Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

Case Study

Journal of Water and Wastewater, Vol. 31, No.7, pp: 1-14

Study of Heavy Metal Concentrations in Water and Fish Samples from Dam Lake (Case Study: Hamadan Province, Kalan Malayer Dam)

B. Lorestani[1], H. Merrikhpour[2], M. Cheraghi[1], L. Tayebi[3]

1. Assoc. Prof., Dept. of Environment, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran
2. Assist. Prof. of Soil Science, Dept. of Agriculture, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran
(Corresponding Author) hajar.merrikhpour@gmail.com
3. Assist. Prof., Dept. of Fisheries, Collage of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

(Received Dec. 15, 2019 Accepted Apr. 5, 2020)

To cite this article:
Lorestani, B., Merrikhpour, H., Cheraghi, M., Tayebi, L. 2021. "Study of heavy metal concentrations in water and fish samples from dam lake (Case study: Hamadan Province, Kalan Malayer Dam)" Journal of Water and Wastewater, 31(7), 1-14. Doi: 10.22093/wwj.2020.211930.2966. (In Persian)

Abstract

Heavy metals are a major environmental problem and have become a global problem due to their high toxicity and their ability to accumulate in the body of living organisms. The aim of this study was to investigate the concentrations of heavy metals such as arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Gago-Ferrero et al.), copper (Cu), silver (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni) and zinc (Zn) in samples of water and fish from the Malayer Dam in Hamadan Province, Iran. Samples of water and fish were collected in five steps (in May, June, September, October, February) from 19 locations in Kalan dam route of Malayer, in Hamedan, Iran. Water and fish species including Vimba vimba and Cyprinus carpio species were transferred to the laboratory. Fish samples were digested by 4 ml HNO_3 and 1 ml $HClO_4$. The amounts of heavy metals in water and fish were determined using ICP-AES and Duncan's test (0.05) was used for data analysis with SAS software. Results showed that the mean concentrations of the studied heavy metals were lower than the WHO, FAO, and USEPA guidelines for drinking water. The mean concentrations of Zn and Cr were significantly higher than other heavy metals in water samples. The results also showed that the highest concentrations of heavy metals (except Zn) were

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

observed in spring than other seasons. The mean concentration of the heavy metals for Cyprinus carpio followed the sequence Cr≥ Zn>Ni>Cu>Cd>Hg>As>Mn in first sampling. There were significant correlations between all heavy metals' accumulation in the Cyprinus carpio fish with heavy metals concentration in water samples. The results showed that the concentration of heavy metals in fish samples was correlated with the concentration of heavy metals in water samples and the accumulation of heavy metals in fish increased with increasing concentrations of heavy metals in water samples. The concentrations of heavy metals studied in fish are lower than those limits in the WHO and FAO guidelines and will not cause any harm in human consumption.

Keywords: Heavy Metal, Water, Dam Lake, Fish, Biomagnification.

www.SID.ir

Archive of SID
۲ dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

مجله آب و فاضلاب، دوره 31، شماره 7، صفحه: 14-1

بررسی غلظت عناصر سنگین در آب و ماهی‌های برداشت شده از دریاچه سد (مطالعه موردی: استان همدان، سد کلان ملایر)

بهاره لرستانی[۱]، هاجر مریخ‌پور[۲]، مهرداد چراغی[۱]، لیما طیبی[۳]

۱- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
۲- استادیار علوم خاک، گروه کشاورزی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
(نویسنده مسئول) hajar.merrikhpour@gmail.com
۳- استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(دریافت ۹۸/۹/۲٤ پذیرش ۹۹/۱/۱۷)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
لرستانی، ب.، مریخ‌پور، هـ.، چراغی، م.، طیبی، ل.، ۱۳۹۹، "بررسی غلظت عناصر سنگین در آب و ماهی‌های برداشت شده از دریاچه سد (مطالعه موردی: استان همدان، سد کلان ملایر)" مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۷)، ۱۴-۱. Doi: 10.22093/wwj.2020.211930.2966

چکیده

فلزات سنگین مشکل بزرگی در محیط‌زیست هستند و به‌علت سمیّت و توانایی زیادی که در تجمع بدن موجودات زنده دارند، به یک مشکل جهانی تبدیل شده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر سنگین آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، نقره، منگنز، نیکل و روی در نمونه‌های آب و ماهی‌های برداشت شده از دریاچه سد کلان ملایر در استان همدان انجام شد. نمونه‌های آب و ماهی ۵ بار در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و بهمن از ۱۹ مکان از دریاچه سد کلان ملایر جمع‌آوری شدند. نمونه‌های آب و ماهی که شامل گونه‌های *Vimba vimba* و *Cyprinus carpio* هستند به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های ماهی با ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک هضم شدند. مقدار فلزات سنگین در آب و ماهی با استفاده از دستگاه ICP-AES تعیین شد و از نرم‌افزار SAS و آزمون دانکن ۰/۰۵ برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلزات مورد بررسی از حد مجاز بیان شده در استانداردهای WHO، FAO، و USEPA برای مصارف شرب کمتر است. میانگین غلظت روی و کروم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر فلزات سنگین در نمونه‌های آب است. همچنین نتایج بیانگر غلظت بیشتر فلزات سنگین به‌استثنای فلز روی، در فصل بهار نسبت به سایر فصول است. میانگین غلظت فلزات سنگین در ماهی کپور در فصل بهار به‌ترتیب Zn> Ni> Cu> Cd> Hg> As> Mn است. هم‌بستگی معنی‌داری بین تجمع فلزات سنگین در ماهی و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب وجود دارد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در بافت نمونه‌های ماهی با غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب ارتباط دارد و انباشت فلزات سنگین در ماهی با افزایش غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب افزایش می‌یابد. غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در ماهی‌ها از حد مجاز بیان شده در استانداردهای WHO، FAO کمتر است و هیچ‌گونه مشکلی برای مصارف انسانی ایجاد نخواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، آب، دریاچه سد، ماهی، تجمع زیستی

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

۱- مقدمه

رشد بی‌رویه جمعیت، رشد نامتوازن صنایع، بهره‌برداری بیش از حد از منابع بدون توجه به توان اکولوژیکی آنها و عدم توجه به مفهوم توسعه پایدار در فرایند توسعه کشورها، دست به دست یکدیگر داده و بحران‌های پیش روی بشر امروزی را عمیق‌تر و صدماتی که به محیط‌زیست وارد می‌شود را شدیدتر کرده‌اند. یکی از این بحران‌ها، بحران آلودگی محیط‌زیست است که می‌تواند تعادل اکوسیستم‌ها را برهم زند و سلامت انسان و سایر موجودات را با تهدید مواجه سازد و از بین رفتن منابع حیاتی را شدت بخشد. آب یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی که نقش اساسی در حیات ایفا می‌کند و در برابر آلودگی بسیار آسیب‌پذیر است (Paul, 2001). سال‌هاست که احداث سدها به‌عنوان مانعی در برابر حرکت آب و ذخیره کردن آن در مخازن عظیم، کنترل سیلاب و تولید انرژی و یکی از راهکارهای اساسی به‌شمار می‌رود. سدها هر چند مفید، اثراتی ناخوشایند نیز در چرخه آب دارند. این اثرات، اغلب به‌دلیل زمان‌ماند زیاد آب در مخزن سد است. ایجاد یک سد بزرگ با حجم ذخیره زیاد می‌تواند اثرات همه‌جانبه‌ای از قبیل اثرات فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و اکولوژیکی در برداشته باشد (Pirestani, 2010).

امروزه آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین تبدیل به یک پدیده جهانی شده است. از یک طرف، فلزات سنگین به‌طور طبیعی در سطوح مختلف در خاک و آب‌های سطحی وجود دارند. اگر مقدار این فلزات کمی بیش از مقدار طبیعی شود با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در بدن موجودات زنده به‌سرعت تبدیل به آلاینده‌های سمّی می‌شوند (Demirak et al., 2006, Jabeen and Chaudhry, 2010).

الگوی تمرکز و توزیع فلزات در اکوسیستم‌ها حائز اهمیت ویژه است. فلزات سنگین به‌دلیل اینکه قابل‌تجزیه به فرم‌های غیرسمّی نیستند، پس از ورود به اکوسیستم‌ها به‌صورت پتانسیلی تهدید کننده تا سال‌ها در محیط باقی می‌مانند. اکثر فلزات سنگین و ترکیبات یونی آنها به‌دلیل داشتن توانایی تشکیل ترکیبات پیچیده، نقش اساسی در واکنش‌های زیست- شیمیایی ایفا می‌کنند و در غلظت‌های زیاد برای سلول سمّی هستند (Niri and Rashidi, 2009).

اکوسیستم‌های آب شیرین متأثر از مقدار اتمسفری فلزات سنگین و منابع انسانی این آلاینده‌ها هستند. ترکیبات مختلف این فلزات موجود در آب به سادگی در دسترس موجودات زنده قرار گرفته و منجر به افزایش غلظت آنها در چرخه غذایی می‌شود (Athar et al., 2007).

امروزه کاربرد مطالعات سم‌شناسی محیطی بر روی مهره‌داران غیر پستاندار به‌سرعت در حال افزایش است و برای اکوسیستم‌های آبی، ماهیان به‌عنوان شاخص ارزیابی تأثیرات مضری که سموم در ترکیب با آب بر روی این اکوسیستم‌ها می‌گذارند، در نظر گرفته می‌شوند (Mbeh et al., 2019). سموم سریعاً از طریق آبشش جذب خون شده و وارد بافت‌هایی مثل کبد، کلیه و برخی از اندام‌های دیگر می‌شوند و از طریق آبیاری مزارع، بارندگی و شستشو وارد منابع آبی است. از نکات قابل‌توجه، آلودگی موجودات آبزی به فلزات سنگین است. زیرا فلزات سنگین آلاینده‌های پایداری هستند که برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرایندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند (Kelark, 2000).

از نتایج مهم پایداری فلزات سنگین وسعت زیستی زیاد آنها در زنجیره غذایی است به‌طوری که در نتیجه این فرایند، مقدار آنها در زنجیره غذایی می‌تواند تا چندین برابر مقدار آنها که در آب یا هوا یافت می‌شوند، افزایش یابد (Vida, 1995). ماهیان، از جمله مهم‌ترین موجودات آبزی محسوب می‌شوند که به‌علت ارزش اقتصادی و حساسیت در برابر آلاینده‌ها اهمیت خاصی دارند به همین دلیل برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی در بعد وسیعی از آنها استفاده می‌شود (Shariat Panahi, 2001). از آنجا که در سال‌های قبل مرگ‌ومیر ماهیان در مخزن سد کلان مشاهده شده است، بنابراین با در نظر گرفتن فرضیات زیر به بررسی تعیین کیفیت آب مخزن سد و پارامترهای احتمالی مؤثر بر مرگ‌ومیر ماهیان پرداخته شد و غلظت عناصر سنگین در ماهی‌ها اندازه‌گیری شد.

یکی از فرایندهایی که در زنجیره‌های غذایی بسیار اتفاق می‌افتد، بزرگ‌نمایی زیستی[1] برخی عناصر و ترکیبات خاصی است که سبب می‌شود غلظت آنها به‌صورت تصاعدی در خلال انتقال از یک افق غذایی به افق غذایی بالاتر در بافت‌های زنده افزایش یابد

[1] Biomagnification

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

(Ardakani, 2002)، در واقع حالت خاصی از تجمع زیستی است. تجمع زیستی به معنای افزایش غلظت یک ماده شیمیایی در طول زمان، در مقایسه با غلظت آن در محیط اطراف است و پی بردن به روند آن در حفظ سلامت انسان و سایر موجودات در برابر تأثیرات سوء ناشی از تماس با آن ماده شیمیایی بسیار مهم است. امروزه محاسبه تجمع زیستی مواد شیمیایی مختلف به یک راهبرد اساسی برای کنترل اثرات سوء مواد شیمیایی تبدیل شده است. تجمع زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی در رابطه با فلزات سنگین به‌خصوص در محیط‌های آبی به وفور اتفاق می‌افتد (Bortman et al., 2003). برخی از این فلزات مانند آهن، مس و روی به مقدار کم برای حیات آبزیان ضروری هستند اما برخی دیگر مانند جیوه در مسیر جذب سایر فلزات ضروری توسط ماهی، جذب شده و در بافت‌های آنها تجمع می‌یابند (Vinodhini and Narayanan, 2008).

در آینده‌ای نزدیک، مسئله کمبود منابع آب در دسترس، در کشورهایی که در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، به بحرانی جدی تبدیل خواهد شد. بنابراین استفاده بهینه از منابع آب در دسترس و محافظت آنها از عوامل آلاینده از طریق نظارت و کنترل مستمر عوامل تهدیدکننده یا پایش منابع آب امری ضروری و حیاتی است (Esmaiil Sari, 2002, Erfanmanesh and Afyouni, 2000). با توجه کمبود اطلاعات در این زمینه، در این بررسی به مطالعه آلودگی فلزات سنگین در آب و در بدن ماهیان پرداخته شد. در این پژوهش هدف بررسی غلظت عناصر سنگین آرسنیک، کادمیوم، کروم (Gago-Ferrero et al ., 2012)، مس، نقره، منگنز، نیکل و روی در آب و ماهی‌های برداشت شده از دریاچه سد کلان ملایر بود.

۲- مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه سد کلان با ظرفیت ۴۵ میلیون مترمکعب، در ۳۰ کیلومتری شهر ملایر قرار دارد و برای تأمین ۱۲ میلیون مترمکعب آب شرب این شهرستان استفاده می‌شود. دبی این سد سالیانه ۳۵ میلیون مترمکعب است. شکل ۱ موقعیت سد کلان ملایر را نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری و آنالیز آب از نقاط مختلف ورودی و مخزن سد، به تعداد ۱۹ نمونه آب انجام شد. نمونه‌ها در ۵ مرحله و در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و بهمن برداشت شدند. نمونه‌برداری در ساعت ۷-۱۰ صبح انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت به ظروف مخصوص به حجم ۱ لیتر انتقال داده شدند و در مجاور یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و در طول مدت زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس، در یخچال نگهداری می‌شدند. غلظت کل عناصر سنگین آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، نقره، منگنز، نیکل و روی توسط دستگاه ICP-AES[1] مدل وریان کشور استرالیا اندازه‌گیری شد (Rowell, 1994). نمونه‌های زنده و مرده ماهی‌ها از همان مناطق نمونه‌برداری آب، برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. گونه ماهی‌ها مشخص و سپس عضلات و گوشت خوراکی ماهی‌ها جدا شده و با آب ۲ بار تقطیر شست‌وشو داده شدند. سپس ۵۰ گرم از نمونه هر ماهی، به‌وسیله هاون یکنواخت شد، و بعد از آن کاملاً خشک شدند. سپس نمونه‌ها را به دسیکاتور انتقال داده و پس از رسیدن به وزن ثابت، در هاون، تا پودر شدن کامل ساییده شدند. مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه ساییده شده ماهی را در لوله آزمایش ریخته و با استفاده از ۴ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلریک هضم شدند. سپس توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲، صاف و با آب ۲ بار تقطیر، در بالن حجمی ۱۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شدند. مقدار عناصر سنگین Mn، Cu، Zn، Cr، Cd، Hg، As و Ni با دستگاه ICP اندازه‌گیری شد (Al-Majed et al., 2000). تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان و در طول مدت سال‌های ۹۷-۹۸ انجام شد.

فاکتور تجمع زیستی در ماهی، از طریق تقسیم غلظت عنصر سنگین در بیوتا (ماهی) به‌غلظت آن در آب محاسبه شده است (Demirak, 2006). چنانچه فاکتور محاسبه شده بزرگتر از ۱ باشد، بیانگر تجمع زیستی عنصر موردنظر است.

تجزیه‌وتحلیل نتایج آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. ابتدا داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد تا نرمال بودن آنها مشخص شد و داده‌های غیرنرمال با روش‌های معمول نرمال کردن، نرمال شدند. سپس، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از روش NOVA[2] انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۰۵ و هم‌بستگی ساده پیرسون

[1] Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICPAES)
[2] Analysis of Variance (ANOVA)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

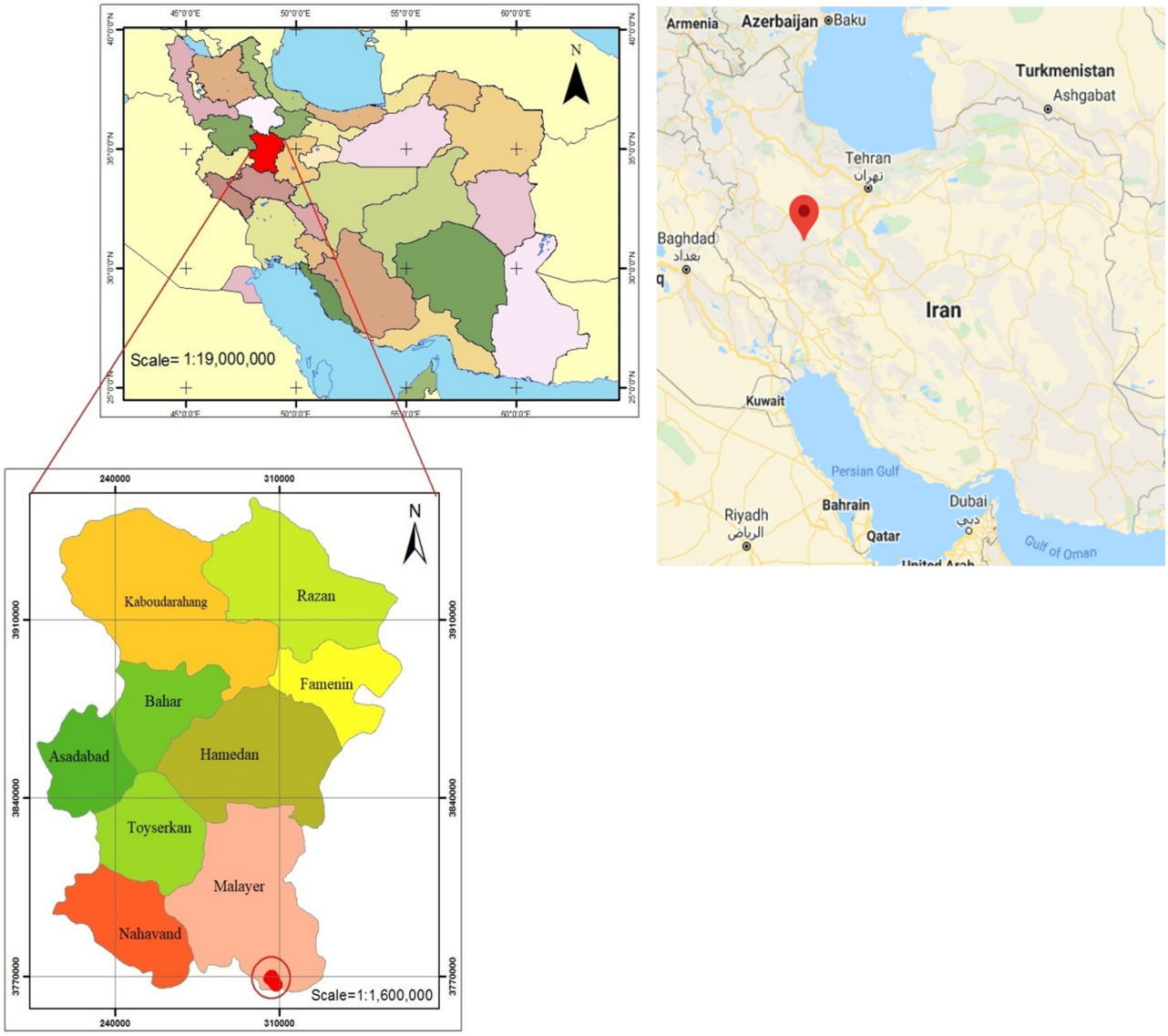

Fig. 1. Location of Kalan Malayer Dam, Malayer County, Hamadan Province

شکل ۱- موقعیت سد کلان ملایر ، شهرستان ملایر، استان همدان

۳- نتایج و بحث

در سطح ۰/۰۱ درصد نیز برای داده‌ها انجام شد. در بررسی عناصر سنگین در آب طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2012)[1]، حداکثر غلظت مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی ۱۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت آرسنیک در منطقه مورد بررسی ۱۸/۷ میکروگرم در لیتر و بیشتر از حد مجاز ارائه شده در استاندارد WHO بود. بیشترین غلظت آرسنیک فقط در یک نقطه ثبت شده است و میانگین غلظت آرسنیک در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری کمتر از حد مجاز استاندارد WHO است. چنان‌که در جدول ۲ و مقایسه میانگین داده‌ها نشان داده شده است. غلظت آرسنیک در فصل بهار نسبت به سایر فصول نمونه‌برداری، بیشتر بود که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت آرسنیک در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان خواروبار و کشاورزی (FAO, 1983)[2] و استاندارد

[1] World Health Organization (WHO)

[2] Food and Agriculture Organaization (FAO)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

جدول ۱- غلظت مجاز عناصر سنگین در آب آشامیدنی و کشاورزی مطابق با برخی استانداردهای ملی و بین‌المللی (FAO, 1983, USEPA, 2005, ISIR, 2010, WHO, 2012)

Table 1. Heavy metals limitation in drinking and agricultural waters according to some national and international standards (FAO, 1983, USEPA, 2005, ISIR, 2010, WHO, 2012)

Heavy metals	Drinking water			Irrigation water		
µg L^{-1}	USEPA	WHO	ISIRI 1053	FAO	WHO	ISIRI 1053
As	-	10	-	100	-	-
Cd	5	3	3	10	10	10
Cr	100	50	50	100	100	100
Cu	1300	2000	2000	200	200	200
Hg	-	1	-	-	-	-
Mn	-	500	-	200	-	-
Ni	-	20	-	200	-	-
Zn	5000	3000	3000	2000	2000	2000

جدول ۲- غلظت میانگین، حداکثر و حداقل عناصر موجود در نمونه‌های آب در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

Table 2. Average, maximum and minimum concentrations of heavy metals in the water samples at different times

Date of sampling		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Zn
21.2.1396	Average	8.9^{ab}	1.0^{a}	47.1^{a}	8.4^{b}	2.9^{a}	7.2^{a}	4.3^{a}	49.1^{bc}
	Max	18.5	2.3	57.8	18.4	6.6	9.8	6.4	89.9
	Min	1.4	0.1	40.4	5.8	0.4	5.3	1.8	26.0
19.3.1396	Average	9.6^{a}	1.0^{a}	40.1^{b}	11.1^{a}	2.7^{a}	7.4^{a}	3.9^{a}	53.7^{b}
	Max	18.7	2.6	49.7	19.0	4.3	9.8	5.7	96.6
	Min	4.0	0.2	30.0	7.3	0.2	5.0	1.2	32.1
23.6.1396	Average	6.2^{c}	0.02^{b}	36.0^{c}	2.4^{c}	3.2^{a}	3.4^{c}	1.3^{c}	65.6^{a}
	Max	8.7	0.08	42.2	3.9	5.6	5.8	2.0	95.2
	Min	4.0	0.0	30.3	1.0	1.3	1.0	0.99	45.7
17.7.1396	Average	6.3^{c}	0.02^{b}	41.4^{b}	2.2^{c}	3.0^{a}	4.7^{b}	1.3^{c}	68.6^{a}
	Max	8.1	0.05	46.4	3.2	4.5	7.1	2.0	86.9
	Min	4.8	0.0	38.3	1.2	1.2	1.0	1.0	51.8
20.11.1396	Average	6.9^{bc}	0.05^{b}	32.8^{d}	2.3^{c}	0.96^{b}	3.3^{c}	2.2^{b}	41.2^{c}
	Max	10.6	0.09	37.6	3.4	1.8	4.9	3.6	56.9
	Min	4.7	0.01	30.5	1.2	0.32	1.0	0.82	30.8

Similar letters indicate no significant difference at 5% level with Duncan's test.
Similar letters show significant differences between the averages of heavy metals.

۱۰۵۳ ایران (NSOI, 2010)[1] و مقدار استاندارد WHO ۱۰۰ میکروگرم در لیتر بود.

طبق استاندارد WHO، حداکثر غلظت مجاز جیوه در آب آشامیدنی ۱ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۲ بیشترین غلظت جیوه در منطقه مورد بررسی ۶/۶ میکروگرم در لیتر و بیشتر از حد مجاز استاندارد WHO بود. با توجه به داده‌های این جدول فقط میانگین غلظت جیوه در بهمن‌ماه نسبت به سایر ماه‌های نمونه‌برداری، از حد مجاز استاندارد WHO کمتر است. غلظت جیوه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور و مهر تفاوت معنی‌داری با بهمن‌ماه نشان داد، یعنی در زمستان مقدار جیوه در آب کمتر از سایر زمان‌ها است. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که میانگین غلظت جیوه کل موجود در آب دریاچه سد کلان ملایر، در فصل زمستان کمتر است و به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$) که احتمالاً دلیل آن کاهش دمای آب و متعاقب آن افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب دریاچه است، زیرا در صورت کمبود غلظت اکسیژن محلول در آب شرایط مطلوبی برای افزایش فعالیت بیشتر میکروارگانیزم‌های دخیل در فرایند متیلاسیون جیوه که موجوداتی بی‌هوازی هستند فراهم می‌شود (Athar et al., 2007).

[1] National Standards Organization of Iran (NSOI 1053)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA, 2005)[1]، ۱۰۵۳ ایران و WHO حداکثر غلظت مجاز روی در آب آشامیدنی به‌ترتیب ۵۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۰۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت روی در منطقه مورد بررسی ۹۸/۹ میکروگرم در لیتر و کمتر از مقدار مجاز ارائه شده توسط استانداردهای USEPA، ۱۰۵۳ ایران و WHO بود. در جدول ۲ و بر اساس مقایسه میانگین انجام شده، تفاوت معنی‌داری بین مقدار روی در مهرماه با سایر زمان‌های نمونه‌برداری مشاهده شد و مقدار روی در فصل پاییز از سایر فصول بیشتر است. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت روی در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز استانداردهای FAO، ۱۰۵۳ ایران و WHO است که برابر با ۲۰۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شد.

طبق استانداردهای USEPA، ۱۰۵۳ ایران و WHO حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی به‌ترتیب ۵، ۳ و ۳ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت کادمیم در منطقه مورد بررسی ۲/۶ میکروگرم در لیتر، و کمتر از مقدار مجاز استانداردهای USEPA، ۱۰۵۳ ایران و WHO بود. در غلظت کادمیم نمونه‌های برداشت شده در فصل بهار تفاوت معنی‌داری با سایر زمان‌های نمونه‌برداری مشاهده شد. به‌عبارتی در فصل بهار غلظت کادمیم در آب سد بیشتر از سایر فصول است. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت کادمیم در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز استانداردهای FAO، ۱۰۵۳ ایران و WHO است که برابر با ۱۰ میکروگرم در لیتر تعیین شد. طبق استانداردهای USEPA، ۱۰۵۳ ایران و WHO حداکثر غلظت مجاز کروم در آب آشامیدنی به‌ترتیب ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت کروم در منطقه مورد بررسی ۵۷/۸ میکروگرم در لیتر و کمتر از مقدار مجاز استاندارد USEPA بود. بیشترین غلظت کروم فقط در یک نقطه ثبت شده و میانگین غلظت کروم در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری کمتر از حد مجاز استانداردهای ۱۰۵۳ ایران و WHO بود. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت کروم در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز استانداردهای FAO، ۱۰۵۳ ایران و WHO است که برابر با ۱۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شد.

طبق استاندارد WHO حداکثر غلظت مجاز نیکل در آب آشامیدنی ۲۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت نیکل در منطقه مورد بررسی ۶/۴ میکروگرم در لیتر و کمتر از مقدار استاندارد WHO است. مقدار نیکل در ماه‌های اردیبهشت و خرداد در فصل بهار بیشتر و از سایر ماه‌ها به شکل معنی‌داری متفاوت بود. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت نیکل در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز استاندارد FAO برابر با ۲۰۰ میکروگرم در لیتر است. طبق استاندارد WHO حداکثر غلظت مجاز نیکل در آب آشامیدنی ۵۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده، که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت نیکل در منطقه مورد بررسی ۹/۸ میکروگرم در لیتر، و کمتر از مقدار استاندارد WHO بود.

طبق استانداردهای USEPA، ۱۰۵۳ ایران و WHO حداکثر غلظت مجاز مس در آب آشامیدنی به‌ترتیب ۱۳۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در جدول ۲ بیشترین غلظت مس در منطقه مورد بررسی ۱۹ میکروگرم در لیتر، و کمتر از مقدار مجاز استانداردهای USPEA، ۱۰۵۳ ایران و WHO بود. تفاوت معنی‌داری در غلظت عنصر مس در فصول تابستان، پاییز و زمستان با بهار مشاهده شد و در بهار مقدار مس بیشتر از سایر فصول است. در خصوص مصارف آبیاری نیز غلظت مس در نمونه‌ها کمتر از حد مجاز استانداردهای FAO، ۱۰۵۳ ایران و WHO است که برابر با ۲۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین شد.

پژوهش باسکار و همکاران در هند با هدف ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب‌های سطحی نشان داد که در آب‌های سطحی مورد بررسی در تمام نمونه‌ها به جز دو منطقه که آهن زیادی داشتند غلظت فلزات کادمیم، روی و مس ناچیز و طبق استاندارد FAO بود (Bhaskar et al., 2010). پژوهش اوپالوا و همکاران در نیجریه با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و ۲ گونه ماهی در رودخانه یوک این نتایج را به‌دنبال داشت که غلظت فلزات سرب، روی، مس، آهن، منیزیم و کادمیم در آب و رسوبات رودخانه بیش از حدود توصیه شده توسط استاندارد WHO است (Opaluwa et al., 2012).

[1] United States Environmental Protection Agency (USEPA)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

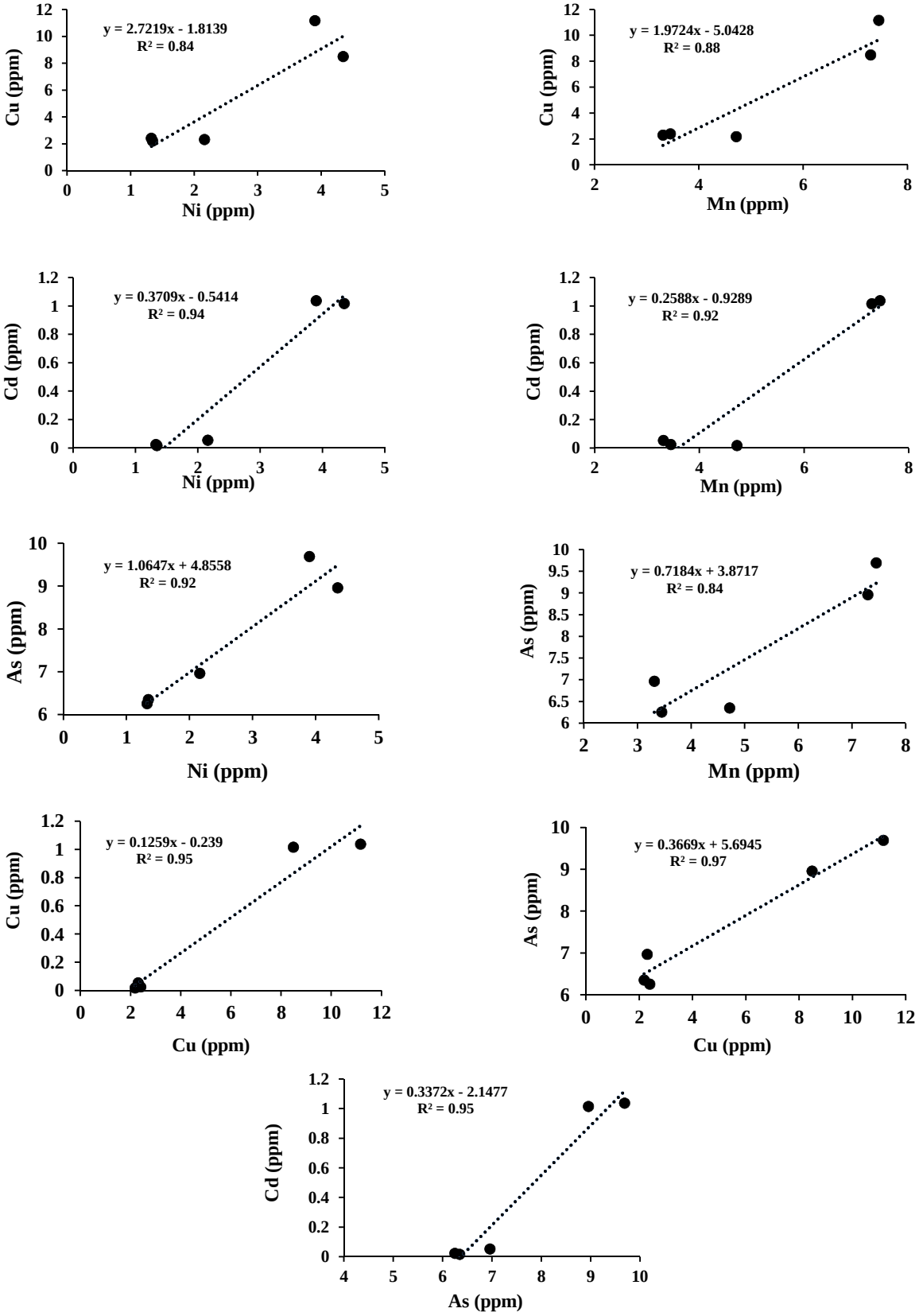

Fig. 2. Correlation between concentrations of heavy metals at different times

شکل ۲- هم‌بستگی بین عناصر سنگین نمونه های آب دریاچه سد در زمان‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

شکل ۲ هم‌بستگی بین غلظت فلزات سنگین مختلف در نمونه‌های آب با زمان را نشان می‌دهد. در تمام این اشکال رابطه بین دو عنصر در سطح ۰/۰۱ درصد مثبت و بسیار معنی‌دار است و با افزایش یا کاهش هر یک عنصر دیگر در زمان مشخص در هنگام نمونه‌برداری افزایش یا کاهش نشان داده است. برای مثال، افزایش غلظت نیکل، مس، کادمیم و آرسنیک در آب‌های نمونه‌برداری شده هم‌زمان اتفاق افتاده است. این امر احتمالاً به‌دلیل منابع ورودی یکسان به آب در آن زمان‌ها است که باعث افزایش هم‌زمان چندین عنصر در آب شده است. نتایج پژوهش‌ها بر منابع مشترک کادمیم، مس و سرب اشاره دارد (Mondal et al., 2018). کادمیم به‌همراه عناصر روی، سرب و مس در پوسته زمین وجود دارد، حال آنکه عنصر جیوه بیشتر منبع آنتروپوژنیک دارد (UNEP, 2002, Mondal et al., 2018).

میانگین عناصر سنگین در گوشت ماهی‌های مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. به‌دلیل اهمیت موضوع پژوهش عناصر سنگین در بافت بدن ماهی‌ها، در زمان نمونه‌برداری در صورت وجود ماهی مرده، به‌منظور بررسی اثر عناصر سنگین بر مرگ ماهی‌ها، هم از ماهی‌های زنده به‌عنوان نمونه شاهد و هم از ماهی‌های مرده نمونه تهیه شد. از طرف دیگر، به‌دلیل حضور ماهی کپور زنده در تمام زمان‌های نمونه‌برداری، مقایسه میانگین برای غلظت عناصر سنگین تنها در این ماهی در زمان‌های مختلف انجام شد که در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق با اعداد این جدول غلظت فلزات مورد بررسی در تمام نمونه‌های ماهی کمتر از حدود تعیین شده استاندارد WHO به‌دست آمد.

آسار و همکاران به‌بررسی غلظت فلزات سنگین در آب و برخی گونه‌های آبزیان در یکی از ذخایر آب کشور غنا پرداختند. آنها در نتایجی مشابه با ما به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین در آب و ماهی‌های بررسی شده در محدوده تعیین شده توسط استانداردهای FAO و WHO بود و از این رو فلزات سنگین برای سلامت انسان و محیط‌زیست خطری ندارند (Asare et al., 2018).

همچنین، بررسی‌های انجام شده توسط دووراک و همکاران مشخص کرد که هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت نقره، سرب، کادمیم، کروم و روی در ماهی و سن ماهی وجود دارد، که این امر نشان‌دهنده افزایش تجمع فلزات سنگین در ماهی با افزایش غلظت آن در آب با زمان است (Dvořák et al., 2015).

فراوانی عناصر سنگین در گوشت ماهی‌ها در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری دارای روند متفاوتی است که در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است غلظت عناصر سنگین مورد بررسی به‌جز کروم در ماه‌های شهریور و مهر در بافت ماهی مرده در مقایسه با نمونه زنده که هم‌زمان برداشت شدند، کمتر است. غلظت فلزات سنگین در ماهی سیاه‌کولی زنده یا مرده نشان داد که این ماهی توانایی کمی در تجمع فلزات سنگین دارد. در زمان‌های نمونه‌برداری خردادماه (۷۹/۰)، شهریور (۹۲/۱) و مهر (۹۵/۸) مقدار روی از سایر عناصر در بدن ماهی بیشتر است و بین تمام زمان‌ها تفاوت معنی‌داری در غلظت روی مشاهده شد که در جدول ۳ نشان داده شده است. عنصر نیکل در اولین برداشت نمونه در اردیبهشت‌ماه بیشتر و با سایر زمان‌ها تفاوت معنی‌داری دارد. آرسنیک، کادمیم، کروم و مس در اردیبهشت و خرداد بیشترین مقدار را دارد.

پژوهشگران مختلف نیز نشان دادند که برخی گونه‌های ماهی دارای بافت فعالی در تجمع فلزات سنگین نیستند (Khan et al., 1989, Karadede and Unlu, 2000, Öztürk et al., 2009). همچنین، مقدار کم فلزات سنگین در بافت ماهی مبین این حقیقت است که جذب و تجمع فلزات سنگین در بافت ماهی‌ها بستگی به نوع غذایی دارد که از آن تغذیه می‌کنند و کمتر به آلودگی موجود در آب بستگی دارد (Farkas et al., 2003, Weber et al., 2013).

چهار عنصر سنگین که بیشترین غلظت‌ها را در بدن کپور زنده در بین سایرین دارند شامل، روی، کروم، مس و نیکل هستند. در پژوهش انجام شده توسط اوزتورک و همکاران (Öztürk et al., 2009) نیز بیشترین غلظت فلزات سنگین در بافت ماهی به مس و نیکل مربوط است. تفاوت در مقدار فلزات سنگین در ماهیان در مناطق و پژوهش‌های مختلف به عوامل مختلفی از جمله شرایط جغرافیایی، محیطی و کیفیت منابع تأمین‌کننده آب، صنایع مجاور، نوع گونه‌های ماهی و بافت‌های مورد آزمایش، شرایط متفاوت فعالیت‌های آزمایشگاهی بستگی دارد (Allen-Gil and Martynov, 1995). ماهی‌ها اغلب با افزایش سن، اندازه و مدت زمان قرارگیری در معرض آلودگی، تجمع بیشتری از فلزات را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

جدول ۳- میانگین عناصر سنگین در بافت ماهی (میکروگرم بر گرم وزن‌خشک)

Table 3. Average concentration of heavy metals in fish tissue (µg g^{-1} dry weight)

Date of sampling		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Zn
21.2.1396	*Cyprinus carpio*	23.6[b]	47.3[a]	83.9[a]	53.6[b]	38.0[b]	3.1[a]	55.0[a]	63.0[d]
	Dead Cyprinus carpio	13.9	ND	45.6	4.8	27.4	1.5	36.0	72.1
19.3.1396	*Cyprinus carpio*	33.7[a]	46.5[a]	77.5b	75.1[a]	26.2[c]	2.2b[c]	36.2[b]	79.0[c]
	Vimba vimba	ND	ND	ND	13.2	ND	0.12	15.0	22.4
23.6.1396	*Cyprinus carpio*	16.3[d]	15.7[c]	25.4[d]	16.3[c]	43.1[a]	1.8[c]	11.9[e]	92.1[b]
	Vimba vimba	ND	ND	38.1	10.0	14.2	ND	26.3	17.7
17.7.1396	*Cyprinus carpio*	17.7[d]	17.5[c]	32.9[c]	11.2[d]	37.5[b]	2.7[ab]	15.0[d]	95.8[a]
	Dead Cyprinus carpio	10.0	11.3	51.2	11.2	21.8	0.41	22.5	62.8
20.11.1396	*Cyprinus carpio*	20.4[d]	21.6[b]	26.2[d]	16.1[c]	17.0[d]	a.9[bc]	24.5[c]	35.7[e]
	Vimba vimba	ND	ND	12.8	4.5	0.32	ND	24.9	31.9
WHO		-	0.2	10	10	0.5	-	0.38 to 0.5	100

ND: These elements were not detectable
Similar letters indicate no significant difference at 5% level with Duncan's test.

بزرگ‌نمایی زیستی ماهی زنده برای عناصر روی، کروم، نیکل، کادمیم، جیوه، آرسنیک، مس و منگنز به‌ترتیب ۰/۱۲، ۰/۰۱، ۰/۰۸، ۰/۴۸، ۰/۰۸۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰۳ محاسبه شد. بیشترین بزرگ‌نمایی مربوط به عنصر کادمیم است. از آنجا که تمامی اعداد محاسبه شده از ۱ کمتر هستند، بنابراین هیچ یک از عناصر تغلیظ زیستی را در پژوهش ما نشان نمی‌دهند. روند افزایش بزرگ‌نمایی زیستی در بین عناصر مورد بررسی به شکل زیر است: Cd> Zn> Ni-Hg> Cr-As> Cu> Mn، در حالی که مورهیت در سال ۲۰۱۲ روند بزرگ‌نمایی زیستی را در ماهی‌ها به شکل Fe> Zn> Cu> Cr> Pb و (Mbeh et al., 2019) به شکل Fe> Zn> Cu> Mn> Pb گزارش کردند (Morhit, 2012).

جدول ۴ نشان همبستگی غلظت فلزات سنگین در گوشت کپور زنده با غلظت فلزات سنگین در آب در زمان‌های مختلف است. به جز دو عنصر منگنز و کروم که همبستگی بین غلظت عناصر سنگین در گوشت ماهی و در آب دیده نشد، در سایر فلزات سنگین همبستگی بسیار مثبت و معنی‌داری بین غلظت در کپور زنده و آب در زمان‌های مختلف دیده شد. به‌عبارتی با افزایش غلظت فلزات سنگین در آب مقدار تجمع آن‌ها در گوشت کپور زنده نیز افزایش می‌یابد.

جان عادله و کردانی در پژوهشی که در رودخانه کرخه در ایران انجام شد، به بررسی غلظت‌های فلزات سنگین در آب و ۳ گونه معمول ماهی پرداختند. فاکتور تجمع زیستی به‌دست آمده توسط آنها، برخلاف نتایج ما که بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی برای عنصر کادمیم به‌دست آمد، برای روی بیشترین و برای کادمیم کمترین مقدار را داشت (Janadeleh and Kardani, 2016). پس می‌توان مقدار فلزات سنگین در نواحی مختلف را تا حدودی به منابع مشخص مانند ماده مادری و معدن یا نامشخص مانند آلاینده‌های کشاورزی و ورود به فلزات به آب زیرزمینی از طرق مختلف آن مربوط دانست.

در نیجریه نیز ارزیابی فلزات سنگین در آب و ماهی موجود در دریاچه آدامو نشان داد که برخلاف نتایج این پژوهش، غلظت فلزات سنگین کروم و سرب در نمونه‌های ماهی بیشتر از مقدار استانداردهای FAO و WHO است و این ماهی‌ها برای مصرف انسانی مناسب نیستند (Sambo et al., 2013).

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2020.211930.2966

جدول ۴- هم‌بستگی بین غلظت‌های اندازه‌گیری شده فلزات سنگین در آب و ماهی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

Table 4. Correlation between measured concentrations of heavy metals in water and fish at different times

Heavy metals in water	Heavy metals concentration in fish							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Zn
As	0.93*	-	-	-	-	-	-	-
Cd	0.84	0.99**	-	-	-	-	-	-
Cr	0.28	0.65	0.77	-	-	-	-	-
Cu	0.92*	0.96**	0.95*	0.98**	-	-	-	-
Hg	-0.02	0.14	0.30	0.20	0.90*	-	-	-
Mn	0.80	0.94*	0.98**	0.91*	-0.07	0.65	-	-
Ni	0.79	0.99**	0.96**	-0.91*	-0.19	0.50	-0.96**	-
Zn	-0.39	-0.45	-0.30	-0.33	-0.76	0.04	-0.59	-0.96**

* Significant correlation at 0.05 level and ** highly significant correlation at 0.01 level.

نتایج پژوهش‌ها عبیدی و همکاران نیز نشان داد غلظت کادمیم و نیکل در ماهی سنگسر از حد مجاز بیان شده در استانداردهای WHO، FAO و مرکز ملی بهداشت و پزشکی استرالیا[1] کمتر است وهیچ‌گونه مشکلی برای مصارف انسانی ایجاد نخواهد کرد (Abidi et al., 2016).

۴- نتیجه‌گیری

عوامل اکولوژیک نقش مهمی در تغییر کیفیت شیمیایی منابع آب دارند. نفوذ فاضلاب‌های شهری و روستایی و همچنین ورود پساب‌های کشاورزی حاوی مواد آلاینده ناشی از استفاده کودهای آلی و شیمیایی سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها، می‌توانند سبب افزایش بار آلودگی رودخانه شوند. نتایج این پژوهش نشان داد که مطابق با استاندارد WHO، در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری غلظت فلزات سنگین آرسنیک و کروم در اردیبهشت‌ماه و جیوه در تمام ماه‌های نمونه‌برداری، برای مصارف شرب محدودیت مصرف خواهند داشت. در حالی که میانگین غلظت این فلزات کمتر از حد مجاز ارائه شده در استاندارد WHO است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات سنگین در زمان‌های مختلف با توجه به منبع تغذیه کننده آب سد تغییر می‌کند. در مورد ماهی‌های بررسی شده در دریاچه سد، نتایج نشان داد که هر زمان غلظت فلزات سنگین در آب سد افزایش داشت، مقدار تجمع فلزات سنگین در ماهی‌ها نیز افزایش داشته است. غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در ماهی‌ها از حد مجاز بیان شده در استانداردهای WHO و FAO کمتر است و هیچ‌گونه مشکلی برای مصارف انسانی ایجاد نخواهد کرد.

۵- قدردانی

اطلاعات این پژوهش مستخرج از طرح تحقیقاتی قراردادی شرکت آب منطقه‌ای همدان (کد طرح: ۹۶/۱۶۲۵/۱۰۱) است.

[1] National Health and Medical Research Council (NHMRC)

References

Abidi, R., Pazira, A., Ghanbari, F. & Maghdani, S. 2016. Determination of heavy metal concentrations of Ni and Cd in muscle and liver tissues of common stony fish (Pomadasys kaakan) in Bushehr Port. *Iranian Journal of Fisheries*, 1**,** 55-65. (In Persian).

Al-Majed, N., Mohammadi, H. And Al-Ghadban, A. & Al-Awadi, A.R. 2000. *Regional Report of the State of the Marine Environment*. Regional Organization for the Protection of the Environment, Kuwait.

Allen-Gil, S. M., & Martynov, V. G. 1995. Heavy metal burdens in nine species of freshwater and anadromous fish from the Pechora River, northern Russia. *Science of the Total Environment,* 160**,** 653-659.

Ardakani, M. R. 2002. *General Ecology*. Tehran University Pub., Tehran, Iran. (In Persian)

www.SID.ir

Asare, M. L., Cobbina, S. J., Akpabey, F. J., Duwiejuah, A. B. & Abuntori, Z. N. 2018. Heavy metal concentration in water, sediment and fish species in the Bontanga Reservoir, Ghana. *Toxicology and Environmental Health Sciences,* 10(1)**,** 49-58.

Athar, M., & Houra, Sh.B. 2007. *Heavy metals and environment*. New Age International Pub., New Dehli, India.

Bhaskar, C. V., Kumar, K., & Nagendrappa, G. 2010. Assessment of heavy metals in water samples of certain locations situated around Tumkur, Karnataka. *India. E-Journal of Chemistry,* 7**,** 349-352.

Bortman, M., Brimblecombe, P., Cuningham, M. A., Cuningham, W. P. & Freedman, W. 2003. *Environmental Encyclopedia* 3rd *ed.* Gale Thomson, USA.

Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A. L. & Ozdemir, N. 2006. Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere,* 63(9)**,** 1451-1458.

Dvořák, P., Andreji, J., Mráz, J., & Dvořáková-Líšková, Z. 2015. Concentration of heavy and toxic metals in fish and sediments from the Morava river basin. *Neuro Endocrinology Letters,* 36**,** 126–132.

El Morhit, M., Fekhaoui, M., El Abidi, A. & Yahyaoui, A. 2013. Metal contamination of *Anguilla anguilla L.* on the Loukkos estuary (Morocco). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, (35)**,** 111-118.

Erfanmanesh, M., & Afyouni, M. 2000. *Environmental Pollution (Water, Soil and Air)*. Arkan Pub., Isfahan, Iran. (In Persian)

Farkas, A., Salánki, J., & Specziár, A. 2003. Age-and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish Abramis brama L. populating a low-contaminated site. *Water Research,* 37(5)**,** 959-964.

Gago-Ferrero, P., Badia-Fabregat, M., Olivares, A., Piña, B., Blánquez, P., Vicent, T., et al. 2012. Evaluation of fungal- and photo-degradation as potential treatments for the removal of sunscreens BP3 and BP1. *Science of the Total Environment,* 427**,** 355-363.

Jabeen, F., & Chaudhry, A. S., 2010. Environmental impacts of anthropogenic activities on the mineral uptake in Oreochromis mossambicus from Indus River in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment,* 166 (1-4)**,** 641-651.

Janadeleh, H. & Kardani, M. 2016. Heavy metals concentrations and human health risk assessment for three common species of fish from Karkheh River, Iran. *Iranian Journal of Toxicology,* 10(6)**,** 31-37.

Karadede, H. & Ünlü E. 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere,* 41(9)**,** 1371-1376.

Kelark, R. B. 2000. Contamination sea, translation Mohammad Ali Mohammadi and Zinab Dashti. *Nasgh and Naghsh Mehr Press***,** 105, 111, 120, 125-129, 136-138 (In parsian).

Khan, A. T., Weis, J. S. & D'andrea, L. 1989. Bioaccumulation of four heavy metals in two populations of Grass Shrimp, Palaemonotes pugio. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,* 42(3)**,** 339-343.

Mbeh, G. M., Kamga, F. T., Kengap, A. K., Atem, W. E. & Mbeng, L. O. 2019. Quantification of heavy metals (Cd, Pb, Fe, Mg, Cu, and Zn) in seafood (fishes and crabs) and evaluation of health risks to consumers in Limbe, Cameroon. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 10**,** 948-957.

Mondal, K., Ghosh, S. & Haque, S. 2018. A review on contamination, bioaccumulation and toxic effect of cadmium, mercury and lead on freshwater fishes. *Internatiaonal Journal of Zoology Studies*, 3(2)**,** 153-159

Nauen, C. E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO Fisheries Circular (FAO).

www.SID.ir

Archive of SID

NSOOI. 2010. *Iranian drinking water standards*. President of the Islamic Republic of Iran, Institute of Industrial Research of Iran. No. 1053. (In Persian)

Opaluwa, O. D., Aremu, M., Ogbo, L., Odiba, I., & Ekpo. E. 2012. Assessment of heavy metals in water, fish and sediments from UKE Stream, Nasarawa State, Nigeria. *Current World Environment,* 7(2)**,** 213-220.

Öztürk, M., Özözen, G., Minareci, O. & Minareci, E. 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam Lake in Turkey. *Journal of Environmental Health Science and Engineering.* 6(2)**,** 73-80.

Pirestani, M. R. a. S., M. 2010. Environmental impact assessment of dam construction. *Research Journal of Human Geography*, 1(3)**,** 39-50. (In Persian)

Paul, S. K. 2001. Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. . *Bulletin of Geological Survey of Japan.* 52(8)**,** 371-382.

Parvaneh, V. 1995. *Qualitative control and chemical testes food materials*. Tehran University Pub., Tehran, Iran. (In Persian).

Rowell, D. L. 1994. *Methods and applications. Soil Science*. Pub. by John Wiley, New York, USA.

Sambo, F., Idris, S., Mohammed, S. & Nasir, A. 2013. Assessment of heavy metals in water and fish from Ibrahim Adamu lake, Jigawa, Nigeria. *Procedings of 28th Annual Conference*. Nigeria.

Shariat Panahi, M. 2001. *Principles of water and wastewater quality*. Tehran University Pub., Thehran, Iran. (In Persian)

UNEP. 2002. *Report of the Global Mercury Assessment Working Group on the Work of its First Meeting*, Geneva, Switzerland.

USEPA. 2005. Office of Water Regulations and Standards.

Vinodhini, R. & Narayanan, M. 2008. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp). *International Journal of Environmental Science and Technology,* 5(2)**,** 179-182.

WHO. 2012. Global Water Supply and Sanitation Assessment.

Weber, P., Behr, E. R., Knorr, C. D. L., Vendruscolo, D. S., Flores, E. M., Dressler, V. et al., 2013. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. *Microchemical Journal,* 106**,** 61-66.

www.SID.ir