ارزیابی حضور فلزات سنگین در نمک و آب دریاچه مهارلو در مقایسه با غلظت آنها در سنگ نمک معادن سیرجان، لار و فیروزآباد

فرحناز ثابت[1] مجتبی بندگانی[1] مهربان صادقی[2]
مسعود حاتمی‌منش[3] محسن میرزایی[3] آرش حق‌شناس[4]

(دریافت ۹۲/۶/۱۴ پذیرش ۹۳/۱/۲۴)

چکیده

دریاچه مهارلو از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران است که در معرض خطرات ناشی از مدیریت آب، برداشت نمک و آلودگی‌های شدید، به‌ویژه فلزات سنگین قرار دارد. در این پژوهش غلظت کروم، مس، آرسنیک، کادمیم و سرب در نمک و آب مناطق شمالی و جنوبی دریاچه مهارلو ارزیابی شد. پس از هضم نمونه‌های برداشت شده از هر بخش، میزان فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. بر اساس میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، ترتیب فلزات در نمونه‌های نمک در شمال و جنوب دریاچه مشابه و به‌صورت Pb <Cd <As <Cu <Cr بود. در نمونه‌های آب، ترتیب مقادیر فلزات در هر دو بخش یکسان (Cd < Pb < As < Cu < Cr) بود. نتایج نشان داد غلظت فلزات موجود در نمک و آب، به‌جز فلز سرب، در بخش شمالی دریاچه نسبت به بخش جنوبی آن بیشتر است. همچنین مقایسه میانگین غلظت فلزات مورد بررسی در نمک دریاچه با سنگ نمک معادن سیرجان، لار و فیروزآباد نشان داد که بیشترین غلظت فلزات مس، کادمیم و سرب در نمک دریاچه و برای آرسنیک و کروم به‌ترتیب در سنگ نمک لار و فیروزآباد وجود دارد. به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات غلظت فلزات در دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه ناشی از ورود فاضلاب‌ها و پساب‌های مختلف شهری، صنعتی و بیمارستانی شهر شیراز و سایر فعالیت‌های انسانی به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی در حوزه‌های منتهی به بخش شمالی دریاچه است و اقداماتی برای پیشگیری در منطقه، بیش از پیش لازم است.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، دریاچه مهارلو، معادن نمک

Heavy Metals in Salt and Water Samples from Maharloo Lake and their Comparison with Metal Concentrations in Samples from Sirjan, Lar, and Firoozabad Salt Mines

F. Sabet[1] M. Bandegani[1] M. Sadeghi[2]
M. Hatami-manesh[3] M. Mirzaei[3] A. Haghshenas[4]

(Received Sep. 5, 2013 Accepted Apr. 13, 2014)

Abstract

Maharloo Lake is one of the most important water ecosystems in Iran, which is nowadays exposed to multiple risks and threats due to poor water management, salt extraction, and heavy metal pollution. In this study, the concentrations of such heavy metals as chromium, copper, zinc, arsenic, cadmium, and lead in both water and salt samples collected from areas in the north and south of the lake were determined by atomic absorption (AA-670G) after the samples had been digested. Results showed that metal concentrations in the salt samples taken from both the northern and southern areas had identical mean values in the order of Cr> Cu> As> Cd> Pb. An almost similar pattern was detected in metal concentrations in water samples taken from the same areas but with a slight difference in the way they were ordered (Cr> Cu> As> Pb> Cd). It was found that both water and salt

۱- کارشناس ارشد اداره استاندارد استان فارس، شیراز
۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد (نویسنده مسئول) ۳۳۳۰۲۹۹ (۰۳۸۱) Sadeghi1ir@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۴- کارشناس ارشد پژوهشکده میگوی کشور، تهران

1. MSc, Standard Bureau, Fars Province, Shiraz
2. Assoc. Prof. of Environmental Engineering, Faculty of Public Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord (Corresponding Author) (+98 381) 3330299 Sadeghi1ir@yahoo.com
3. MSc Student of Natural Resources Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran
4. MSc, Institute of Shrimp, Tehran, Iran

samples collected from the northern areas had higher metal concentrations, except for that of Pb which was slightly lower. Comparison of the mean values of metal concentrations in the Salt Lake and those of Sirjan, Lar, and Firoozabad salt mines revealed that copper, cadmium, and lead had their highest concentrations in the Salt Lake while arsenic and chromium recorded their highest values in samples taken from Lar and Firoozabad salt mines, respectively. Based on these findings, it may be concluded that the increased metal concentrations observed in samples from both northern and southern areas of the lake are due to the sewage and effluents from urban, industrial, and hospital sources in Shiraz disposed into the lake as well as such other human activities as farming in the areas around the lake, especially in the northern stretches. These observations call for preventive measures to avoid further water quality degradation in the area.

Keywords: Heavy Metals, Maharloo Lake, Table Salt.

۱- مقدمه

توسعه صنایع، افزایش بی‌رویه جمعیت بشر، گسترش شهرها و روستاها و به‌دنبال آن توسعه صنعت کشاورزی و استفاده از کودها و سموم دفع آفات، موجب می‌شود تا میزان فراوانی فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی که آلاینده‌های خطرناک محیط‌زیستی مختلف، به‌ویژه فلزات سنگین دارند، وارد اکوسیستم‌های آبی شود[۱]. دریاچه مهارلو نیز از این قاعده مستثنی نیست و به‌دلیل ورود پساب‌های کشاورزی مختلف اطراف آن به‌همراه فاضلاب شهری و صنعتی شهر شیراز، از طریق رودخانه‌های خشک و چنار راهدار شیراز که به‌ترتیب از بافت متراکم شهر شیراز و حاشیه جنوب شرقی آن عبور می‌کنند، در معرض تجمع آلاینده‌های خطرناک محیط‌زیستی مختلف، به‌ویژه فلزات سنگین قرار دارد. تجمع این آلاینده‌ها می‌تواند منجر به صدمات و تغییرات اکولوژیکی جدیدی به این اکوسیستم و موجودات زنده آن شود.

به‌دلیل پایداری فلزات سنگین در محیط زیست، ورود آن‌ها به اکوسیستم‌های مختلف می‌تواند مشکلات فراوانی را برای بشر و موجودات زنده این اکوسیستم‌ها به بار آورد. یکی از نتایج مهم پایداری فلزات، تجمع آنها در طول زنجیره غذایی است. به‌طوری که این عناصر پس از ورود به بدن موجودات زنده در اثر فعل و انفعالات شیمیایی مختلف، به مواد سمّی و خطرناکی تبدیل می‌شوند و سبب بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی موجودات زنده شده و حتی می‌توانند موجب مرگ موجود شوند[۲ و ۳]. زنجیره و رژیم غذایی از مهم‌ترین مسیرهایی است که انسان از طریق آنها تحت تأثیر فلزات سنگین قرار می‌گیرد. هر چند وجود برخی از عناصر همچون مس، روی و کروم، به‌میزان کم در رژیم غذایی انسان، به‌عنوان عناصر ضروری برای عملکرد ارگانیسم‌های زنده، بسیار مناسب و حیاتی هستند، اما اگر غلظت این عناصر بیش از حد طبیعی باشند، جزء فلزات سمّی و خطرناک به‌حساب می‌آیند و می‌توانند تهدیدی جدی برای محیط پذیرنده خود محسوب شوند [۴ و ۵].

دریاچه مهارلو یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران است که دارای تنوع زیستی بسیار بالا بوده و زیستگاه مناسبی برای حیات وحش منطقه است. این دریاچه در معرض خطرات متعدد و فعالیت ناپایدار کننده، به‌ویژه اقدامات مربوط به مدیریت آب، برداشت نمک و آلودگی‌های شدید از منابع مختلف قرار دارد. فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زباله‌های ریز و درشت شهر شیراز و روستاهای اطراف تالاب مهارلو به‌همراه پساب‌های کشاورزی و رواناب‌ها، با تمام آلودگی و املاح خود از طریق رودخانه خشک شیراز، به تالاب می‌رسند. از جمله مهم‌ترین آلودگی‌هایی که وارد دریاچه می‌شوند، فلزات سنگین و محلول همراه آن است که این عناصر با نمک و رسوبات، واکنش داده و به‌صورت جذب سطحی پیوند سولفیدی و آلی وارد نمک و رسوبات می‌شوند.

نمک طعام یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین مکمل‌های غذایی انسان است که از چشمه‌های شور، گنبدهای نمکی، شوراب‌ها، رودخانه‌ها، دریاها و دریاچه‌ها تأمین می‌شود و در بسیاری از کشورهای جهان، برای بهبود طعم و مطلوبیت غذای مصرفی از آن استفاده می‌شود[۶]. سابقه برداشت نمک از دریاچه‌های نمکی حداقل به شش‌هزار سال قبل از میلاد برمی‌گردد[۷]. از آنجایی که ممکن است این محیط‌ها و نمک‌های به‌دست‌آمده از آنها، آلوده به فلزات سمّی باشند، پژوهشگران زیادی آلودگی فلزات را در محیط معادن و نمک تصفیه‌شده بررسی کرده‌اند[۷، ۸ و ۹]. اسپریاندوف و همکاران در سال ۱۹۹۸، به مطالعه تعیین غلظت فلزات سمّی در آب‌های شور و شیرین و لیندرس و همکاران در سال ۱۹۹۶، فعل و انفعالات و تأثیر فلزات را در تالاب‌های نمکی بررسی کردند [۱۰ و ۱۱].

بنابراین با توجه به اهمیت نمک در رژیم غذایی انسان و برداشت آن از دریاچه مهارلو، همچنین به‌منظور شناخت اهمیت و پتانسیل بالقوه محیط زیستی این دریاچه، آگاهی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آن اهمیت زیادی دارد. با توجه به مطالب گفته شده انجام چنین مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی خطرات بهداشت عمومی و محیط زیستی ناشی از حضور آلاینده‌های سمّی شهری، صنعتی و کشاورزی محیط‌های آبی و مواد دریافتی از آن، ضروری

به نظر می‌رسد. در این پژوهش میزان تجمع فلزات مس، سرب، آرسنیک، کادمیم و کروم در نمک و آب مناطق جنوبی و شمالی دریاچه مهارلو بررسی شد. همچنین نمک برداشت شده از این دریاچه با سنگ نمک موجود در معادن سیرجان، لارستان و فیروزآباد، از نظر میزان فلزات سنگین مقایسه شد.

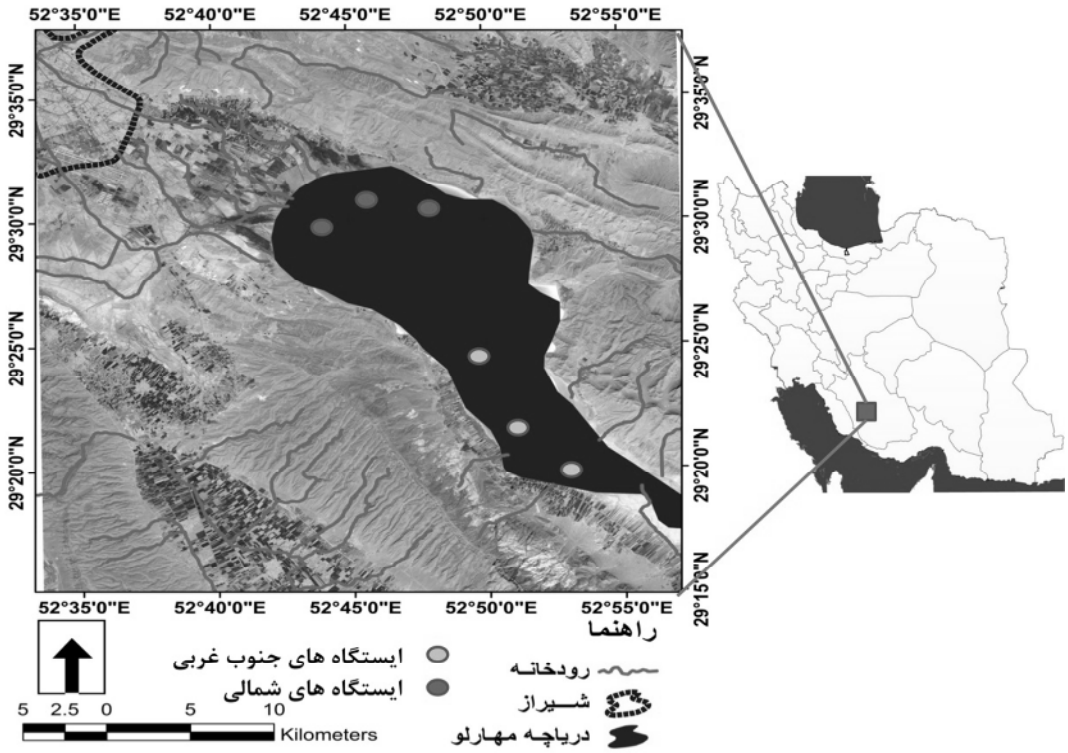
۲- مواد و روش‌ها

پس از بررسی نقشه منطقه مورد مطالعه و بازدید از آن به‌منظور ارزیابی، عوامل مختلف محیط زیستی و تغییرات احتمالی آلودگی فلزات سمّی در دریاچه مهارلو بررسی شد. با توجه به نوع پساب فاضلاب‌های صنعتی موجود در نزدیکی دریاچه، کادمیم، سرب، آرسنیک، مس و کروم به‌عنوان فلزات سنگین شاهد انتخاب شدند. نمونه‌برداری در اردیبهشت ۱۳۸۹، از نمک و آب بخش‌های شمال و جنوبی دریاچه صورت گرفت. به این منظور از هر بخش، سه ایستگاه انتخاب و از هر ایستگاه سه بار برداشت شد (شکل ۱).

برای انجام نمونه‌برداری از نمونه‌های نمک، ابتدا از نمک کف دریاچه با استفاده از وین‌گرب نمونه برداشته شد. سپس در فویل آلومینومی پیچیده و پس از کدگذاری در کلمن یخ قرار داده شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سلسیوس تا انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. به‌منظور آماده‌سازی نمونه‌های نمک کف دریاچه برای هضم، ابتدا نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس یک گرم از هر نمونه خشک‌شده در لوله‌های هضم[1] ریخته شد و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد محصول شرکت مرک آلمان[2] و اسید پرکلریک ۶۷ درصد با نسبت ۱ به ۴ به آن اضافه شد. لوله‌های PTFE ابتدا به‌مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بر روی هیتر گذاشته شدند، سپس دما به‌آرامی افزایش یافت و لوله‌ها به‌مدت سه ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک و قیف پلی‌اتیلنی عبور داده شدند و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند. برای کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه شاهد نیز در کنار سایر نمونه‌ها همانند نمونه‌های مورد بررسی تهیه شد[۱۲].

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات در آب دریاچه، نمونه‌برداری از آب دریاچه در ظروف پلی‌اتیلنی انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، عمل هضم انجام شد. ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه‌های آب برداشته شد و ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه و سپس در زیر هود حرارت داده شد تا به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید. نمونه‌های هضم‌شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرومتر عبور کردند و با آب دیونیزه، به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند[۱۳]. نهایتاً غلظت فلزات مس، سرب، آرسنیک، کادمیم و کروم در نمک و آب دریاچه توسط

[1] Polytetrafluoroethylene (PTFE)
[2] Merck



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

دستگاه جذب اتمی کمپانی شیمادزو[1] مجهز به سیستم گرافیتی اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش از نرم‌افزارهای SPSS 17 و Excel برای تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد. برای آزمایش نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک[2] استفاده شد. برای مقایسه میانگین داده‌های هر بخش و تشخیص معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، پس از اثبات نرمال بودن داده‌ها از آزمون T- جفتی و برای مقایسه میانگین فلزات سنگین در نمک معادن یاد شده از آزمون آنوا[3] با سطح اطمینان ۹۵ درصد (p برابر ۰/۰۵) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

میانگین، خطای استاندارد و محدوده غلظت فلزات بررسی شده در نمک و آب بخش‌های شمال و جنوبی دریاچه مهارلو در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده، میانگین ترتیب مقادیر فلزات نمونه‌های نمک، در بخش‌های شمال و جنوبی دریاچه مشابه هم و به‌ترتیب Pb<Cd<As<Cu<Cr بود؛ اما در نمونه‌های آب دریاچه ترتیب غلظت فلزات در هر دو بخش یکسان و با اندکی تفاوت نسبت به نمک به‌صورت Cd< Pb<As<Cu<Cr بود. برای نمونه‌های نمک میانگین± خطای استاندارد به‌ترتیب در دو بخش شمال و جنوبی برای فلزات کروم ۱/۷۸±۷/۵ و ۲/۴۷±۴/۷۵، آرسنیک ۰/۰۸۸±۰/۵۵ و ۰/۰۵۸±۰/۴۸، مس ۰/۱۳±۱/۳۴ و ۰/۰۹۸±۰/۷۸، سرب ۰/۰۶۲±۰/۲و ۰/۱۰۶±۰/۱۸ و کادمیم ۰/۰۶۱ ±۰/۴۴و ۰/۰۶۱±۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. درحالی که در نمونه‌های آب برای فلز کروم ۱/۱۸±۳/۱۴ و ۰/۸۳±۱/۷۶، آرسنیک ۰/۰۸۸±۰/۱۳ و ۰/۰۵۸±۰/۰۹، مس ۰/۱۳±۰/۲۴ و ۰/۰۹۸±۰/۱، سرب ۰/۰۲۵±۰/۱و ۰/۰۴۷±۰/۱۴ و کادمیم ۰/۰۱۶ ±۰/۰۶و ۰/۰۰۶±۰/۰۲۴ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. در بین فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های نمک و هم در آب دریاچه، فلز کروم دارای بیشترین غلظت بود و فلز سرب و کادمیم کمترین غلظت را داشتند.

نتایج نشان داد، بین مقادیر فلزات مس، کادمیم و کروم در نمونه‌های نمک شمالی و جنوبی دریاچه اختلاف معنی‌داری وجود دارد، درحالی که برای دو فلز آرسنیک و سرب در سطح ۹۵ درصد این اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین مقایسه میانگین نمونه‌های آب در دو بخش شمالی و جنوبی نشان داد که برای فلزات آرسنیک و سرب، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵)؛ اما برای فلزات کروم، مس و کادمیم در این دو بخش اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۵) که در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده است.

مقایسه غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در این پژوهش، با مقادیر آنها در نمونه‌های نمک حاصل از معادن سیرجان، فیروزآباد و لارستان نشان می‌دهد که میانگین ترتیب غلظت فلزات در نمونه‌های نمک معادن مورد بررسی، به‌ترتیب برای فلز مس در مهارلو، لار، فیروزآباد و سیرجان، کروم در فیروزآباد، سیرجان، لار و مهارلو، آرسنیک در لارستان، مهارلو، سیرجان و فیروزآباد، کادمیم در مهارلو، لارستان، سیرجان و فیروزآباد و سرب در مهارلو، سیرجان، لارستان و فیروزآباد بود. به‌طور کلی طبق این نتایج، بین میانگین غلظت نمک دریاچه با سنگ نمک معادن سیرجان، لار و

جدول۱- مقایسه میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار غلظت فلزات در نمک، در بخش‌های شمالی و جنوبی دریاچه برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

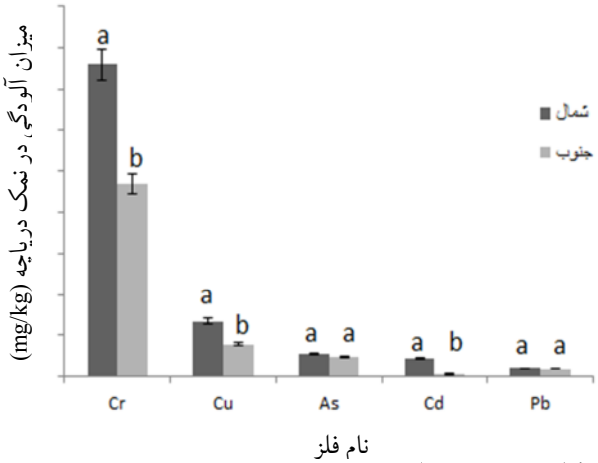
	ناحیه	میانگین	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد
مس	شمال	۱/۳۴	۰/۱۳	۲/۱۹	۰/۱۳
	جنوبی	۰/۷۸	۰/۰۹	۱/۲	۰/۰۹۸
آرسنیک	شمال	۰/۵۵	۰/۱۲	۰/۸۵	۰/۰۸۸
	جنوبی	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۹	۰/۰۵۸
کروم	شمال	۷/۵	۵/۴	۱۱/۴۴	۱/۷۸
	جنوبی	۴/۷۲	۱/۴۵	۸/۹	۲/۴۴
کادمیم	شمال	۰/۴۴	۰/۰۳	۰/۸۷	۰/۱۱
	جنوبی	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۱
سرب	شمال	۰/۲	۰/۰۲	۰/۴	۰/۰۶
	جنوبی	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۷	۰/۱

جدول۲- مقایسه میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار غلظت فلزات درآب در بخش‌های شمالی و جنوبی دریاچه برحسب میلی‌گرم در لیتر

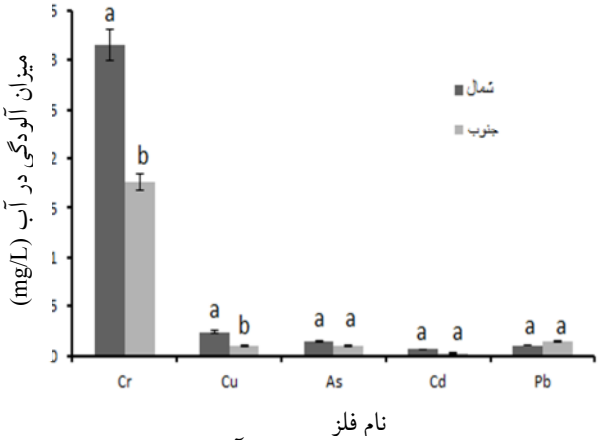
	ناحیه	میانگین	حداقل	حداکثر	خطای استاندارد
مس	شمال	۰/۲۴	۰/۱	۰/۴	۰/۰۳۶
	جنوبی	۰/۱	/۰۵	۰/۲	۰/۰۱۴
آرسنیک	شمال	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۰۸
	جنوبی	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۱۷
کروم	شمال	۳/۱۴	۱/۲	۵/۲	۱/۱۸
	جنوبی	۱/۷۶	۰/۸۹	۳/۱۲	۰/۸۳
کادمیم	شمال	۰/۰۶	ND	۰/۱	۰/۰۱۶
	جنوبی	۰/۰۲	ND	۰/۰۴	۰/۰۰۶
سرب	شمال	۰/۱۱	ND	۰/۲	۰/۰۲۵
	جنوبی	۰/۱۴	ND	۰/۳	۰/۰۴۷

ND غیرقابل تشخیص

[1] Shimadzu/AA-670G
[2] Shapiro–Wilk
[3] ANOVA

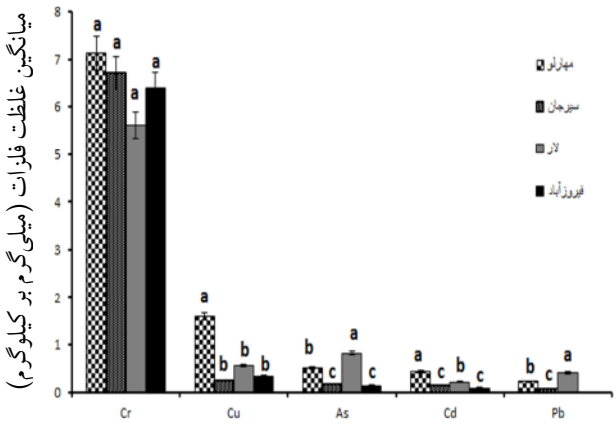


شکل۲- مقایسه میانگین غلظت فلزات در نمک بخش شمالی و جنوبی دریاچه، برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم



شکل۳- مقایسه میانگین غلظت فلزات در آب در بخش شمالی و جنوبی دریاچه، برحسب میلی‌گرم در لیتر

سرب، به‌ترتیب در سنگ نمک معادن فیروزآباد و لارستان مشاهده شد (شکل ۴).



شکل۴- مقایسه میانگین غلظت نمک دریاچه با نمک معادن سیرجان، لار و فیروزآباد برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

فیروزآباد برای فلزات آرسنیک، مس، سرب و کادمیم در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. درحالی که برای فلز کروم در بین معادن مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین غلظت فلزات مس، کروم و آرسنیک در نمک دریاچه مهارلو به‌دست آمد، درحالی که برای فلزات کادمیم و امروزه ورود آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سمّی به اکوسیستم‌های آبی در پی فعالیت‌های انسانی، یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی در سراسر جهان است. دریاچه مهارلو از جمله اکوسیستم‌هایی است که از فعالیت‌های مختلف انسانی همچون برداشت نمک، فعالیت‌های گردشگری، تفریحی و هجوم انواع آلاینده‌های آلی و معدنی از مسیرهای مختلف به‌ویژه از طریق رودخانه‌های منتهی به آن، متأثر است[۱۴ و ۱۵].

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، برای تمام فلزات مورد بررسی در نمونه‌های نمک، بیشترین غلظت در نمونه‌های شمال دریاچه مشاهده شد. همچنین در نمونه‌های آب دریاچه به‌جز فلز سرب برای سایر فلزات مانند مس، کروم، آرسنیک و کادمیم هم بیشترین غلظت در شمال دریاچه به‌دست آمد. به‌طور کلی بخش شمالی دریاچه، به دلایلی همچون نزدیکی بیشتر به زمین‌های کشاورزی اطراف و ورودی رودخانه‌های منتهی به دریاچه از جمله رودخانه خشک و رودخانه چنار راهدار شیراز، بیشتر به فلزات سنگین آلوده است. با توجه به اینکه رودخانه خشک شیراز از درون بافت متراکم این شهر می‌گذرد، انواع آلاینده‌های شهری شامل فاضلاب‌های خانگی، تجاری و صنعتی را جمع‌آوری نموده و به سمت دریاچه، به‌ویژه بخش شمالی آن هدایت می‌کند. بنابراین به‌دلیل آلودگی بسیار فاضلاب‌های شهری به فلزات سنگین و سپس ورود آنها به دریاچه از مسیر رودخانه خشک یا رودخانه چنار راهدار شیراز، می‌توان این احتمال را داد که بیشتر بودن غلظت فلزات سنگین در بخش شمالی، به‌دلیل این است که آب این بخش بیشتر از مسیر این رودخانه‌ها و پساب مزارع کشاورزی می‌گذرد.

بنایی در سال ۱۳۷۵، منبع اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی، دریاچه و خاک حوزه آبخیز دریاچه را ورود فاضلاب‌های شهری و کشاورزی عنوان کرد[۱۶]. علاوه بر این نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در نمک و آب بخش‌های جنوبی و شمال تفاوت معنی‌داری ندارند و حتی برعکس سایر عناصر مورد بررسی، میانگین غلظت آن در نمونه‌های آب بخش جنوبی دریاچه بیشتر از بخش شمالی دریاچه است. با توجه به عبور جاده شیراز- بندرعباس از کنار دریاچه و تردد روزانه خودروهای فراوان از آن به‌ویژه در فصل بهار می‌توان این احتمال را داد که غلظت بالای فلز سرب در بخش جنوبی دریاچه، ناشی از سرب موجود در

سوخت خودروهای عبوری و ریزش‌های اتمسفری در بخش جنوبی دریاچه باشد. اگرچه بسیاری از پژوهش‌ها منشاء فلز سرب را در نتیجه سوخت‌های فسیلی، صنایع پتروشیمی و بهره‌برداری از معادن بیان کرده‌اند، اما منابع دیگر این فلز شامل تخلیه پساب‌های شهری و ریزش‌های جوی در محیط‌های آبی است[۱۷]. بنابراین بر اساس مطالعات صورت گرفته برای یافتن منشاء فلزات، وجود سرب در منطقه مطالعاتی احتمالاً می‌تواند به‌دلیل نزدیکی جاده شیراز- بندرعباس به دریاچه، ریزش‌های جوی، ورود پساب‌های شهری و صنعتی شهر شیراز به آن باشد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین مقادیر فلزات کروم، مس، سرب، کادمیم و آرسنیک در نمک دریاچه مهارلو با سنگ نمک معادن سیرجان، لار و فیروزآباد نشان داد که بین میانگین مقادیر فلزات مس، سرب، کادمیم و آرسنیک در نمک دریاچه مهارلو با سایر معادن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این بین مقادیر فلزات مس، کروم و آرسنیک در دریاچه نسبت به سایر معادن غلظت بیشتری دارند. با توجه به وجود مزارع کشاورزی وسیع در اطراف دریاچه و رودخانه‌های منتهی به آن، همچنین ورود زهاب این مزارع به رودخانه‌های منتهی به دریاچه و ورود فاضلاب‌های صنعتی، زباله‌های فلزی ناشی از کارگاه‌های در و پنجره‌سازی تعمیرات اتومبیل شهر شیراز به رودخانه خشک، می‌توان این احتمال را داد که بالا بودن فلزات مس، کروم و آرسنیک در نمک دریاچه نسبت به نمک سایر معادن، ناشی از ورود فاضلاب شهری و شسته شدن آرسنیک در مزارع کشاورزی و ورود آن به رودخانه‌ها و سپس دریاچه باشد[۱۸].

به‌طور کلی نتایج نشان داد که در بین فلزات مورد بررسی، فلز کروم نسبت به سایر فلزات در سنگ نمک معادن مختلف بیشترین غلظت را دارد. الصاق در سال ۱۳۹۰، میانگین غلظت کروم را در نمونه‌های سنگ نمک تصفیه نشده ۲/۵۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک به‌دست آورد. درحالی که در مطالعه حاضر به‌ترتیب کمترین و بیشترین غلظت آن برای مهارلو و لارستان به‌میزان ۸/۱۴ و ۶/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد[۱۹]. وی همچنین غلظت فلزات سرب، مس و کادمیم را به ترتیب ۱/۲۱، ۰/۸ و ۰/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌دست آورد که در مقایسه با غلظت‌های به‌دست‌آمده از نمک دریاچه مهارلو به جز فلز سرب غلظت کمتری دارد.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین غلظت فلزات در نمک با نمونه‌های آب نشان داد، برای فلزات کروم، کادمیم، مس و سرب در سطح ۵ درصد همبستگی معنی‌داری وجود دارد، درحالی که برای فلز آرسنیک همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۳). با توجه به استفاده از سموم حاوی فلز آرسنیک در صنعت کشاورزی به‌عنوان حشره‌کش و قارچ‌کش، به‌ویژه در فصل بهار و سپس ورود فاضلاب‌های کشاورزی به‌میزان بیشتر، نسبت به سایر فصل‌ها می‌توان این احتمال را داد که عدم همبستگی بین غلظت آرسنیک در نمک و آب دریاچه در مقایسه با سایر فلزات مورد بررسی، ناشی از ورود میزان پساب‌های کشاورزی حاوی میزان متفاوت آرسنیک به دریاچه، علاوه بر سایر پساب‌ها است.

جدول۳- بررسی میزان همبستگی بین غلظت فلزات در نمک و آب دریاچه مهارلو

	مس	کروم	آرسنیک	کادمیم	سرب
ضریب تعیین	۰/۵۷۲	۰/۵۵۷	۰/۰۳	۰/۷۷	۰/۵۵
ضریب معنی‌داری	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۹۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱۴

فرقانی و همکاران در سال ۲۰۰۹، غلظت فلزات سنگین در رسوبات دریاچه مهارلو را بررسی کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در بین فلزات مورد بررسی، غلظت فلزات نیکل، کروم، روی، سرب، مس، کادمیم و آرسنیک به‌ترتیب دارای بیشترین غلظت به‌میزان ۷۸/۳، ۱۳/۸، ۳۸/۲، ۳۷، ۲۹، ۴/۴ و ۲/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین آنها بیان کردند که قسمت‌های شمالی دریاچه از لحاظ غلظت فلزات سنگین بسیار غنی‌تر هستند[۲۰]. آنها دلیل اصلی این افزایش غلظت را ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی شهر شیراز به بخش‌های شمالی دریاچه از مسیر رودخانه خشک شیراز دانستند. نتایج حاصل از بررسی مقایسه بین غلظت به‌دست آمده با مطالعه حاضر نشان از پایین بودن غلظت فلزات در نمک دریاچه، نسبت به رسوبات دریاچه دارد؛ اما نتایج حاصل از بررسی آنها نشان می‌دهد که غلظت این فلزات برای اکثر فلزات به جزء نیکل، در بخش‌های شمالی بیشتر از بخش‌های جنوبی و مرکزی دریاچه است. در مطالعه دیگری صلاتی و همکاران در سال ۲۰۱۰، به بررسی غلظت فلزات Zn، Mn، Cr، Ni، Pb، Cu و Cd در آب و رسوبات رودخانه خشک شیراز پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که غلظت فلزات در آب و رسوبات به‌ترتیب به‌صورت Zn>Mn>Cr>Ni>Pb>Cu>Cd و Zn>Mn>Cr>Ni>Pb>Cu>Cd است و در پایان آنها دلیل افزایش و تغییرات غلظت فلزات را ناشی از ورود فاضلاب‌های مختلف شهر شیراز به این رودخانه دانستند[۲۱].

نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات در آب رودخانه با میانگین آنها در آب دریاچه مهارلو نشان داد که غلظت فلزات در آب رودخانه به‌جز برای سرب، نسبت به غلظت آنها در مطالعه حاضر

جدول۴- مقایسه حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌ها در نمک خوراکی بانمک دریاچه مهارلو[۲۳]

فلز	حداکثر مقدار مجاز (µg/g)	میانگین فلز در نمک دریاچه (µg/g)
آرسنیک	۰/۵	۰/۵۴
مس	۲	۱/۰۶
کادمیم	۰/۵	۰/۲۵
سرب	۱	۰/۱۹
کروم	-	۶/۱۴

کمتر است. مور و همکاران در سال ۲۰۰۹، غلظت فلزات Cd، Co، Cu، Fe، Pb، Ni، Zn، Mn، Cd و As را در آب دریاچه مهارلو به‌ترتیب برابر ۲/۸۸، ۰/۳۷، ۰/۲۸، ۱۰/۴، ۵/۱۷، ۲/۳۶، ۰/۳۷ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و برای As و Cr کمتر از حد تشخیص دستگاه به‌دست آوردند. نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی آنها با مطالعه حاضر نشان از بالا بودن غلظت کادمیم و آرسنیک در مطالعه حاضر نسبت به مطالعه آنها دارد[۲۲].

نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات در نمک دریاچه مهارلو با حداکثر مجاز غلظت فلزات سمّی در نمک خوراکی، در جدول ۴ ارائه شده است. مقایسه نمک دریاچه با حداکثر مجاز آلاینده‌ها در نمک خوراکی نشان می‌دهد که غلظت فلزات مس، سرب و کادمیم در نمک دریاچه، کمتر از حداکثر غلظت مجاز آنها در نمک خوراکی است؛ اما برای فلز آرسنیک، این مقدار بیشتر از حداکثر مجاز آن در نمک است. با توجه به وجود مزارع کشاورزی وسیع در اطراف دریاچه و رودخانه‌های منتهی به آن و همچنین ورود زهاب این مزارع به این رودخانه‌ها، می‌توان این احتمال را داد که بالا بودن آرسنیک در نمک دریاچه، می‌تواند ناشی از ورود فاضلاب شهری و شسته شدن آرسنیک در مزارع کشاورزی و ورود آن به رودخانه‌ها و سپس دریاچه باشد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کیفیت شیمیایی آب و نمک دریاچه در بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی، در سطح بالاتری است و آلودگی فلزات سنگین نیز در این تحقیق کمتر است. به‌طوری که نمک بخش شمالی برای تمامی فلزات نام‌برده، میانگین غلظت بالاتری داشت. با توجه به ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی و بیمارستانی شهر شیراز به رودخانه‌های منتهی به دریاچه، یعنی رودخانه خشک و چنار راهدار شیراز و همچنین مزارع کشاورزی وسیع اطراف دریاچه و ورود زهاب آنها به رودخانه‌های منتهی به دریاچه به‌ویژه بخش شمالی آن، می‌توان به این نتیجه رسید که غلظت بالای فلزات در نمک و آب دریاچه، ناشی از ورود فاضلاب‌های شهر شیراز و کودها و سموم مورد استفاده در کشاورزی، از طریق رودخانه‌های منتهی به دریاچه است. با توجه به اهمیت نمک و آب در زندگی موجودات زنده، به‌ویژه زندگی انسان، کیفیت و درجه خلوص و ناخالصی‌هایی چون فلزات سنگین در معادن نمک و محیط‌های برداشت آنها باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

۵- منابع

1. Lamanso, C.Y., and Chan, R. K. (1991). "Metal concentration in the tissue of rabbitfish collected from Tolo Harbour in Hong Kong." *J. of Marine Pollution Bulletin*, 39(1), 123-134.
2. Stewart, A. (1999). "Accumulation of Cd by a freshwater mussel (Pyganodon grandis) is reduced in the presence of Cu, Zn, Pb, and Ni." *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(3), 467-478.
3. Islam, E.U., Yang, X., and Mahmood, Q. (2007). "Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops." *J. of Zhejiang University-Science*, 8(2), 1-13.
4. Domska, D., and Warechowska, M. (2009). "The Effect of the municipal waste landfill on the heavy metals content in soil." *J. of Contemporary Problems of Management and Environmental Protection*, 4(1), 95-105.
5. Khosravi, B.N., and Ghasempouri, M.M. (2011). "Survey of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) contamination in sediment of three sites Anzali Wetland." *Iran. J. of Health and Environ*, 4(3), 223-232.
6. Soylak, M., Peker, D.S., and Turkoglu, O. (2008). "Heavy metal contents of refined and unrefined table salts from Turkey, Egypt and Greece." *J. of Environmental Monitoring and Assessment*, 143(6), 267-272.
7. Cheraghali, A.M., Kobarfard, F., and Faeizya, N. (2010). "Heavy metals contamination of table salt consumed in Iran." *Iranian J. of Pharmaceutical Research*, 9(4), 129-132.

8. Siddique, M.A., and Aktar, M. (2012). “Heavy metals in salt marsh sediments of porteresia bed along the Karnafully River coast, Chittagong.” *J. of Soil and Water Res.*, 7(3), 117-123.
9. Khaniki, G., Dehghani, M.H., Mahvi, A.H., and Nazmara, S. (2007). “Determination of trace metal contaminants in edible salts in Tehran (Iran) by atomic absorption spectrophotometry.” *J. of Biol. Sci.*, 7(3), 811-814.
10. Leendertse, P.C., Scholten, M.C., and VanderWal, J.T. (1996). “Fate and effects of nutrients and heavy metals in experimental salt marsh ecosystems.” *J. of Environmental Pollution*, 94(6), 19-29.
11. Eksperiandova, L., Makarovska, Y., and Blank, A. (1998). “Determination of small quantities of heavy metals in water-soluble salts and natural water by X-ray fluorescence.” *J. of Analytica Chimica Acta*, 371(7), 105-108.
12. Yap, C., Ismail, A., Tan, S., and Omar, H. (2002). “Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia.” *J. of Environment International*, 28(5), 117-126.
13. Salati, S., and Moore, F. (2010). “Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran.” *J. of Environmental Monitoring and Assessment*, 164(8), 677-689.
14. Molayusefi, M.M., and Hayati, B. (2010). “Estimate the recreational value of the lake Shiraz Maharlu using contingent valuation.” *J. of Iran's Natural Resources*, 63(3), 291-301. (In Persian)
15. Mohamadi, H., Kafilzade, F., and Kadivar, E. (2007). “Isolation of bacteria degrading polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from the Maharloo Lake and the effect of salt concentration on PAH degradation.” *J. of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 5(1), 67-77. (In Persian)
16. Banayi, K. (1996). “Contamination of soil and water in the lake catchment area Maharlu.” Province Department of Environmental Protection, Tehran. (In Persian)
17. Haritonidis, S., and Malea, P. (1999). “Bioaccumulation of metals by the green alga Ulva rigida from Thermaikos Gulf, Greece.” *J. of Environmental Pollution*, 104(5), 365-372.
18. Kafilzadeh, F., Kargar, M., and Kadivar, E. (2006). “Concentrations of Cd, Zn, Cu, Fe and Ni in the dry river near Shiraz and some crops.” *J. of Environmental Science and Technology*, 67(3), 67-75. (In Persian)
19. Alsagh, A. (2012). “Determination of heavy metals Ni, Cr, Mn and Co in Salt obtained by water treatment and uts comparison with rock salt.” *J. of Iranian Food Science and Technology Research*, 7(4), 340-336.
20. Forghani, G., Moore, F., Lee, S., and Qishlaqi, A. (2009). “Geochemistry and speciation of metals in sediments of the Maharlu Saline Lake, Shiraz, SW Iran.” *J. of Environmental Earth Sciences*, 59(1),173-184.
21. Salati, S., and Moore, F. (2010). “Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran.” *J. of Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1/4), 677-689.
22. Moore, F.G., Forghani, and Qishlaqi, A. (2009). “Assessment of heavy metal contamination in water and surface sediments of the Maharlu Saline Lake, SW Iran.” *Iran J. of Sci. Technol.*, 33(1), 43-55.
23. Institute of Standards and Industrial Research. (2009). *Food and feed-maximum limit of heavy metals*, 1st Ed., Islamic Republic of Iran, Tehran. (In Persian)