13(3) 363-372, Autumn 2021

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Assessment of heavy metals and PAHs concentration of water in Neour Lake (Ardbil Province)

Hadi Babaei* [*1], Hossein Saberi [1], Nima Pourang [2], Seyed Hojat Khodaparast [1], Hojat Mohsenpour [1]

[1]*Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Anzali, Iran*
[2]*Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran*

Key Words
Heavy metals
GC/MS
Neour lake
Ardebil

Abstract

Introduction: This study investigates the presence of heavy metals and 16PAHs of the Neour lake water, in Ardbil Province.

Materials & Methods: The concentration of heavy metals was determined using atomic absorption spectrometry and the concentration of petroleum compounds (PAHs) was determined using gas chromatography (GC / MS).

Result: The results of heavy metals analysis of Neour lake water in the cat that the level of heavy metals of Cd, Pb, Co and Cr low. The concentration of those heavy metals in most water sample was under the detection limit of atomic absorption device. The Fe level and then Zn were camper tom other heavy metals were higher the mean concentration Fe, Zn, Ni and Cu in Neour lake over at sampling station were 0.371±0.008, 0.134±0.003, 0.091±0.006, 0.051±0.007 mg/l respectively which concentration Fe and Ni is higher than the TSE-266, WPCL and EC permissible value. The results of 16 petroleum aromatic hydrocarbons (PAHs) analysis showed that the mean concentration of pharantrolin and antrasin in near lake water were 2.7±1.27 and 1.0±1.04 µg/l respectivility this result suggest that the PAHs compound in Neour lake from pyrolytic sources where they originated from petroleum sources.

Conclusion: The result of pollution study in Neour lake water showed there the level of pollutant one very low at the current condition where there are at sources of those pollutant the water shad area of Neour lake the result suggest that the lake the is clear.

* Corresponding Author's email: babaeiha@yahoo.com
Received: 2 June 2020; Reviewed: 10 August 2020; Revised: 13 September 2020; Accepted: 19 October 2020
(DOI): 10.22034/AEJ.2020249124.2356

مقاله پژوهشی

بررسی و اندازه‌گیری فلزات سنگین و هیدروکربورهای نفتی آروماتیک (PAHs) در آب دریاچه نئور (استان اردبیل)

هادی بابائی[1]، حسین صابری[1]، نیما پورنگ[2]، سیدحجت خداپرست[1]، حجت محسن‌پور[1]*

[1] پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، بندرانزلی، ایران

[2] موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
هیدرو کربورهای نفتی (PAHs)
GC/MS
دریاچه نئور
اردبیل

چکیده

مقدمه: این تحقیق با هدف تعیین سطح فلزات سنگین و ترکیبات نفتی در آب دریاچه نئور به منظور توسعه پایدار صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی وغلظت ترکیبات نفتی (PAHs) با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی جرمی (GC/MS) تعیین گردید.

نتایج: نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان دادکه غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب، کبالت و کروم در آب دریاچه نئور اردبیل بسیار ناچیز بوده و در اکثر نمونه‌ها میزان غلظت این فلزات خارج از حد اندازه‌گیری دستگاه جذب اتمی بوده است. غلظت آهن و به‌دنبال آن غلظت روی و نیکل در مقایسه با غلظت سایر فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر بالاتری بوده است. میانگین غلظت فلزات آهن، روی، نیکل و مس در کل پهنه آبی دریاچه نئور در ایستگاه‌های مختلف به‌ترتیب ۰/۰۰۸±۰/۳۱۷، ۰/۰۰۳±۰/۱۳٤۰، ۰/۰۰٦±۰/۰۹۱، ۰/۰۰۷±۰/۰۵۱ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. میزان غلظت فلزات نیکل و آهن در آب دریاچه نئور نسبت به استانداردهای TSE-266، WPCL، EC بالاتر بوده است. نتایج آنالیز ١٦ ترکیب نفتی آروماتیک (PAHs) نشان داد که میانگین غلظت فنانترین و آنتراسن در آب دریاچه به‌ترتیب ۱/۲۷± ۲/۷، ۱/۰٤±۱/۰ میکروگرم بر لیتر بوده است

نتیجه‌گیری و بحث: بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که ترکیبات PAHs در دریاچه نئور دارای منبع پایرولیتیک است و ورود ترکیبات نفتی PAHs به دریاچه از منابع سوختی بیش‌تر از منابع نفتی است.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: babaeiha@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳ خرداد ۱۳۹۹؛ تاریخ داوری: ۲۰ مرداد ۱۳۹۹؛ تاریخ اصلاح: ۲۳ شهریور ۱۳۹۹؛ تاریخ پذیرش: ۲۸ مهر ۱۳۹۹
(DOI): 10.22034/AEJ.2020.249124.2356

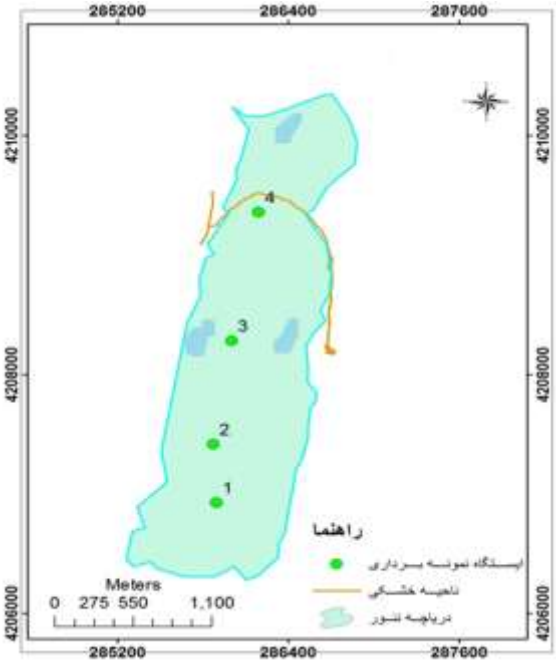
مقدمه

آلودگی یکی از مهم‌ترین مسائل در حفاظت اکوسیستم‌های آبی و حفظ تعادل اکولوژیک آب‌هاست. لازمه بررسی میزان آلودگی در یک منطقه شناخت کیفیت شیمیایی آب و منابع آلاینده نیز می‌باشد. حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌گردد. شایان ذکر است، صنایع عمده‌ترین منابع آلاینده مربوط به فلزات سنگین هستند. کارخانجاتی از قبیل آبکاری، باطری‌سازی و تولید قطعات الکترونیک از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند. آلودگی ناشی از سرب عمدتا مربوط به سوخت‌های فسیلی می‌باشد که به‌دنبال آلودگی هوا، آلودگی خاک و آب به‌دنبال خواهد داشت. از نقطه نظر اکولوژیک، آلاینده‌ها به دو نوع آلاینده‌های قابل تجزیه و غیرقابل تجزیه تقسیم می‌شوند. فلزات سنگین از آلاینده‌های غیرقابل تجزیه هستند که در محیط، تجمع می‌یابند و بر زنجیره غذایی و بیولوژیک موجودات در آب اثر می‌گذارند. ازدیاد این مواد روی ماهی‌ها، سایر موجودات آبزی و حتی گیاهان آبزی اثرات سوء دارد. آن‌ها در ترکیب با مواد دیگر باعث تولید توکسین‌های اضافی می‌شوند. برای مثال، ترکیب فلزات سنگین نظیر مس با کادمیوم و روی با نیکل، سمیت آن‌ها را چندین برابر می‌کنند (کرباسی، ۱۳۷۹). افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن جوامع به‌خصوص از نیمه دوم قرن بیستم باعث پیدایش مشکلات و مسائل جدید در آلودگی محیط زیست شده است. ازجمله آلاینده‌هایی که در فاضلاب صنایع، معادن و رواناب‌های شهری و کشاورزی وجود دارد، می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. فلزات سنگین عموماً به گروه انتخاب شده از عناصر شیمیائی با وزن زیاد همانند سرب، کادمیم، نیکل و ... اطلاق می‌گردد. عموماً اکوسیستم‌های آبی، آب‌های زیرزمینی، خاک و هوا، تحت تاثیر فلزات سنگین ناشی از ریزش اشکال متفاوت این مواد توسط کارخانجات صنعتی به محیط زیست قرار دارند. این آلوده کننده‌ها از بدو ورود به‌داخل اکوسیستم موجبات کاهش فعالیت‌های زیستی را فراهم ساخته و در برخی از موارد تلفات عظیمی به موجودات زنده وارد می‌سازد (وفائی، ۱۳۷۹). فلزات سنگین به‌صورت محلول در آب و خاک وارد شده و باعث آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک شده و سبب برهم زدن تعادل اکولوژیک اکوسیستم‌هایی که به آن وارد می‌شوند، می‌گردند. انسان‌ها و جانوران با مصرف سبزیجات، گیاهان و مواد غذایی آبیاری شده با چنین آب‌هایی یا برخاسته از چنین خاک‌های آلوده‌ای و نیز مصرف جانوران و آبزیانی که در معرض این فلزات زندگی می‌کنند، مبتلا به انواع بیماری‌های شناخته شده یا ناشناخته می‌گردند. بنابراین، لازم است نسبت به کنترل وکاهش آلودگی چنین موادی در محیط زیست اقدام شود (Carballeira، ۲۰۰۰؛ Angelidis، ۱۹۹۵). فلزات سنگین در بین آلاینده‌هایی که وارد اکوسیستم آبی می‌شود، به‌علت اثرات و ایجاد تجمع زیستی یکی از خطرناکترین آلاینده‌ها محسوب می‌شوند (De Mora، ۲۰۰۰). منابع عمدهٔ ورود آلودگی فلزات؛ احتراق سوخت‌های فسیلی، معدن کاوی، ضایعات شهری و صنعتی، فاضلاب، کودها و آفت‌کش‌ها به‌شمار می‌روند (Dietz، ۲۰۰۰). مطالعه و تحقیق در مورد هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) در محیط‌های آبی یک بخش بسیار مهمی از بررسی کیفیت محیط‌زیست است که می‌تواند وضعیت آلودگی و هم‌چنین اثرات این ترکیبات را بر بوم‌سامانه‌ها تعیین کند (Fernandes، ۱۹۹۷؛ Maskaoui، ۲۰۰۲). در میان آلاینده‌های آلی که وارد آب‌های ساحلی می‌شوند، هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) به‌علت دارا بودن خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی و هم‌چنین پایداری در بوم سامانه‌های دریایی بیش‌ترین نگرانی را به‌خود اختصاص داده‌اند (اسماعیلی‌ساری، ۱۳۸۱). سرطان‌زایی ترکیبات حلقوی نفتی PAHs در اثر پیوند بین این ترکیبات به مولکول‌های درشت RNA، DNA یا پروتئین‌ها حاصل می‌شود و با افزایش تعداد حلقه‌های آروماتیک و در نتیجه افزایش وزن مولکولی قابلیت انحلال این ترکیبات در آب کاهش می‌یابد. ترکیبات PAHs در اغلب حلال‌های آلی به‌خوبی حل می‌شوند و به‌دلیل خاصیت چربی‌دوستی پس از ورود به بدن به‌راحتی قادرند در بافت‌های چرب تجمع یابند و به مرور زمان اثرات خطرناک خود را در بدن موجودات ظاهر نمایند (سلیمی، ۱۳۸۷). از صد ترکیب پلی‌آروماتیک حلقوی شناسایی شده آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)، ۱۶ ترکیب PAHs که دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی در حیوانات و انسان هستند را به‌عنوان آلاینده‌های پیشگام معرفی کرده است و از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (Tolosa، ۲۰۰۵). نفت و سایر سوخت‌های فسیلی یکی از منابع اصلی ورود هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک PAHs به طبیعت است و ۰/۲ تا ۷ درصد وزن نفت خام را این آلاینده‌ها تشکیل می‌دهند (Albers، ۱۹۹۴). این هیدروکربن‌ها می‌توانند به‌صورت محلول یا معلق در محیط‌های آبی باقی مانده یا توسط خورده شدن به‌وسیله موجودات دریایی جذب شوند. این ترکیبات می‌توانند آلودگی‌های قابل توجهی را در محیط‌های دریایی ایجاد کرده و اثرات نامطلوبی را در موجودات آبزی برجای گذارند (Kennish، ۱۹۹۷). این تحقیق با هدف تعیین سطح فلزات سنگین و ترکیبات نفتی در آب دریاچه نئور به‌منظور توسعه پایدار انجام گرفت.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: دریاچه نئور در فاصله ۴۲ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر اردبیل با موقعیت جغرافیایی ۵۶` و °۳۷ تا ۰۲` و °۳۸

عرض شمالی و از ˋ۳۲ و °۴۸ تا ˋ۳۶ و °۴۸ طول شرقی در استان اردبیل واقع شده است. این دریاچه با ارتفاع ۲۴۸۰ متر از سطح دریا یکی از مرتفع‌ترین دریاچه‌های فلات ایران به‌حساب می‌آید. مساحت این دریاچه ۲۱۰ هکتار مشتمل بر دو دریاچه کوچک و بزرگ است که در فصل بهار به‌هم می‌پیوندند و دریاچه واحد را به‌وجود می‌آورند و عمق آن ۳ متر است. دریاچه نئور با مساحت تقریبی ۴۰۰ هکتار مشتمل بر دو دریاچه کوچک و بزرگ است که در فصل بهار به‌هم پیوسته و دریاچه واحدی را به‌وجود می‌آورند. در سال ۱۳۶۶ بر تنها خروجی دریاچه (قانلی دره)، سد دریاچه نئور احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. این دریاچه یک دریاچه طبیعی و آب شیرین می‌باشد. بارندگی مناسب و وجود چشمه‌های فراوان سبب پایداری وضعیت دریاچه شده ضمن آن‌که هوای مطبوع منطقه زمینه بسیار مناسبی برای جذب گردشگر به‌خصوص در اوقات گرم سال را فراهم کرده است (بابائی، ۱۳۹۷). در این بررسی پس از بازدید میدانی در منطقه و در داخل دریاچه در کل پهنه آبی دریاچه چهار ایستگاه مطالعاتی (منطبق بر ایستگاه‌های نمونه‌برداری هیدرولوژی و هیدروبیولوژی) انتخاب گردید. نمونه‌برداری فلزات سنگین با استفاده از ظروف پلی‌اتلینی که قبلاً کاملاً اسیدشویی و شستشو شده و نمونه‌برداری ترکیبات حلقوی نفتی (PAHs) با استفاده از ظروف شیشه‌ای تیره صورت پذیرفت. موقعیت دریاچه نئور و ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی دریاچه نئور در جدول ۱ ثبت گردیده است.



شکل ۱ : موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی در دریاچه نئور اردبیل

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی(UTM) ایستگاه‌های مطالعاتی دریاچه نئور اردبیل

شماره ایستگاه	X	Y
۱	۲۸۵۸۹۶	۴۲۰۶۹۲۸
۲	۲۸۵۸۷۴	۴۲۰۷۴۱۸
۳	۲۸۶۱۹۳	۴۲۰۹۳۵۹
۴	۲۸۶۰۰۳	۴۲۰۸۲۸۵

نمونه‌برداری آب جهت آنالیز فلزات سنگین در هر ایستگاه از سه نقطه صورت گرفت و سپس با تلفیق نمونه‌ها، یک نمونه مرکب به‌دست آمد. نمونه‌های برداشت شده با کاغذ صافی واتمن (GF/C) صاف شد و با اسیدنیتریک غلیظ (یک سی‌سی به‌ازای هر لیتر) تثبیت گردید و در ظروف پلی‌اتلینی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه نگه‌داری و سپس براساس روش استاندارد متد استخراج و آماده‌سازی نمونه‌ها صورت پذیرفت. فرآیند جداسازی و تغلیظ نمونه‌های آب به طریقه استخراج مایع-مایع با حلال آلی متیل ایزوبوتیل کتون (MIBK) و عامل کمپلکس‌دهنده آمونیم پیرولیدن کاربامات (APDC) انجام شد و در پایان جداسازی نمونه‌ها را به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (APHA، ۲۰۰۵) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله مدل SHIMADZU AA/670 (کمپانی ژاپن) مجهز به لامپ دوتریم جهت تصحیح زمینه، غلظت هر کدام از فلزات (آهن، مس، روی، کروم، سرب، کادمیم، نیکل و کبالت) تعیین گردید. در این بررسی pH و میزان هدایت الکتریکی (EC) آب دریاچه نئور به‌وسیله دستگاه پرتابل صحرایی مولتی پارامتر مدل (molti 340i WTW) اندازه‌گیری شد و کلسیم و سختی کل (Total Hardness) با استفاده از محلول استاندارد نمک EDTA به‌روش تیترسنجی اندازه‌گیری شد. قلیائیت آب دریاچه به‌روش تیتراسیون با استفاده از محلول استاندارد اسیدکلردریک (HCL) ۰/۱ نرمال اندازه‌گیری شد (APHA، ۲۰۰۵). تجزیه تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد (جدول ۲). در این بررسی میزان غلظت ۱۶ ترکیب آروماتیک نفتی (PAHs) در سه ایستگاه نمونه‌برداری کل پهنه آبی دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. جهت آنالیز ترکیبات نفتی مقدار ۲ لیتر از نمونه‌های آب در بطری‌های شیشه‌ای تیره جمع‌آوری و با استفاده از روش استاندارد EPA 625 و با استفاده از حلال دی کلرومتان مراحل جداسازی و استخراج نمونه‌ها صورت گرفت. نمونه‌های تغلیظ شده، به‌همراه استانداردهای مربوطه به دستگاه گازکروماتوگرافی GC/MS مدل UltraTrise از کمپانی Thermo مجهز به دتکتور ECD و ستون موئینه (Capillary) به طول ۶۰ متر DB-5 تزریق و با طیف‌گیری از نمونه‌ها و رسم منحنی کالیبراسیون برمبنای استانداردهای تزریق شده غلظت هر کدام از ترکیبات نفتی (PAHs) تعیین گردید. جدول ۳ نام آیوپاک و علامت اختصاری ۱۶ ترکیب آروماتیک حلقوی نفتی (PAHs) مورد سنجش آورده شده است.

جدول ۲: شرایط دستگاهی به‌کار گرفته شده برای سنجش فلزات سنگین مورد مطالعه

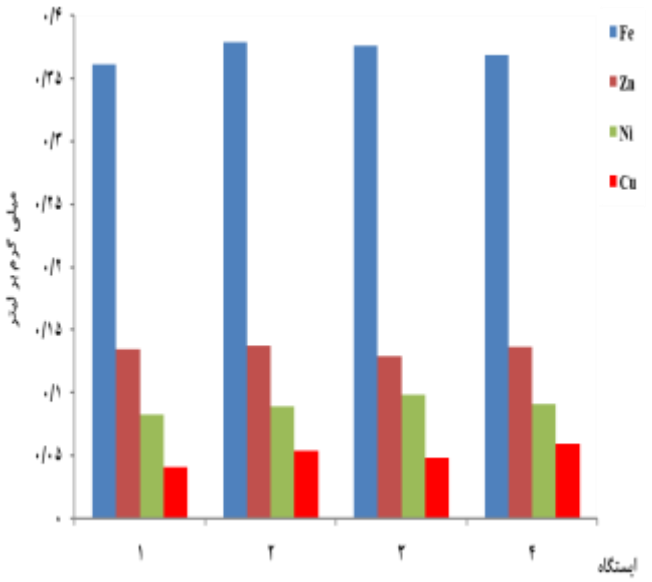
نوع عنصر	پهنای شکاف (نانومتر)	نوع شعله	سرعت جریان سوخت (لیتر/دقیقه)	سرعت جریان اکسیدان (لیتر/دقیقه)	طول موج (نانومتر)	طول شکاف مشعل (سانتی‌متر)	شدت جریان (میلی آمپر)
Cd	۰/۳	هوا-استیلن	۱/۸	۸	۲۲۸/۸	۱۰	۴
Cu	۰/۵	هوا-استیلن	۱/۸	۸	۳۲۴/۸	۱۰	۳
Cr	۰/۵	هوا-استیلن	۲/۲	۸	۳۵۷/۹	۱۰	۵
Zn	۰/۵	هوا-استیلن	۲	۸	۲۱۳/۹	۱۰	۴
Ni	۰/۱۵	هوا-استیلن	۱/۷	۸	۲۳۲	۱۰	۴
CO	۰/۲	هوا-استیلن	۲/۲	۸	۲۴۰/۷	۱۰	۶
Fe	۰/۲	هوا-استیلن	۲	۸	۲۴۸/۳	۱۰	۵
Pb	۱/۰	هوا-استیلن	۲	۸	۲۸۳/۳	۱۰	۴

جدول ۳: نام آیوپاک و علامت اختصاری ۱۶ ترکیب مختلف هیدروکربن‌های نفتی آروماتیک PAHs (Kennish، ۱۹۹۷)

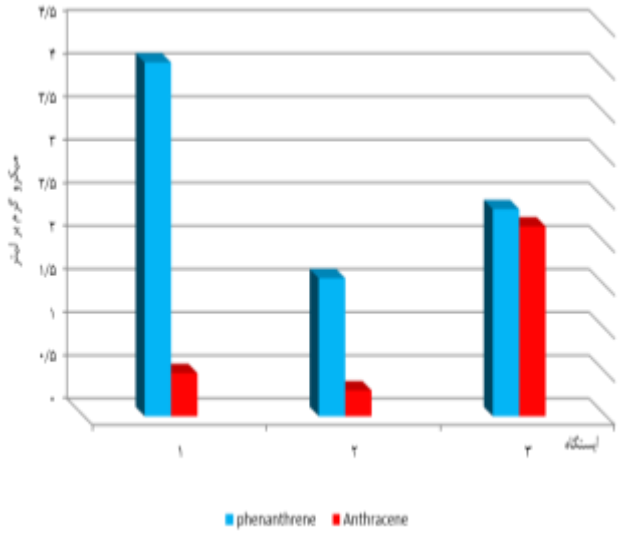
شماره	نام آیوپاک	علامت اختصاری
۱	Naphthalene	Na
۲	Acenaphthalene	Acl
۳	Acenaphthene	Ace
۴	Fluorene	Flu
۵	Phenanthrene	Phe
۶	Anthracene	An
۷	Fluoranthene	Fla
۸	Pyrene	Pyr
۹	Benzo[a] anthracene	BaA
۱۰	Chrysene	Chry
۱۱	Benzo[b] fluoranthene	BbF
۱۲	Benzo[k] fluoranthene	BkF
۱۳	Benzo[a] pyrene	BaP
۱۴	Indene[1,2,3-cd] pyrene	ID
۱۵	Dibenz[a,h] anthracene	DA
۱۶	Benzo[ghi] perylene	BgP

نتایج

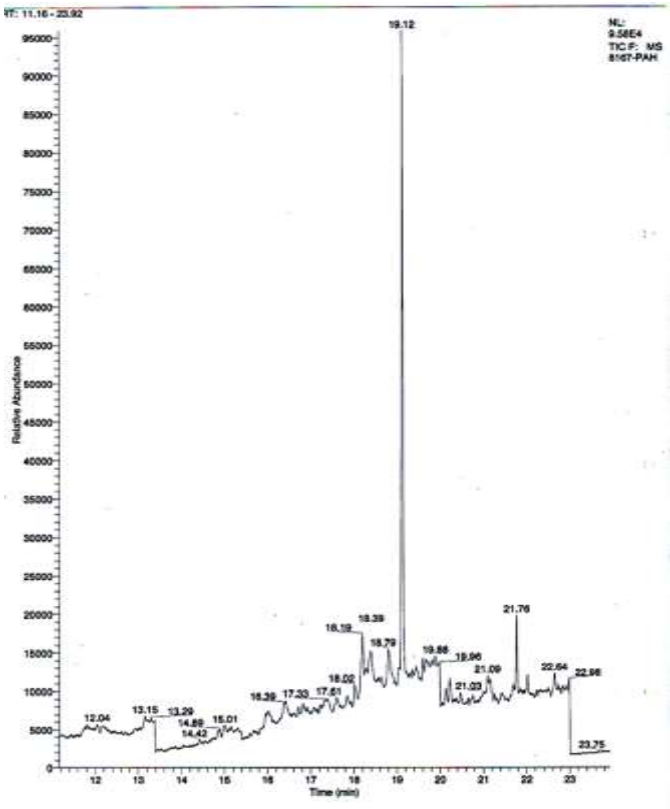
در این تحقیق غلظت ۸ فلز سنگین آهن،روی،مس،نیکل، سرب، کادمیم، کبالت و کروم در چهار ایستگاه مطالعاتی در آب دریاچه‌نئور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت فلزات کادمیم، سرب، کبالت و کروم (شش ظرفیتی) بسیار ناچیز و خارج از حد اندازه‌گیری دستگاه جذب اتمی بوده است. غلظت آهن و به‌دنبال آن غلظت روی در مقایسه با غلظت سایر فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر بیش‌تری بوده‌اند. مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات سنگین در کل پهنه آبی دریاچه در ایستگاه‌های مختلف تفاوت چندانی مشاهده نشد به‌طوری که حداکثر غلظت آهن به‌میزان ۰/۳۷۹ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه ۲ و حداقل غلظت آهن در ایستگاه ۱ به‌میزان ۰/۳۵۱ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. حداکثر غلظت روی در ایستگاه ۴ به‌میزان ۰/۱۳۹ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین غلظت روی به‌میزان ۰/۱۲۹ میلی‌گرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۳ بوده است. بیش‌ترین غلظت نیکل متعلق به ایستگاه ۳ به‌میزان ۰/۰۹۸ میلی‌گرم بر لیتر و حداقل غلظت نیکل به‌میزان ۰/۰۸۸ میلی‌گرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۱ بوده است. حد اکثر غلظت مس به‌میزان ۰/۰۵۹ میلی‌گرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۴ بوده و حداقل غلظت آن متعلق به ایستگاه ۱ به میزان ۰/۰۴۱ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. طی این بررسی pH، میزان هدایت الکتریکی (EC)، قلیائیت، کلسیم و سختی کل آب دریاچه نئور اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت بی‌کربنات ۱۵۹/۹۱ میلی‌گرم در لیتر با حداقل ۶۱ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر ۲۴۴ میلی‌گرم در لیتر در ثبت گردید. مقدار هدایت الکتریکی دریاچه نئور با میانگین ۲۸۵/۵۹ و با حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۲۴۰ و ۳۵۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در نوسان بوده است. غلظت کلسیم آب دریاچه نئور با میانگین ۲۱/۴۴ و دامنه تغییرات ۳۶/۸۵-۱۳/۲۱ میلی‌گرم در لیتر و سختی آب دریاچه نئور با میانگین ۱۰۴/۱۷ و دامنه تغییرات ۱۹۹-۸۴ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم ثبت شده است.میزان pH در آب دریاچه با میانگین ۸/۴۹ و حداقل و حداکثر به‌ترتیب ۷/۴۸ و۹/۸۳ قلیایی می‌باشد. نتایج آنالیز هیدروکربن‌های حلقوی نفتی (PAHs) در نمونه‌های آب دریاچه نئور در سه ایستگاه مطالعاتی نشان داد که از بین ۱۶ ترکیب مورد سنجش فقط دو ترکیب در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده شد و غلظت سایر ترکیبات در نمونه بسیار ناچیز و خارج از حد اندازه‌گیری دستگاه GC/MS بوده است. حداکثر غلظت فنانترین (Phenanthrene) به‌میزان ۴/۱ میکروگرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۱ بوده کم‌ترین غلظت آن به‌میزان ۱/۶ میکرو گرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۲ بوده است. حداکثر غلظت آنتراسن (Anthracene) به‌میزان ۲/۲ میکروگرم بر لیتر متعلق به ایستگاه ۳ بوده و کم‌ترین غلظت آن در ایستگاه ۲ به‌میزان ۰/۳ میکروگرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. طیف جرمی (GC/MS) ترکیبات نفتی حلقوی (PAHs) مربوط به آب ایستگاه‌های ۱ الی ۳ دریاچه نئور اردبیل در شکل‌های ۲ الی ۶ نشان داده شده است.



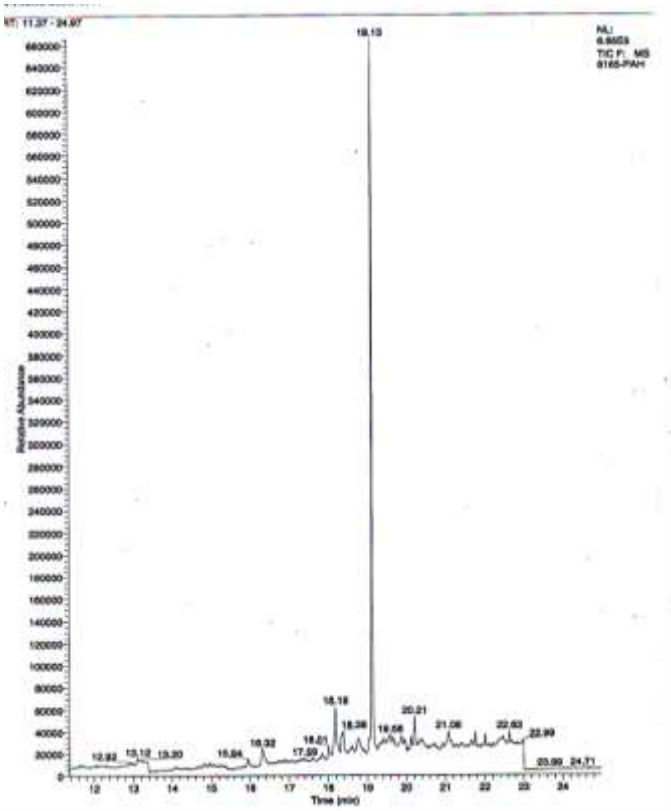
شکل ۲: نمودار تغییرات غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در آب دریاچه نئور اردبیل در ایستگاه‌های مختلف



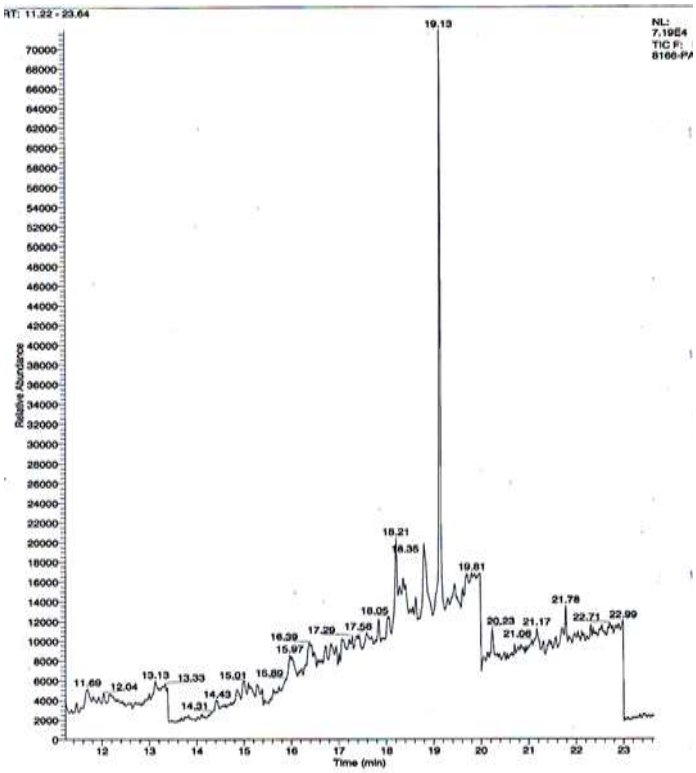
شکل ۳: تغییرات غلظت هیدروکربن‌های نفتی حلقوی (PAHs) مورد مطالعه در آب دریاچه نئور



شکل ۴: نمودار طیف جرمی(GC/Ms) ترکیبات نفتی حلقوی (PAHs) در آب دریاچه نئور اردبیل ایستگاه ۱



شکل ۵: نمودار طیف جرمی(GC/Ms) ترکیبات نفتی حلقوی(PAHs) در آب دریاچه نئور اردبیل ایستگاه ۲



شکل ۶: نمودار طیف جرمی (GC/Ms) ترکیبات نفتی حلقوی (PAHs) در آب دریاچه نئور اردبیل ایستگاه ۳

بحث

بررسی میزان غلظت آلاینده‌های پایدار در آب به‌دلیل تاثیراتی که در سلامتی و بهداشت انسان دارا می‌باشد، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد، به‌ویژه این‌که فلزات سنگین به‌عنوان آلاینده‌های پایدار و غیرقابل تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها محسوب گشته و قابلیت تجمع بیولوژیک و بزرگ‌نمائی بیولوژیک دارند. به‌عبارت دیگر، پایداری فلزات در محیط مشکلاتی به‌خصوصی ایجاد می‌کند، فلزات نمی‌توانند مانند آلوده کننده‌های آلی از طریق شیمیایی یا فرآینده‌های زیستی در طبیعت تجزیه شوند (بابائی، ۱۳۹۴). هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) از جمله آلاینده‌های آلی پایدار محسوب می‌شوند که خواص سرطان‌زایی آن‌ها به اثبات رسیده است. اثرات زیست‌محیطی این ترکیبات بر منابع آبی اهمیت فوق العاده‌ای داشته و از طریق زنجیره غذایی وارد بدن موجودات زنده شده و اثرات سوء خود را بر سلامت مصرف‌کنندگان بر جای می‌گذارند. به‌طورکلی، این ترکیبات در منابع که دارای ذخایر نفتی هستند، به‌طور جدی حیات موجودات را در معرض خطر قرار می‌دهند. هرچند این ترکیبات به‌علت پراکنش وسیع در محیط زیست و اثرات سرطان‌زایی و جهش‌زایی برای موجودات زنده یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های شیمیایی محسوب می‌گردند اما با توجه به موقعیت دریاچه نئور در استان اردبیل مطالعه و بررسی این ترکیبات در دریاچه آن‌چنان اهمیتی برخوردار نبوده و با این وجود میزان غلظت ۱۶ ترکیب آروماتیک حلقوی نفتی در آب دریاچه نئور مورد ارزیابی کمی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌دلیل عدم وجود منابع چنین ترکیبات در محدوده دریاچه نئور غلظت اکثر ترکیبات مورد سنجش در نمونه‌های مورد بررسی بسیار اندک بوده و از بین ۱۶ ترکیب نفتی فقط دو نوع از ترکیبات در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت فنانترین (Phenanthrene) در آب دریاچه۱/۲۷ ± ۲/۷ میکروگرم بر لیتر و آنتراسن (Anthracene) به‌میزان ۱/۰۴±۱/۰ میکرو گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. اگر نسبت فنانترین به آنتراسن (Phe/Ant) بزرگ‌تر از ۱۵ باشد نشان‌دهنده پتروژنیک (نفتی) بودن منشا ترکیبات PAHs در محیط زیست است و اگر این نسبت کوچک‌تر از ۱۰ باشد، نشان‌دهنده منبع پایرولیتیک (سوختی) است (Baumer، ۱۹۹۸) و چنان‌چه نسبت هیدروکربن‌های آروماتیک با وزن مولکولی پایین به هیدروکربن‌های آروماتیک با وزن مولکولی بالا (LMW/HMW) کوچک‌تر از ۱ باشد، منبع پایرولیتیک و اگر بزرگ‌تر از ۱ باشد منبع پتروژنیک است (Tam، ۲۰۰۱). ترکیبات آروماتیک نفتی اندازه‌گیری شده در این مطالعه (فنانترین، آنتراسن) جزو گروهی ترکیبات که دارای وزن مولکولی پایین هستند (LMWPAHs) طبقه‌بندی می‌شوند (ترکیباتی که کمتراز چهار حلقه دارند). بنابر این، با توجه نتایج به‌دست آمده و نسبت فنانترین به آنتراسن (Phe/Ant) می‌توان نتیجه گرفت که منشا ترکیبات PAHs در دریاچه نئور پایرولیتیک (سوختی) است و از لحاظ وزن مولکولی هم این ترکیبات دارای منبع پایرولیتیک می‌باشد. این منابع پایرولیتیک در منابع آبی در اثر فعالیت‌های قایق‌ها و شناورهایی است که همواره از ترکیبات نفتی مانند بنزین و گازوئیل به‌عنوان سوخت موتور خود استفاده می‌کنند و درنهایت ترکیبات حاصل از احتراق این ترکیبات نفتی، منابع پایرولیتیک را فراهم می‌سازند. یکی دیگر از منابع پایرولیتیک موجود در اتمسفر PAHs در محیط‌های مختلف آبی ته‌نشینی ترکیبات آروماتیک PAHs که به ذرات معلق می‌چسبند که در اثر جریانات بادی می‌توانند در فواصل زیادی جابجا شوند و در اثر فرآیندهایی مثل خروج باران و ته نشینی وارد منابع آبی و رسوبات کف شوند (Witt، ۱۹۹۸). میانگین غلظت فلزات آهن، روی، نیکل و مس در کل پهنه آبی دریاچه نئور در ایستگاه‌های مختلف طی این بررسی به‌ترتیب ۰/۰۰۸±۰/۳۷۱، ۰/۰۰۳ ±۰/۱۳۴، ۰/۰۰۶±۰/۰۹۱ و ۰/۰۰۷±۰/۰۵۱ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. بر این اساس مراتب قرار گرفتن فلزات سنگین مورد سنجش در آب دریاچه بر مبنای غلظت آن‌ها به‌صورت Fe> Zn>Ni> Cu می‌باشد.

فلزات روی، مس و آهن از عناصر ضروری محسوب می‌شوند. مس با آب‌هایی با قلیائیت کم (۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) و اندکی اسیدی (pH برابر ۶) محلول تر و سمی‌تر از آب‌هایی با قلیائیت زیاد (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر یا بیش‌تر به‌صورت کربنات کلسیم) و pH برابر ۹ می‌باشد (Stoskopf، ۱۹۹۳). آهن و مس از فلزات ضروری محسوب می‌گردند و فراوانی این عناصر در محیط‌های مختلف به ساختار زمین شناسی منطقه بستگی دارد. نتایج آنالیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریاچه نشان داد که هدایت الکتریکی و سختی کل در آب دریاچه نئور در حد مطلوب بوده است. بیش‌تر آب‌های داخلی دارای سختی آب ۲۰۰-۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند و اعداد بیش‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز معمول می‌باشد. میانگین pH در پهنه آبی دریاچه ۸/۴۹ اندازه‌گیری شد. محدوده مناسب pH برای سلامت و رشد اکثر آبزیان آب‌شیرین ۹-۶/۵ می‌باشد (Boyd، ۱۹۹۸). نتایج این بررسی‌ها حاکی از آن است که روند تغییرات قلیائیت برعکس روند تغییرات pH در دریاچه نئور بوده است. غلظت بی‌کربنات تحت تاثیر فعالیت تولیدکنندگان اولیه نوسان شدید داشته و در مقدار هدایت الکتریکی آب نیز تاثیر گذاشت. روند تغییرات سختی کل، بی‌کربنات و کلسیم در دریاچه نئور مشابه بوده است. مقدار کلسیم به‌دلیل تاثیرپذیری از تغییرات pH و غلظت بی‌کربنات دارای روند مشخص بوده به‌طوری‌که با افزایش pH کاهش مقدار کلسیم مشاهده شد. در مجموع، می‌توان بیان داشت که آب دریاچه از نظر ترکیبات یونی از نوع آب‌های سخت و شیرین محسوب می‌گردد و pH آب قلیایی بوده‌است. غلظت فلزات به‌دست آمده از میزان غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در آب دریاچه ناصر مصر کم‌تر بوده است (Rashed، ۲۰۰۱). نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه انجام گرفته در چاه نیمه‌های ۱ الی ۳ واقع در استان سیستان بلوچستان مورد مقایسه قرار گرفت که غلظت آهن از غلظت آن در چاه نیمه ۲ کم‌تر و از غلظت دو چاه نمیه دیگر بالاتر بوده است. غلظت فلزات مس و نیکل در آب دریاچه نئور بالاتر از غلظت این فلزات در چاه نیمه‌ها بوده و هم‌چنین غلظت فلزات سرب، کادمیم و کروم کم‌تر از غلظت این فلزات در چاه‌نیمه‌های سیستان و بلوچستان بوده‌است. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت فلزات آهن، نیکل و مس به‌دست آمده از میزان غلظت این فلزات در آب دریاچه Demirk Öprü Dam Lake بالاتر و از میزان غلظت آن در آب دریاچه Ataturk Dam Lake کم‌تر می‌باشد (Öztürk ، ۲۰۰۸؛ Karadede، ۲۰۰۰) (جدول۴). غلظت آهن در آب دریاچه نئور از غلظت آن در آب دریاچه Hazar Lake کم‌تر بوده و غلظت فلزات مس و نیکل به‌دست آمده از غلظت آن در آب دریاچه Hazar Lake بالاتر بوده است (Özmen، ۲۰۰۴). نتایج غلظت فلزات سنگین به‌دست آمده در آب دریاچه نئور اردبیل با توجه به نوع بهره‌برداری از آب این دریاچه با برخی از استانداردهای بین‌المللی مورد مقایسه قرار گرفته است. براساس استاندارد ملی ایران میزان غلظت فلزات روی، آهن، نیکل و مس در آب‌های طبیعی به‌ترتیب ۱۵ ، ۰/۳ ، ۰/۰۷ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر توصیه شده است که نتایج حاصل از این تحقیق به‌جز غلظت آهن که اندکی بالاتر از این استاندارد می‌باشد سایر مقادیر کم‌تر از این مقادیر ثبت گردیده است. حفاظت محیط زیست امریکا میزان غلظت فلزات روی و آهن را به‌ترتیب ۵ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر توصیه‌نموده است که غلظت روی به‌دست آمده از این تحقیق کم‌تر از این استاندارد و غلظت آهن به‌دست آمده از این تحقیق در محدوده غلظت توصیه‌شده توسط این استاندارد می‌باشد (ولایت‌زاده، ۱۳۹۸). این بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت فلزات آهن و نیکل در آب دریاچه نئور از میزان غلظت توصیه شده توسط استانداردهای TSE-266، WPCL، WHO بالاتر بوده است (جدول ۴). براساس نتایج به‌دست آمده غلظت آلاینده مورد بررسی(فلزات سنگین و ترکیبات نفتی) در آب دریاچه نئور نسبت به بر خی از استانداردهای جهانی کم‌تر و در مقایسه با برخی از استانداردهای بالاتر بوده است بوده که بر مبنای نوع کاربری آب دریاچه می‌توان این موارد را مورد توجه قرار داد. موقعیت مکانی و جغرافیایی دریاچه نئور به‌گونه‌ای هست که کم‌تر تحت تاثیر آلودگی‌ها قرار می‌گیرد این دریاچه هیچ‌گونه آب ورودی نداشته و تنها منبع تغذیه آب دریاچه نزولات آسمانی و چشمه‌های معدنی منطقه می‌باشد. در شرایط فعلی با توجه به این مقادیر و استانداردهای موجود جهت کاربری شیلاتی و حفاظت حیات آبزیان و هم‌چنین عدم وجود منابع آلاینده دائم در منطقه مورد مطالعه، این دریاچه از لحاظ نوع و میزان آلاینده‌های مورد مطالعه هیچ‌گونه وضعیت بحرانی را به‌دنبال نداشته است. طبقه‌بندی مختلفی برای کیفیت آب‌های سطحی وجوددارد و کشورهای مختلف دستورالعمل‌های متفاوتی در این زمینه دارند. براساس دستورالعمل ECE (براساس فلزات سنگین) برای زندگی موجودات آبزی، کیفیت آب‌های سطحی به ۵ کلاس تقسیم می‌شود که براین اساس میزان فلزات سنگین در کلاس‌های مختلفی قرار می‌گیرند که در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بهترین کیفیت و کلاس ۵ بدترین کیفیت را برای زندگی موجودات دارد (Unece، ۱۹۹۴؛ بابائی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج به‌دست آمده نشان داد که کیفیت آب دریاچه نئور نسبت به فلزات کادمیم، کروم، سرب بدون آلودگی (کلاس ۱) و نسبت به فلز آهن (کلاس ۲)، فلز نیکل (کلاسه ۳) و فلزات مس و روی در حد آلودگی (کلاس ۵) بر خوردار بوده است (جدول ۵). با توجه به نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی آب دریاچه از لحاظ سختی، قلیائیت و pH در شرایط کنونی وضعیت بحرانی نداشته است. در صورت تغییر ناگهانی فاکتورهای محیطی از قبیل درجه حرارت و pH و... چنین شرایطی که شاید طی

زمان‌های مختلف پیش آید، امکان ظاهر شدن اثرات مسمومیت‌زای برخی از ترکیبات آلاینده به‌ویژه فلزات سمی (تبدیل فرم محلول فلزات)وجود خواهد داشت‌و درعین‌حال غلظت برخی فلزات به‌دست آمده نسبت به برخی از استانداردهای بین‌المللی بالاتر بوده است که با توجه به نوع بهره‌برداری از آب دریاچه باید مورد توجه قرارگیرد.

بنابراین،درشرایط‌فعلی با توجه‌به نتایج به‌دست آمده و استانداردهای موجود جهت حفاظت حیات آبزیان و هم‌چنین عدم وجود منابع آلاینده‌دائم در منطقه‌مورد‌مطالعه،در حال حاضر کیفیت آب دریاچه از لحاظ فلزات سنگین و ترکیبات آروماتیک نفتی در حد مطلوب می‌باشد.

جدول ۴ : مقایسه غلظت فلزات سنگین در آب دریاچه نئور اردبیل با بر خی استاندارد ها و سایر مطالعات(میکرو گرم بر لیتر)

فلز /استاندارد	Fe	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni	Reference
RCSM (mpc fishery)	–	۱	۱۰	۶	-	۵	۱۰	Reihlen، ۲۰۱۰
SEPA (Grade-1)	-	۵	۲۰	۱	–	۱	–	Peng، ۲۰۱۵
SEPA (Grade-2)	-	۱۰	۵۰	۵	–	۵	–	Peng، ۲۰۱۵
SEPA (Grade-3)	–	۵۰	۱۰۰	۱۰	–	۱۰	–	Peng، ۲۰۱۵
WHO	–	۵۰۰	۵۰۰۰	۱۰	۵۰۰	۳	۷۰	WHO، ۲۰۱۱
WHO	-	۲۰۰۰	-	۵۰	۵۰	۱۰	۲۰	WHO، ۱۹۹۳
TSE-266	۲۰۰	۲۰۰۰	-	۱۰	۵۰	۵	۲۰	TSE-266، ۲۰۰۵
WPCL	۳۰۰	۲۰	-	۱۰	۲۰	۳	۲۰	WPCL، ۲۰۰۱
CIW	۵۰۰۰	۲۰۰	-	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۲۰۰	Anonymous، ۱۹۹۷
EC	۲۰۰	۲۰۰۰	–	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	EC، ۱۹۹۸
EPA	۳۰۰	۱۳۰۰	-	۵۰	۵۰	۱۰	-	EPE، ۲۰۰۲
حفا ظت از حیات آبزیان	–	۵	۴۰	۲۵	–	۱۰	–	Anon، ۲۰۰۱
Lake Naser (Egypt)	۱۴۲۰	۲۲۰	۲۳۰	-	۲۴۰	-	-	Rashed، ۲۰۰۱
Lake Manzala (Egypt)	-	۵۵	۳۱۱	۲۲	-	۲۰	-	Balhasawy، ۲۰۱۱
Demirk Öprü Dam Lake	۲۶۰	۲۰	-	۲۰	۶	۱	۱۶	Öztürk و همکاران، ۲۰۰۸
Lapland Lakes	۸۷	۳	-	۳	۲	۰/۲	۳	Mannio و همکاران، ۱۹۹۵
Hazar Lake	۴۳۰	۲	-	-	-	-	۱۲	Özmen و همکاران، ۲۰۰۴
Ataturk Dam Lake	۶۲	۲۲۰	-	-	-	-	۱۵	Karadede، ۲۰۰۰
Avşar Dam Lake	۹۰۰	۱۰	-	۱۰	۵	۰/۷	۴	Öztürk، ۲۰۰۹
تالاب ناصری خرمشهر	-	۵۵۴	۴۸۴	–	-	-	۱۰۳	ولایت‌زاده و کوشافر، ۱۳۹۸
چاه نیمه ۱ (سیستان و بلوچستان)	-	۲۲/۵	-	۲۹/۱	-	۱۰/۶	۲۳/۳	
چاه نیمه ۲ (سیستان و بلوچستان)	-	۴۷/۱	-	۱۴/۲	-	۸/۷	۸/۸	رجایی و همکاران، ۱۳۸۹
چاه نیمه۳ (سیستان و بلوچستان)	-	۴۶/۳	-	۱۰/۴	-	۵/۵	۴/۵	
ساحل بندر انزلی	–	۱۷۹	۲۴۳	۱۲۱	–	۸۸	۱۵۷	بابائی، ۱۳۹۸
سواحل جنوبی خزر	–	۱۰	۱۱۰	۱۶۴	–	۶۸۰	۲۱	نصرالله‌زاده، ۱۳۹۴
در آب دریاچه نئور اردبیل	۳۱۷	۵۱	۱۳۴	n.d*	n.d	n.d	۹۱	مطالعه حاضر

*n.d:not detected

جدول۵ : طبقه‌بندی کیفی آب‌های سطحی براساس دستورالعمل ECE (براساس فلزات سنگین) برای زندگی موجودات آبزی (بابائی و همکاران، ۱۳۹۴)

کلاس/ فلزات	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵	مطالعه حاضر
آهن (میکروگرم بر لیتر)	۳۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	>۲۰۰۰	۳۱۷
مس (میکروگرم بر لیتر)	<۲	۲-۷	۷-۱۲	۱۲-۱۸	>۱۸	۵۱
روی (میکروگرم بر لیتر)	<۴۵	۴۵-۷۷	۷۷-۱۱۰	۱۱۰-۱۲۰	>۱۲۰	۱۳۴
کروم (میکروگرم بر لیتر)	<۱	۱-۶	۶-۱۱	۱۱-۱۶	>۱۶	n.d
سرب (میکروگرم بر لیتر)	<۰/۱	۰/۱-۱/۶	۱/۶-۳/۲	۳/۲-۸۲	>۸۲	n.d
کادمیم (میکروگرم بر لیتر)	<۰/۰۷	۰/۰۷-۰/۵۳	۰/۵۳-۱/۱	۱/۱-۳/۹	>۳/۹	n.d
نیکل (میکروگرم بر لیتر)	<۱۵	۱۵-۸۷	۸۷-۱۶۰	۱۶۰-۱۴۰۰	>۱۴۰۰	۹۱

*n.d:not detected

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مصوب موسسه تحقیقات و علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی با شماره طرح ۹۵۰۹۷۸-۹۴۰۱۴-۱۲۴-۷۳-۱۲-۰۶۴ می‌باشد. بدین‌وسیله از همه همکارانی که در اجرای این پروژه به‌ویژه در نمونه‌برداری‌ها و آماده‌سازی و هم‌چنین در آنالیز دستگاهی نمونه‌ها یاری نمودند صمیمانه تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

۱. **اسماعیلی‌ساری، ع.، ۱۳۸۱.** آلاینده‌های بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر. ۷۶۹ صفحه.

۲. **بابائی، ه.؛ ۱۳۹۴.** بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی فلزات سنگین و سموم کشاورزی در رودخانه پایاب سد یامچی اردبیل. پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی. بندرانزلی. ۵۸ صفحه.

۳. **بابائی، ه.، ۱۳۹۷.** بررسی کیفیت آب براساس آلاینده‌های زیست محیطی (فلزات سنگین، سموم کشاورزی، ترکیبات نفتی و شوینده) در دریاچه نئور (استان اردبیل). پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی کشور. ۵۸ صفحه.

۴. **بابائی، ه.؛ خداپرست، س.؛ ولی‌پور، ع. و صابری، ح.، ۱۳۹۴.** بررسی و سنجش فلزات سنگین و برخی از سموم کشاورزی در پایاب سد یامچی اردبیل به‌منظور توسعه آبزی‌پروری. مجله فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبزی‌پروری. سال ۹، شماره ۴، صفحات ۳۹ تا ۵۰.

۵. **رجایی، ق.؛ جهان‌تیغ، ح.؛ میر، ع.؛ حصاری‌مطلق، س. و حسن‌پور، م.، ۱۳۸۹.** بررسی غلظت فلزات سنگین در مخازن آب چاه‌نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۸۹. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۲، شماره ۹۰، صفحات ۱۰۵ تا ۱۱۲.

۶. **سلیمی، ل.، ۱۳۸۷.** پایش زیستی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) و فلزات سنگین نیکل و وانادیم در رسوبات و دوکفه‌ای آنادونت تالاب انزلی و تعیین بایومارکر NRR به‌عنوان شاخص زیستی این آلاینده‌ها. رساله دکترا ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۷. **کرباسی، ع.، ۱۳۷۹.** غلظت استاندارد و منشا (Zn, Ni, Mn, Pb, Fe, V, Cd, Co, Cu) در رسوبات سطحی خلیج فارس. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره‌های ۵ و ۶، ۱۳ صفحه.

۸. **نصراله‌زاده‌ساروی، ح.، ۱۳۹۴.** هیدرولوژی، هیدروبیولوژی و آلاینده‌های زیست محیطی در منطقه جنوبی دریای خزر. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. پژوهشکده اکولوژی دریای خزر ساری. ۱۶۴ صفحه.

۹. **وفائی، م.، ۱۳۷۹.** بررسی و تعیین غلظت عناصر سنگین در دو گونه ماهی سفید و کپور در سواحل جنوبی دریای خزر. پایان نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده علوم و فنون دریائی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.

۱۰. **ولایت‌زاده، م. و کوشافر، آ.، ۱۳۹۸.** ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب ناصری (خرمشهر). مجله دانشکده بهداشت و انیسیتو تحقیقاتی بهداشتی. دوره ۱۸، شماره ۲، صفحات ۱۵۷ تا ۱۶۸.

11. **Albers, P.H., 1994.** Handbook of Ecotoxicology. Lewis publishers, Boca Raton, FL. 330 p.

12. **American public Health Association. 2005**. Standard methods for examination of water and wastewater. 7th ed. pp: 254-260.

13. **Angelidis, M.O. and Aloupi, M., 1995.** Metals in sediments for Rhodes Harbor, Greece. Marine Pollution Bulletin. Vol. 31, pp: 273-276.

14. **Anonymous. 1997.** Gediz Havzası Çalışmaları. T.C. İzmir Çevre İl Müdürlüğü, Türkiye. (In Turkish).

15. **Bahnasawy, M.; Khidr, A. and Dheina, N., 2011.** Assessment of heavy metal concentrations in water, plankton, and fish of Lake Manzala, Egypt. Research Article Turk J Zoo. Vol. 35, No. 2, pp: 271-280. DOI:10.3906/zoo. 0810-6.

16. **Baumard, P.; Budzinski, H. and Garrigues, P., 1998.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. Environmental Toxicology Chemicals. Vol. 17, pp: 765-776.

17. **Baumard, P.; Budzinski, H. and Garrigues, P., 1998.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. Environmental Toxicology Chemicals. Vol. 17, pp: 765-776.

18. **Boyed, C.E. and Tucker, C., 1998.** Pond aquaculture water quality management. United State of America. 700 p.

19. **Carballeira, A.; Carral, E.; Puente, X. and Villares, R., 2000.** Regional scale monitoring of coastal contamination. Nutrients and heavy metals in estuarine sediments and organisms on the coast of Galicia (Northwest Spain). International Journal of Environment and Pollution. Vol. 13, pp: 534-572.

20. **De Mora, S.; Sheikholeslami, M.R.; Wyse, E.; Azemard, S. and Cassi, R., 2004.** An assessment of metal contamination in coastal sediment of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin. Vol. 48, pp: 61-77.

21. **Dietz, R.; Riget, F.; Cleeman, M.; Aarkrog, A.; Johansen, P. and Hansen, J.C., 2000.**Comparison of contaminants from different trophic levels and ecosystems. The Science of the Total Environment. Vol. 245, pp: 221-231.

22. **Eng, S., 2015.** The nutrient, total petroleum hydrocarbon and heavy metal contents in the seawater of Bohai Bay, China: temporal-spatial variations, sources, pollution statuses, and ecological risks. Marine pollution bulletin. Vol. 95, No. 1, pp: 445-451.

23. **Environmental Protection Agency (EPA). 2002.** Risk assessment: Technical background information. RBG Table. Available from http://www.epa.gov./reg3hwmd/risk (online update: 23.03.2009).

24. **European Commission (EC). 1998.** Council Directive 98/83/. EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. L 330/32, 5.12.98.

25. **Fernandes, M.B.; Sicre, M.A.; Boireau, A. and Tronszynski, J., 1997.** Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary. Marine Pollution Bulletin. Vol. 34, pp: 857-867.

26. **Karadede, H. and Ünlü, E., 2000.** Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake(Euphrates), Turkey. Chemosphere. Vol. 41, No. 9, pp: 1371-1376.

27. **Kennish, M.J., 1997.** Pollution Impacts on Marine Biotic Communities. CRC Press. pp: 40-51.

28. **Maskaoui, K.; Zhou, J.L.; Hong, H.S. and Zhang, Z.L., 2002.**Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. Environmental Pollution. Vol. 118, No. 109, pp: 122.

29. **Özmen, H.; Külahçı, F.; Çukurovalı, A. and Doğru, M., 2004.** Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey). Chemosphere. Vol. 55, pp: 401-408.

30. **Öztürk, M.; Özözen, G.; Minareci, O. and Minareci, E., 2008.** Determination of heavy metals in of fishes, water and sediment from the Demirköprü Dam Lake (Turkey). Journal of Applied Biological Sciences. Vol. 2, No. 3, pp: 99-104.

31. **Öztürk, M.; Özözen, G.; Minareci, O. and Minareci, E., 2009.** Termination of Heavy metals in Fish, water and sediments of Avsar Damlake in Turkey. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. Vol. 6, No. 2, pp: 73-80.

32. **Rashed, M.N., 2001.** Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. Environmental International. pp: 27-33.

33. **Reihlen, A.; Ruut, J.; Engewald, P.; Fammler, H. and Moukhametshina, E., 2010.** The Russian system of chemicals management. Federal ministry for the environment, nature conservation and nuclear safety.

34. **Stoskopf, M.K., 1993.** Fish medicine. WB. Saunders Co. London, England. 882 p.

35. **Tam, N.F.Y.; Ke, L.; Wang, X.H. and Wong, Y.S., 2001.** Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamp. Environmental Pollution. Vol. 114, pp: 255-263.

36. **Tolosa, I.; Mora, S.; Sheikholeslami, M.R.; Villeneuve, J.P.; Bartocci, J. and Cattini, Ch., 2004.** Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. Marine Pollution Bulletin. Vol. 48, pp: 44-60.

37. **TSE-266 (Turkish standards). 2005.** Insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. Türk Standartları, Ankara. (In Turkish).

38. **UNECE. 1994.** Standard Statistical Classification of Surface Freshwater Quality for the Maintenance of Aquatic Life. In: Readings in International Environment Statistics, United Nations Economic Commission for Europe, United Nations, New York and Geneva.

39. **Witt, G., 1998.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediments of the Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin. Vol. 36, pp: 577-586.

40. **World Health Organization (WHO). 1993.** Guidelines for drinking water quality. Recommendations. Vol. 1, 2nd ed., Geneva.

41. **World Health Organization (WHO). 2011.** Guidelines for drinking-water quality - 4th Ed.

42. **WPCL (Water Pollution Control Legislation). 2004.** Land-Based Water Quality Classification, Official journal, 25687, Turkey.