> , <i>T. californianus</i>
۵۴	-	۰/۰۶۰	۰/۲۶۰		<i>Blue fish</i>

	—	۰/۱۲۰	۰/۲۳۰		<i>Red snapper</i>
۵۵	۰/۹۳۰	۲/۴۴	—		<i>Bluegill sunfish</i>
۵۶	۱۸/۳	۰/۰۶۰	—		<i>Brook trout</i>
۵۷	—	کوچک تر از حد تشخیص	۰/۷۹۰	هند	<i>Oreochromis niloticus</i>
۵۸	—	۰/۰۴۹–۰/۱۵۸	—		<i>Merluccius merluccius, Mullus barbatus</i>
۱۱	–۰/۴۲۰ ۰/۰۱۶	—	—	کرواسی	<i>Cyprinus carpio, Tinca tinca, Leuciscus svallizi, Mugil cephalus, Anguilla anguilla</i>
۵۹	–۱/۰۴ ۰/۸۶۰	۰/۲۵۰–۰/۵۶۰	۰/۰۱۰–۰/۰۲۲		<i>Ctenopharyngodon idellus, Hypophthalmichthys molitrix, Cyprinus carpio Linnaeus</i>
۶۰	–۱/۸۹ ۰/۰۷۲	۰/۰۱۰	—	چین	<i>C. carpio, C. auratus, H. molitrix, A. nobilis</i>
۳۴	–۱۷/۸ ۰/۹۹۰	۰/۰۰۲–۰/۲۵۰	—		sardine, tuna, anchovy, mackerel, swordfish, salmon, hake, red mullet, sole, cuttlefish, squid, clam, mussel, shrimp
۳۵	–۳/۹۶ ۰/۵۲۰	—	—	اسپانیا	<i>Solea vulgaris, Anguilla Anguilla, Liza aurata</i>
۶۱	—	۰/۲۳۰±۰/۲۵۰	۰/۷۹۰±۰/۸۷۳		<i>Leuciscus cephalus</i>
۴۰	—	۰/۴۰۰–۲/۴۴	—		<i>Dicentrarchus labrax, Sparus aurata, Mugil cephalus</i>
۶۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	—		<i>Unio terminalis, Potamida littoralis, Clarias gariepinus, Carasobarbus luteus</i>
۳۲	–۱/۷۴ ۰/۹۸۰	—	—	ترکیه	<i>Triglia lucerna, lophius budegassa, Solea lascaris</i>
۴۱	—	—	۰/۰۶۵–۴/۳۶		<i>Leuciscus cephalus, Lepomis gibbosus</i>
۶۳	—	۱/۰۳–۷/۴۵	۱/۲۹–۱/۴۵		<i>Mugil cephalus, Trachurus mediterraneus</i>
۶۴	—	۰/۰۳۵–۰/۰۵۸	۰/۱۵۷–۱/۲۱	هندوستان	<i>Chanos chanos</i>
۵۳	—	—	۰/۰۷۰–۲۷/۰	شیلی	<i>Micropogonias manni</i>
۱۸	—	۰/۰۱۵±۰/۰۰۳	—		<i>Cyprinus carpio</i>
۳۹	—	۱/۲۹	—		<i>Barbus grypus</i>
۴۶	—	۰/۲۲۰	—	ایران	<i>Esox lucius</i>
۶۵	۳/۵۰–۱۵/۵	—	—		<i>Himantura gerrardi, Selar crumenophthalmus</i>
۶۶	—	۱/۰۷	—		<i>Oncorhynchus mykiss</i>
۶۷	—	—	۸۸/۸		<i>Oncorhynchus mykiss</i>
۶۸	—	۰/۶۷۰	۴/۰۷		<i>Oncorhynchus mykiss</i>
۶۹	۱۸۸–۳۹۶	۶۴/۸–۹۳/۰	—		<i>Mytilus galloprovincialis</i>
۷۰	۲۸۰۰±۶۷۱	۳۸۶	—	ایتالیا	<i>Liza aurata</i>

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل، هرچند در زمان اجرای این پژوهش میانگین غلظت عناصر آرسنیک، سرب و مس در بافت عضله گونه‌های قزل‌آلای رنگین کمان و ماهی سس منطقه مورد مطالعه از حد مجاز تجاوز نکرده بود، اما، عدم مدیریت اصولی زمین‌های مجاور رودخانه به‌ویژه اراضی زیرکشت می‌تواند منجر به تخلیه انواع آلاینده‌های آلی و معدنی از جمله فلزات سنگین به رودخانه شده و ضمن تجمع عناصر در بافت‌های بدن آبزیان ساکن، سلامت مصرف‌کنندگان ماهی را با مخاطره جدی مواجه کند. از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به کمبود اعتبارات در اختیار و عدم اطلاع از نرخ صید و به تبع آن نرخ مصرف ماهی در جمعیت ساکن اطراف رودخانه سیروان اشاره کرد. از این‌رو، نسبت به بررسی

محتوی سایر عناصر بالقوه سمی در بافت‌های خوراکی گونه‌های ماهی ساکن رودخانه سیروان و به‌علاوه محاسبه مخاطره سلامت مصرف ماهی در مطالعه‌های آتی توصیه می‌شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. Rezaei Raja O, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Environ Health Eng Manage J* 2016;3(3): 131-35.
2. Sobhanardakani S. Human health risk assessment of potentially toxic heavy metals in the atmospheric dust of city of Hamedan, west of Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2018;25(28): 28086-93.
3. Agusa T, Kunito T, Yasunaga G, Iwata H, Subramanian A, Ismail A, Tanabe S. Concentrations of trace elements in marine fish and its risk assessment in Malaysia. *Mar Pollut Bull* 2005;51: 896-911.
4. Sobhanardakani S. Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. *Mar Pollut Bull* 2017;123(1-2): 34-8.
5. Sobhanardakani S, Hosseini SV, Tayebi L. Heavy metals contamination of canned fish and related health implications in Iran. *Turk J Fish Aquat Sci* 2018;18(8): 951-7.
6. Cohen T, Que Hee SS, Ambrose RF. Trace metals in fish and invertebrates of three California coastal wetlands. *Mar Pollut Bull* 2001;42(3): 224-32.
7. Khalijian A, Lorestani B, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Tayebi L. Ecotoxicological assessment of potentially toxic elements (As, Cd, Ni and V) contamination in the sediments of southern part of Caspian Sea, the case of Khazar Abad, Mazandaran Province, Iran. *Bull Environ Contam Toxicol* doi: 10.1007/s00128-022-03621-4.
- 8 (7). Laboy-Nieves EN, Conde JE. Metal levels in eviscerated tissue of shallow-water deposit-feeding holothurians. *J Hydrobiol* 2001;459: 19-26.
9. Sobhanardakani S, Jafari SM. Metals analysis in common carp (*Cyprinus carpio*) from Shirinsu Wetland, Hamedan province, Iran. *Arch Hyg Sci* 2015;4(4): 172-8.
10. Hosseini SM, Sobhanardakani S, Batebi Navaei M, Kariminasab M, Aghilinejad SM, Regenstien JM. Metal content in caviar of wild Persian sturgeon from the southern Caspian Sea. *Environ Sci Pollut Res* 2013;20(8): 5839-43.
11. Has-Schon E, Bogut I, Strelec I. Heavy metal profile in five fish species included in human diet, domiciled in the end flow of River Neretva (Croatia). *Arch Environ Contam Toxicol* 2006;50: 545-51.
12. Sobhanardakani S, Tayebi L, Farmany A, Cheraghi M. Analysis of trace elements (Cu, Cd and Zn) in muscle, gill and liver tissues of some fish species using anodic stripping voltammetry. *Environ Monit Assess* 2012;184(11): 6607-11.
13. Sobhanardakani S, Tayebi L, Hosseini SV. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. *Environ Sci Pollut Res* 2018;25(3): 2664-71.
14. Sobhanardakani S. Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals through exposure to the household dust (Case study: City of Khorramabad, Iran). *Ann Milit Health Sci Res* 2018;16(4): e86594.
15. Sobhanardakani S. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand plain, Hamadan province, western Iran. *Iran J Toxicol* 2016;10(3): 35-40.
16. Davodpour R, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Abdi N, Lorestani B. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). *Arch Environ Contam Toxicol* 2019;77(3): 344-58.
17. Sobhanardakani S, Tayebi L, Farmany A. Toxic metal (Pb, Hg and As) contamination of muscle, gill and liver tissues of *Otolithes ruber*, *Pampus argenteus*, *Parastromateus niger*, *Scomberomorus commerson* and *Onchorynchus mykiss*. *World Appl Sci J* 2011;14(10): 1453-6.
18. Sobhanardakani S, Jafari SM. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *J Chem Health Risk* 2014;4(2): 47-54.
19. Fallah AA, Saei-Dehkordi SS, Nematollahi A, Jafari T. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. *Microchem J* 2011;98: 275-9.
20. Rezaei S, Rafiee Gh. Identification of Sirvan River fishes and their biology (Case study: Oramanat region in the Paveh Township). 2nd National Conference on Fisheries and Aquatic animals in Iran. Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, 2014;12 p. (In Persian)
21. Mancini I, Defant A, Mesaric T, Potocnik F, Batista U, Guella G, Turk T, Sepcic K. Fatty acid composition of common barbel (*Barbus barbus*) roe and evaluation of its haemolytic and cytotoxic activities. *Toxicon* 2011;57: 1017-22.
22. Weisi T, Ahmadifard N, Agh N, Kamali M. Investigating the effect of Palangan fish farms on water quality of Sirvan River using physicochemical and biological indicators. *J Aquat Ecol* 2018;8 (1): 41-54. (In Persian)
23. Mashak Z, Moradi B, Moradi B. Preliminary study of Histamine in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) samples from fish markets in Tehran. *Food Hyg* 2011;1(2): 39-47. (In Persian)
24. Abdoli A. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife Publication. 2000; 375 p. (In Persian)
25. Turkmen M, Turkmen A, Tepe Y, Tore Y, Ates A. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas, *Food Chemistry*, 2009;113(1): 233-7.
26. Valette-Silver NJ, Riedel GF, Crecelius EA, Windom H, Smith RG, Dolvin SS. Elevated arsenic concentrations in bivalves from the southeast coasts of the USA. *Mar Environ Res* 1999;48: 311-33.

27. Tahsini H, Ahmadpour M. Concentration determination of arsenic in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and risk assessment in fish farm of Kurdistan Province. *J Anim Environ* 2019;11(2): 241-6. (In Persian)
28. Ebadi Fathabad A, Tajik H, Shariatifar N. Heavy metal concentration and health risk assessment of some species of fish, Rasht, Iran. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2019;28(168): 118-32. (In Persian)
29. Sobhanardakani S, Jafari SM. Heavy metals contamination in silver, common and grass carp caught from Zarivar Lake, western Iran. *Europ Online J Nat Soc Sci* 2014;3(2): 344-50.
30. Bilandz'ic' N, Dokic' M, Sedak M. Metal content determination in four fish species from the Adriatic Sea. *Food Chem* 2011;124: 1005-10.
31. Tuzen M. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food Chem Toxicol* 2009;47: 1785-90.
32. Yilmaz AB, Kemal Sangun M, Yag'lıog'lu D, Turan C. Metals (major, essential to non-essential) composition of the different tissues of three demersal fish species from Iskenderun Bay, Turkey. *Food Chem* 2010;123: 410-15.
33. Shah AQ, Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Afridi HI, Jalbani N, Jamil Ahmed B, Ghulam Abas K. Accumulation of arsenic in different fresh water fish species – potential contribution to high arsenic intakes. *Food Chem* 2009;112: 520-4.
34. Falco G, Llobet JM, Bocio A, Domingo JL. Daily intake of arsenic, cadmium, mercury, and lead by consumption of edible marine species, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2006;54: 6106-12.
35. Usero J, Izquierdo C, Morillo J, Gracia I. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Environ Int* 2004;29(7): 949-56.
36. Mormede S, Davies IM. Heavy metal concentrations in commercial deep-sea fish from the Rockall Trough. *Cont Shelf Res* 2001;21: 899-916.
37. Rajeshkumar S, Munuswamy N. Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of Milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattupalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere* 2011;83(4): 415-21.
38. Eboh L, Mepba HD, Ekpo MB. Heavy metal contaminants and processing effects on the composition, storage stability and fatty acid profiles of five common commercially available fish species in Oron Local Government, Nigeria. *Food Chem* 2006;97(3): 490-7.
39. Mohammadi M, Askary Sary A, Khodadadi M. Cadmium and lead levels in muscle and liver of (*Barbus grypus*) in Dez River. *J Wetland Ecobiol* 2010;1(4): 91-6. (In Persian)
40. Dural M, Goksu MZL, Ozak AA. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chem* 2007;27: 521-6.
41. Yilmaz F, Ozdemir N, Demirak A, Tuna AL. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chem* 2007;100: 830-5.
42. Canli M, Atli G. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut* 2003;121(1): 129-36.
43. Tabari S, Saravi SS, Bandany GA, Dehghan A, Shokrzadeh M. Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled from Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicol Ind Health* 2010;26(10): 649-56.
44. Ikem A, Egeibor N. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *J Food Compos Anal*, 2005;18(8): 771-87.
45. Sobhanardakani S. Human health risk assessment of Cd, Cu, Pb and Zn through consumption of raw and pasteurized cow's milk. *Iran J Publ Health* 2018;47(8): 1172-80.
46. Ebrahimi Sirizi Z, Sakizadeh M, Esmaili Sari A, Bahramifar N, Ghasempouri SM, Abbasi 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 Mazandaran Univ Med Sci* 2012;22(87): 57-63. (In Persian)
47. Keskin Y, Baskaya R, Ozyaral O, Yurdun T, Luleci NE, Hayran O. Cadmium, lead, mercury and copper in fish from the Marmara Sea, Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol* 2007;78(3-4): 258-61.
48. Turkmen A, Turkmen M, Tepe Y, Akyurt I. Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chem* 2005;91: 167-72.
49. 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):1371-6.
50. Nasrollahzadeh Saravi H, Pourgholam R, Pourang N, Rezaei M, Makhloogh A, Unesipour H. Heavy metal concentrations in edible tissue of *Cyprinus Carpio* and its target hazard quotients in the Southern Iranian Caspian Sea Coast, (2010). *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013;23(103):33-44. (In Persian)
51. Tepe Y, Turkmen M, Turkmen A. Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas. *Environ Monit Assess* 2007;146(1-3): 277-84.
52. Beheshti M, Askary Sary A, Khodadadi M, Velayate Zadeh M. Measurement and comparison of concentrations of heavy metals (Cu, Fe, Zn, Mn) in different species of *Liza abu* in Dez River of Khuzestan Province. *J Wetland Ecobiol* 2(6): 71-9. (In Persian)
53. Tapia J, Duran E, Pena-Cortes F, Hauenstein E, Bertran C, Schlatter R, Vargas-Chacoff L, Jimenez C. *Micropogonias manni* as a bioindicator for copper in Lake Budi (IX Region, Chile). *J Chilean Chem Soc* 2006;51(2): 901-04.
54. Burger J, Gochfeld M. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environ Res* 2005;99: 403-13.

55. Aucoin J, Blanchard R, Billiot C. Trace metals in fish and sediments from Lake Boeuf, South Eastern Louisiana. *Microchem J* 1999;62: 299-307.
56. Farag AM, Nimick DA, Kimball BA, Church SE, Harper DD, Brumbaugh WG. Concentrations of metals in water, sediment, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish in the Boulder River watershed, Montana, and the role of colloids in metal uptake. *Arch Environ Contam Toxicol* 2007;52: 397-409.
57. Martins CIM, Eding Eph, Verreth JAJ. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of *Nile tilapia Oreochromis niloticus*. *Food Chem* 2011;126: 1001-5.
58. Kljakovic' Gašpic'Z, Zvonaric'T, Vrgoc' N, Odz'ak N, Baric'A. Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. *Water Res* 2002;36: 5023-8.
59. Yi Y, Yang Z, Zhang Sh. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ Pollut* 2011;159: 5275-85.
60. Qiao-qiao CHI, Guang-wei ZHU, Langdon A. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *J Environ Sci* 2007;19: 1500-04.
61. 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): 1451-8.
62. Turkmen M, Ciminli C. Determination of metals in fish and mussel species by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. *Food Chem* 2007;103: 670-5.
63. Yilmaz AB. Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) in tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay, Turkey. *Environ Res* 2003;92(3): 277-81.
64. Rajeshkumar S, Munuswamy N. Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of Milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattupalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere* 2011;83(4): 415-21.
65. Shahab Moghadam F, Esmaili Sari A, Valinassab T, Karimabadi M. Comparison of muscular tissue concentration of heavy metals in Sharpnose stinger (*Himantura gerrardi*) and Bigeye scade (*Selar crumenophthalmus*) of the Persian Gulf. *Iran Sci Fish J* 2010;19(2): 85-94. (In Persian)
66. Majlesi M, Malekzadeh J, Berizi E, Toori M.A. Heavy metal content in farmed rainbow trout in relation to aquaculture area and feed pellets. *Food Raw Mater* 2019; 7(2): 329-38.
67. Faraji R, Meshkini S. Survey on heavy metals of Hg, Cu and Zn in muscle and liver tissues of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in various water resources of West Azarbaijan province. *J Aquac Develop* 2021;15(3): 75-88. (In Persian)
68. Khammar S, Hosseini S.M, Khoshnoodfar A. Determining the allowable rate of *Oncorhynchus mykiss* fish consumption in terms of heavy metals in rivers of Khash city. *J Nat Environ* 2021;73(4): 665-75. (In Persian)
69. Licata P, Trombbeta D, Cristani M, Martino D, Naccari F. Organochlorine compounds and heavy metals in the soft tissue of the mussel *Mytilus galloprovincialis* collected from Lake Faro (Sicily, Italy). *Environ Int* 2004;30: 805-10.
70. Licata P, Di Bella G, Dugo G, Naccari F. Organochlorine pesticides, PCBs and heavy metals in tissues of the mullet *Liza aurata* lake Ganzirri and Straits of Messina (Sicily, Italy). *Chemosphere* 2003;52: 231-8.

Analysis of As, Pb and Cu contents in muscle tissue of *Oncorhynchus mykiss* and *Barbus barbus* caught from Sirvan River, Kurdistan, Iran

Lima Tayebi^{1*}, Soheil Sobhanardakani², Seyed Milad Jafari³

¹ Ph.D. in Fisheries, Assistant Professor in Fisheries, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

² Ph.D. in Environmental Science, Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

³ M.Sc. in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Email: ltayebi@malayeru.ac.ir

Received: 13 October 2022, Accepted: 20 November 2022

ABSTRACT

Background and Objective: The presence of heavy metals in the environment and especially bioaccumulation of these compounds in tissues of aquatic organisms could constitute a hazard to food security and public health. Therefore, this study was conducted to analyze the As, Pb and Cu contents in muscle tissue of *Oncorhynchus mykiss* and *Barbus barbus* captured from the Sirvan River, Kurdistan in 2019.

Materials and Methods: In this descriptive cross-sectional study, a total of 30 fish samples were collected randomly from five sampling stations along the Sirvan River. After sample preparation, As, Pb and Cu concentrations were determined using ICP-OES. Also, all statistical analyses of the obtained data were performed using SPSS software.

Results: The results showed that the mean concentrations of As, Pb and Cu ($\mu\text{g/g}$, wet weight) in muscle tissue of *Oncorhynchus mykiss* were 0.022, 0.034, and 0.078, respectively, while in muscle tissue of *Barbus barbus* were found to be 0.018, 0.012 and 0.042, respectively. Also, the mean contents of all the analyzed elements were lower than maximum permissible concentration (MPC) established by FAO/WHO, ATSDR, FDA and EU.

Conclusion: Although at the time of this research the contribution to the total body burden of the analyzed elements can be considered as negligibly small, mismanagement of land uses around the Sirvan River could lead to the entry of several kinds of pollutants such as pesticides and potentially toxic elements into the water body. Consequently, adverse health effects could be occurred for local consumers through ingestion of fishes with high accumulated heavy metals in their tissues.

Keywords: *Oncorhynchus mykiss*, *Barbus barbus*, Heavy metals, Food Security, Sirvan River