نشریه فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبزی‌پروری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر/ ISSN: 2008-0026 سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۶ / صفحات: ۵۸-۴۷

بررسی تأثیر خواص شیمیایی آب بر تجمع سرب و کادمیوم در ماهی قزل‌آلای پرورشی (*Oncorhynchus mykiss*)

*مینا سیف‌زاده[۱]، قربان زارع‌گشتی[۱]، عیسی گلشاهی[۲] و مرتضی پهلوان‌یلی[۲]

[۱]مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، انزلی، ایران،

[۲]سازمان شیلات ایران، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خواص شیمیایی آب بر تجمع فلزات سرب و کادمیوم در گروه‌های وزنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی انجام شد. برای اجرای این پژوهش خواص شیمیایی آب شامل سختی، دما و pH و سه گروه وزنی بزرگ بین ۹۰۰-۷۰۰ گرم، متوسط ۵۰۰-۴۰۰ گرم و کوچک زیر ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد. از هر گروه وزنی تعداد ۴۵ قطعه ماهی از سه استخر در آبان سال ۱۳۹۳ و در کل تعداد ۱۳۵ قطعه ماهی نمونه‌برداری شد. گوشت همگن شده با دستگاه جذب اتمی روش طیف‌سنجی نوری ارزیابی شد. pH به روش الکتروشیمیایی، سختی به روش تیتراسیون و دمای آب توسط دماسنج اندازه‌گیری شد. طی دوره آزمایش pH آب استخرها خنثی، سختی آب متوسط تا سخت ۱۳۶/۸۰-۶۸/۴ میلی‌گرم بر لیتر و دما ۱۸-۱۶ درجه سلسیوس بود. نتایج بیانگر عدم وجود کادمیوم در ماهیان مورد مطالعه بود. سرب موجود در بافت‌ها ۰/۰۳ - <۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقادیر سرب و کادمیوم در آب و غذای ماهیان پرورشی زیر حد مجاز اعلام شده توسط FDA بود. ماهیان مورد بررسی تفاوت معنی‌دار نشان ندادند (P>۰/۰۵). بر اساس نتایج pH و دمای آب از عوامل تأثیرگذار بر نفوذ سرب به قزل‌آلای پرورشی بود. اما در مورد کادمیوم سختی آب نقش اصلی را بر ورود این فلز به بدن ماهی دارد.

واژه‌های کلیدی: رنگین‌کمان پرورشی، سرب، کادمیوم، ماهی قزل‌آلای خواص شیمیایی آب، وزن

مقدمه

ماهی قزل‌آلا (*Oncorhynchus mykiss*) از جمله ماهیان بازارپسند و ممتاز شیلاتی محسوب می‌شود که بررسی آلودگی‌های آن از نظر میزان سلامت و همچنین سلامت غذای جامعه اهمیت دارد. ماهی قزل‌آلا از نوع ماهیان سردآبی است و در زیرگروه ماهیان آزاد جای می‌گیرد. پروتئین حیوانی به‌ویژه ماهی به‌دلیل داشتن اسیدهای آمینه لازم و عوامل محرک رشد اثر مهمی در ترمیم بافت‌ها و سلامتی و شادابی انسان و به‌طورکلی رشد بدن دارد و کمبود این پروتئین سبب عدم تعادل دستگاه عصبی گشته و عقب‌ماندگی فکری و رنجوری و ضعف جسمانی را در انسان پدید می‌آورد و مقاومت بدن را در برابر بیماری‌های عفونی کاهش می‌دهد (Agbozu و Ekweozor، ۲۰۰۱). اما، علی‌رغم دارا بودن ارزش غذایی و نیاز بدن به آبزیان چنان‌چه تجمع فلزات سنگین از حد مجاز فراتر باشد خود می‌تواند سبب ابتلاء به بیماری و ایجاد مشکل برای انسان شود و به همین دلیل پژوهش‌ها در زمینه بهداشت و سلامت آن

* نویسنده مسئول: m_seifzadeh_ld@yahoo.com

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آلودگی مواد غذایی از جمله ماهیان به فلزات سنگین می‌تواند منجر به تجمع زیستی این عناصر در بدن مصرف‌کنندگان و بروز برخی از بیماری‌ها گردد. وجود این ترکیبات از نظر بهداشت و سلامت مواد غذایی برای سلامت انسان مضر بوده و وجود آن مجاز نمی‌باشد. بر این اساس و با توجه به اهمیت و جایگاه ماهیان در هرم غذایی جوامع بشری، کنترل کیفیت آن‌ها در حفظ سلامتی مصرف‌کنندگان بسیار دارای اهمیت می‌باشد (Hargrove و همکاران، ۱۹۹۵).

آلاینده‌های غیرقابل‌تجزیه مانند ترکیبات و نمک‌های فلزات سنگین در محیط، تجمع می‌یابند. تجمع مواد سمی در زنجیره غذایی، ممکن است باعث افزایش غلظت آن‌ها در جانوران سطوح بالاتر زنجیره غذایی، شود. تجمع و نقش بیولوژیکی فلزات سنگین، در جانوران دریایی می‌تواند سبب به خطر افتادن سلامتی انسان در اثر این فلزات شود. این فلزات زمانی که به‌وسیله انسان مصرف می‌شوند، اغلب اثرات قوی و زیان‌آوری را دارند. فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که مواجه شدن انسان با بعضی از آن‌ها از طریق آب و مواد غذایی مانند سرب و کادمیوم می‌تواند مسمومیت‌های مزمن و بعضاً حاد خطرناکی را ایجاد نمایند (Cogun و همکاران، ۲۰۰۶).

سرب به‌عنوان یک عنصر سمی و خطرناک از طریق فعالیت‌های انسان به مقدار زیاد وارد محیط طبیعی می‌شود و به‌رغم تحرک ژئوشیمیائی کم آن این فلز در تمام جهان پخش شده است. مقدار زیاد سرب فقط در بافت ماهیچه‌ای ماهی در مناطقی که دارای فعالیت کشاورزی و صنعتی زیاد و ورودی فاضلاب‌های شهری تصفیه‌نشده به محیط‌های آبی بودند، گزارش شده است. ضایعات مغزی، از کار افتادن سیستم عصبی، ضایعات کروموزومی، ناتوانی فکری، لرزش عضلانی، تشنج، جنون، کولیت روده‌ای- معده‌ای از جمله بیماری‌های ناشی از سرب است (Derinola و همکاران، ۲۰۱۲). کادمیوم به‌عنوان یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین برای موجودات زنده و غیرضروری برای ماهی می‌باشد. کادمیوم در جدار سخت زمین وجود دارد و قرن‌هاست که وارد محیط زیست می‌شود. از عوارض سمیت کادمیوم در بدن می‌توان از بیماری ایتالی ایتالی، درد استخوانی شدید، اسهال، استفراغ و آسیب به کلیه را نام برد (Blaylock و Huang، ۲۰۰۰).

در مورد اندازه‌گیری فلزات سنگین در داخل و خارج از کشور توسط پژوهشگران مختلف پژوهش‌های متعددی انجام شده است. اما در مورد اندازه‌گیری فلزات سنگین در گروه‌های وزنی مختلف و همچنین تأثیر خواص شیمیایی آب بر نفوذ فلزات سنگین به بدن آبزیان پژوهش نشده است. در مورد تأثیر سختی آب روی جذب فلزات سنگین به بدن آبزیان نیز پژوهش نشده است.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خواص شیمیایی آب بر تجمع فلزات سرب و کادمیوم در گروه‌های وزنی مختلف ماهی قزل‌آلای پرورشی انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این پروژه سه استخر در ناحیه رودسر در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری در ماه آبان سال ۱۳۹۳ انجام شد. برای هر استخر سه گروه وزنی شامل ماهیان کوچک زیر ۳۰۰ گرم، متوسط ٤۰۰-۵۰۰ گرم و بزرگ ۷۰۰-۹۰۰ گرم انتخاب شد. هر گروه وزنی در سه تکرار انجام شد. تعداد ماهیان هر تکرار معادل ۱۵ عدد در نظر گرفته شد، بنابراین تعداد کل ماهیان مورد بررسی معادل ۱۳۵ عدد بوده است. برای نمونه‌برداری ماهی بعد از خرید به‌صورت زنده از استخرهای پروش ماهی به خط تولید مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان انتقال داده شد. برای آماده‌سازی نمونه ماهیان پوست‌گیری شدند و استخوان‌ها جداسازی

شد. گوشت بدون استخوان ماهی قزل‌آلا جهت انجام آنالیز فلزات سنگین سرب و کادمیوم جمع‌آوری شد. هضم شیمیایی بافت جداسازی‌شده با روش هضم تر و مخلوط اسید ($HNO_3/HCLO_4$) انجام گرفت. از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی نوری با کوره گرافیتی برای اندازه‌گیری مقادیر فلزات سنگین استفاده شد (استاندارد ملی ایران شماره ۹۲۶۶، ۱۳۸۶ ;AOAC Official Method 937.07. 2000). محدوده اندازه‌گیری دستگاه برای فلز سرب ۳۰ppb – ۵ ppb – ۱۰ ppb و درصد بازیافت ۱۰۷ درصد و برای فلز کادمیوم ۱/۵ ppb – ۱ ppb – ۰/۱۵ ppb و درصد بازیافت دستگاه ۸۰ درصد بود. مقادیر حد سنجش[1] دستگاه برای سرب ۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای کادمیوم ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

آب استخرهای پرورش نمونه‌برداری‌شده برای تعیین فلزات سنگین سرب و کادمیوم، دما، سختی کل به روش تیتراسیون با استفاده از کیت مدل TH (ایران) و pH به روش الکتروشیمیایی با استفاده از pH متر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به محدوده زمانی سه هفته برای نمونه‌برداری ماهی و هر هفته یک مرحله نمونه‌برداری ماهی، فاکتورهای دما، سختی آب و pH در طی سه هفته هر روز در آب استخرهای پرورشی مورد مطالعه بررسی شدند. غذای مورد استفاده نیز برای تغذیه ماهیان پرورشی جهت آنالیز فلزات سنگین سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

جهت بررسی اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های سنی و وزنی مورد مطالعه و همچنین برای مقایسه غلظت آلاینده‌ها با استانداردهای ملی و بین‌المللی نیز از آزمون Independent Sample t-test استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey در سطح معنادار استفاده شد ($P<0/05$). برای بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیولوژیکی و جنس‌های نر و ماده ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی با میزان تجمع فلزات سنگین از آزمون همبستگی Spearman استفاده گردید. همبستگی بین تمامی آنالیزهای آماری این پژوهش با استفاده از SPSS ورژن ۱۷ انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول‌های ۱ تا ۳ مقادیر سرب و کادمیوم در ماهیان قزل‌آلای پرورشی ناحیه رودسر استان گیلان در حد مجاز بودند. غلظت فلزات سنگین در بافت ماهیان صیدشده از استخرهای مختلف تفاوت معنی‌دار با هم نشان نداد ($P>0/05$). در ماهیان نمونه‌برداری‌شده مقادیر کادمیوم در مقایسه با سرب کاهش نشان داد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط فرامرزیان (۱۳۹۲)، Can (۲۰۱۲)، Drag-Kozak (۲۰۱۱)، نکوئی‌فرد (۱۳۹۴) و Bahnasawy (۲۰۰۹) مطابقت دارد. در ماهیان نمونه‌برداری‌شده مقادیر کادمیوم در مقایسه با سرب کاهش نشان داد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط Bahnasawy و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

در گروه وزنی زیر ۳۰۰ گرم بین فاکتور وزن با سرب همبستگی منفی (۰/۶۴۰-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۰) و بین فاکتور وزن با کادمیوم همبستگی منفی (۰/۶۵۰-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۰) مشاهده شد. در گروه وزنی ۴۰۰-۵۰۰ گرم بین فاکتور وزن با سرب همبستگی منفی (۰/۴۴۸-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۰) و بین فاکتور وزن با کادمیوم همبستگی منفی (۰/۳۱۶-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۱) مشاهده شد. در گروه وزنی ۷۰۰-۹۰۰ گرم بین فاکتور وزن با سرب همبستگی منفی (۰/۳۹۱-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۰) و بین فاکتور وزن با کادمیوم همبستگی منفی (۰/۳۳۶-) و تفاوت معنی‌دار در همبستگی (۰/۰۰) مشاهده شد.

1- Limit of Quantitation

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری سرب و کادمیوم در ماهیان قزل‌آلای پرورشی ناحیه رودسر بر حسب میکروگرم بر گرم (استخر A)

شاخص	وزن (گرم)			سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
گروه‌های وزنی (گرم)	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰
۱	۱۸۰	۵۰۰	۹۰۰	۰/۰۱ ± ۰۸۹	۰/۰۲> ± ۰/۴۵	۰/۰۲ ± ۰/۱۶	۰/۰۱> ± ۰/۲۴	۰/۰۳ ± ۰/۷۶	۰/۰۳ ± ۰/۳۳
۲	۱۷۵	۴۹۵	۷۳۰	۰/۰۲ ± ۰/۳۴	۰/۰۷ ± ۰/۱۲	۰/۰۳ ± ۰/۲۱	۰/۰۱> ± ۰/۳۱	۰/۰۱> ± ۰/۶۷	۰/۰۱> ± ۰/۱۹
۳	۲۷۰	۴۸۰	۷۸۰	۰/۰۲ ± ۰/۰۳۱	۰/۰۳ ± ۰/۸۴	۰/۱ ± ۰/۱۹	۰/۰۱> ± ۰/۳۹	۰/۰۱ ± ۰/۵۴	۰/۰۱ ± ۰/۷۸
۴	۱۹۰	۴۹۱	۸۶۰	۰/۰۳ ± ۰/۵۶	۰/۰۶ ± ۰/۹۲	۰/۰۹ ± ۰/۳۱	۰/۰۱> ± ۰/۲۳	۰/۰۱> ± ۰/۱۳	۰/۰۱ ± ۰/۳۵
۵	۱۳۰	۴۹۰	۷۹۰	۰/۰۲ ± ۰/۰۲۴	۰/۰۳ ± ۰/۲۸	۰/۰۷ ± ۰/۴۷	۰/۰۱> ± ۰/۳۸	۰/۰۱> ± ۰/۲۶	۰/۰۲ ± ۰/۴۵
۶	۱۵۵	۴۷۵	۴۷۵	۰/۰۲> ± ۰/۰۶۷	۰/۰۲> ± ۰/۴۱	۰/۰۱ ± ۰/۴۶	۰/۰۱> ± ۰/۵۷	۰/۰۱> ± ۰/۵۲	۰/۰۱> ± ۰/۱۱
۷	۲۰۵	۵۰۰	۷۲۵	۰/۰۳ ± ۰۲۸	۰/۰۲> ± ۰/۲۶	۰/۰۶ ± ۰/۵۴	۰/۰۱ ± ۰/۶۱	۰/۰۱> ± ۰/۵۸	۰/۰۱> ± ۰/۲۷
۸	۱۷۱	۴۸۷	۸۸۰	۰/۰۴ ± ۰/۴۹	۰/۰۵ ± ۰/۳۴	۰/۰۲ ± ۰/۶۱	۰/۰۱ ± ۰/۶۴	۰/۰۱> ± ۰/۱۷	۰/۰۱> ± ۰/۲۲
۹	۱۸۵	۴۸۵	۸۸۶	۰/۰۱ ± ۰/۱۲	۰/۰۷ ± ۰/۱۸	۰/۲ ± ۰/۷۵	۰/۰۲ ± ۰/۶۹	۰/۰۲ ± ۰/۱۴	۰/۰۱> ± ۰/۱۱
۱۰	۲۲۵	۴۵۰	۸۹۵	۰/۰۳ ± ۰/۳۸	۰/۰۱ ± ۰/۱۲	۰/۱ ± ۰/۱۲	۰/۰۱> ± ۰/۰۲۹	۰/۰۱> ± ۰/۰۲۳	۰/۰۱> ± ۰/۰۶۸
۱۱	۲۱۳	۴۹۳	۸۵۰	۰/۰۲ ± ۰/۲۴	۰/۰۲ ± ۰/۲۶	۰/۰۳ ± ۰۰/۲۷	۰/۰۱> ± ۰/۰۴۶	۰/۰۱ ± ۰/۰۶۳	۰/۰۱> ± ۰۰/۳۲
۱۲	۲۸۶	۴۷۹	۸۵۶	۰/۰۵ ± ۰۰/۷۳	۰/۰۱ ± ۰۰/۱۴	۰/۰۲>۰/۰۱۹	۰/۰۱ ± ۰۰/۳۴	۰/۰۱> ± ۰/۰۵۴	۰/۰۱> ± ۰/۰۴۵
۱۳	۲۶۵	۴۷۵	۷۴۵	۰/۰۲> ± ۰/۰۸۱	۰/۰۱ ± ۰/۲۱	۰/۰۴ ± ۰۰/۴۱	۰/۰۱ ± ۰۰/۱۴	۰/۰۱> ± ۰/۰۱۲	۰/۰۱ ± ۰۰/۶۹
۱۴	۲۸۱	۴۶۱	۷۹۰	۰/۰۱ ± ۰/۲۴	۰/۰۲ ± ۰/۰۳۲	۰/۰۲ ± ۰/۰۵۳	۰/۰۳ ± ۷۵۰	۰/۰۱> ± ۰/۰۹۱	۰/۰۱> ± ۰/۰۵۲
۱۵	۲۸۵	۴۸۶	۷۰۵	۰/۰۲ ± ۰۰/۴۸	۰/۰۲> ± ۰/۰۴۱	۰/۰۲ ± ۰۰/۶۱	۰/۰۱ ± ۰/۳۷	۰/۰۱> ± ۰/۰۸۴	۰/۰۱ ± ۰/۰۶۱

حدود مجاز اعلام شده از سوی سازمان دامپزشکی ایران برای سرب ۰/۲ و برای کادمیوم ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، از سوی FDA برای سرب ۵ و برای کادمیوم ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و از از سوی FAO برای سرب ۰/۵ و برای کادمیوم ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری سرب و کادمیوم در ماهیان قزل‌آلای پرورشی ناحیه رودسر بر حسب میکروگرم بر گرم (استخر B)

شاخص	وزن (گرم)			سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
گروه‌های وزنی (گرم)	زیر ۳۰۰	۵۰۰-۴۰۰	۹۰۰-۷۰۰	زیر ۳۰۰	۵۰۰-۴۰۰	۹۰۰-۷۰۰	زیر ۳۰۰	۵۰۰-۴۰۰	۹۰۰-۷۰۰
۱	۲۲۰	۴۵۳	۸۹۹	۰/۰۲ ± ۰/۱۸	۰/۰۲ ± ۰/۶۴	۰/۰۳ ± ۰/۵۴	۰/۰۱> ± ۰/۷۳	۰/۰۱ ± ۰/۱۶	۰/۰۲ ± ۰/۱۹
۲	۱۹۵	۴۶۹	۷۳۱	۰/۰۸ ± ۰/۲۳	۰/۱۳ ± ۰//۷۸	۰/۰۶ ± ۰/۳۷	۰/۰۱> ± ۰/۱۲	۰/۰۱> ± ۰/۲۱	۰/۰۱> ± ۰/۳۸
۳	۲۷۹	۵۰۰	۷۳۴	۰/۱۴ ± ۰/۷۵	۰/۰۸ ± ۰/۸۵	۰/۰۲ ± ۰/۷۶	۰/۰۱> ± ۰/۴۵	۰/۰۱> ± ۰/۷۶	۰/۰۱> ± ۰/۶۴
۴	۱۹۰	۴۸۵	۷۵۶	۰/۲ ± ۰/۳۹	۰/۰۹ ± ۰/۹۱	۰/۱ ± ۰/۱۵	۰/۰۱ ± ۰/۸۷	۰/۰۱> ± ۰/۱۳	۰/۰۱> ± ۰/۷۲
۵	۲۸۰	۴۹۰	۷۸۷	۰/۰۱ ± ۰/۶۹	۰/۱۹ ± ۰/۹۴	۰/۰۲ ± ۰/۳۴	۰/۰۱> ± ۰/۹۸	۰/۰۱> ± ۰/۳۵	۰/۰۱> ± ۰/۶۱
۶	۲۸۲	۴۷۵	۸۶۴	۰/۰۲> ± ۰/۳۷	۰/۰۲ ± ۰/۸۴	۰/۲ ± ۰/۶۲	۰/۰۱> ± ۰/۴۷	۰/۰۱> ± ۰/۲۹	۰/۰۱> ± ۰/۷۳
۷	۲۳۵	۵۰۰	۸۳۶	۰/۰۲ ± ۰/۳۴	۰/۲ ± ۰/۷۵	۰/۰۱ ± ۰/۱۱	۰/۰۱> ± ۰/۷۴	۰/۰۱> ± ۰/۶۵	۰/۰۱> ± ۰/۲۴
۸	۱۸۰	۴۳۰	۸۱۳	۰/۰۲ ± ۰/۴۸	۰/۱ ± ۰/۴۹	۰/۰۴ ± ۰/۲۳	۰/۰۱> ± ۰/۵۶	۰/۰۱> ± ۰/۳۶	۰/۰۱> ± ۰/۱۷
۹	۱۷۵	۴۲۶	۸۶۵	۰/۲ ± ۰/۹۷	۰/۱ ± ۰/۹۸	۰/۰۵ ± ۰/۱۵	۰/۰۱> ± ۰/۵۳	۰/۰۱> ± ۰/۷۹	۰/۰۱ ± ۰/۸۶
۱۰	۱۷۶	۴۷۰	۸۸۷	۰/۲ ± ۰/۸۷	۰/۰۲ ± ۰/۸۴	۰/۰۱ ± ۰/۲۶	۰/۰۱> ± ۰/۶۱	۰/۰۱> ± ۰/۷۵	۰/۰۱> ± ۰/۹۳
۱۱	۱۳۰	۴۴۵	۸۱۹	۰/۰۱ ± ۰/۱۴	۰/۰۲ ± ۰/۶۹	۰/۲ ± ۰/۲۳	۰/۰۱> ± ۰/۶۲	۰/۰۱> ± ۰/۸۱	۰/۰۱> ± ۰/۸۹
۱۲	۱۵۵	۴۶۳	۷۶۱	۰/۰۲> ± ۰/۶۸	۰/۲ ± ۰/۸۷	۰/۰۲ ± ۰/۲۹	۰/۰۱> ± ۰/۶۷	۰/۰۱> ± ۰/۱۸	۰/۰۱ ± ۰/۷۹
۱۳	۱۸۹	۴۷۲	۷۴۹	۰/۱ ± ۰/۸۳	۰/۰۹ ± ۰/۸۶	۰/۰۹ ± ۰/۴۷	۰/۰۱ ± ۰/۸۲	۰/۰۱> ± ۰/۳۴	۰/۰۱> ± ۰/۱۴
۱۴	۱۸۴	۴۹۱	۷۹۶	۰/۰۱ ± ۰/۴۶	۰/۰۲ ± ۰/۲۷	۰/۲ ± ۰/۴۳	۰/۰۱> ± ۰/۸۴	۰/۰۱> ± ۰/۳۷	۰/۰۱> ± ۰/۲۱
۱۵	۲۱۵	۴۸۶	۷۱۱	۰/۰۳ ± ۰/۶۳	۰/۲ ± ۰/۴۶	۰/۰۲> ۰/۵۹	۰/۰۱> ± ۰/۴۵	۰/۰۱> ± ۰/۹۷	۰/۰۱> ± ۰/۲۴

حدود مجاز اعلام شده از سوی سازمان دامپزشکی ایران برای سرب ۰/۲ و برای کادمیوم ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، از سوی FDA برای سرب ۵ و برای کادمیوم ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و از از سوی FAO برای سرب ۰/۵ و برای کادمیوم ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری سرب و کادمیوم در ماهیان قزل‌آلای پرورشی ناحیه رودسر بر حسب میکروگرم بر گرم (استخر C)

شاخص	وزن (گرم)			سرب (میلی گرم بر کیلوگرم)			کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)		
گروه‌های وزنی(گرم)	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰	زیر ۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۷۰۰-۹۰۰
۱	۲۶۵	۴۶۵	۷۶۵	۰/۰۲> ± ۰/۱۱	۰/۰۲> ± ۰/۳۱	۰/۰۲ ± ۰/۷۴	۰/۰۱> ± ۰/۱۳	۰/۰۱> ± ۰/۳۷	۰/۰۱ ± ۰/۲۵
۲	۲۴۰	۴۴۰	۷۴۰	۰/۰۲ ± ۰/۴۶	۰/۰۲> ± ۰/۲۲	۰/۰۲> ± ۰/۶۳	۰/۰۱ ± ۰/۲۸	۰/۰۱> ± ۰/۴۸	۰/۰۱> ± ۰/۳۹
۳	۲۶۰	۴۶۰	۷۶۰	۰/۰۲> ± ۰/۶۸	۰/۰۲> ± ۰/۳۶	۰/۰۲ ± ۰/۵۲	۰/۰۱ ± ۰/۳۱	۰/۰۱> ± ۰/۶۷	۰/۰۱> ± ۰/۴۵
۴	۲۵۵	۴۹۰	۸۸۰	۰/۰۳ ± ۰/۷۸	۰/۰۳ ± ۰/۶۴	۰/۰۵ ± ۰/۶۴	۰/۰۱> ± ۰/۵۹	۰/۰۱> ± ۰/۸۱	۰/۰۱ ± ۰/۵۶
۵	۲۶۳	۴۸۵	۸۷۶	۰/۰۲ ± ۰/۷۱	۰/۰۲> ± ۰/۵۴	۰/۰۲ ± ۰/۷۴	۰/۰۱> ± ۰/۵۵	۰/۰۱> ± ۰/۷۹	۰/۰۱> ± ۰/۶۲
۶	۱۸۹	۴۳۰	۸۹۰	۰/۲ ± ۰/۵۶	۰/۰۲> ± ۰/۵۶	۰/۰۲ ± ۰/۸۸	۰/۰۱ ± ۰/۶۹	۰/۰۱> ± ۰/۳۳	۰/۰۱> ± ۰/۹۱
۷	۲۱۵	۴۲۶	۹۰۰	۰/۱ ± ۰/۶۳	۰/۰۲> ± ۰/۶۹	۰/۰۲> ± ۰/۷۲	۰/۰۳ ± ۰/۶۸	۰/۰۱> ± ۰/۳۱	۰/۰۱> ± ۰/۸۷
۸	۱۷۶	۴۳۷	۸۵۴	۰/۰۱± ۰/۵۱	۰/۰۲> ± ۰/۵۱	۰/۰۲ ± ۰/۷۱	۰/۰۱> ± ۰/۴۸	۰/۰۱> ± ۰/۴۲	۰/۰۱> ± ۰/۷۶
۹	۱۸۵	۴۸۰	۸۳۵	۰/۰۱ ± ۰/۶۴	۰/۰۲> ± ۰/۴۳	۰/۰۶ ± ۰/۷۹	۰/۰۱> ± ۰/۴۱	۰/۰۱> ± ۰/۵۹	۰/۰۲ ± ۰/۶۱
۱۰	۲۳۰	۴۶۷	۸۶۸	۰/۰۵ ± ۰/۸۹	۰/۰۲ ± ۰/۴۱	۰/۰۱ ± ۰/۸۳	۰/۰۱> ± ۰/۴۵	۰/۰۱> ± ۰/۲۱	۰/۰۱> ± ۰/۵۹
۱۱	۲۵۵	۴۸۴	۸۵۹	۰/۰۲ ± ۰/۹۱	۰/۰۳ ± ۰/۹۷	۰/۰۲ ± ۰/۸۶	۰/۰۱> ± ۰/۵۶	۰/۰۱> ± ۰/۳۷	۰/۰۱ ± ۰/۶۵
۱۲	۲۶۸	۴۶۹	۸۴۳	۰/۰۱ ± ۰/۹۴	۰/۰۳ ± ۰/۹۹	۰/۰۲> ± ۰/۹۳	۰/۰۱> ± ۰/۴۵	۰/۰۱> ± ۰/۳۹	۰/۰۱> ± ۰/۲۹
۱۳	۲۷۰	۴۳۹	۷۹۵	۰/۰۳ ± ۰/۳۷	۰/۰۴ ± ۰/۴۱	۰/۰۳ ± ۰/۶۵	۰/۰۱ ± ۰/۳۹	۰/۰۱> ± ۰/۳۷	۰/۰۱> ± ۰/۵۷
۱۴	۲۷۸	۴۵۶	۷۸۶	۰/۰۴ ± ۰/۸۷	۰/۰۲ ± ۰/۷۱	۰/۰۱ ± ۰/۳۸	۰/۰۱> ± ۰/۶۱	۰/۰۱> ± ۰/۵۴	۰/۰۱> ± ۰/۴۵
۱۵	۲۲۶	۵۰۰	۷۹۱	۰/۰۵ ± ۰/۸۶	۰/۰۲> ± ۰/۷۸	۰/۰۲ ± ۰/۲۴	۰/۰۱ ± ۰/۱۱	۰/۰۱> ± ۰/۶۹	۰/۰۱ ± ۰/۳۱

حدود مجاز اعلام شده از سوی سازمان دامپزشکی ایران برای سرب ۰/۲ و برای کادمیوم ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، از سوی FDA برای سرب ۵ و برای کادمیوم ۱ میلی گرم بر کیلوگرم و از سوی FAO برای سرب ۰/۵ و برای کادمیوم ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط ابراهیمی سیریزی (۱۳۹۱)، Canli و Atli (۲۰۰۳)، Luczynska و Brucka (۲۰۰۵)، Drag-Kozak (۲۰۱۱) مطابقت ندارد. تفاوت در همبستگی بین غلظت‌های فلزات سنگین سرب و کادمیوم با فاکتور سایز ماهیان قزل‌آلای استخرهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر با پژوهش‌های انجام شده توسط سایر پژوهشگران را می‌توان با استفاده از تفاوت در عادات غذایی، زیستگاهی و شرایط فیزیولوژیکی آب استخرهای پرورشی توجیه کرد.

ابراهیمی‌سیریزی (۱۳۹۱) نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین غلظت فلز سرب با وزن نمونه‌ها دیده نشد. اما یک همبستگی منفی معنی‌دار بین غلظت فلز کادمیوم با وزن نمونه‌ها مشاهده گردید. Euczysnka و Brucka-Jastrzebska (۲۰۰۵) ارتباط مثبت بین مقدار سرب با وزن بدن در ماهیان خانواده رش ماهیان[1] و ماهی سوف حاجی‌طرخان[2] مشاهده کرد. غلظت سرب با فاکتور وزن بدن در اردک‌ماهی و سیم ارتباط منفی نشان داد. غلظت کادمیوم با وزن بدن خانواده رش‌ماهیان و ماهی سوف حاجی‌طرخان ارتباط مثبت نشان داد. این ارتباط در اردک‌ماهی و سیم منفی بود. Luczynska و Brucka (۲۰۰۵) به ارتباط مثبت معنی‌داری بین غلظت سرب با وزن اردک‌ماهی[3] و ماهی سیم[4] یافت. همچنین ارتباط مثبت معنی‌دار بین غلظت کادمیوم با وزن بدن رش‌ماهیان و ماهی سوف حاجی‌طرخان دست یافت. در این مطالعه غلظت فلز سرب بیش‌تر از کادمیوم گزارش شد. Drag-Kozak (۲۰۱۱) نشان داد که تجمع فلزات در بافت‌های مختلف ماهی قزل‌آلا به فصل بستگی دارد. Moll و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه روی فلزات سنگین سرب و کادمیوم غلظت فلز سرب را بیش‌تر از کادمیوم گزارش کردند که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. امینی‌رنجبر و ستوده‌نیا (۱۳۸٤) افزایش غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب را در بافت عضله ماهی کفال طلایی دریای خزر در منطقه فریدون‌کنار استان مازندران در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی نشان دادند. این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد که تحت‌تأثیر تفاوت زیستگاهی و نوع تغذیه می‌باشد. پورنگ و همکاران (۱۳۸٤) در مطالعه روی میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم در عضله سه گونه ماهی هامور معمولی[5]، کفشک تیزدندان[6] و کفشک‌ماهی[7] به افزایش مقدار این فلزات در مقایسه با استانداردهای جهانی برای مصرف انسان دست یافتند که با پژوهش حاضر مطابقت ندارد. عدم مطابقت به‌دلیل تفاوت زیستگاهی و نوع تغذیه می‌باشد. صادقی‌راد (۱۳۷۵) غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب را در عضله چهار گونه از ماهیان تالاب انزلی شامل کاراس، فیتوفاگ، اردک‌ماهی و کپور را در مقایسه با حد مجاز اعلام شده توسط سازمان بهداشت جهانی پایین‌تر بودن گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. خانی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم را در بافت ماهی کاراس تالاب انزلی در مقایسه با سازمان بهداشت جهانی پائین‌تر گزارش کردند. حمد فرامرزیان (۱۳۹۲) مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم را در ماهیان قزل‌آلای شهر شیراز کم‌تر از حداکثر مجاز سازمان جهانی بهداشت گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

1- *Roach*
2- *Perch*
3- *Pike*
4- *Bream*
5- *Epinephelus coioides*
6- *Psettodidae*
7- *Flounders*

جدول ٤- نتایج بررسی کیفیت آب استخرهای پرورشی ماهی قزل‌آلا

ناحیه نمونه‌برداری	استخر			سختی آب (میلی‌گرم بر لیتر)			
فاکتور / استخر	استخر A	استخر B	استخر C	نرم	سختی متوسط	سخت	خیلی سخت
pH	۷ ± ۱/۲	۷ ± ۱/٦	۷ ± ۱/۹	۰-٦۰	٦۱-۱۲۰	۱۲۱-۱۸۰	بیشتر یا مساوی ۱۸۱
سختی کل (میلی‌گرم بر لیتر)	٦۸/٤ ± ۱/٤	۱۳٦/۸۰ ± ۳/۲	٦۸/٤ ± ۳/٦				
دما (درجه سلسیوس)	۱۷ ± ۲/۱	۱٦ ± ۱/۸	۱٦ ± ۲/٤				

بر اساس جدول ٤ مقدار pH در استخرهای نمونه‌برداری‌شده تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. فاکتور سختی آب در استخرهای A و C با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند (P>۰/۰۵). اما این استخرها با استخر B تفاوت معنی‌دار داشتند (P<۰/۰۵). تأثیر سختی آب روی فلز کادمیوم در مقایسه با سرب بیش‌تر بود. فاکتور دما در استخرهای نمونه‌برداری‌شده تفاوت معنی‌دار نشان نداد (P>۰/۰۵). در مورد تاثیر سختی آب روی نفوذ فلزات سنگین به بدن آبزیان تاکنون پژوهش نشده است.

سرب برای جذب توسط آبزیان با فلزات دیگر مرتبط نبوده اما جذب آن ارتباط مستقیم با دمای آب سطحی یا دمای هوا دارد (Ahmed و Hossam، ۲۰۱۳). همان‌طورکه نتایج نشان داد دمای آب برای متابولیسم و جذب این فلز توسط ماهی قزل‌آلا مناسب نبوده و این فاکتور به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر بر کاهش تجمع فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی مطرح می‌باشد. علاوه بر این، کاهش غلظت فلزات سنگین در ماهی قزل‌آلا طی فصل پائیز ممکن است به‌دلیل تغییر وزن بافت چربی زیر پوست تحت‌تأثیر کاهش تغذیه ماهی در این فصل بوده و این فاکتور در مقایسه با سایر عوامل برتری دارد.

فلزات سنگین در آب‌های سطحی به اشکال کلوئیدی، ذرات و حل شده وجود دارند، که رفتار آن‌ها در آب‌های طبیعی تابع شیمی آب مانند pH، سختی و دما و سایر عوامل است (Methods، ۲۰۱٤). طی انتقال در آب این فلزات دست‌خوش تغییرات متعددی مانند انحلال، ته‌نشینی، جذب سطحی و تشکیل کمپلکس با ترکیبات آب یا خاک می‌شوند که رفتار و در دسترس بودن زیستی آن‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. رسوب یا حلالیت فلزات کمیاب در آب‌های سطحی به‌طور عمده توسط pH آب، درجه حرارت آب و سایر عوامل کنترل می‌شود.

تغییر درجه حرارت آب رودخانه در فصل پائیز ممکن است به‌طور غیرمستقیم تنوع فلزات مورد مطالعه را از طریق فعالیت بیولوژیکی مانند کاهش فیتوپلانکتون به‌دلیل انباشته شدن عناصر کمیاب در مکان‌های تجمع‌یافته از فیتوپلانکتون و عدم انحلال آن‌ها در آب (Bahnasawy و همکاران، ۲۰۰۹) و یا به‌دلیل کاهش احتمالی اکسیژن محلول مرتبط به کاهش بالقوه پتانسیل ردوکس رودخانه تحت‌تأثیر قرار دهد. علاوه بر موارد فوق دوره کاهش دما سبب جلوگیری از تبخیر آب و رقت آلاینده‌های موجود در آب می‌شود (Cassidy و همکاران، ۲۰۱٤). دوره باران شدید باعث افزایش جریان رودخانه و بالطبع کاهش آلاینده، تولید رقت آلاینده طی مخلوط شدن حجم زیادی از آب غیرآلوده و آب روان، افزایش pH و محتوی سولفات فلزی می‌شود. Obiora و Chibuike (۲۰۱٤). با توجه به این‌که تحرک و

حلالیت فلزات تحت‌تأثیر pH بوده، به‌طوری‌که در pH خنثی فلزات در آب محلول نیستند. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در استخرهای پرورشی مورد مطالعه pH آب خنثی بوده، این pH برای فلزات سنگین سرب و کادمیوم نقطه انفصال بوده و سبب کاهش شدید حلالیت این عناصر و بالطبع غلظت آن‌ها در آب و ورود آن‌ها به بدن آبزیان شد. عدم حلالیت و ته‌نشینی فلزات در آب استخر بر میزان جذب و ورود آن‌ها به بدن ماهی تأثیرگذار بوده و این فاکتور نیز سبب کاهش مقدار فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی شد. در pH فوق مقادیر کادمیوم و سرب به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با آب‌های اسیدی کاهش یافت. به‌طوری‌که در این نقطه فلز کادمیوم دارای غلظتی برابر با ۰/۰۲٤ میکروگرم بر گرم و فلز سرب دارای غلظتی برابر با ۰/۰۳۹ میکروگرم بر گرم است. با توجه به تأثیر غلظت فلزات سنگین بر جذب آن‌ها توسط ماهی، غلظت فوق برای جذب این فلزات مناسب نبوده و سبب کاهش جذب و تجمع این فلزات در ماهی شد علاوه بر این، pH خنثی به‌طور مستقیم به‌دلیل جلوگیری از آسیب بافت‌های اپیتلیال می‌تواند مانع جذب فلزات سنگین شود (Levine، ۲۰۱۵). در pH آب استخرهای مورد مطالعه عناصر سنگین در واکنش با ترکیبات خاک مانند جذب روی سطح جامدات غیرآلی، ترکیبات فلزی غیرآلی غیرمحلول مانند کربنات‌ها و فسفات‌ها، ترکیبات فلزی محلول یا یون‌های فلزی آزاد در خاک، کمپلکس‌های فلز مواد آلی و فلزات چسبیده به سیلیکات‌های معدنی بوده و علاوه بر آلودگی خاک به فلزات سنگین سبب کاهش آلودگی آب به فلزات سنگین می‌شوند. این شکل عناصر کمیاب در مقایسه با اشکال آزاد فلزات سنگین قادر به آلوده کردن جانداران آبزی نیستند (Ol.as و همکاران، ۲۰۰٤).

نتایج به‌دست آمده نشان داد که آب‌های با سختی متوسط و سخت سبب ته‌نشینی فلزات کمیاب به‌خصوص کادمیوم شده و با توجه به عمق‌زی نبودن ماهی قزل‌آلا جذب فلزات سنگین توسط این ماهی کاهش یافته و آب‌های با سختی متوسط و سخت قادر برای نفوذ کادمیوم به بدن ماهی قزل‌آلا مناسب نیستند. همچنین مواد آلی و اکسید آهن آب‌دار قادر به تثبیت فلزات سنگین آب بوده و در دسترس قرار گرفتن این فلزات را کاهش می‌دهند (Jezierska و Witeska، ۲۰۰٦). عدم تجمع کادمیوم در گروه‌های وزنی مختلف ماهی قزل‌آلا را می‌توان به‌دلیل نمونه‌برداری بعد از سپری شدن دوره گرما و نقش کاهش دمای آب بر کاهش تجمع کادمیوم نیز دانست.

جدول ۵- مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب استخرهای پرورشی مورد مطالعه ماهی قزل‌آلا (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

استخر	استخر A		استخر B		استخر C	
شاخص / زمان نمونه‌برداری	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم
فاز اول	۰/۱٤±۰/۱۱	۰/٦۷±۰/۲٤	۰/۱۰±۰/۰۹	۰/۳۵±۰/۱۲	۰/۱۳±۰/۱۲	۰/۱۹±۰/۱٤
فاز دوم	۰/۱۲±۰/۱٤	۰/٤۸±۰/۲۱	۰/۰۷±۰/۰۳	۰/۷۳±۰/۲۵	۰/۱۵±۰/۱۳	۰/۲۷±۰/۱۹
سوم	۰/۱۸±۰/۱۵	۰/۹۵±۰/۳۲	۰/۰۹±۰/۰٤	۰/۳۹±۰/۱۷	۰/۱٦±۰/۱٤	۰/۲۱±۰/۱۷

جدول ٦- مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم در غذای ماهی‌های قزل‌آلای پرورشی مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

استخر	استخر A		استخر B		استخر C	
شاخص / زمان نمونه‌برداری	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم
فاز اول	۳/۸٦ ± ۱/۲	۰/۸۵ ± ۰/۱۳	۳/۱۷ ± ۱/۸	۰/۹۸ ± ۰/۲۹	۰/٦۸ ± ۰/۲۱	۰/۸۹ ± ۰//۳۲
فاز دوم	۳/۱۷ ± ۱/۸	۰/۷٦ ± ۰/۲۵	۲/۹۵ ± ۲/۳	۰/۸۷ ± ۰/۳۵	۰/۸۱ ± ۰/۲۹	۰/۹۲ ± ۰/۳۷
سوم	٤/۱۵ ± ۲/۱	۰/۹۱ ± ۰/۳۱	۳/۸٦ ± ۲/٤	۰/۷۱ ± ۰/۱٦	۰/۷۵ ± ۰/۳۷	۰/۸٦ ± ۰/۳۵

همان‌طوری که جدول‌های ۵ و ٦ نشان می‌دهد مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب و غذای استخرهای پرورش مورد مطالعه بر اساس FDA زیر حد مجاز قابل پذیرش استاندارد و بر اساس دامپزشکی ایران و FAO از حد مجاز قابل افزایش معنی‌دار داشت ($P<۰/۰۵$). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط فدایی‌فرد و همکاران (۱۳۸۹) و Adeniji و Okedeyi (۲۰۱۷) و Anhwange و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. اما با نتایج به‌دست آمده توسط جواهری بابلی (۱۳۹۱)، Kundu و همکاران (۲۰۱۷) و Susie و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت ندارد که به‌دلیل تفاوت در نوع غذا و شرایط فیزیکی استخر است. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول‌های ۱ تا ۳ و کاهش مقادیر فلزات سنگین زیر حد مجاز استانداردهای بین‌المللی و جدول‌های ۵ و ٦ و افزایش معنی‌دار مقادیر فلزات سنگین در آب استخرهای ماهیان پرورشی و غذای مورد استفاده برای تغذیه این ماهیان می‌توان گفت که بر اساس نتایج جدول ٤ فاکتورهای اندازه‌گیری‌شده از شرایط فیزیکوشیمیایی آب این استخرها مانند سختی و pH سبب کاهش مقادیر این فلزات در بافت عضله ماهی‌های قزل‌آلای پرورشی مورد مطالعه شد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش فلز سرب در ماهیان صیدشده از آب‌های با سختی متوسط و سخت تفاوت معنی‌دار نداشته و با توجه به یکسان بودن شرایط از نظر دما و pH و تفاوت در سختی آب استخرهای پرورشی مورد مطالعه، می‌توان استنباط کرد که سختی آب روی نفوذ فلز سرب به ماهی قزل‌آلای پرورشی تأثیر ندارد، اما pH و دمای آب روی نفوذ این فلز تأثیر دارد. اما با توجه به یکسانی pH، تفاوت در سختی آب، مناسب بودن شرایط از نظر دما برای نفوذ کادمیوم و عدم وجود این فلز در بدن ماهی می‌توان گفت که این عنصر در آب‌های سخت و با سختی متوسط فادر به نفوذ به بدن ماهی نمی‌باشد.

منابع

استاندارد شماره ۹۲٦٦، ۱۳۸٦. اندازه‌گیری مقدار سرب، کادمیوم، مس، آهن و روی به روش طیف‌سنجی جذب اتمی. مؤسسه تحقیقات صنعتی ایران.

امینی‌رنجبر، غ.، و ستوده‌نیا، ف.، ۱۳۸٤. تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی کفال طلایی (*Mugil auratus*) دریای خزر در ارتباط با برخی. مشخصات بیومتریک (طول استاندارد، وزن، سن و جنسیت). مجله علمی شیلات ایران. ٤ (۳): ۱-۱۹.

پورنگ، ن.، تانابه، س.، رضوان، س.، و دنیس، ح.ج.، ۱۳۸٤. تجمع و ردیابی عناصر در بافت خوراکی پنج گونه ماهیان خاویاری از دریای خزر. مجله ارزیابی و بررسی محیط زیست. ۱۰۰: ۸۹-۱۰۸.

جواهری‌بابلی، م.، مکتبی، پ.، جعفرنژادری، ع.، و عسکری‌ساری، ا.، ۱۳۹۱. بررسی میزان سرب در بافت‌های ماهی کپور پرورشی، رسوب و آب برخی استخرهای پرورش ماهیان گرم‌آبی استان خوزستان. مجله توسعه آبزی‌پروری. ٦ (۲): ۱۱-۲۲.

حمد فرامرزیان، ز.، درخشان، م.، رنجبر، م.ع.، و بقاءپور، ۱۳۹۲. بررسی و ارزیابی خطر غلظت فلزات سنگین در ماهیان قزل‌آلا شهر شیراز. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران.

خانی‌پور، ع.ش.، احمدی، م.، سیف‌زاده، م.، زارع‌گشتی، ق.، و زلفی‌نژاد، ک.، ۱۳۹۵. بررسی میزان تجمع فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی در بافت خوراکی عضله ماهی کاراس تالاب بین‌المللی بندرانزلی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. ٥٤ (۱۳): ۱٥٥-۱٦۳.

صادقی‌راد، م.، امینی‌رنجبر، ارشد، ع.، و جوشیده، ه.، ۱۳۸٤. مقایسه تجمع فلزات سنگین (روی، مس، کادمیوم، سرب و جیوه) در بافت عضله و خاویار دو گونه تاس‌ماهی ایرانی و ازون‌برون. حوضه جنوبی دریای خزر. مجله علمی شیلات ایران. ۱٤ (۳): ۷۹-۱۰۰.

فدایی‌فرد، ف.، ریسی، م.، جلالی‌جعفری، ب.، و قاضی‌عسگر، م.، ۱۳۸۹. بررسی میزان سرب و آهن در آب، غذا و عضلات ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی استان چهارمحال و بختیاری. مجله دامپزشکی ایران دانشگاه شهید چمران اهواز. ٦ (۳): ٥۹-٦۲.

نکوئی‌فرد، ع.، مرادی، ی.، صیدگر، م.، جوان، س.، عاقبتی، س.، ۱۳۹٤. بررسی آلودگی ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی استان گیلان به فلزات سنگین سرب و آهن. ۲٤: ۱٤۳-۱٤۹.

Adeniji, C.A., and Okedeyi, O.O., 2017. Preliminary Assessment of Heavy Metal Concentrations in Selected Fish Feed Ingredients in Nigeria. J. Fish. Livestook Prod. 5, 218.

Agbozu, I.E., and Ekweozor, I.K.E., 2001. Heavy metals in a nontribal freshwater swamp in the Niger Delta areas of Nigeria. Afric. J. Sci. 2 (1), 75-182.

Ahmed, T.H.A.I., and Hossam, M.O., 2013. Seasonal variation of heavy metals accumulation in muscles of the African Catfish *Clarias gariepinus* and in River Nile water and sediments at Assist Governorate, Egypt. J. Biol. Earth Sci. 3, 236-248.

Anhwange, B.A., Asemave, K., Kim, B.C., and Nyiaatagher, D.T.B.A., 2012. Heavy Metals Contents of Some Synthetic Fish Feeds Found within Makurdi Metropolis. Inter. J. Food Nutr. Safe. 2 (2), 55-61.

Association of Official Analytical Chemists 937.07, 2000. Fish and Marine Products Treatment and Preparation of Sample. AOAC International.

Bahnasawy, M., Khidr, A., and Dheina, N., 2009. Seasonal variations of heavy metals concentrations in Mullet, *Mugil cephalus* and *Liza ramada* (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt. J. Appl. Sci. Res. 5, 845-852.

Can, E., Yabanli, M., Kehayias, G., Aksu, Ö., Kocabaş, M., Demir, V., Kayim, M., Kutluyer, F., and Şeker, S., 2012. Determination of bioaccumulation of heavy metals and selenium in tissues of brown trout Salmo trutta macrostigma (Duméril, 1858) from Munzur Stream, Tunceli, Turkey. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 89, 1186-9.

Cassidy, M., Matu, A., and Downing, G., Baseline risk study of potential chemical contaminants in farmin Ontario farm-raised Trout raised Rainbow Trout. Food Safety Policy Branch Ontario Ministry of Agriculture and Food (OMAF).

Chibuike, G.U., and Obiora, S.C., 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods Applied and Environmental Soil Science. 12p.

Derinola, O.J., Clarke, E.O., Olarinmoye, O.M., Kusemiju, V., and Anatekhai, M.A., 2012. Heavy metals in surface water, sediments, fish and periwinkles of Lagos Lagoon American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci. 5, 609-617.

Drag-Kozak, E., Euszczek, E., and Popek, W., 2011. Heavy metals in some tissues and organs of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fish species in relation to age and season Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. 48, 161-169.

Euczysnka, J., and Brucka-Jastrzebska, E., 2005. The relationship between the content of Nwabueze lead and cadmium in muscle tissue and the size of fish from lakes in the Olsztyn lake district of northeast Poland. Archives of Polish Fisheries. 13 (2).

Iwashita, M., and Shimamura, T., 2003. Long-term variations in dissolved trace elements in the Sagami River and its tributaries (upstream area), Japan, The Science of the Total Environment, 312, 167-179.

Jezierska, B., and Witeska, M., 2006. The metal uptake and accumulaton in fish living in polluted waters. pp. 107-114.

Kundu, G.K., Alauddin, M., Akter, M.S., Shahneawz Khan, M., Islam, M., Mondal, G., Islam, D., Chandra Mohanta, L., and Huque, A., 2017. Metal contamination of commercial fish feed and quality aspects of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Bangladesh. Bioresearch Communication. 30 (1), 345-353.

Levine, M., 2015. Effect of pH on Heavy Metal Concentration. U-Mate International Inc.

Luczynska, J., and Brucka-Jastrzebska, E., 2005. The relationship between the content of Lead and Cadmium in muscle tissue and the size of fish from lakes in the Olsztyn lake district of northeast Poland, Archives of Polish Fisheries. 13, 145-155.

Methods, G.U., Chibuike, L., and Obiora, S.C., 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation. Applied and Environmental Soil Science. 12p.

Mol, S., 2010. Levels of selected trace metals in canned tuna fish produced in Turkey. J. Food Comp. Anal. 24 (1), 66-69.

Ol.as, M., Nietob, J.M., Sarmientob, A.M., Cer.na, J.C., and C.novasa, C.R., 2004. Seasonal water quality variations in a river affected by acid mine drainage: the Odiel River (South West Spain), Science of The Total Environment, 333, 267-281.

Susie, Y.D., Jones, B., Kyung-Min, L., Wei, L., Lynn, P., and Timothy, J.H., 2016. Heavy metal contamination of animal feed in Texas. J. Regul. Sci. 1, 21-32.