"مقاله پژوهشی"

بررسی میزان عناصر سنگین جیوه، مس و روی در بافت عضله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) پرورشی در منابع مختلف آبی استان آذربایجان غربی

رسول فرجی[۱]، سعید مشکینی[۲]*

۱.گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲.گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۵

چکیده

در این مطالعه مقدار تجمع فلزات سنگین جیوه، مس و روی در عضله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سه مزرعه پرورش ماهی با سه منبع آبی چاه، چشمه و رودخانه در استان آذربایجان غربی مقایسه شدند. پس از تهیه ۲۰ نمونه ماهی از هر مزرعه با میانگین وزنی ۲۲۰ گرم، فلزات سنگین بافت‌ها با تکنیک بخار سرد و دستگاه جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شدند. نتایج بیانگر وجود ارتباط معنی‌دار بین نوع بافت، منبع آبی و جنسیت ماهیان با مقدار تجمع فلزات بود (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار جیوه (۰/۱۸±۰/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۱۸/۶±۱۰۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت کبد ماهیان با منبع آبی رودخانه و بیشترین مقدار مس (۳۴/۲۲±۸۸/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت کبد ماهیان با منبع آبی چاه مشاهده شد. صرفنظر از منبع آبی، مقایسه مقدار فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان هر دو جنس نشان داد فلز روی تجمع یافته در بافت‌های جنس ماده بطور معنی‌داری بیشتر از جنس نر بود (P<۰/۰۵). رابطه رگرسیون خطی معنی‌داری بین تجمع فلزات با وزن و طول ماهیان مشاهده نشد. مقدار جیوه عضله ماهیان همه منابع آبی کمتر از استانداردهای EPA, FAO, WHO, UK MAFF, FDA و NHMRC بود و مقدار مس و روی هر سه منبع آبی به ترتیب کمتر از استاندارد های EPA و FAO و بیشتر از سایر استانداردها بود. طبق نتایج، چشمه بهترین منبع آبی تعیین شده و برای حفظ سلامت مصرف کنندگان ماهیان، پایش مداوم آلودگی آب و ماهیان پرورشیِ منبع آبی رودخانه، ضروری بنظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، قزل‌آلای رنگین‌کمان، عضله، کبد، منابع آبی

---

* عهده‌دار مکاتبات: s.meshkiniy@urmia.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]

[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

مقدمه

براساس مطالعات اکوتوکسیکولوژیکی، تخلیه فاضلاب دارای فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی موجب کاهشِ تنوع زیستی، رشد و میزان همآوری در آبزیان شده و در آبزیان خوراکی، علاوه بر موارد ذکر شده موجب بروز مخاطراتی برای مصرف کنندگان آنها نیز می شود (آبکنار و همکاران، ۱۳۹۷؛ خدا بنده، ۱۳۷۹). با توجه به اهمیت و جایگاه ماهیان در هرم غذایی جوامع بشری، کنترل کیفیت آنها در حفظ سلامتی مصرف کنندگان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هر چند مقادیر برخی فلزات مانند مس، روی، آهن و ... در غلظت‌های پایین برای متابولیسم آبزیان ضروری هستند، اما آلودگی ماهیان به فلزات سنگین می‌تواند منجر به تجمع زیستی این عناصر در بدن مصرف کنندگان و بروز برخی مسمومیت‌ها (مروتی و پناهنده، ۱۳۹۶) و بیماری‌ها (Tierney *et al.*, 2010; Sheetal *et al.*, 2015) گردد. از اینرو ماهی‌ها نمایه مناسبی برای برآورد آلودگی فلزات مضر برای مصرف انسان در محیط‌های آب شیرین می‌باشند (Stancheva *et al.*, 2013).

فاضلاب‌های صنعتی که وارد رودخانه‌ها، آبهای زیر زمینی و دریاها می‌شوند، حاوی ترکیبات مختلفی از فلزات سنگین جیوه، مس و روی هستند. مسمومیت ماهیان با جیوه و ترکیبات آن مثل متیل جیوه منجر به ایجاد ناهنجاری‌های ریختی مانند تغییر شکل و یا عدم تشکیل دم، اِدِم کیسه زرده و ناهنجاری در تشکیل عدسی و نکروتیت شدید در سلول‌های خاکستری در چشم جنین‌ها و سرانجام مرگ ماهیان را به دنبال دارد (Hannes and Shenker, 2008). مسمومیت با مس در ماهیان موجب کاهش رشد و کاهش مقاومت بدن نسبت به بیماری‌ها می‌شود. آسیب به بافت‌های کبد، کلیه و آبشش‌ها، تغییرات رفتاری و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و متابولیسم از دیگر اثرات آلودگی ماهیان با فلز مس می‌باشد (Craig *et al.*, 2010). مسمومیت با روی نیز منجر به کاهش جذب اکسیژن، افزایش ضربان قلب، کاهش درصد تفریخ تخم‌ها، تاثیر سوء بر فراسنجه‌های خونی و تغییرات رفتاری می‌شود (Kori and Ubogu, 2008; Afshan *et al.*, 2014).

متاسفانه در سال‌های اخیر منابع آبی مورد استفاده در پرورش ماهیان تحت تاثیر آلودگی با فلزات سنگین مختلف قرار گرفته است که منجر به تغییرات نامناسبی در عملکرد رشد، تولید مثل، تنظیم اسمزی و سیستم گردش خون آنها شده است (Besirovic *et al.*, 2010). پژوهشگران در مطالعات خود به بررسی و اندازه‌گیری بار آلودگی منابع آبی مختلف پرداخته‌اند و در این خصوص نقش اندیکاتوری تجمع آلودگی‌ها در بافت‌های ماهیان، به عنوان شاخصی از میزان آلودگی منابع آبی را مورد توجه قرار داده‌اند. Bawuro و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی میزان تجمع فلزات سنگین روی، سرب، کادمیوم و مس در بافت‌های کبد و عضله ماهیان *Clarias anguillaris*، *Heterotis niloticus* و *Tilapia zilli* در دریاچه Geriyo نیجریه، گزارش کردند که میزان تجمه فلزات در بافت کبد ماهیان به مراتب بیشتر از عضله آنهاست و منبع این آلودگی را علاوه بر ورود آلودگی‌های صنعتی، میزان زیاد این فلزات در بستر و خاک دریاچه بیان کردند. ایشان همچنین گزارش کردند که تجمع فلزات در بافت‌های ماهیان همه چیزخوار مثل *Heterotis niloticus* بیشتر از ماهیان گوشتخواری مثل *Clarias anguillaris* است.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

به دلیل وجود صنایع و کشاورزی گسترده در شمال غرب کشور و با توجه به وجود مزارع فراوان پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (مهمترین ماهی سردابی پرورشی کشور) و مصرف بالای آن در این منطقه و احتمال آلودگی آب‌های جاری و زیرزمینی این منطقه به انواع فلزات سنگین، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری سطح آلودگی بافت‌های عضله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با فلزات سنگین جیوه، مس و روی در مزارعی با منابع آبی رودخانه، چاه و چشمه در شمال غرب کشور و مقایسه آن با استانداردهای جهانی است.

مواد و روش‌ها

برای تهیه نمونه‌های ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان، سه مزرعه پرورش ماهی با منابع آبی متفاوت که همگی در استان آذربایجان غربی بودند، به عنوان ایستگاه‌های نمونه برداری انتخاب شدند؛ ایستگاه اول در منطقه سِرو در شمال شهرستان ارومیه (مزرعه خصوصی با مختصات جغرافیایی ״۱۳ ۴۱ °۴۴ عرض شمالی و ۸ ۴۳ °۳۷ طول شرقی) با منبع آب چاه، ایستگاه دوم در روستای هفت‌آباد بخش سیلوانا در غرب شهرستان ارومیه (مزرعه خصوصی با مختصات جغرافیایی ۳۴ ۳۹ ° ۴۴ عرض شمالی و ۱۶ ۴۳ °۳۷ طول شرقی) با منبع آب چشمه و ایستگاه سوم در منطقه پردانان شهرستان پیرانشهر (مزرعه خصوصی با مختصات جغرافیایی ״۳۰ ´۲۸ °۳۶ عرض شمالی و ۸ ۳۶ °۴۰ طول شرقی) با منبع آب رودخانه بودند.

سیستم پرورشی، نوع استخرها و غذای مورد استفاده در همه ایستگاه‌های نمونه برداری یکسان بوده و از هر مزرعه ۲۰ عدد ماهی (به نسبت مساوی نر و ماده) با میانگین وزن حدود ۲۲۰ گرم و سن حدود یکسال انتخاب شده و از نظر سلامت و بهداشت مورد بررسی و تایید قرار گرفتند. برای سنجش مقدار فلزات سنگین در خوراک ماهیان مزرعه‌ها از هر مزرعه نیز مقداری از غذای مصرفی ماهی گرفته شد. نمونه‌های ماهیان درون کیسه پلاستیکی و در مجاورت یخ به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. در آزمایشگاه به منظور زدودن آلودگی‌های خارجی، همه نمونه‌ها با آب مقطر شسته شده و سپس زیست‌سنجی شدند (Gobas and Morrison, 2000). پس از زیست‌سنجی ماهیان، به دلیل اهمیت بافت کبد در ذخیره و توزیع مواد جذب شده از سیستم گوارشی و نیز به دلیل اهمیت بافت عضله به عنوان بخش خوراکی ماهیان، نمونه‌های بافت کبد و عضله (سه ناحیه ساقه دمی، زیر باله پشتی و بین باله سینه ای و شکمی) آنها برای اندازه‌گیری فلزات سنگین جیوه، مس و روی تهیه شد.

میزان جیوه بافت‌ها با تکنیک بخار سرد (Cold Vapour) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های بافت عضله و کبد در آون در دمای ۱۰۵ °C به مدت ۲۴ h خشک شده و به وسیله هاون چینی کاملا پودر شدند. در لوله‌های آزمایش درپوش‌دار به ۱ گرم از نمونه، ۵ ml مخلوط اسید پرکلریک ($HClO_3$) و اسید نیتریک (HNO_3) که با نسبت ۳:۱ تهیه شده بود، اضافه شده و به خوبی تکان داده شد. برای تکمیل عمل هضم، محلول از دمای ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه در آون حرارت داده شد و سپس از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور داده شد و محلول شفاف حاصل در دمای اتاق خنک گردید. به همه نمونه‌ها، ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید قلع ($SnCl_2$) ۰/۱ مولار اضافه شده و محتویات هر لوله آزمایش با آب مقطرِ دو بار تقطیر شده به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت مقدار جیوه نمونه‌ها

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله (مدل AA-670, Shimadzil) اندازه‌گیری شد. حد تشخیص دستگاه برای جیوه ۰/۰۳۶ میلی‌گرم در لیتر بود (Ahmad and Shuhaimi-Othman, 2010; Olowu *et al*., 2010).

برای اندازه‌گیری دو عنصر روی و مس در بافت عضله و کبد ماهیان، به ۱ گرم از نمونه‌های بافتی که در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و در هاون چینی پودر شده بودند، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO_3) و ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (HCl) اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه هضم کننده (Hotblock Digester) حرارت داده شدند. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون صاف گردید و در یک بالن مدرج با افزودن آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم l ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. مقدار دو عنصر روی و مس موجود در این محلول با دستگاه جذب اتمی شعله (مدل AA-670, Shimadzil) اندازه‌گیری شد. حد تشخیص دستگاه برای روی ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر و برای مس ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر بود (ابراهیمی سیریزی و همکاران، ۱۳۹۱). آماده سازی و سنجش هر یک از فلزات سنگین در نمونه‌های خوراک ماهیان نیز مشابه بافت‌های ماهی انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری داده‌های این پژوهش با نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی ارتباط متقابل بین مقادیر فلزات سنگین با نوع بافت، منبع آبی و جنسیت ماهیان از آزمون Two Way ANOVA استفاده شد. برای مقایسه میانگین داده‌های زیست‌سنجی و نیز مقایسه غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در بافت‌های مختلف ماهیان از آزمون One Way ANOVA و تست Tukey استفاده شد. در بررسی ارتباط مقدار تجمع فلزات سنگین با طول، وزن ماهی از رگرسیون و برای مقایسه داده‌ها با مقادیر استاندارد از آزمون One Sample T- Test استفاده گردید. نمودارها با نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ ترسیم گردیدند.

نتایج

مقدار فلزات سنگین موجود در نمونه غذای ماهیان به اندازه ای پایین بود که توسط دستگاه جذب اتمی‌شعله (مدل AA-670, Shimadzil) قابل تشخیص نبود. مقایسه نتایج حاصل از زیست‌سنجی ماهیان نشان داد که از نظر طول و وزن تفاوت معنی‌داری بین ماهیان نمونه برداری شده از منابع مختلف آبی وجود نداشت ($P>0/05$). (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسه طول و وزن ماهیان مورد مطالعه در سه منبع آبی چاه، چشمه و رودخانه

منبع آبی ماهیان	طول کل (سانتی‌متر)	طول استاندارد (سانتی‌متر)	وزن (گرم)
چاه	۲۹/۶±۳/۱^a	۲۶/۴±۴^a	۲۱۹±۴۳/۴^a
چشمه	۳۰/۵±۳/۱^a	۲۸/۲±۲/۸^a	۲۲۴±۳۴/۵^a
رودخانه	۲۹/۲±۳/۲^a	۲۷±۳/۵^a	۲۱۰±۳۹/۹^a

اعداد در هر ستون با حروف لاتین یکسان فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ($P<0/05$).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

بررسی ارتباط بین بافت‌ها، منابع آبی و جنسیت ماهیان با مقدار تجمع فلزات سنگین نشان داد که نوع بافت تنها با تجمع مس ارتباط معنی‌داری را داشت (P<۰/۰۵) (جدول ۲). منبع آب ماهیان پرورشی مورد مطالعه با مقدار جیوه ارتباط معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵) و فاقد ارتباط معنی‌دار با دو عنصر دیگر بود (P>۰/۰۵) (جدول ۲). جنسیت ماهیان نیز تنها با مقدار تجمع فلز روی رابطه کاملا معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵) (جدول ۲).

جدول ۲: ارتباط متقابل بین بافت، منبع آبی و جنسیت ماهیان با مقدار فلزات سنگین جیوه، مس و روی در مجموع دو بافت کبد و عضله

شاخص	جیوه			مس			روی		
	انحراف میانگین مربعات	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	انحراف میانگین مربعات	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	انحراف میانگین مربعات	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
بافت	۰/۱۶	۹/۵۲	۰/۰۷	۶۱/۴۰	۱۱/۳۵	۰/۰۰۳*	۳۲۲/۲	۱/۲	۰/۲۸
منبع آب	۰/۴۱	۲۴/۱	۰/۰۰[a]	۱۲۸۳/۲	۰/۷۵	۰/۴۸	۲۸۷۳/۷	۱/۶۳	۰/۲۱۴
جنسیت	۰/۰۰۳	۰/۱۹	۰/۶۶۳	۷۶/۸۷	۰/۰۱۳	۰/۹۱	۴۶۷۶/۳	۱۷۶/۳	۰/۰۰[a]

[a]مقایسه با آزمون Two Way ANOVA انجام شده و سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده وجود ارتباط معنی‌دار بین متغیرها است.

نتایج مقایسه مقدار فلزات سنگین مورد مطالعه در بافت‌های کبد و عضله در جدول ۳ آورده شده است. بین مقدار فلزات سنگین جیوه، روی و مس در کبد و عضله قزل‌آلای پرورشی چاه با یکدیگر و مقدار این فلزات سنگین در کبد و عضله قزل‌آلای پرورشی چشمه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵). مقدار روی و جیوه نیز در نمونه‌های عضله و کبد قزل‌آلای پرورشی رودخانه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته و تنها مقدار مس در بافت کبد با مقدار آن در عضله ماهیان این منبع آبی به طور معنی-داری متفاوت بود (P<۰/۰۵) (جدول ۳).

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات جیوه، مس و روی در بافت‌های کبد و عضله ماهیان در منابع آبی مختلف (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

بافت	منبع آب چاه			منبع آب چشمه			منبع آب رودخانه		
	جیوه	مس	روی	جیوه	مس	روی	جیوه	مس	روی
کبد	۰/۲۹±۰/۱۱	۸۸/۸۴±۳۴/۲۲	۵۸/۷۹±۱۷/۱۷	۰/۴۶±۰/۱۳	۷۳/۲۴±۱۸/۱۵	۹۷/۲۸±۱۸/۱۱	۰/۷۳±۰/۱۸	۸۴/۲۵±۲۰[a]	۱۰۱/۲±۱۸/۶
عضله	۰/۱۹±۰/۶۳	۵۷/۱۳±۱۴/۲۱	۷۳/۷۶±۲۱/۲۸	۰/۴۰±۰/۰۹	۴۹/۸۶±۹/۸۱	۷۲/۸۴±۱۱/۶۳	۰/۴۹±۰/۰۹	۵۷/۴۹±۸/۷۲[b]	۹۲/۷۲±۱۷/۵

اعداد در هر ستون با حروف لاتین متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

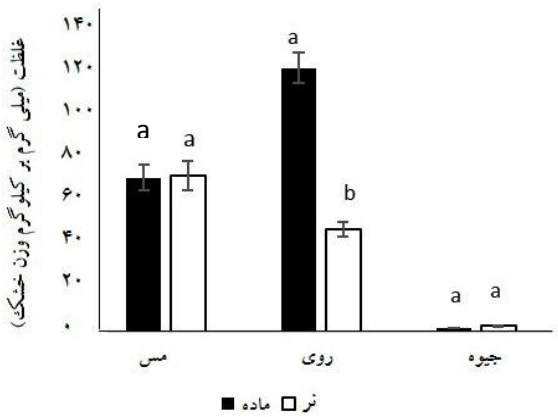
بر اساس نتایج این جدول مقدار فلز مس و روی موجود در بافت‌ها اختلاف معنی‌داری در نمونه‌های مناطق مختلف نشان نداد (P>۰/۰۵) (جدول ۴). اما با این حال بیشترین مقدار فلز مس در بافت‌های کبد و عضله به ترتیب در ماهیان پرورشی منابع آبی چاه و رودخانه مشاهده شد و بیشترین مقدار روی در این بافت‌ها در ماهیان پرورشی منبع آبی رودخانه مشاهده شد. بیشترین مقدار جیوه در بافت کبد ماهیان پرورشی با منبع آبی رودخانه مشاهده شد (۰/۷۳±۰/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که اختلاف معنی‌داری با مقدار آن در بافت کبد ماهیان پرورشی منابع آبی چاه و چشمه نشان داد (P<۰/۰۵) (جدول ۴). مقدار جیوه در بافت عضله نیز در ماهیان با منبع آبی رودخانه بیشترین مقدار را نشان داد (۰/۴۹±۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که اختلاف معنی‌داری با این مقدار در ماهیان پرورشی با منبع آبی چاه داشت (P<۰/۰۵) (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه غلظت فلزات جیوه، مس و روی در بافت‌های کبد و عضله ماهیان منابع آبی چاه، چشمه و رودخانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

منبع آب	بافت کبد			بافت عضله		
	جیوه	مس	روی	جیوه	مس	روی
چاه	۰/۲۹±۰/۱۱[a]	۸۸/۸۴±۳۴/۲۲	۵۸/۷۹±۱۷/۱۷	۰/۱۹±۰/۶۳[a]	۵۷/۱۳±۱۴/۲۱	۷۳/۷۶±۲۱/۲۸
چشمه	۰/۴۶±۰/۱۳[a]	۷۳/۲۴±۱۸/۱۵	۹۷/۲۸±۱۸/۱۱	۰/۴۰±۰/۰۹[ab]	۴۹/۸۶±۹/۸۱	۷۲/۸۴±۱۱/۶۳
رودخانه	۰/۷۳±۰/۱۸[b]	۸۴/۲۵±۲۰	۱۰۱/۲۲±۱۸/۶	۰/۴۹±۰/۰۹[b]	۵۷/۴۹±۸/۷۲	۹۲/۷۲±۱۷/۵۴

اعداد در هر ستون با حروف لاتین متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵)

بر اساس شکل ۱ میانگین جیوه و مس در مجموع بافت کبد و عضله ماهیان نر قزل‌آلای رنگین‌کمان در هر سه منبع آبی با جنس ماده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵) اما مقدار روی در مجموع بافت کبد و عضله جنس ماده در هر سه منبع آبی، بیشتر از جنس نر بود و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵) (شکل ۱).



شکل ۱: مقایسه مقدار فلزات سنگین جیوه، مس و روی در مجموع بافت کبد و عضله ماهیان در دو جنس نر و ماده.
ستون‌های تیره و روشن هر فلز با حروف لاتین متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<۰/۰۵).

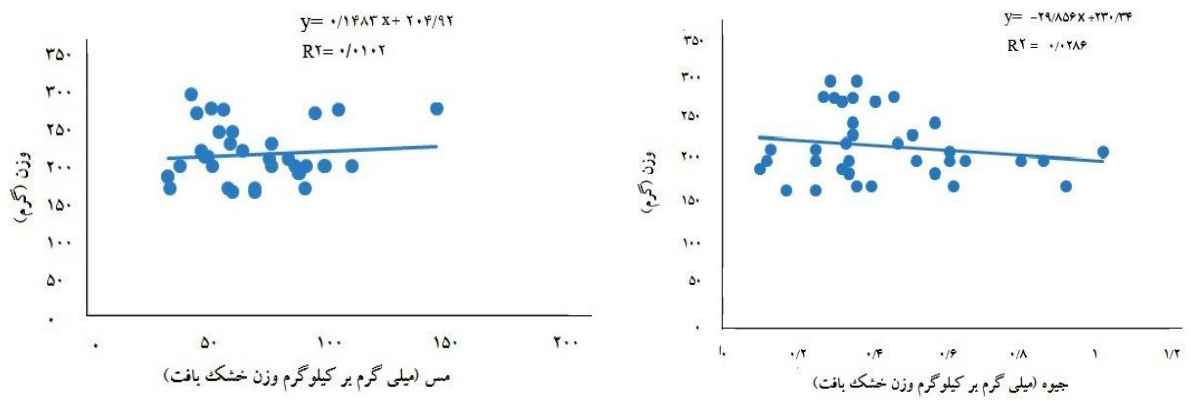
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

براساس نتایج بدست آمده مقدار فلز مس در هر سه منبع آبی مقادیر بالاتری را نسبت به استانداردهای ذکر شده در جدول ۵ و مقدار کمتری را نسبت به حد مجاز استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) نشان داد. مقدار فلز جیوه نیز در هر سه منبع آبی ماهیان قزل‌آلای پرورشی از حد مجاز تمام استانداردهای ذکر شده کمتر است. فلز روی در هر سه منبع آبی ماهیان قزل‌آلای پرورشی از حد مجاز تمامی استانداردهای ذکر شده به جز استاندارد سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) بالاتر بود (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه غلظت فلزات سنگین جیوه، مس و روی در بافت عضله با برخی استانداردهای جهانی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

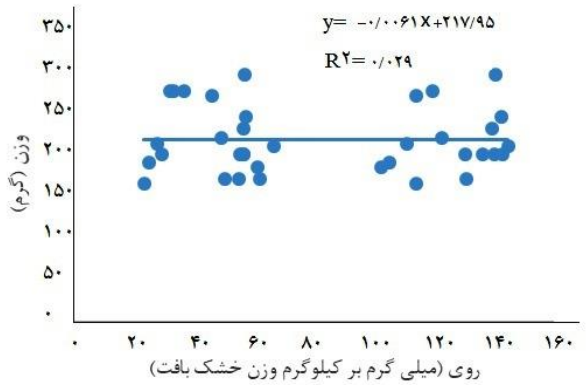
استاندارد	جیوه	مس	روی	منبع
(EPA) آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا	–	۱۲۰	–	Monsefrad *et al.*, 2012
(FAO) سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد	۰/۵	۳۰	۱۰۰	Stancheva *et al.*, 2013
(WHO) سازمان بهداشت جهانی	۰/۵	۲۰	۳۰	Toochaei, *et al.*, 2013
(UK MAFF) وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان	۱	۱۰	۵۰	Yilmaz, 2009
(FDA) سازمان غذا ودارو آمریکا	۱	۲۰	۳۵	Stancheva *et al.*, 2013
(NHMRC) انجمن بهداشت ملی و تحقیقات پزشکی استرالیا	۱	۱۰	۵۰	Toochaei, *et al.*, 2013
قزل‌آلای پرورشی – چاه	۰/۱۹	۵۷/۱۳	۷۳/۷۶	مطالعه حاضر
قزل‌آلای پرورشی– چشمه	۰/۴۰	۴۹/۸۶	۷۲/۸۴	مطالعه حاضر
قزل‌آلای پرورشی – رودخانه	۰/۴۹	۵۷/۴۹	۹۲/۷۲	مطالعه حاضر

رابطه رگرسیونی بین وزن و طول با مقدار تجمع هر یک از فلزات سنگین در مجموع بافت‌های کبد و عضله ماهیان هر سه منبع آبی مورد مطالعه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است، که بر اساس این نمودارها رابطه خطی معنی‌داری بین شاخص‌های نامبرده وجود نداشت ($P<۰/۰۵$).

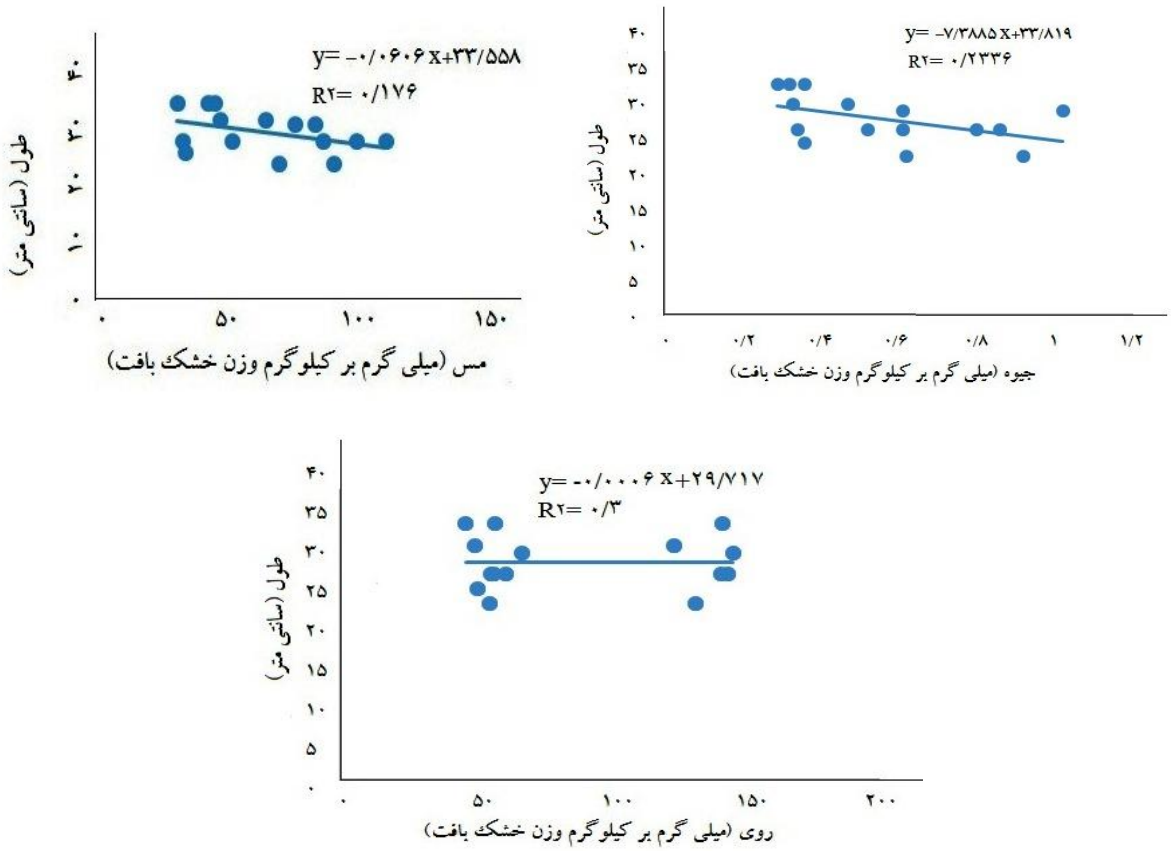


شکل ۲: رابطه رگرسیونی وزن ماهیان و مقدار تجمع فلزات سنگین جیوه، مس و روی در مجموع بافت‌های کبد و عضله ماهیان

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]



ادامه شکل ۲:



شکل ۳: رابطه رگرسیونی طول کل ماهیان و مقدار تجمع فلزات سنگین جیوه، مس و روی در مجموع بافت‌های کبد و عضله ماهیان

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

بحث

به دلیل اهمیت فراوان موضوع آلودگی آبریان با فلزات سنگین و نقش منفی تجمع بیش از حد این فلزات در بافت‌ها و دستگاه‌های حیاتی بدن ماهیان، پژوهشگران زیادی به بررسی مقدار آلودگی ماهیان دریایی و پرورشی در مناطق مختلف پرداخته‌اند و پایش مداوم مقدار آلودگی در منابع آبی و بافت‌های ماهیان را توصیه کرده‌اند (امینی رنجبر و ستوده‌نیا، ۱۳۸۳؛ رزاقی و همکاران، ۱۳۸۹؛ یونسی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

درمطالعه حاضر به دلیل نقش مهم ماهی قزل‌آلا در صنعت آبزی‌پروری کشور و تاثیر مستقیم این ماهی در سلامت مصرف کنندگان آن، مقدار آلودگی و تجمع فلزات سنگین جیوه، مس و روی در منابع آبی مختلف مورد استفاده در پرورش این ماهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نمونه‌های ماهیان مورد مطالعه از نظر طول و وزن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند و این موضوع دقت نمونه برداری و عدم تداخل این شاخص‌ها در نتیجه گیری مطالعه را نشان داد. از عوامل مهم دیگر در تجمع فلزات سنگین در بدن ماهیان می‌تواند غذای مصرفی آنها باشد (نهاده‌های مورد استفاده در تهیه غذای آبزیان گاهی حامل برخی از فلزات سنگین هستند. علاوه بر این احتمال آلودگی این نهاده‌ها به فلزات سنگین در حین فراوری و نگهداری در انبارها وجود دارد) که در این مطالعه مقدار فلزات سنگین در تمامی‌نمونه‌های غذایی تهیه شده از مزارع مورد مطالعه به دلیل مقدار پایین قابل شناسایی نبود. بنابراین غذای مصرفی تاثیری بر تجمع این فلزات در بافت ماهیان نداشته‌اند.

در بررسی وجود یا عدم وجود رابطه معنی‌دار بین تجمع فلزات سنگین و شاخص‌های نوع بافت ماهی، منبع آبی مورد استفاده و جنسیت ماهیان بر اساس آنالیز آماری با تجمع فلزات سنگین مس، جیوه و روی ارتباط معنی‌داری نشان دادند. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌دار بین تجمع فلزات سنگین و بافت‌های ماهی، مربوط به فلز مس می‌باشد که مقدار آن در بافت‌های عضله و کبد و تنها در ماهیان پرورشی منبع آب رودخانه با هم تفاوت معنی‌داردارند. به عبارت دیگر مقدار تجمع فلزات جیوه و روی در بافت عضله تفاوت معنی‌داری با مقدار تجمع آنها در بافت کبد ندارد و این تفاوت تنها در فلز مس و در ماهیان پرورش یافته در آب رودخانه معنی‌دار است. عنصر مس نقش مهمی در متابولیسم سلولی دارد و غلظت اندک این عنصر در بدن به وسیله مکانیسم‌های هموستازی کنترل می شود. این فلز به همراه آهن برای ساخت هموگلوبین در بافت کبد و همچنین برای ساخت و ترشح صفرا در کبد نیاز است. به همین دلیل تجمع بیشتر این فلز در کبد ماهی شاید به دلیل ساختار کبد به عنوان یک عضو ذخیره کننده و توزیع کننده مواد غذایی در بدن باشد (ساری و همکاران، ۱۳۹۰). از دیگر دلایل تجمع بیشتر مس در بافت کبد تمایل زیاد این فلز به واکنش با اکسیژن کربوکسیلات گروه آمین، نیتروژن و سولفور موجود در پروتئین متالوتیونین موجود در کبد می‌باشد. پروتئین متالوتیونین که به عنوان پروتئین کاهنده اثرات سمی‌عمل می‌کند، از غلظت بالایی در کبد برخوردار است. بنابراین بافت کبد نقش مهمی‌در تجمع و توزیع مجدد فلزات ایفا می‌کند (Chen *et al*., 2012). اما نتایج برخی مطالعات هم، عدم تفاوت در مقدار فلز مس

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

در بافت‌های عضله و کبد گونه‌هایی از ماهیان را گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال Toochaei و همکاران (۲۰۱۳) پس از بررسی مقدار فلزات سنگین سرب، مس، آهن و روی در بافت کبد و عضله لوچ ماهی (*Paracobitis rhadinaea*) در مخازن چاه نیمه‌های سیستان (چاله‌های طبیعی بزرگ در استان سیستان و بلوچستان که آب مازاد رودخانه هیرمند توسط کانالی به آن هدایت می‌شود و به صورت دریاچه مصنوعی درآمده است)، به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات در بافت کبد و عضله این ماهی مشابه است و تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. دلیل تفاوت نتایج این پژوهشگران با مطالعه حاضر را می‌توان به تفاوت گونه‌های ماهیان و تفاوت در منابع آبی و مقدار آلودگی آنها به فلزات سنگین نسبت داد (Monsefrad *et al.*, 2012).

درمطالعه حاضر با بررسی تاثیر نوع منبع آبی مورد استفاده در پرورش ماهیان بر غلظت فلزات سنگین در بافت‌ها، مشخص شد که تنها غلظت فلز جیوه در بافت‌های ماهیان پرورش یافته در منابع آبی متفاوت، با هم تفاوت معنی‌دارداردد. این بررسی نشان داد غلظت فلز جیوه در کبد و عضله ماهیانی که در منبع آب رودخانه پرورش یافته اند، بیشتر از غلظت این فلز سنگین در بافت‌های ماهیان پرورش یافته در آب چاه و چشمه است. این موضوع را می‌توان این گونه توضیح داد که به طورکلی رودخانه‌ها و دیگرآبهای سطحی نسبت به آبهای زیر زمینی بیشتر در معرض ورود منابع مختلف آلودگی هستند و استفاده از این منابع آبی در پرورش ماهیان، ماهیان را به طور مستقیم در معرض این آلودگی‌ها قرار می‌دهد. Monsefrad و همکاران (۲۰۱۲) هم در مطالعه خود روی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*)، بیشترین غلظت جیوه را در بافت کبد ماهیان مشاهده کردند و علت افزایش جیوه در بافت کبد را تمایل بالای ماده متالوتیونین در جذب جیوه بیان نمودند. متالوتیونین پروتئینی با وزن مولکولی کم، سرشار از اسید آمینه سیستئین و با خاصیت غیر آنزیمی‌و متصل شونده به فلزات است.

از آنجایی که جنسیت ماهیان در چگونگی فیزیولوژی بدن آنها موثر است، تاثیر این شاخص بر مقدار تجمع فلزات سنگین مورد مطالعه در بافت‌های ماهیان پرورشی بررسی شد و وجود ارتباط بین جنسیت و تجمع فلزات در بدن ماهیان قزل‌آلای مورد مطالعه تایید گردید. همانگونه که بیان شد، ارتباط جنسیت و تجمع فلزات در بدن ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی مورد مطالعه مربوط به فلز روی است که مقدار تجمع آن در مجموع بافت‌های کبد و عضله ماهیان در جنس ماده به طور معنی‌داری بیشتر از جنس نر بود. در مطالعات دیگری که توسط پژوهشگران روی گونه‌های مختلف ماهیان انجام شده است، در برخی موارد به عدم تاثیر جنسیت بر مقدار آلودگی به فلزات سنگین مختلف اشاره شده و در برخی موارد هم حساسیت جنس نر یا ماده را نسبت به ذخیره برخی عناصر فلزی گزارش کرده‌اند. بهروز و نوروزی (۱۳۹۷) با مطالعه روی ماهی کفال طلایی (*Liza aurata*) بیشترین تجمع فلزات روی (Zn)، نیکل (Ni)، قلع (Sn)، آلومینیوم (Al)، وانادیوم (V) و تالیوم (Tl)، در بافت خوراکی (عضله) و بافت‌های غیر خوراکی (کبد و آبشش) را در جنس نر گزارش کردند. این در حالی است که بر اساس گزارش امینی رنجبر و ستوده‌نیا (۱۳۸۴) عامل جنسیت تاثیری بر میزان تجمع فلزات روی، مس، و کادمیوم در بافت عضله ماهی کفال طلایی (*Liza*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

aurata) نداشته، ولی در مورد فلز سرب، میزان تجمع این عنصر در جنس نر بیشتر از جنس ماده بوده است. تفاوت حساسیت جنس‌های مختلف ماهیان نسبت به تجمع برخی فلزات و همچنین تفاوت حساسیت بافت‌های مختلف نسبت به تجمع فلزات سنگین متفاوت به دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیکی (مانند حلالیت بیشتر برخی فلزات در بافت های چربی که در هنگام بلوغ و زرده سازی در تخمدان ماهیان ماده بیشتر رخ می دهد) جنس‌های نر و ماده و گونه‌های مختلف ماهیان و همچنین به مقدار آلودگی موجود در محیط اطراف ماهیان است (Sobhanardakani and Jafari, 2014).

در بررسی و مقایسه مقادیر فلزات مورد مطالعه در بافت عضله ماهیان با برخی استانداردهای جهانی مشخص شد که هرچند مقدار آلودگی ماهیان به فلزات سنگین در ماهیان پرورش یافته در منبع آبی رودخانه بیشتر از دو منبع آبی دیگر است، اما با این حال مقدار فلزات مس و روی موجود در عضله ماهیان منابع آبی چاه و چشمه نیز نسبت به برخی از استانداردهای جهانی بیشتر است (جدول ۵). دلیل وجود فلزات سنگین بیشتر در بافت‌های ماهیان پرورش یافته در منبع آبی رودخانه به دلیل شرایط آبهای سطحی رودخانه‌هاست. آب رودخانه‌ها نسبت به آب چشمه و چاه در معرض مستقیم آلودگی‌های ناشی از پساب کارخانجات، فاضلاب شهری و کودهای کشاورزی قرار دارند، در صورتی که منابع آب زیر زمینی به دلیل جذب بسیاری از فلزات سنگین توسط گیاهان و خاک در هنگام نفوذ به آب‌های زیر زمینی و نیز به دلیل وجود سختی بیشتر در آبهای زیر زمینی که باعث کاهش سمیت مزمن فلزات سنگین می‌شود، از آلودگی کمتری برخوردارند (Anand and Kala, 2015).

از لحاظ تئوری، مقدار تجمع فلزات سنگین در بافت‌های بدن با افزایش اندازه (وزن و طول) ماهیان افزایش می‌یابد، ولی از آنجایی که تفاوت معنی‌داری در طول و وزن ماهیان در مطالعه حاضر وجود نداشت، هیچگونه رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین وزن و طول با مقدار تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان نیز مشاهده نشد.

پژوهشگران در استان‌های مختلف کشور میزان تجمع فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان قزل‌آلای پرورشی را اندازه‌گیری کرده و با استانداردهای جهانی مقایسه کرده‌اند. Reyahi-Khoram و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود روی میزان تجمع فلزات سنگین کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) در بافت‌های عضله و کبد ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان استان همدان بیان نمودند که میزان کادمیوم و سرب در مجموع بافت‌های عضله و کبد این ماهیان کمتر از مقدار استاندارد ارائه شده توسط سازمان خاربار جهانی و سازمان بهداشت جهانی FAO/WHO بوده و مشکل خاصی برای مصرف این ماهیان وجود ندارد. فدایی فرد و همکاران (۱۳۸۹) هم میزان آهن (Fe) و سرب (Pb) را در بافت عضله ماهیان قزل‌آلای پرورشی در چند مزرعه از استان چهارمحال و بختیاری که از منبع آب رودخانه برای پرورش ماهیان استفاده کرده بودند، کمتر از میزان استانداردهای ارائه شده توسط FAO گزارش کردند. عسگری و کمره‌ای (۱۳۸۸) هم نتیجه مشابهی را در مورد تجمع فلزات سنگین کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) ، کروم (Cr) و نیکل (Ni) در بافت عضله ماهیان پرورشی شهرستان خرم آباد در استان لرستان با منبع آبی رودخانه را گزارش کرده‌اند. اما در برخی گزارش‌ها هم نتایجی موافق با نتیجه تحقیق حاضر گزارش شده است که

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

بیانگر تجمع بیش از حد استاندارد فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان پرورشی در منبع آبی رودخانه در برخی مناطق می‌باشد. جواهری بابلی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود روی ماهیان پرورشی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در مزارع پرورش ماهی که از منبع آبی رودخانه کارون در استان خوزستان استفاده کرده بودند، گزارش کردند که میزان تجمع فلز سرب (Pb) در بافت عضله این ماهی نسبت به استاندارد جهانی اعلام شده توسط کمیسیون بین الملل مقررات مواد غذایی (Codex Alimentarius Commission) بیشتر بود و پایش مداوم کیفیت آب این رودخانه را برای پرورش ماهیان ضروری دانستند.

براساس نتایج مطالعه حاضر، به دلیل آلودگی و تجمع بیشتر فلزات سنگین در ماهیان پرورش یافته در مزارع استفاده کننده از منبع آب رودخانه (جدول ۴) و همچنین به دلیل آلودگی بیشتر بافت مهم و حیاتی کبد با فلز سنگین مس در ماهیان پرورش یافته در منبع آبی رودخانه (جدول ۳) و نیز به دلیل بیشتر بودن مقدار تجمع فلزات سنگین مس و روی نسبت به برخی استانداردهای جهانی به ویژه در ماهیان منبع آبی رودخانه (جدول ۵)، اینگونه نتیجه گرفته می‌شود که تجمع فلزات سنگین مس و روی به ویژه در بافت کبد ماهیان پرورش یافته در منابع آبی رودخانه در مقایسه با ماهیان پرورش یافته در منابع آبی چاه و چشمه در آذربایجان غربی، بیشتر بوده و از اینرو بررسی و اندازه‌گیری بار آلودگی منبع آبی قبل از استفاده برای پرورش ماهی و یا استفاده از سیستم‌های تصفیه یا مواد جاذب فلزات سنگین در ورودی استخرهای پرورشی قزل‌آلای رنگین‌کمان به ویژه در مزارعی که از منبع آب رودخانه استفاده می‌کنند، ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از تمامی کسانی که در اجرای این تحقیق ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱. ابراهیمی سیریزی، ز.، ساکیزاده، م.، اسماعیلی ساری، ع.، بهرامیفر، ن.، قاسمپوری، س.م.، ۱۳۹۱. بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی در عضله اردک ماهی تالاب بین المللی انزلی، انباشتگی و ارزیابی خطرات. مجله دانشگاه علوم پزشکی گرگان، ۵۷(۲۲)، ۸۷-۶۳.

۲. آبکنار، ع.م.، یحیوی، م.، بحری، ا.ه.، جعفریان، ح.، ۱۳۹۷. مطالعه تجمع زیستی فلزات سنگین سرب، مس، جیوه و کادمیوم در بافت عضله ماهی کفشک زبان گاوی (*Cynoglossus arel*) جلبک قهوه ای سارگاسوم (*Sargassum illicifolium*) و رسوبات سطحی سواحل شمالی دریای عمان. فصلنامه علمی پژوهشی محیط زیست جانوری، ۱۰(۲)، ۱۲۸-۱۱۵.

۳. امینی رنجبر، غ.، ستوده‌نیا، ف.، ۱۳۸۴. تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی طلایی (*Mugil auratus*) دریای خزر در ارتباط با برخی مشخصات بیومتریک. مجله علمی‌شیلات ایران، ۱۴(۶)، ۱۸-۱.

۴. بهروز، م.، نوروزی، م.، ۱۳۹۷. بررسی برخی عناصر فلزی (Al, V, Ni, Zn, Tl, Sn) در بافت‌های مختلف ماهی کفال طلایی (*Liza aurata*) و ارتباط آن با جنسیت و شاخص وزن و طولی. مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۴)، ۴۶-۳۷.

۵. جواهری بابلی، م.، مکتبی، پ.، جعفرنژادی، ع.، عسکری ساری، ا.، ۱۳۹۱. بررسی میزان عنصر سرب در بافت‌های ماهی کپور پرورشی (*Cyprinus carpio*)،

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

رسوب و آب برخی استخرهای پرورش ماهیان گرم‌آبی استان خوزستان. نشریه توسعه آبزی پروری، ۶(۲)، ۲۲-۱۱.

۶. خدا بنده، ص.، ۱۳۷۹. تجمع فلزات سنگین در رسوبات و آبزیان دریای خزر. مجله آب و فاضلاب، ۳۹، ۴۲-۳۸.

۷. رزاقی، ف.، محمد شفیعی، م.، امتیازجو، م.، ۱۳۸۹. سنجش کادمیوم، سرب، جیوه و آهن در بافت عضله ماهی شوریده *Otolithes ruber* در مناطق شمالی خلیج فارس، بندر عباس. مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۶(۳)، ۴۰-۳۱.

۸. ساری، ع.ا.، عبداله زاده، ا.، شوشتری، ش.ج.، قاسمپوری، س.م.، ۱۳۹۰. تعیین حد مجاز مصرف ماهی از نظر ترکیبات جیوه. مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا، ۱(۲)، ۸۹-۸۲.

۹. عسگری، ق.، کمره‌ای، ب.، ۱۳۸۸. بررسی مقدار فلزات سنگین کادمیوم، سرب، کروم و نیکل در ماهیان پرورشی شهرستان خرم آباد در بهار و تابستان سال ۱۳۸۵. فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان، ۱۱(۱)، ۸۰-۷۳.

۱۰. فدایی فرد، ف.، رییسی، م.، جلالی جعفری، ب.، قاضی عسگر، م.، ۱۳۸۹. بررسی میزان سرب و آهن در آب، غذا و عضلات ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی استان چهارمحال و بختیاری. مجله دامپزشکی ایران، ۶(۳)، ۶۲-۵۹.

۱۱. مروتی، م.، پناهنده، م.، ۱۳۹۶. بررسی اثر فلزات سنگین بر سلامت بالغین، زنان و کودکان مصرف کننده ماهی (مطالعه موردی تالاب انزلی). مجله علمی پژوهشی زیست‌شناسی دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۹(۳۳)، ۹۸-۸۳.

۱۲. یونسی پور، ح.، ساروی، ح.ن.، ساداتی پور، س.م.ت.، ۱۳۹۲. بررسی تجمع فلزات سنگین ضروری (آهن، مس و روی) و نیمه ضروری (نیکل، کبالت و منگنز) در بافت خوراکی ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) دریای خزر. نشریه توسعه آبزی پروری، ۸(۱)، ۱۰۵-۹۵.

13. Afshan, S., Shafaqat, A., Ameen, U.S., Farid, M., Aslam, S.B., Fakhir, H., Ahmad, R., 2014. Effect of Different Heavy Metal Pollution on Fish. Research Journal of Chemical and Environmental Sciences, 2(2), 35-40.
14. Ahmad, A.K., Shuhaimi-Othman, M., 2010. Heavy metal concentration in sediments and fishes from Lake Chini, Pahang, Malaysia. Journal of Biological Sciences, 10(2), 93-100.
15. Anand, D., Kala, S., 2015. Study on Heavy Metal Distribution in the Coastal Environments along the Foremost Places of South-East Coast of India. International journal of innovative research in science, engineering and technology, 4(3), 1201-1209.
16. Bawuro, A.A., Voegborlo, R.B., Adimado, A.A., 2018. Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria. Journal of Environmental and Public Health, Article ID 1854892, 7 pages.
17. Besirovic, H., Alic, A., Prasovic, S., Drommer, W., 2010. Histopathological Effects of Chronic Exposure to Cadmium and Zinc on Kidneys and Gills of Brown Trout (*Salmo trutta m. fario*). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10, 255-262.
18. Chen, W.Y., Lin, C.J., Yun, R.J., Tsai, J.W., Liao, C.M., 2012. Assessing the effects of pulsed waterborne copper toxicity on life-stage tilapia populations. Science of the Total Environment, 101(4), 129-137.
19. Craig, P.M., Wood, C.M., Clelland, G.B., 2010. Water chemistry alters gene expression and physiological end points of chronic water borne copper exposure in Zebrafish, *Danio rerio*. Environmental Science and Technology, 44(6), 2156-2162.
20. Gobas, F.A.P.C., Morrison, H.A., 2000. Bioconcentration and Biomagnifications in the Aquatic Environment. In: Handbook of Property Estimation Methods for Chemicals, Boethling, R.S., Morrison, D.,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]

(Eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL., USA., pp: 189-231.
21. Hannes, R., Shenker, J., 2008. Acute lethal and teratogenic effects of tributyltin chloride and copper chloride on mahi mahi (*Coryphaena hippurus*) eggs and larvae. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(5), 2131– 2135.
22. Kori, O., Ubogu, O.E., 2008. Sub-lethal hematological effects of zinc on the freshwater fish, *Heteroclarias sp*. (*Osteichthyes Clariidae*). African Journal of Biotechnology, 7(12), 2068-2073.
23. Monsefrad, F., Imanpour Namin J., Heidary S., 2012. Concentration of heavy and toxic metals Cu, Zn, Cd, Pb and Hg in liver and muscles of *Rutilus frisii kutum* during spawning season with respect to growth parameters. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 11(4), 825-839.
24. Olowu, R.A., Ayejuyo, O.O., Adewuyi, G.U., Adejoro, I.A., Denloye, A.A.B., Babatunde, A.O., Ogundajo, A.L., 2010. Determination of heavy metals in fish tissues, water and sediment from Epe and Badagry Lagoons, Lagos, Nigeria. Journal of Chemistry, 7(1), 215-221.
25. Reyahi-Khoram, M., Setayesh-Shiri, F., Cheraghi, M., 2016. Study of the heavy metals (Cd and Pb) content in the tissues of rainbow trouts from Hamedan coldwater fish farms. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 15(2), 858-869.
26. Sheetal, V., Shubhi, A., Alok, B., Kumar, B.A., 2015. Effect of heavy metal contamination on fishes in river Yamuna. International Journal of Scientific Research, 4(10), 36-37.
27. Sobhanardakani, S., Jafari, S.M., 2014. Heavy metals contamination in Silver, Common and Grass Carp caught from Zarivar Lake, western Iran. European Online Journal of Natural and Social Sciences, 3(2), 344-350.
28. Stancheva, M., Makedonski, L., Petrova, E., 2013. Determination of heavy metals (Pb, Cd, as and hg) in black sea grey mullet (*Mugil cephalus*). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 19(1), 30-34.
29. Tierney, K.B., Baldwin, D.H., Hara, T.J., Ross, P.S., Scholz, N.L., Kennedy, C.J., 2010. Olfactory toxicity in fishes. Aquatic Toxicology, 96(1), 2-26.
30. Toochaei, S.P., Rigi, M., Rahdari, A., Karami, R., 2013. A Study on concentration of heavy metals (Pb, Ni, Cu, Fe, and Zn) in liver and muscle tissues of loach fish (*Paracobitis rhadinaea*) in Sistan's Chahnimeh reservoirs, Iran. Journal of Novel Applied Sciences, 2(11), 644-649.
31. Yilmaz, F., 2009. The comparison of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn) in tissues of three economically important fish (*Anguilla anguilla*, *Mugil cephalus* and *Oreochromis niloticus*) Inhabiting Koycegiz Lake-Mugla (Turkey). Turkish Journal of Science and Technology, 4(1):7-15.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1400.15.3.4.3]
[DOI: 10.52547/aqudev.15.3.75]