Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics
Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

انجمن علمی ماهیان زینتی ایران
Iranian Ornamental Fish Society (IOFS)

(OPEN ACCESS)

Survey the possibility of exploiting deep-water salmon grown from point of view of heavy metals (Case study - Sistan and Baluchestan Province)

Sahel Pakzad-Toochaei[*1], Abdolali Rahdari[2], Ali Khosravanizadeh[3], Fatemeh Einollahipeer[4]

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Natural Ecosystems, Hamoun International Wetland Research Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: s.pakzad@uoz.ac.ir
2. Assistant Prof., Dept. of Aquatic Science, Hamoun International Wetland Research Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: rahdari67@gmail.com
3. Assistant Prof., Dept. of Aquatic Science, Hamoun International Wetland Research Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: akhosravanizadeh@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran. E-mail: sahel.pakzad@gmail.com

Article Info

Article type:
Short Technical Report

Article history:
Received: 02.02.2025
Revised: 03.04.2025
Accepted: 05.24.2025

Keywords:
Aquaculture,
Bioaccumulation,
Deep Well,
Health risk,
Salmon fish,
Sistan and Balouchestan

ABSTRACT

Background and Objectives: Due to the drought and severe reduction of water resources, deep wells were dug in the Sistan region for the first time. Currently, the water is extracted from the deep well No. 3 located in Nimrooz city, which reaches the surface in the form of artesian (without the use of pumping). The extracted water is used for salmon cultivation on an experimental basis. Since the consumed water could lead to toxicity in the tissue of cultivated fish, the concentration of heavy metals in the edible tissue was measured. Cadmium (Cd), chromium (Cr), arsenic (As), nickel (Ni), lead (Pb), and mercury (Hg) were considered in the water of deep well No. 3.

Materials and Methods: Fish samples were taken into two stages from the experimental pond close to the deep well No. 3, which is located near the Hamoon Sabouri lagoon. In the first stage, cultivated and juvenile fish were collected along with fish feed and water samples. In the second stage, at the end of the cultivation period, samples were taken from adult fish and water. Then, the fish and food samples were prepared and acid-digested. Moreover, water samples were first filtered with Whatman filter paper and then fixed with nitric acid. To measure the concentration of the studied metals, ICP-MS device model HP-4500 (made in America) equipped with an Asx-520 autosampler was utilized. Statistical analysis of empirical data was carried out using SPSS v.16. In addition, the results were compared with FAO and EPA/WHO standards.

Results: The results showed, the concentrations of mercury and cadmium were not detected due to their slight amount. The concentrations of some heavy metals were also compared with the available standards and the results indicated that the metal concentrations were lower than standard

values. The metal concentrations in food samples were higher than those in the fish tissues, whereas no significant difference was detected between the juvenile and cultivated fish muscles. The average concentrations of arsenic in the juvenile and cultivated fish muscles were 4.05±0.54 µg/g dw and 5.10±1.67 µg/g dw, respectively, with no significant differences between the two groups. The chromium and nickel concentrations in two groups of cultivated fishes were 0.22±0.04 µg/g dw and 0.25±0.11 µg/g dw samle one and 0.085±0.01 µg/g dw and 0.07±0.002 µg/g dw for sample 2, respectively, with no significant difference. Lead concentration was also measured as 0.166±0.094 µg/g dw and 0.3±0.11 µg/g dw in two groups of cultivated fish muscles, respectively. Also, for other metals, no significant difference was observed between the muscle tissue of the two fish groups.

Conclusion: A comparison of metal concentrations in water samples with the existing standards revealed that the water quality is suitable for fish breeding, and the edible tissue of fish is healthy in terms of heavy metals. Also, the comparison of the metal concentration in the edible tissue of different weight groups of fish did not show any significant difference. As a result, the continuation of the breeding period to gain more fish weight does not affect the increase of heavy metals in salmon muscle.

Cite this article: Pakzad-Toochaei, Sahel, Rahdari, Abdolali, Khosravanizadeh, Ali, Einollahipeer, Fatemeh. 2026. Survey the possibility of exploiting deep-water salmon grown from point of view of heavy metals (Case study - Sistan and Baluchestan Province). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (1), 301-318.

© The Author(s).
Doi: 10.22069/japu.2025.23280.1928
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

بررسی امکان بهره‌برداری از ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته با آب ژرف از منظر فلزات سنگین (مطالعه موردی – استان سیستان و بلوچستان)

ساحل پاکزاد توچایی*[۱]، عبدالعلی راهداری[۲]، علی خسروانی‌زاده[۳]، فاطمه عین‌الهی پیر[٤]

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه اکوسیستم‌های طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: s.pakzad@uoz.ac.ir
۲. استادیار گروه علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: rahdari67@gmail.com
۳. استادیار گروه علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: akhosravanizadeh@gmail.com
٤. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: sahel.pakzad@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
گزارش کوتاه علمی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۱۱/۱٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۱۲/۱٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۳/۰۳

واژه‌های کلیدی:
تجمع‌زیستی، ریسک سلامت، آب چاه ژرف، آبزی‌پروری، ماهی قزل‌آلا، سیستان و بلوچستان

چکیده

سابقه و هدف: به دلیل خشکسالی و کاهش شدید منابع آبی منطقه سیستان، برای اولین بار در کشور حفر چاه‌های ژرف در این منطقه انجام شد. در حال حاضر، آب استحصالی از چاه ژرف شماره ۳ واقع در شهرستان نیمروز که به‌صورت آرتزین به سطح می‌رسد (بدون استفاده از پمپ)، جهت پرورش ماهی قزل‌آلا (به‌صورت آزمایشی) استفاده می‌شود. از آن‌جایی‌که آب مورد مصرف ممکن است در تجمع غلظت عناصر در بافت ماهیان پرورش‌یافته اثر داشته باشد، جهت حصول اطمینان از سلامت این ماهیان، سنجش غلظت فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی پرورش‌یافته توسط آب چاه ژرف، مانند کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، آرسنیک (As)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و جیوه (Hg) (که برای سلامت مصرف‌کننده خطرناک هستند) در آب چاه ژرف و هم‌چنین در بافت خوراکی ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته توسط آن اندازه‌گیری و نتایج به‌دست آمده با استانداردهای FAO و EPA/WHO مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از استخر آزمایشی پرورش ماهی قزل‌آلا در کنار چاه ژرف شماره ۳ شهرستان نیمروز که در شمال‌شرقی این شهر نزدیک به تالاب هامون صابوری قرار دارد، طی دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، ماهی پرورش‌یافته، بچه‌ماهی به همراه نمونه خوراک ماهی و آب برداشت شدند. در مرحله دوم نیز در پایان دوره پرورش از ماهی بالغ و آب نمونه برداشت شد. نمونه‌های ماهی بیومتری، بررسی ظاهری، آماده‌سازی و هضم اسیدی شدند. خوراک ماهی نیز به روش اسیدی هضم شد. نمونه آب ابتدا با کاغذ صافی واتمن فیلتر و سپس توسط اسیدنیتریک تثبیت شد. جهت سنجش غلظت عناصر مورد مطالعه از دستگاه ICP-MS مدل

HP-4500 (ساخت آمریکا)، مجهز به اتوسمپلر Asx-520 استفاده شد. تحلیل آماری داده‌ها به کمک SPSS نسخه ١٦ انجام شد.

یافته‌ها: غلظت فلزات آب غلظت جیوه و کادمیم به دلیل عدم وجود یا مقدار بسیار اندک، توسط دستگاه تشخیص داده نشد. غلظت برخی فلزات سنگین و سمی با استانداردهای موجود نیز مقایسه شد که نتیجه این مقایسه بیانگر پایین بودن غلظت عناصر نسبت به مقدار استاندارد بود. غلظت فلزات در نمونه خوراک نسبت به بافت ماهیان بالاتر بود. درحالی‌که بین غلظت فلزات در بافت عضله بچه‌ماهی و ماهی پرورش‌یافته تفاوت معنی‌داری به دست نیامد. میانگین غلظت آرسنیک در ماهیان بالغ دو مرحله نمونه‌برداری به ترتیب ٠/٥٤±٤/٠٥ میکروگرم در گرم وزن خشک و ١/٦٧±٥/١٠ میکروگرم در گرم وزن خشک به دست آمد و در بین این دو گروه ماهی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. غلظت عناصر کروم و نیکل نیز در دو گروه ماهیان بالغ دو مرحله به ترتیب ٠/٠٤±٠/٢٢ میکروگرم در گرم وزن خشک، ٠/١١±٠/٢٥ میکروگرم در گرم وزن خشک و ٠/٠١±٠/٠٨٥ میکروگرم در گرم وزن خشک و ٠/٠٠٢±٠/٠٧ میکروگرم در گرم وزن خشک محاسبه شد، که تفاوت معنی‌داری نداشتند. فلز سرب نیز با غلظت ٠/٠٩٤±٠/١٦٦ میکروگرم در گرم وزن خشک و ٠/١١±٠/٣ میکروگرم در گرم وزن خشک سنجش شد که تفاوت معنی‌داری بین بافت عضله دو گروه ماهی نداشت.

نتیجه‌گیری: غلظت‌های کم یا عدم برخی عناصر سنگین در آب چاه، بیانگر سلامت این منبع آبی است. هم‌چنین بر اساس بررسی غلظت فلزات در نمونه‌های آب در مقایسه با استانداردهای موجود، آب چاه جهت پرورش ماهیان مناسب است. مقایسه فلزات سنگین با استانداردهای موجود، نیز نشان داد که بافت خوراکی ماهیان از نظر فلزات سنگین سالم بوده و سلامت آن برای مصرف‌کننده تأیید می‌شود. هم‌چنین مقایسه غلظت فلزات در بافت خوراکی گروه‌های وزنی مختلف ماهیان نیز تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. درنتیجه، ادامه دوره پرورش جهت وزن‌گیری بیش‌تر ماهی، تأثیری بر افزایش غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی قزل‌آلا ندارد.

استناد: پاکزاد توچایی، ساحل، راهداری، عبدالعلی، خسروانی‌زاده، علی، عین‌الهی پیر، فاطمه (١۴٠۵). بررسی امکان بهره‌برداری از ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته با آب ژرف از منظر فلزات سنگین (مطالعه موردی - استان سیستان و بلوچستان). *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ١۵ (١)، ٣١٨-٣٠١.
Doi: 10.22069/japu.2025.23280.1928

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان و قسمت شرقی ایران با مختصات جغرافیایی ٦١ درجه و ٣١ دقیقه طول شرقی و ٣٠ درجه و ٥٥ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع متوسط ٤٧٨ متر از سطح دریا و به‌ویژه اقلیم گرم و خشک قرار دارد. از لحاظ وضعیت منابع آب سطحی، قسمت اعظم آب موردنیاز کشاورزی، دامداری و آبزی‌پروری در منطقه سیستان تنها از طریق جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند تأمین می‌شود. این امر، سبب شده تا با ایجاد نوسان در آورد رودخانه هیرمند، با توجه به در دسترس نبودن همیشگی آب این رودخانه و خشکسالی‌های اخیر در منطقه و فصلی و دوره‌ای بودن جریان آب رودخانه مذکور، استفاده از منابع آب زیرزمینی رواج یابد. به‌طوری‌که طی خشکسالی‌های اخیر حفر چاه توانسته است، نقش مؤثری بر اشتغال و پایداری کشاورزی، دامداری و آبزی‌پروری در برخی مناطق داشته باشد (عنایت و همکاران، ١٤٠١) (١).

طی سالیان اخیر در منطقه سیستان، به دلیل شرایط سخت خشکسالی، تهیه منابع جدید تأمین آب ضروری بود. بنابراین یکی از گزینه‌های مورد توجه، استحصال آب‌های ژرف در منطقه سیستان بود که مورد توجه مسئولین قرار گرفت. بر این اساس در زمینه دسترسی به منابع آب‌های زیرزمینی، عملیات حفاری آب‌های ژرف در این منطقه، از سال ١٣٩٦ در دست اقدام قرار گرفت (راهداری و همکاران، ١٤٠٢) (٢). پس از حفر چاه، بررسی‌های متنوعی برای استفاده از آب صورت گرفت و یکی از پیشنهادات جهت استفاده بهینه، امکان‌سنجی آبزی‌پروری به دلیل اهمیت اقتصادی آن در سطح منطقه بود.

در عین‌حال با توجه به این‌که پژوهشی در زمینه وضعیت سلامت آبزیان پرورش‌یافته به وسیله آب ژرف از نظر سلامت به‌ویژه دارا بودن فلزات سنگین صورت نگرفته است، بنابراین تأیید سلامت آبزیان پرورش‌یافته در این نوع آب، کاملاً ضروری به نظر می‌رسید (٣). چراکه، فلزات‌سنگین برخی از ترکیبات طبیعی موجود در منابع آبی هستند که می‌توانند با حداقل غلظت تا غلظت بیش از حد استاندارد وجود داشته باشند. فلزات سنگین غیرقابل تجزیه بوده و به‌تدریج در بدن موجودات انباشته می‌گردند (٤ و ٥). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که فلزات سنگین به‌دلیل خاصیت تجمع زیستی، پس از جذب از محیط، در بافت‌های ماهیان ذخیره می‌شوند (٦ و ٧). در مطالعه اوتمن و همکاران (٢٠١٥) نشان داده شد که فلزات سنگین آب در بافت‌های ماهی تجمع می‌یابد. آن‌ها هم‌چنین عنوان کردند، ارزیابی بافت‌های ماهیان از نظر غلظت فلزات سنگین می‌تواند وضعیت سلامت محیط زندگی موجود را به خوبی نشان دهد (٨). هم‌چنین طبیب‌زاده و همکاران (١٣٩٤) نیز در بررسی غلظت فلزات سنگین در ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته در استان لرستان نشان دادند که فلزات سنگین قادرند با غلظت‌های مختلف در بافت‌های این ماهی تجمع یابند. در نتیجه از جمله مهم‌ترین روش‌های ارزیابی سلامت ماهیان، سنجش این ترکیبات در بافت‌های خوراکی آن‌ها است (٩). محمدی‌زاده خوشرو و همکاران (١٣٩٠) نیز با مطالعه ماهی قزل‌آلا در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که کیفیت محیط پرورش بر کیفیت رشد ماهی تأثیر معنی‌داری دارد (١٠).

در منطقه سیستان بسته به فصل پرورش، ماهیان گرم آبی شامل کپور معمولی *Cyprinus carpio*، آمور یا کپور علف‌خوار *Ctenopharyngodon idella*، بیگ‌هد *Hypophthalmichthys nobilis*، کپور نقره‌ای *Hypophthalmichthys molitrix* و هم‌چنین ماهی قزل‌آلا *Oncorhynchus mykiss* پرورش داده می‌شوند. این ماهیان، تحت‌تأثیر کیفیت آب قرار گرفته و قادر هستند وضعیت سلامت آن را نیز به خوبی

منعکس کنند. به دلیل پرورش پایلوت ماهی قزل‌آلا توسط آب چاه ژرف شماره ۳ و عدم وجود اطلاعات در زمینه غلظت فلزات سنگین در آب چاه، لازم بود تا غلظت فلزات سنگین در آب چاه مذکور بررسی شود. هم‌چنین با توجه به این‌که تاکنون پژوهشی در ارتباط با غلظت فلزات‌سنگین در بافت عضله خوراکی ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته با آب چاه ژرف انجام نشده است، بررسی وضعیت سلامت آن از نظر فلزات سنگین به کمک استانداردهای غذایی و تأیید سلامت مصرف این ماهی توسط مردم نیز ضرروی به نظر می‌رسید. بنابراین پژوهش حاضر با هدف سنجش غلظت فلزات سنگین کادمیم (Cd)، کروم (Cr)، آرسنیک (As)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و جیوه (Hg) در آب چاه ژرف شماره ۳ واقع در شهرستان نیمروز، خوراک ماهی و بافت خوراکی ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته و مقایسه برخی از عناصر سمی با استانداردهای موجود انجام شد.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان نمونه‌برداری: مکان نمونه‌برداری استخر آزمایشی پرورش ماهی قزل‌آلا در کنار چاه ژرف شماره ۳ شهرستان نیمروز بود که در شمال‌شرقی این شهر نزدیک به تالاب هامون صابوری قرار دارد. نمونه‌برداری طی دو مرحله به کمک تور سالیک انجام شد. مرحله اول نمونه‌برداری از استخر پرورش ماهی قزل‌آلا در تاریخ ۱۴۰۲/۱۰/۱۹ (نیمه دوره پرورش) صورت پذیرفت. در مرحله اول، ماهی رشدیافته، بچه‌ماهی و نمونه خوراک ماهی برداشت شدند. مرحله دوم نیز در پایان دوره پرورش در تاریخ ۱۴۰۲/۱۲/۲۶ انجام شد. نمونه‌های تهیه شده در هر مرحله، توسط یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون منتقل شدند. در آزمایشگاه ابتدا ماهیان ابتدا بیومتری شدند. بدین‌ترتیب، وزن متوسط ماهیان مرحله اول نمونه‌برداری ۴۰/۰۳ ± ۳۰۲/۱۶ گرم و طول متوسط آن‌ها ۲/۳۵ ± ۲۸/۹۳ سانتی‌متر ثبت شد. وزن متوسط بچه‌ماهیان نیز ۷/۷۵ ± ۷۷/۴۱ گرم و طول متوسط آن‌ها نیز ۱/۲۵ ± ۲۰/۳۳ سانتی‌متر به‌دست آمد. ماهیان مرحله دوم نمونه‌برداری نیز در دو گروه وزنی ۱۱۴ ± ۵۷۷/۳۳ با طول متوسط ۱/۸۰ ± ۳۷/۵۰ سانتی‌متر و ۱۳/۴۳ ± ۳۵۲/۵۰ گرم با طول متوسط ۱/۰۴ ± ۳۳/۶۶ سانتی‌متر صید شدند. پس از انجام بیومتری، جهت رفع انواع آلودگی‌ها، سطح رویی ماهیان به‌طور کامل توسط آب دو بار تقطیر شستشو داده شد. سپس به منظور بررسی سلامت ظاهری اندام‌های داخلی و تهیه نمونه، ماهیان تشریح شدند. در مرحله بعد، بافت عضله هر ماهی، جداسازی و توسط آون در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل خشک شد. نمونه‌های خشک شده پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه، توسط هاون چینی به طور کامل پودر شده و تا انجام مراحل بعدی آزمایش در ظروف پلی‌اتیلنی نگهداری شدند (۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵).

هضم بافت عضله نمونه‌های ماهی و خوراک ماهیان به روش اسیدی بر اساس دستور عمل FAO (۱۹۸۳) با اصلاحات مختصر انجام شد (۱۶). جهت هضم نمونه‌ها، به منظور جلوگیری از هرگونه آلودگی احتمالی، تمامی ظروف مورد آزمایش به کمک اسیدنیتریک ۱۰ درصد اسیدشویی شدند و سپس توسط آب مقطر به‌طور کامل آب‌کشی و در آون خشک گردیدند. برای هضم از هر نمونه، حدود دو گرم وزن گردید و در ارلن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها حدود ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک ۶۵ درصد فوق خالص (Ultra-pure) (مارک رومیل، ایتالیا) اضافه و در دمای اتاق به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس به‌منظور هضم کامل نمونه‌ها از

دستگاه هضم گرمایشی (Hot plate digester) استفاده شد. بدین‌ترتیب که نمونه‌ها در درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت حرارت داده شدند. بعد از سرد شدن، با استفاده از آب فاقد یون به حجم ۵۰ سی‌سی رقیق و توسط کاغذ صافی واتمن ٤٢ میکرون فیلتر شدند. جهت سنجش غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های موردنظر، از دستگاه ICP-MS مدل HP-4500 (ساخت آمریکا)، مجهز به اتوسمپلر Asx-520 استفاده شد.

تحلیل آماری داده‌ها به کمک SPSS نسخه ١٦ انجام شد. به‌منظور انتخاب نوع آزمون آماری جهت جداسازی گروه‌های مختلف، پراکنش داده‌ها (از لحاظ نرمال بودن) به کمک آزمون کولموگروف- اسمیرنف، بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها، اختلاف معنی‌دار غلظت فلزات در بین نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون آماری ANOVA و پس‌آزمون Tukey در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ به‌دست آمد. مقایسه پارامترهای مورد بررسی با استاندارد و هم‌چنین مقایسه بین دو دسته داده نیز به کمک آزمون t-test انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به این‌که در حال حاضر از آب چاه ژرف شماره ۳ واقع در شهرستان نیمروز برای پرورش آزمایشی ماهی قزل‌آلا استفاده می‌شود، جهت حصول اطمینان از سلامت این آب، طی دو مرحله نمونه‌برداری، آب نیز برداشت و غلظت فلزات سنجش گردید که مقدار آن‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر در جدول ۱ آورده شده است. غلظت برخی فلزات سنگین و سمی با استانداردهای موجود مقایسه شد که نتیجه این مقایسه بیانگر پایین بودن غلظت عناصر نسبت به مقدار استاندارد بود. هم‌چنین غلظت جیوه و کادمیم نیز به دلیل عدم وجود یا مقدار بسیار اندک، توسط دستگاه تشخیص داده نشد. بنابراین با توجه به مقادیر مذکور، آب چاه ژرف شماره ۳ نیمروز موجب آلودگی ماهیان پرورش یافته نمی‌شود. نتیجه پژوهش حاضر با برخی از مطالعات همخوانی داشت. به عنوان مثال، ارشد و همکاران (۱۳۹۳) نیز با توجه به تأمین آب کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دکتر شهید بهشتی از طریق رودخانه سفیدرود و امکان آلودگی آب مورد استفاده کارگاه به فلزات سنگین از طریق پساب‌ها و زهاب‌های کشاورزی، غلظت فلزات سنگین روی، مس، کادمیم و سرب را در آب استخر مراحل مختلف تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری در کارگاه شهید بهشتی بررسی کردند. در این مطالعه، نمونه‌های آب از استخر مادر (ورودی و خروجی)، استخر کورانسکی، سالن انکوباسیون، حوضچه های و نیرو، استخرهای خاکی پرورشی و در محل رهاکرد بچه‌ماهیان (مصب رودخانه) برداشت شد. در بین چهار فلز سنگین مذکور، عنصر روی با غلظت ۰/۳٦ ± ۳/٦ میکروگرم در لیتر بالاترین غلظت را در آب ورودی استخر مادر داشت و کم‌ترین مقدار به‌دست آمده برای این عنصر ۰/۲٦ ± ۰/۹۸ میکروگرم در لیتر سنجش شد. حداکثر و حداقل غلظت فلز مس نیز به‌ترتیب ۱/۱۸ ± ۱۰/۵ میکروگرم در لیتر و ۰/۲٦ ± ۰/٦۵ میکروگرم در لیتر، سرب ۱/۱۹ ± ۹/۳۳ میکروگرم در لیتر و ۰/۰۱ ± ۰/۱۵ میکروگرم در لیتر و کادمیم نیز ۰/۰۱۹ ± ۰/۱۱٦ میکروگرم در لیتر و ۰/۰۰۳ ± ۰/۰۱٦ میکروگرم در لیتر ثبت شد. در این پژوهش نیز هر چند نتایج حاصل بیانگر وجود فلزات سنگین در آب مجتمع شهید بهشتی بود، اما نتایج نشان داد که مقدار غلظت‌های آن‌ها کم‌تر از حد مجاز برای تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری بوده است (۱۷). نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعه اخیر همخوانی دارد. غلظت سایر عناصر سنجش شده در جدول ۲ بر حسب میلی‌گرم در لیتر آورده شده است. فلزات نقره

(Ag)، طلا (Au)، برلیوم (Be)، بیسموت (Bi)، سزیم (Ce)، کبالت (Co)، دیسپرسیم (Dy)، ایربیم (Er)، اروبیم (Eu)، گالیم (Ga)، گادولینیم (Gd)، ژرمانیم (Ge)، هافنیم (Hf)، هولمیم (Ho)، لانتانیم (La)، لانتانیم (Ln)، لوتتیم (Lu)، نیوبیم (Nb)، آنتیموان (Sb)، اسکاندیم (Sc)، سیلیکون (Si)، ساماریم (Sm)، قلع (Sn)، تانتالم (Ta)، تربیم (Tb)، تلوریم (Te)، توریم (Th)، نئودیمیم (Nd)، تیتانیم (Ti)، تالیم (Tl)، تولیم (Tm)، اورانیم (U)، تنگستن (W)، ایتریم (Y)، ایتربیم (Yb) و زیرکونیم (Zr) نیز توسط دستگاه تشخیص داده نشدند که نشان‌دهنده عدم حضور آن‌ها یا غلظت ناچیز در نمونه آب است.

جدول ۱- مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه آب چاه ژرف شماره ۳ نیمروز با استاندارد پرورش و حیات آبزیان (میکروگرم در لیتر).

Table 1. Comparison of heavy metal's concentration in water samples from deep well No. 3 in Nimrooz with aquaculture and aquatic life standards (µg. L^{-1}).

ردیف Row	عنصر Element	مرحلهٔ ۱ Stage 1	مرحلهٔ ۲ Stage 2	غلظت استاندارد Standard con.	منبع Reference
1	آرسنیک (As)	1	3	5	(18)
2	کادمیم (Cd)	nd	nd	300-400	(19)
3	کروم (Cr)	28	3	56	(20)
4	مس (Cu)	5	9	5-1000	(19)
5	جیوه (Hg)	nd	nd	<50	(19)
6	نیکل (Ni)	20	12	20	(21)
7	سرب (Pb)	nd	6	13	(17)
8	سلنیم (Se)	nd	nd	3000	(21)
9	وانادیم (V)	nd	nd	5000	(22)
10	روی (Zn)	10	57	30-500	(19)

ND (not detected): به علت پایین بودن غلظت، مقدار آن قابل شناسایی نبود

ND: Not detected, as the concentration was below the analytical detection limit

جدول ۲- غلظت سایر عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب ژرف (میلی‌گرم در لیتر).

Table 2. The concentration of other heavy metals measured in deep water samples (mg. L^{-1}).

ردیف Row	عنصر Element	مرحله اول Stage 1	مرحله دوم Stage 2	ردیف Row	عنصر Element	مرحله اول Stage 1	مرحله دوم Stage 2
1	آلومینیم (Al)	0.090	0.57	9	منگنز (Mn)	0.045	0.294
2	بور (B)	13.97	11.79	10	مولیبدن (Mo)	0.100	0.123
3	باریم (Ba)	0.027	0.047	11	سدیم (Na)	1269.490	3715.900
4	کلسیم (Ca)	402.56	372.38	12	فسفر (P)	0.081	0.175
5	کبالت (Co)	0.019	nd	13	گوگرد (S)	1370.990	1304.800
6	پتاسیم (K)	0.03248	0.0688	14	سلنیم (Se)	nd	nd
7	لیتیم (Li)	0.000428	0.000213	15	استرانسیم (Sr)	11.090	14.520
8	منیزیم (Mg)	0.1229	0.1302	16	آهن (Fe)	0.389	0.861

غلظت فلزات سنگین و سمی در بافت ماهیان پرورش‌یافته در آب چاه ژرف شماره ۳ (مرحله اول نمونه‌برداری): جهت سنجش غلظت فلزات سنگین در مرحله اول، بافت عضله ماهیان رشدیافته، بافت عضله بچه‌ماهی و نمونه خوراک ماهی با یکدیگر مقایسه شدند. به منظور مقایسه غلظت فلزات در بین عضله ماهیان پرورش‌یافته، بچه‌ماهی و نمونه خوراک، از آزمون ANOVA و پس آزمون Tukey استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسه آماری برخی فلزات سنگین و سمی (بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک) در نمونه‌های مذکور در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل از این مقایسه آماری، غلظت فلزات در نمونه خوراک نسبت به بافت ماهیان بالاتر بود (ANOVA, P<۰/۰۵). درحالی‌که بین غلظت فلزات در بافت عضله بچه‌ماهی و ماهی رشدیافته تفاوت معنی‌داری به دست نیامد (P>۰/۰۵). طبیب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نیز به منظور تعیین و مقایسه میزان تجمع فلزات سنگین جیوه، کادمیم و سرب در تخم ماهی، عضله بچه‌ماهی انگشت‌قد (فینگرلینگ)، ماهی بازاری و مولدین نر و ماده قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی استان لرستان به بررسی غلظت فلزات سنگین مذکور پرداختند. در این پژوهش نمونه تخم ماهی، بچه‌ماهی، ماهی بازاری، مولدین نر و ماده قزل‌آلای رنگین‌کمان از ۳ استخر پرورشی مرکز تکثیر و پرورش قزل‌رود بروجرد واقع در استان لرستان بررسی شدند. در این مطالعه، تجمع میزان جیوه، کادمیم و سرب با افزایش سن و رشد و نمو مراحل مختلف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان افزایش داشت (۹). در حالی‌که در مطالعه اخیر، افزایش وزن ماهی تأثیری بر تغییر غلظت فلزات نداشت.

نکوئی‌فرد و همکاران (۱۳۹٤) نیز غلظت فلزات سنگین آهن و سرب را در عضله ماهی قزل‌آلا، خوراک ماهی و آب مزارع گیلان اندازه‌گیری کردند. مقادیر آهن و سرب در تمام نمونه‌های آب مزارع مورد مطالعه بیش‌تر از مطالعهٔ حاضر بود. مقادیر آهن و سرب در خوراک مصرفی مزارع مورد مطالعه نیز با مقادیر ٤٩٤/٥١ و ٣/٤٩٤ میکروگرم در گرم بالاتر از مقدار حاصل در مطالعه اخیر بود. هم‌چنین میزان آهن در عضله ماهی مزارع مورد مطالعه با مقادیر ۷/۷۱۵ میکروگرم در گرم از مقدار آهن در عضله ماهیان پرورشی بررسی شده در مطالعه حاضر کم‌تر و فلز سرب نیز با مقدار ۰/۳۹۹۷۰ از عضله ماهیان مطالعه اخیر بیش‌تر بود. در مطالعه نکوئی‌فرد و همکاران هم‌چنین نتایج به‌دست آمده بیانگر وجود مقادیر بالاتر آهن از استاندارد Codex 2001 در عضله ماهی و مقادیر کم‌تر سرب نسبت به استاندارد مذکور در مزارع موردمطالعه بود. داده‌های به‌دست آمده تفاوت معنی‌داری بین آب، خوراک ماهی و عضله ماهی در مناطق موردمطالعه نداشتند (P>۰/۰۵) (۲۳).

هم‌چنین غلظت سایر عناصر سنجش شده در بافت ماهیان و نمونه خوراک ماهی در جدول ٤ آورده شده است. بالاترین غلظت این دسته از فلزات نیز به غیر از فلز استرانسیم، گوگرد و فسفر، در نمونه خوراک ماهی به دست آمد (ANOVA, P<۰/۰۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین عضله ماهیان و خوراک (میکروگرم در گرم وزن خشک) در مرحله اول نمونه‌برداری.

Table 3. Comparison of mean concentration of heavy metals (µg. g^{-1} dry weight) fish muscle and food in the first stage of sampling.

ردیف Row	عنصر Element	ماهی پرورش‌یافته Aquaculture-reared fish	بچه‌ماهی Fingerling	خوراک ماهی Fish feed
1	آرسنیک (As)	7.088 ± 1.66	7.66 ± 0.98	4.61 ± 0.28
2	کادمیم (Cd)	nd	nd	nd
3	کروم (Cr)	0.70 ± 0.40^{a}	0.25 ± 0.081^{a}	1.73 ± 0.028^{b}
4	مس (Cu)	2.35 ± 0.36^{a}	2.66 ± 0.07^{a}	8.55 ± 0.37^{b}
5	آهن (Fe)	15.50 ± 1.5^{a}	15.21 ± 0.04^{a}	151.00 ± 0.1^{b}
6	جیوه (Hg)	15.50 ± 1.52^{a}	15.21 ± 0.04^{a}	151.00 ± 0.1^{b}
7	نیکل (Ni)	nd	nd	1.40 ± 0.17
8	سرب (Pb)	nd	nd	0.30 ± 0.02
9	سلنیم (Se)	4.29 ± 0.19^{a}	4.17 ± 0.02^{a}	4.54 ± 0.22^{a}
10	وانادیم (V)	nd	nd	nd
11	روی (Zn)	34.06 ± 3.3^{a}	41.25 ± 1.19^{b}	58.45 ± 0.21^{c}

در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های مختلف است (P<۰/۰۵)، ND (not detected): خوانش نشده به‌دلیل غلظت پایین

In each row, different letters indicate statistically significant differences among samples (P<0.05). ND: not detected, due to low concentration below the detection limit

جدول ٤- مقایسه میانگین غلظت سایر عناصر (میکروگرم در گرم وزن خشک) در مرحله اول نمونه‌برداری در بین نمونه‌های مختلف.

Table 4. Comparison of mean concentration of other metals (µg. g^{-1} dry weight) in the first stage of sampling among different samples.

ردیف Row	عناصر Element	ماهی پرورش‌یافته Aquaculture-reared fish	بچه‌ماهی Fingerling	خوراک ماهی Fish feed
1	آلومینیم (Al)	0.88 ± 0.77^{a}	0.71 ± 0.05^{a}	73.86 ± 1.52^{b}
2	بور (B)	2.29 ± 1.3^{b}	0.26 ± 0.08^{a}	11.63 ± 0.11^{c}
3	باریم (Ba)	nd	nd	nd
4	کلسیم (Ca)	82145 ± 81.71^{b}	12835 ± 1535^{a}	16350 ± 161.67^{c}
5	کبالت (Co)	nd	nd	0.24 ± 0.01
6	پتاسیم (K)	13700 ± 641	1440 ± 557	9141 ± 12.3
7	لیتیم (Li)	0.11 ± 0.05^{a}	0.04 ± 0.02^{a}	0.83 ± 0.03^{b}
8	منیزیم (Mg)	1060 ± 27.7^{a}	2070 ± 175^{a}	1760 ± 46.4^{b}
9	منگنز (Mn)	2.16 ± 0.28^{a}	1.71 ± 0.05^{a}	21.54 ± 1.22^{b}
10	سدیم (Na)	2260 ± 296^{a}	2071 ± 117^{a}	3463.7 ± 64^{b}
11	فسفر (P)	14700 ± 79^{c}	12300 ± 5.7^{b}	10100 ± 5.7^{a}
12	گوگرد (S)	6570 ± 421^{b}	6760 ± 51.3^{b}	4900 ± 115^{a}
13	استرانسیم (Sr)	100.4 ± 17.8^{b}	79.33 ± 5.29^{b}	52.18 ± 0.11^{a}

در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های مختلف است (P<۰/۰۵)، ND (not detected): خوانش نشده به‌دلیل غلظت پایین

In each row, different letters indicate statistically significant differences among samples (P<0.05). ND: not detected, due to low concentration below the detection limit

غلظت فلزات سنگین و سمی در بافت ماهیان پرورش‌یافته در آب چاه ژرف شماره ۳ (مرحله دوم نمونه‌برداری): ماهیان مرحله دوم نمونه‌برداری در دو گروه وزنی ۱۱٤±۵۷۷/۳۳ (دسته اول) و ۱۳/٤۳±۳۵۲/۵۰ گرم (دسته دوم) مورد بررسی قرار گرفتند. غلظت برخی فلزات سنگین و سمی سنجش شده در بافت عضله ماهیان این مرحله از نمونه‌برداری بر حسب میکروگرم در گرم وزن خشک در دو دسته اول و دوم در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آزمون t-test، بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو وزن مختلف ماهی است، که نشان می‌دهد افزایش وزن، نمی‌تواند تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت فلزات داشته باشد. به عنوان مثال، نتیجه آزمون t-test تفاوت معنی‌داری را بین غلظت آرسنیک در دو دسته ماهی نشان نداد (P>۰/۰۵). غلظت عناصر کروم و نیکل نیز در بین این دو دسته ماهی تفاوت معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵). فلز سرب نیز تفاوت معنی‌داری بین بافت عضله دو وزن مختلف ماهی نداشت (P>۰/۰۵). بنابراین افزایش نگهداری ماهی در استخر به‌منظور افزایش وزن، تأثیر معنی‌داری بر افزایش غلظت عناصر ندارد. بنابراین درصورتی‌که از لحاظ اقتصادی به صرفه باشد، جهت افزایش وزن، می‌توان زمان ماند ماهی را در آب افزایش داد.

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم در گرم وزن خشک) عضله ماهیان مرحله دوم نمونه‌برداری در بین دو دسته وزنی.

Table 5. Comparison of mean concentration of heavy metals (µg. g^{-1} of dry weight) in the fish muscle in second sampling stage between two weight categories.

ردیف Row	عنصر Element	دسته اول Group 1	دسته دوم Group 2
1	آرسنیک (As)	4.05 ± 0.54	5.10 ± 1.67
2	کادمیم (Cd)	nd	nd
3	کروم (Cr)	0.22 ± 0.04	0.25 ± 0.11
4	مس (Cu)	2.64 ± 0.84	2.45 ± 0.80
5	جیوه (Hg)	nd	nd
6	نیکل (Ni)	0.085 ± 0.01	0.077 ± 0.002
7	سرب (Pb)	0.16 ± 0.094	0.3 ± 0.11
8	سلنیم (Se)	1.62 ± 0.04	1.92 ± 0.83
9	وانادیم (V)	nd	nd
10	روی (Zn)	16.27 ± 3.79^{a}	19.05 ± 2.51^{b}

دسته اول ۵۷۷/۳۳ گرم و دسته دوم ۳۵۲/۵۰ گرم. در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های مختلف است (P<۰/۰۵)، ND (not detected): خوانش نشده به دلیل غلظت پایین

First group: 33.577 g; second group: 50.352 g. Different letters within each row indicate statistically significant differences among samples (P<0.05). ND: not detected, due to low concentration below the detection limit

سیف‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) با هدف بررسی میزان تجمع فلزات سرب و کادمیم در عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی ناحیه تالش استان گیلان، میزان تجمع این فلزات را در بین بافت عضله جنس‌های نر و ماده ماهی مقایسه کردند. آن‌ها هم‌چنین غلظت‌های حاصل را با استاندارد سازمان خواروبار کشاورزی، غذا و دارو و سازمان دامپزشکی ایران مقایسه نمودند. برای اجرای این آزمایش، ٦ تیمار در محدوده وزنی ۹۰۰ – ۷۰۰ و زیر ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد و غلظت فلزات سنگین بر اساس استاندارد ملی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش این پژوهش‌گران نشان داد که غلظت فلزات سرب و کادمیم در بین جنس‌های نر و ماده و سنین مختلف ماهیان استخرهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). این مطالعه هم‌چنین نشان داد که ماهیان قزل‌آلای پرورشی در محدوده‌های وزنی ۹۰۰–۷۰۰ گرم و زیر ۳۰۰ گرم در فصل پائیز در ناحیه تالش از منظر غلظت فلزات سرب و کادمیم برای مصارف انسانی مناسب هستند (٢٤). غلظت سایر عناصر سنجش شده در عضله ماهیان مرحله دوم در جدول ٦ آورده شده است. غلظت این فلزات در بافت عضله نیز تفاوت معنی‌داری در بین دو دسته وزنی نداشت (P>۰/۰۵).

جدول ٦- مقایسه میانگین غلظت سایر فلزات (میکروگرم در گرم وزن خشک) مرحله دوم نمونه‌برداری در بین دو دسته وزنی.

Table 6. Comparison of mean concentration of other metals (µg. g^{-1} dry weight) in the second stage of sampling between two weight categories.

Group 2	Group 1	عنصر Element	ردیف Row
62.52 ± 7.54	47.10 ± 6.07	آلومینیم (Al)	1
12.35 ± 1.19	14.02 ± 1.48	بور (B)	2
0.50 ± 0.11	0.48 ± 0.08	باریم (Ba)	3
1450 ± 542.50	2537 ± 1129	کلسیم (Ca)	4
nd	nd	کبالت (Co)	5
23762 ± 9646	16121 ± 7430	پتاسیم (K)	6
0.18 ± 0.05	0.29 ± 0.005	لیتیم (Li)	7
1036 ± 368.49	861.97 ± 212.35	منیزیم (Mg)	8
1.66 ± 1.53	1.65 ± 0.30	منگنز (Mn)	9
4445 ± 1998	3499 ± 2158	سدیم (Na)	10
6788.35 ± 2283.23	5666.167 ± 1430	فسفر (P)	11
6663.2 ± 2313.18	5345.96 ± 988	گوگرد (S)	12
16.75 ± 9.04	30.16 ± 11.40	استرانسیم (Sr)	13

ND (not detected): به‌علت پایین بودن غلظت، مقدار آن قابل شناسایی نبود

ND: Not detected, as the concentration was below the analytical detection limit

مقایسه غلظت فلزات سنگین و سمی در بافت خوراکی ماهیان با استانداردهای موجود: جهت بررسی سلامت ماهیان پرورش‌یافته در آب چاه ژرف شماره ۳، غلظت برخی عناصر سنگین و سمی شامل آرسنیک، سلنیم، کروم، آهن، مس، روی، کادمیم، جیوه، سرب، نیکل و وانادیم با استانداردهای غذایی

مقایسه شدند. جهت انجام مقایسه، غلظت فلزات در عضلهٔ ماهیان بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر محاسبه شد. از آن‌جایی‌که هر یک گرم وزن خشک، به‌طور متوسط از خشک شدن ۳/۸۵ گرم وزن تر حاصل شد، غلظت فلزات سنگین بر اساس این نسبت، تبدیل گردید و با استانداردهای موجود مقایسه شد، که در جدول ۷ آورده شده است.

نتیجه این مقایسه نشان داد که غلظت فلزات سمی سنجش شده، در مرحله اول (۳۰۲/۱۶ گرم) و دو دسته وزنی مرحله دوم (دسته اول، ۵۷۷/۳۳ گرم و دسته دوم، ۳۵۲/۵۰ گرم)، از استانداردهای WHO، EPA و FAO کم‌تر بودند. بنابراین سلامت ماهی‌ها برای مصرف غذایی تأیید می‌شود. در مرحله دوم نمونه‌برداری نیز غلظت فلزات جیوه و کادمیم به دلیل مقدار ناچیز قابل اندازه‌گیری نبود، که نشان‌دهنده سلامت کامل ماهیان از نظر این فلزات است. محمدخانی و همکاران (۱۴۰۱) نیز غلظت کادمیم را در عضله ماهی قزل‌آلای پرورش‌یافته در استان گلستان بسیار ناچیز و خارج از محدوده تشخیص دستگاه جذب اتمی به دست آوردند و بیان نمودند که این نتیجه بیانگر سلامت آب و ماهی از نظر کادمیم است (۲۵). سیف‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز با هدف بررسی تأثیر خواص شیمیایی آب بر تجمع فلزات سرب و کادمیم در گروه‌های وزنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی، پژوهشی را انجام دادند. برای اجرای این پژوهش سه گروه وزنی بزرگ بین ۹۰۰–۷۰۰ گرم، متوسط ۵۰۰–۴۰۰ گرم و کوچک زیر ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نیز بیانگر عدم وجود کادمیم در ماهیان مورد مطالعه بود. سرب موجود در بافت‌ها بین ۰/۰۳–۰/۰۱ میکروگرم در گرم بود. مقادیر سرب و کادمیم در آب و غذای ماهیان پرورشی زیر حد مجاز اعلام شده توسط FDA بود. به‌طورکلی ماهیان مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند ($P>0/05$) (۲۶).

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین سمی (میکروگرم در گرم وزن تر) در بافت عضله ماهیان دو مرحله با استانداردهای موجود.

Table 7. Comparison of the mean concentration of toxic heavy metals (µg. g^{-1} wet weight) in the muscle tissue of two stages with available standard.

ردیف Row	عنصر Element	ماهی مرحله ۱ Fish of stage 1	ماهی مرحله ۲ دسته اول Fish of stage 2; Group 1	ماهی مرحله ۲ دسته دوم Fish of stage 2; Group 2	WHO/EPA	FAO	منبع Reference
1	آرسنیک (As)	1.83 ± 0.04	1.05 ± 0.14	1.32 ± 0.43	2	-	(27)
2	کروم (Cr)	0.18 ± 0.1	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.1-0.9	-	(28)
3	کادمیم (Cd)	nd	nd	nd	0.5	0.5	(29)
4	مس (Cu)	0.61 ± 0.09	0.68 ± 0.21	0.63 ± 0.2	30	30	(29)
5	آهن (Fe)	4.02 ± 0.39	4.70 ± 0.125	4.18 ± 1.31	100	-	(30)
6	جیوه (Hg)	nd	nd	nd	0.5	0.5	(31)
7	نیکل (Ni)	nd	0.02 ± 0.002	0.02 ± 0.0006	0.5-0.6	-	(32)
8	سلنیم (Se)	1.11 ± 0.04	0.42 ± 0.01	0.5 ± 0.21	2.94	-	(33)
9	سرب (Pb)	nd	0.043 ± 0.02	0.077 ± 0.6	2	0.5	(34)
10	وانادیم (V)	nd	nd	nd	0.5	-	(35)
11	روی (Zn)	8.84 ± 0.87	4.22 ± 0.98	4.98 ± 0.65	30	40	(29, 36)

محمدخانی و همکاران (۱۴۰۱) غلظت فلز سرب را در مزارع مختلف پرورش ماهی قزل‌آلا بر اساس منبع تأمین آب (استان گلستان) بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان سرب در عضله ماهیان پرورشی مزارع با منبع آب روخانه بالاتر از سایر مناطق بوده (۹۶۷ میکروگرم در لیتر) و مزارع پرورش در قفس دریا (۱۳میکروگرم در لیتر) از همه پایین‌تر بود. میانگین غلظت سرب کل ماهیان استان ۰/۲۷۹ میکروگرم در گرم سنجش شد که کم‌تر از حد مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی بود. مقایسه غلظت فلزات سنگین در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در استان گلستان با سایر مناطق کشور نشان داد که این میزان از پایین‌ترین مقادیر گزارش شده در کشور بوده که بیانگر سلامت کامل ماهی قزل آلا در این استان است (۲۵).

در پژوهش دیگری نیز قمی (۱۳۹٤) رابطه بین وزن بدن ماهی و فلزات سنگین سرب و جیوه در عضله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان پرورشی را در یکی از کارگاه‌های رودخانه دوهزار تنکابن سنجش و با استانداردهای بین‌المللی WHO مقایسه کرد. در این مطالعه میانگین غلظت سرب و جیوه در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی به ترتیب برابر ۰/۱۰۷ و ۰/۰۲۲ میکروگرم در گرم به‌دست آمد. میزان همبستگی بین وزن ماهی و میزان سرب و جیوه عضله به ترتیب برابر r=۰/۲٤۳ و r= -۰/۲۰٤ به‌دست آمد (P>۰/۰۵). نتایج نشان داد که وزن ماهی تأثیری بر میزان غلظت فلزات سنگین سرب و جیوه در عضله آن ندارد (P>۰/۰۵). هم‌چنین میزان سرب و جیوه اندازه‌گیری شده در عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در این پژوهش از حد قابل‌قبول استاندارد WHO کم‌تر بود و دلالت بر سالم بودن این ماهی در این رودخانه برای مصارف انسانی داشت (۳۷).

هم‌چنین در پژوهش دیگری فدائی‌فرد و همکاران (۱۳۸۹) غلظت دو فلز سرب و آهن را در چهار مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در استان چهارمحال و بختیاری با هدف مقایسه این فلزات بین عضله ماهیان، خوراک ماهی و آب مصرفی مزارع مورد بررسی قرار دادند. میزان آهن و سرب به ترتیب در کل نمونه‌های آب مزارع مختلف برابر با ٤/٤ ± ٦۰/٦ و ۰/۰۰۲ ± ۲/۵ میکروگرم در لیتر، در کل نمونه‌های خوراک مصرفی مزارع مختلف برابر با ۱۸۳/۳ ± ۵٦۳/٤ و ۱/۱ ± ۳/۳ میکروگرم در گرم و هم‌چنین در عضله ماهیان مزارع مختلف برابر با ۸/۷ ± ۳/۹ و ۰/۱ ± ۰/۳ میکروگرم در گرم به‌دست آمد. نتایج هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین آب‌های مناطق مختلف نشان نداد. اما بین خوراک مصرفی و عضله ماهیان تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده گردید (P<۰/۰۵). مقادیر به‌دست آمده هم‌چنین پایین‌تر از حد استاندارد FAO بود. بنابراین خطری از جانب این منابع متوجه مصرف‌کنندگان بعدی مثل انسان نیست، که نتایج آن با مطالعه اخیر همخوانی داشت (۳۸).

زمینی و همکاران (۱۳۹٤) نیز غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در عضله ماهی قزل‌آلای پرورشی و هم‌چنین مزارع استان گیلان و هم‌چنین آب مصرفی مزارع پرورشی در سه کارگاه بخش غربی (تالش)، شرقی (سیاهکل) و مرکزی (فومن) را بررسی کردند. میزان نیکل در عضله ماهیان کارگاه فومن بیش از کارگاه تالش و سیاهکل بود و میزان سرب نیز در عضله ماهیان کارگاه سیاهکل بیش‌تر از کارگاه تالش و فومن اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که میانگین غلظت نیکل در عضله ماهی ناحیه فومن، تالش و سیاهکل به‌ترتیب ۱/۲۹±۲/۰٤، ۰/٤٤±۰۱/٤۵، ۰/۰۸٦±۰/۲۱۷ و فلز سرب ۰/۲۲۱±۰/۲۵۲، ۰/۲۹±۰/۹۵، ۰/٤٤±۰/٤۸۵ میکروگرم در گرم بود. اما اختلاف معنی‌دار آماری در بین گروه‌های مورد بررسی مشاهده نشد (P>۰/۰۵) (۳۹).

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، غلظت فلزات در نمونه‌های هر دو مرحله آزمایش آب چاه ژرف شماره ۳ که به‌صورت آرتزین خارج می‌شود با استانداردهای موجود مقایسه شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات از استاندارد پایین‌تر بوده و این آب از نظر عدم وجود فلزات سنگین برای پرورش ماهی قزل‌آلا مناسب است. با توجه به بررسی اندام‌های داخلی ماهی پرورش‌یافته در آب ژرف، سلامت ظاهری ماهی تأیید شد. مقایسه غلظت فلزات سنگین سمی در بافت خوراکی در هر دو مرحله نمونه‌برداری با استانداردهای موجود، نیز نشان داد که بافت خوراکی ماهیان پرورش یافته در آب چاه ژرف شماره ۳ واقع در شهرستان نیمروز سالم بوده و سلامت آن برای مصرف‌کننده تأیید می‌شود. هم‌چنین مقایسه غلظت فلزات در بین وزن‌های مختلف ماهیان پرورش‌یافته تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. درنتیجه، ادامه دوره پرورش جهت وزن‌گیری بیش‌تر ماهی، تأثیری بر تغییر غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی قزل‌آلا ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از آقای مهندس ناصحی، آقای مهندس فدائی و آقای مهندس صیادی به‌دلیل همکاری صمیمانه در انجام پژوهش حاضر کمال تشکر را دارند. هم‌چنین از آقای مهندس سید ابوالفضل هاشمی، کارشناس پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون نیز کمال قدردانی را دارند. این پژوهش با شمارهٔ ٤٧٧٤/ک/ش (١٤٠٢/١٠/٢١) به سفارش و تأمین مالی اداره کل شیلات سیستان و بلوچستان (آب‌های داخلی) انجام گردیده است.

منابع

1. Enayat, A., Einollahipeer, F., Pakzad-Toochaei, S., & Erfani, M. (2022). Zoning of heavy metal concentrations in well water along the Sistan River. Master's thesis in Land Assessment and Planning, University of Zabol. [In Persian]
2. Rahdari, A., Khosrovanizadeh, A., Pakzad-Toochaei, S., & Karami, R. (2023). Evaluation of the possibility of *Spirulina Spirulina* platensis culture in the deep aquifer well, Sistan, Southeastern Iran. *Aquatic Animal Nutrition*, 9(3), 15-31. [In Persian]
3. Li, C., Gao, X., Li, S., & Bundschuh, J. (2020). A review of the distribution, sources, genesis, and environmental concerns of salinity in groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 41157-41174.
4. Ali, H. & Khan, E. (2018). What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term 'heavy metals'–proposal of a comprehensive definition. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 100(1), 6-19.
5. Farhadi, A., & Yavari, V. (2013). Biomonitoring of heavy metals (Cu, Ni, Zn, Fe, Cd and Pb) by different tissues of black small-scale fish (*Capoeta damascina*) in Saraz River. Lorestan Province. *Iranian Fisheries Scientific Journal*, 22(3), 126-131. [In Persian]
6. Mohammadi Roozbahani, M., & Choubkar, N. (2014). Biomarkers as a guide for environmental monitoring. *Human and Environment*, 31, 13-21. [In Persian]
7. Shahjahan, M., Taslima, K., Rahman, M. S., Al-Emran, M., Alam, S. I., & Faggio, C. (2022). Effects of heavy metals on fish physiology–a review. *Chemosphere*, 300, 134519.
8. Authman, M. M. N., Zaki, M., Khallaf, E. A., & Abbas, H. H. (2015). Use of Fish as Bio-indicator of the Effects of Heavy

Metals Pollution. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 6(4), 1000328.

9. Tabibzadeh, M., Askari Sari, A., & Velayatzadeh, M. (2015). Investigation of the accumulation of heavy metals copper, iron and cobalt in different growth stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Animal Environment*, 7(1), 287-293. [In Persian]
10. Mohammadizadeh Khoshro, M., Shamsaie Mahrajan, M., Nazari, K., Afsar, A., & Pakzad, M. (2011). Farming of salmon and increasing its density in the breeding environment using effluent in laboratory conditions. *Journal of New Technologies in Aquaculture Development*, 5(3), 91-98. [In Persian]
11. Pakzad-Toochaei, S. (2013). Study of the pattern of accumulation of heavy metals (Ni, Pb, Cu and Zn) in muscle, liver, kidney, gill and scale tissues of silver carp (*Hipophthalmichthys molitrix*) from Chahnimeh reservoires, Sistan. *Oceanography*, 4(13), 21-28. [In Persian]
12. Staniskiene, B., Matusevicius, P., Budreckiene, R., & Skibniewska, K. A. (2006). Distribution of Heavy Metals in Tissues of Freshwater Fish in Lithuania. *Polish Journal of Environment Study*, 15(4), 585-591.
13. Zhang, Z., He, L., Li, J., & Wu, Z. (2007). Analysis of heavy metals of muscle and intestine tissue in fish in Banan section of Chongqing from three Gorges reservoir, China. *Polish Journal of Environmental Study*, 16, 949-958.
14. US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2000). Environmental protection agency chemical contaminant data for use in fsh advisories. Fish sampling and analysis, vol 1, 3rd edn. Ofce of Science and Technology, Washington, DC.
15. US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2011). USEPA regional screening level (RSL) summary table: Nov 2011. **http://www.epa.gov/ regshwmd/risk/human/Index.htmlastup date.Accessed 06 Dec 2011.**
16. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), FAO/SIDA. (1983). Manual of methods in aquatic environment research. Part 9. Analysis of metals and organochlorine in fish. FAO fish technical paper 212. (FAO, Rome) Section 2, pp. 14-20.
17. Arshad, A., Sadeghi Rad, M., Ali Akbar, A., & Choubian, F. (2014). Investigation of heavy metals (copper, lead, cadmium and zinc) in water during different stages of reproduction and rearing of sturgeon in Shahid Dr. Beheshti Complex. *Journal of Aquaculture Development*, 8(2), 1-8. [In Persian]
18. Chowdhury, A. N., Samanta, S., Manna, S. K., Sharma, A. P., Bandopadhyay, C., Pramanik, K., & Mohanty, B. P. 2015. Arsenic in freshwater ecosystems of the Bengal delta: status, sources and seasonal variability. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 97(5), 538-551.
19. National Standard of Iran 8726, Iranian Institute of Standards and Industrial Research. Water quality, determination of fish pond water for common warm-water and cold-water species, common method, characteristics, first edition. [In Persian]
20. Pawlisz, A. V., Kent, R. A., Schneider, U. A., & Jefferson, C. (1997). Canadian water quality guidelines for chromium. Environmental Toxicology and Water Quality. *An International Journal*, 12(2), 123-183.
21. Mannzhi, M. P., Edokpayi, J. N., Durowoju, O. S., Gumbo, J., & Odiyo, J. O. (2021). Assessment of selected trace metals in fish feeds, pond water and edible muscles of *Oreochromis mossambicus* and the evaluation of human health risk associated with its consumption in Vhembe district of Limpopo Province, South Africa. *Toxicology Reports*, 8, 705-717.
22. Ameko, E., Achio, S., Okai–Armah, J., & Afful, S. (2014). Instrumental Neutron Activation Analysis of Concentrations of Vanadium, Manganese, Arsenic, Mercury, Cadmium and Aluminium in Muscle,

Tissue of Four Fish Species from the Weija Lake in Ghana.

23. Nakoeifard, A., Moradi, Y., Sayedgar, M., Javan, S., & Aqeebati, S. (2015). Short review: Investigation of contamination of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Guilan province with heavy metals lead and iron. *Iranian Journal of Fisheries*, 24(2), 143-149. [In Persian]
24. Seifzadeh, M., Golshahi, A., & Safiyari, Sh. (2018). The accumulation of heavy metals lead and cadmium in farmed trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Talesh district of Guilan province. *Animal Science Research (Agricultural Science)*, 28(2), 65-79. [In Persian]
25. Mohammadkhani, N., Hedayati, S. A. A., Mazandarani, M., Seraj, B., & Hosseini, S. S. (2022). Investigation of the levels of heavy metals lead and cadmium in the muscle tissue of cold-water farmed fish in Golestan province. *Journal of Utilization and Cultivation Aquatics*, 11(3), 1-11. [In Persian]
26. Seifzadeh, M., Zare Gashti, Q., Golshahi, A., & Pahlevan Yelli, M. (2017). Investigation of the effect of water chemical properties on lead and cadmium accumulation in farmed trout (*Oncorhynchus mykiss*). *New Technologies in Aquaculture Development*, 11(4), 47-58. [In Persian]
27. Kumar, N. (2021). *Arsenic toxicity: challenges and solutions*. Springer Singapore.
28. Kalani, N., Riyat, B., Karbasi, A., & Moatar, F. (2014). Investigation of heavy metals (arsenic, lead, cadmium, chromium and nickel) in the muscle of the narrow-nosed mullet (*Liza saliens*) and assessment of the health risk from its consumption for humans. *Aquatic Animals and Fisheries*, 5(17), 65-79. [In Persian]
29. Elnabris, K. J., Muzyed, S. K., & El-Ashgar, N. M. (2013). Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip (Palestine). *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 13(1), 44-51.
30. Alipour, H., Pourkhabbaz, A., & Hassanpour, M. (2016). Determination of metals (As, Cu, Fe, and Zn) in two fish species from the Miankaleh wetland. *Fisheries & Aquatic Life*, 24(2), 99-105.
31. Janatmakan, Sh., Askary Sary, A., Javaheri Baboli, M., & Velayatzadeh, M. (2015). Association of Mercury, Cadmium and Arsenic bioaccumulation with the chemical compositions of *Liza auratus* muscle in Anzali Wetland. *Journal of Food Hygiene*, 4(16), 19-31.
32. Mohammadnabizadeh, S., Pourkhabbaz, A., & Afshari, R. (2014). Analysis and determination of trace metals (nickel, cadmium, chromium, and lead) in tissues of *Pampus argenteus* and *Platycephalus indicus* in the Hara Reserve, Iran. *Journal of Toxicology*, 2014(1), 576496.
33. Junior, E. S., Wadt, L. H., Silva, K. E., Lima, R. M., Batista, K. D., Guedes, M. C., Carvalho, G. S., Carvalho, T. S., Reis, A. R., & Lopes, G. (2017). Guilherme Toxicology and Environmental Health Sciences LR. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *Chemosphere*, 188, 650-658.
34. Mir, R., Azizyan, G., Massah, A., & Gohari, A. (2022). Fossil water: Last resort to resolve long-standing water scarcity? *Agricultural Water Management*, 261, 107358.
35. Moghdani, S., Pazira, A. R., Ghanbari, F., & Zadeh, N. J. (2014). Vanadium concentration levels in muscle tissues of two commercial fish species in Persian Gulf waters. Aquaculture, Aquarium, *Conservation and Legislation*, 7(6), 489-496.
36. Łuczyńska, J., Pietrzak-Fiećko, R., Purkiewicz, A., & Łuczyński, M. J. (2022). Assessment of fish quality based on the content of heavy metals.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(4), 2307.

37. Qomi, M. R. (2015). Study of the relationship between body weight and lead and mercury levels in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farmed in the Dohhazar Tonekabon River. *Animal Physiology and Development (Biological Sciences)*, 9(1), 9-16. [In Persian]
38. Fadaeifard, F., Raisi, M., Jalali Jafari, B., & Ghazi Asgar, M. (2010). Investigation of lead and iron levels in water, food and muscles of farmed rainbow trout in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Iranian Veterinary Journal*, 6(3), 59-62. [In Persian]
39. Zamini, A., Naeimi-Joubani, M. N., Farrokh-Rooz, M., & Allahyari, A. (2015). Determination of heavy metals (lead and nickel) in water and muscle tissue of trout farms in Guilan province. *Guilan University of Medical Sciences*, 24(93), 10-16. [In Persian]