جمهوری اسلامی ایران

مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست

دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه

دانشگاه علوم پزشکی تبریز

گزارش طرح پژوهشی

ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

اسفند ماه ۱۳۹۷

ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه:

۱- بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه

۲- تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه

۳- تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی

۴- تعیین ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

بسمه تعالی

کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه

دفتر برنامه‌ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه

ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

طرح پژوهشی

۱۳۹۷

تهیه کننده:

مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تبریز

نام نویسندگان

دکترمحمد مسافری

اسفند ماه ۱۳۹۷

۱	عنوان سند	عنوان		
۲	ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه	عنوان فعالیت	۱- بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه ۲- تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه ۳- تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی ۴- تعیین ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه	٪۱۰۰
		گزارش نهایی	---------	۱۰۰ درصد
	کد سند	UT01RE9712063		
۳	تهیه‌کننده	مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تبریز		
۴	نویسندگان	دکتر محمد مسافری		
۵	محتویات سند	گزارش نهایی		
۶	کلمات کلیدی	فلزات سنگین، دریاچه ارومیه، ارزیابی ریسک، رسوبات، آلودگی		
۷	نوبت ویرایش	اول		
۸	تاریخ نشر	اسفند ماه ۱۳۹۷		
۹	ضمائم	در صورت وجود ضمائم نوشته شود		

پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوّبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورّخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملّی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورّخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوّبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورّخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرّر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اوّل محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصّصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصّصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوّع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصّصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورّخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوّب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملّی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوّبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورّخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدّد حاصل از طرح ملّی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملّی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملّی، کلّیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدّانه محقّقان تراز اوّل داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفا شدن برکات این گردش آزاد اطّلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلّیه تعابیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسنده (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملّی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلّیه اطّلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسنده (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-چکیده فارسی ۱

۲-فصل اول: مقدمه و بیان مسئله..... ۴

۲-۱- فلزات سنگین ٤

۲-۲- پیامدهای زیست محیطی و سلامت ناشی خشک شدن دریاچه ارومیه ٥

۲-۳-ویژگیهای زمین شناسی دریاچه ارومیه ۸

۲-۴- ترکیب رسوبات دریاچه ارومیه ۱۱

۲-۵- ترکیب شورابه دریاچه ارومیه ۱۳

۳- فصل دوم : روش کار ۱۷

۳-۱- روش انجام مطالعه ۱۷

۴- فصل سوم: نتایج ۲۹

۴-۱-بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه ۲۹

۴-۱-۱- مقادیر فلزات سنگین گزارش شده در رسوبات دریاچه ۳۲

۴-۱-۲- مقادیر فلزات سنگین گزارش شده در تحقیقات مرتبط با دریاچه ارومیه ۳۹

۴-۲- تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه ٤۲

۴-۳- تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه ٤۱

۴-۴-۳-۴- ارزیابی ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه ٤٦

۴-۴-۱- فاکتور غنی سازی ۴۶

۴-۴-۲- فاکتور آلودگی ۴۷

۴-۴-۳- شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده ۴۸

۴-۴-۴- شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی (Igeo) ۴۹

۴-۵- شاخص های ارزیابی ریسک اکولوژیکی ٥۳

۴-۵-۱- شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (E_r^i) و شاخص ریسک (RI) ۵۳

۴-۵-۲- شاخص بار آلودگی (PLI) ۵۳

۵- فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۵۵

۶- فهرست منابع ۶۱

۷- چکیده به زبان انگلیسی ۶۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمایش شوره زارهای حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۱ (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳) ۷
شکل ۱-۲- زمین شناسی حوضه دریاچه ارومیه ۱۰
شکل ۱-۳- رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه ۱۱
شکل ۲- ۱- نمونه برداری از نمک و رسوبات بخشهای ختلف بستر دریاچه ارومیه ۲۰
شکل۲- ۲- آماده سازی نمونه ها در آزمایشگاه ۲۱
شکل۲- ۳- موقعیت نقاط نمونه برداری در حاشیه شمالی، شرقی و جنوبی دریاچه ارومیه ۲۴
شکل ۳-۱- تعداد مقالات منتشر شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ در بردارنده کلید واژه "دریاچه ارومیه" ۳۰
شکل ۳-۲- حیطه های مرتبط با تحقیقات "دریاچه ارومیه" منتشر شده در WEB OF SCIENCE ۳۰
شکل ۳-۳- میزان مشارکت کشورها و دانشگاههای مختلف در خصوص تحقیقات مرتبط با "دریاچه ارومیه" منتشر شده در WEB OF SCIENCE ۳۱
شکل ۳-۴- تغییرات فصلی آرسنیک در نمونه های خاک غرب دریاچه ارومیه SAATLOO ET AL., (2014) ۴۲
شکل ۳-۵- دندروگرام ایستگاههای نمونه برداری شده در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه با لحاظ نمودن ارتباط میانگین کلیه پارامترهای آنالیز شده ۳۹
شکل ۳-۶- دندروگرام ایستگاههای نمونه برداری شده در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه با لحاظ نمودن آرسنیک، سرب، جیوه، کادمیوم، آهن، روی، منگنز، لیتیم، استرانسیم ۴۰
شکل ۳-۷ فاکتور غنی سازی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری ۴۷
شکل ۳-۸ فاکتور آلودگی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری ۴۸
شکل۳-۹ شاخص بار آلودگی محاسبه شده برای ایستگاه های مختلف ۵۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- پیش بینی انواع اثرات ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه ۸

جدول ۱-۲ - ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک سه منطقه چاربرج، چپقلو و صحرای جن.....۱۲

جدول ۲- ۱- مختصات جغرافیایی (UTM) نقاط نمونه برداری شده از دریاچه ارومیه ۲۲

جدول۳-۱تعداد مستندات در پایگاه اطلاعاتی در مورد فلزات سنگین در دریاچه ارومیه ۳۲

جدول ۳-۲- غلظت اکسیدهای عمده (درصد وزنی%WT) و عناصر کمیاب (PPM) در رسوبات دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه ALIPOUR AND MUSAVI در سال ۲۰۱۸.....۳۴

جدول ۳-۳- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر جزیی (PPM)رسوبات بستر دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه ی عیلپور و همکاران ۳۵

جدول ۳-۴- غلظت فلزات سمی (میکروگرم در گرم وزن خشک نمک)در نمونه های نمک دریاچه ارومیه SHARIATIFAR ET AL., (2016) ۳۶

جدول ۳-۵- نتایج آنالیز رسوبات و نمک بستر دریاچه ارومیه توسط غلامپور و همکاران (۲۰۱۶) ۳۸

جدول ۳-۶- مقادیر فلزات سنگین و شبه فلزات دشت شبستر (BARZEGAR ET AL, 2017).....۳۹

جدول ۳-۷- مقایسه مقادیر فلزات سنگین در رودخانه آجی چای با استانداردهای کیفی آب (BARZEGAR ET AL, 2016) ۴۰

جدول ۳-۸- نتایج آنالیز چهار فلزآلومینیوم، آهن، منگنز و سلنیوم در حوضه آبریز زرینه رود در استان های کردستان و آذربایجان غربی (KHALILZADEH POSHTEGAL AND MIRBAGHERI, 2017) ۴۱

جدول ۳-۹ میانگین فلزات سنگین در رسوبات رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه (2014) SAATLOO ET AL.,.....۴۱

جدول ۳-۱۰ میانگین فلزات سنگین در آب رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه (2014) SAATLOO ET AL., ...۴۱

جدول ۳-۱۱- آمار توصیفی فلزات سنگین و PH در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه ۴۳

جدول ۳-۱۲- غلظت فلزات سنگین، شبه فلزات و PH در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه به تفکیک نقاط نمونه برداری ۳۷

جدول ۳-۱۳- همبستگی PEARSON فلزات سنگین و PH در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه ۳۸

جدول ۳-۱۴- ریسک سرطانزایی و غیرسرطانزایی عناصر مورد بررسی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری ۴۲

جدول ۳- ۱۵ - دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق مسیرهای مختلف مواجهه.....۴۳

جدول۳-۱۶ طبقه بندی عناصر براساس فاکتور غنی سازی.....۴۶

جدول ۳-۱۷ شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده به تفکیک ایستگاه ها ۴۹
جدول۳-۱۸ شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی به تفکیک ایستگاه ها ۵۱
جدول۳-۱۹آمار توصیفی شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک ۵۳

۱- چکیده فارسی

مطالعه حاضر با هدف اصلی ارزیابی میزان آلودگی و تعیین ریسک اکولوژیکی و ریسک سلامتی ناشی از مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی و همچنین زنجیره غذایی انجام شد. در قالب اهداف فرعی کلیه تحقیقات انجام شده در کشور در خصوص ترکیبات معدنی موجود در رسوبات دریاچه ارومیه مرور و اطلاعات و نتایج موجود در آنها بررسی و استخراج گردید. جهت اطلاع از آخرین وضعیت ترکیبات فلزات سنگین و شبه فلزات، تعداد ۲۶ نمونه از رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه از بخشهای مختلف حاشیه شرقی و جنوبی تهیه و پس از آماده سازی، با روش ICP-MS آنالیز گردید. جهت تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات از رسوبات سطحی دریاچه ارومیه داده های حاصل از هدف ۱ و ۲ تحقیق با هم جمع بندی شده و وارد محاسبات ریسک سلامت (جهت برآورد احتمال خطرپذیری غیرسرطانزا و سرطانزا) شد و از فرمول های مربوطه استفاده گردید. جهت محاسبه پتانسیل خطرات اکولوژیکی رسوبات سطحی دریاچه شاخص های Risk Index(RI),Geoaccumulation Index (Igeo)، Contamination factor (CF)، contamination degree (Cd), Pollution Load Index (PLI) استفاده شد و جهت تعیین منشأ فلزات سنگین فاکتور غنی شدگی Enrichment Factor(EF) محاسبه گردید.

بر اساس یافته های این تحقیق، مطالعات مختلفی در خصوص دریاچه ارومیه از نظر اقلیم، زمین شناسی، رسوب شناسی، رژیم هیدرولیکی، گسترش اراضی شور(توسط سنجش از دور)، نوسانات سطح و عمق دریاچه و ... به انجام رسیده است اما جنبه های ریسک زیست محیطی و اکولوژیکی و نیز آلودگی به فلزات سنگین در رسوبات و شورابه دریاچه به میزان خیلی کم و اغلب بطور غیر مستقیم مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر تحقیقات انجام شده بویژه توسط سازمان زمین شناسی کشور در خصوص پتانسیل اقتصادی بازیافت عناصر ارزشمند و محدود به شورابه دریاچه و در برگیرنده کاتیون ها از جمله منیزیم و سدیم و پتاسیم و تغییرات نسبت آنها در طول زمان و همچنین مقادیر استرانسیم و لیتیم بوده است. در دو مورد مطالعه ژئوشیمیایی، برخی فلزات سنگین به صورت محدود از دیدگاه زمین شناسی در رسوبات دریاچه بررسی و نتیجه گیری شده که استرانسیم و باریم در دریاچه به دلیل تاثیر زمین شناسی اطراف دریاچه و ورود این عناصر به داخل دریاچه غنی سازی شده و افزایش یافته است. در دو مطالعه دیگر نیز جهت منشاء یابی ذرات معلق در هوای اطراف دریاچه ارومیه، تعداد محدودی نمونه رسوب نیز از بابت نوع ترکیب و وجود برخی فلزات سنگین آنالیز شده اما ریسک سلامت مورد توجه قرار نگرفته است. در خصوص مقدار فلزات سنگین در رسوبات دریاچه ارومیه بر اساس نتایج آنالیزهای انجام شده و با در نظر گرفتن میانگین غلظت ها، ترتیب فلزات به صورت زیر می باشد:

Fe>Sr>Mn>Ba>V>Cu>Zn>As>Li>Ni>Br>Cr>Rb>Pb>Co>Hg>Be>Mo>Sn>Bi>Cd

نتایج آنالیز ها در خصوص برخی عناصر از جمله استرانسیم مشابه با تحقیقات قبلی است ضمن آنکه آرسنیک دارای غلظت نسبتا بالایی در رسوبات بوده و در برخی از تحقیقات پراکندگی این ماده تا شعاع ۱۰ کیلومتری و تجمع آن بر روی برگ درختان از منشاء دریاچه مستدل رسیده است.

مرور متون انجام شده در تحقیق حاضر نشان می دهد که وجود فلزات سنگین در رسوبات دریاچه ارومیه می تواند در سالهای آینده به عنوان دغدغه ی بهداشتی و سلامتی در نظر گرفته شود. بویژه این موضوع زمانی اهمیت می یابد که به نتایج تحقیقاتی دقت کنیم که پراکندگی گردو غبار با منشا رسوبات دریاچه ارومیه را نشان می دهد. باید دقت شود که اگر تنفس ذرات دریاچه ارومیه بر اساس تحقیق موجود منجر به تغییر برخی بیومارکرهای خونی شده است سایر تغییرات بهداشتی نیز می تواند در اثر ورود فلزات سنگین موجود در گرد و غبار رخ دهد.

با این وجود در حال حاضر نتایج ارزیابی ریسک سلامت در این مطالعه نشان داد که میانگین دریافت روزانه عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، جیوه، نیکل، کبالت، استرانسیوم، وانادیوم، آنتیموان، مولیبدن، روی و منگنز کمتر از مقادیر مرجع بوده و مقادیر ضریب خطر و شاخص خطر کمتر از یک بدست آمد که در محدوده قابل قبول برای خطرات غیر سرطانزا قرار دارد. مقدار میانگین ریسک سرطانزایی از تمام عناصر فوق در مجموع ایستگاه های مورد پایش $۶/۳\times۱۰^{-۵}$ می باشد (یک نفر در هر ۲۸۰۸۹ نفر). حداکثر میانگین، مربوط به آرسنیک و از طریق بلع به میزان $۳/۵۶\times۱۰^{-۵}$ می باشد. بیشترین ریسک سرطانزایی از طریق تنفس نیز مربوط به کروم با میانگین ($۱/۰۶\times۱۰^{-۷}$) می باشد که که ریسک قابل قبول برای سلامت انسان را نشان می دهد.

براساس نتایج بدست آمده در خصوص پتانسیل ریسک اکولوژیک، شاخص های فاکتور آلودگی و غنی شدگی آلودگی کم عناصر مورد پایش بجز جیوه، آرسنیک و استرانسیوم را در ایستگاه ها نشان می دهند. جیوه، استرانسوم و آرسنیک دارای بیشترین فاکتور غنی شدگی با مقادیر به ترتیب ۱۳/۸۷، ۱۰/۸۵ و ۶ بوده و رسوبات دریاچه از کمترین غنی شدگی نسبت به کروم برخوردار بودند. براساس شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی نیز در ایستگاه های S7, S6، S16، S17 و S22 آلودگی متوسط آرسنیک (Igeo=۱-۲) مشاهده گردید. مقادیر پتانسیل ریسک اکولوژیکی منفرد برای همه عناصر مورد بررسی و همچنین شاخص ریسک یکپارچه در محدوده ۱/۹۸ تا ۵۱/۰۳ و با میانگین ۲۸ /۵۴در محدوده ریسک کم قرار داشتند.

آرسنیک، جیوه و استرانسیوم عمده آلاینده های شناسایی شده در نمونه رسوبات مورد بررسی بوده و بنظر می رسد که آرسنیک و جیوه ناشی از فعالیت های انسانی و بویژه تخلیه فاضلاب ها به دریاچه بوده و احتمالاً استرانسیوم دارای منشا طبیعی است. توجه به این نکته ضروری است که تداوم روند خشک شدن دریاچه می تواند به تشدید پتانسیل ریسک اکولوژیکی مربوطه بیفزاید.

لذا عدم دستکاری بستر دریاچه ارومیه و توسعه و احیای پوشش گیاهی در اراضی خشک شده اطراف به منظور کاهش گردو غبار تولیدی قویاً توصیه می شود.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، دریاچه ارومیه، ارزیابی ریسک، رسوبات، آلودگی

۲- فصل اول: مقدمه و بیان مسئله

۲-۱- فلزات سنگین:

بر اساس تعاریف موجود، فلزات سنگین گروهی از مواد شیمیایی معدنی خطرناک هستند که از میان آنها برخی از این فلزات، بیشتر در مکانهای آلوده یافت می شوند که می توان به سرب، کروم، آرسنیک، روی، کادمیوم، مس، جیوه و نیکل اشاره نمود. انسان به طور دایم و موقت در معرض ۳۵ فلز سمی قرار دارد. از این تعداد ۲۳ فلز جزء فلزات سنگین هستند. فلزات سنگین موجود در اکوسیستمهای آبی دارای دو منشاء طبیعی زمین شناسی و یا انسانی هستند. منشاء طبیعی عمدتاً ناشی از هوازدگی خاک و سنگها، فرسایش محیط، آتش سوزی جنگلها و فوران آتشفشانها میباشند. خاک ها منبع اصلی انتشار فلزات سنگین در محیط زیست در اثر فعالیتهای آنتروپوژنیک می باشند. این فلزات معمولا پس از ورود به محیط زیست تحت تجزیه میکروبی یا شیمیایی قرار نمی گیرند با این حال ممکن است شکل شیمیایی آنها و در دسترس بودن زیستی شان عوض شود(Ansari, 2014). خاکها ممکن است از طریق انباشت ناشی از انتشار از مناطق صنعتی به سرعت در حال گسترش، باطله های معدنی، دفع پسماندهای حاوی فلزات در غلظت بالا، بنزین و رنگ حاوی سرب، استعمال کودها، فضولات حیوانی، لجن فاضلاب و آفت کش ها در خاک و همچنین آبیاری با فاضلاب، بقایای احتراق زغال سنگ، ریخت و پاش مواد پتروشیمیایی و ترسیب اتمسفری به فلزات سنگین و شبه فلزات آلوده شوند. بنابراین فلزات سنگین و شبه فلزها هم به صورت طبیعی موجود بوده و هم طی فعالیتهای انسانی از جمله تخلیه پسابها، پسماندها، کاربرد انواع مواد شیمیایی و همچنین از طریق انباشت اتمسفری که در بالا ذکر شد می توانند وارد محیط شده و به علت ماهیت تغییر ناپذیر خود تجمع یابند. این فلزات متعاقبا از طریق گردو غبار، انحلال در آب یا جذب در گیاهان و ورود به زنجیره غذایی می توانند وارد بدن انسانها شوند. ازاینرو مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات از طرق مختلف تنفسی، پوستی و بلع می تواند صورت گرفته و باعث بروز انواع اثرات نامطلوب بهداشتی و سلامتی و ایجاد بیماری شود که برخی از این بیماریها از جمله سرطان از آن جمله است. تحقیقات نشان می دهد که این عناصر دارای خواص و ویژگی هایی همچون سمیت، پتانسیل سرطانزایی و جهش زایی زیاد، پایداری بسیار طولانی، تجمع پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی هستند(Ansari, 2014). فلزات سنگین در بافتهای چربی و درونی اعضای بدن تجمع می یابند و می توانند بر دستگاه عصبی مرکزی اثر بگذارند و یا عاملی برای بیماریهای دیگر باشند. مسمومیت با فلزات سنگین، اثر بر مغز و اختلال رشد در کودکان از اثرات شایع این عناصر است. قرار گرفتن در معرض این عناصر برای مدت زمان طولانی سبب بروز مسمومیت مزمن در سطح پایین می شود که معمولا بدون علامت است اما اختلالاتی را در سوخت و ساز بدن سبب می شود.

اگرچه وجود برخی از فلزات (مانند آهن، منگنز، کبالت، مس و روی) به عنوان عناصر غذایی به میزان بسیار کم برای انجام فعالیتهای زیستی موجودات زنده ضروری هستند اما یافته ها نشان می دهند که رسوبات

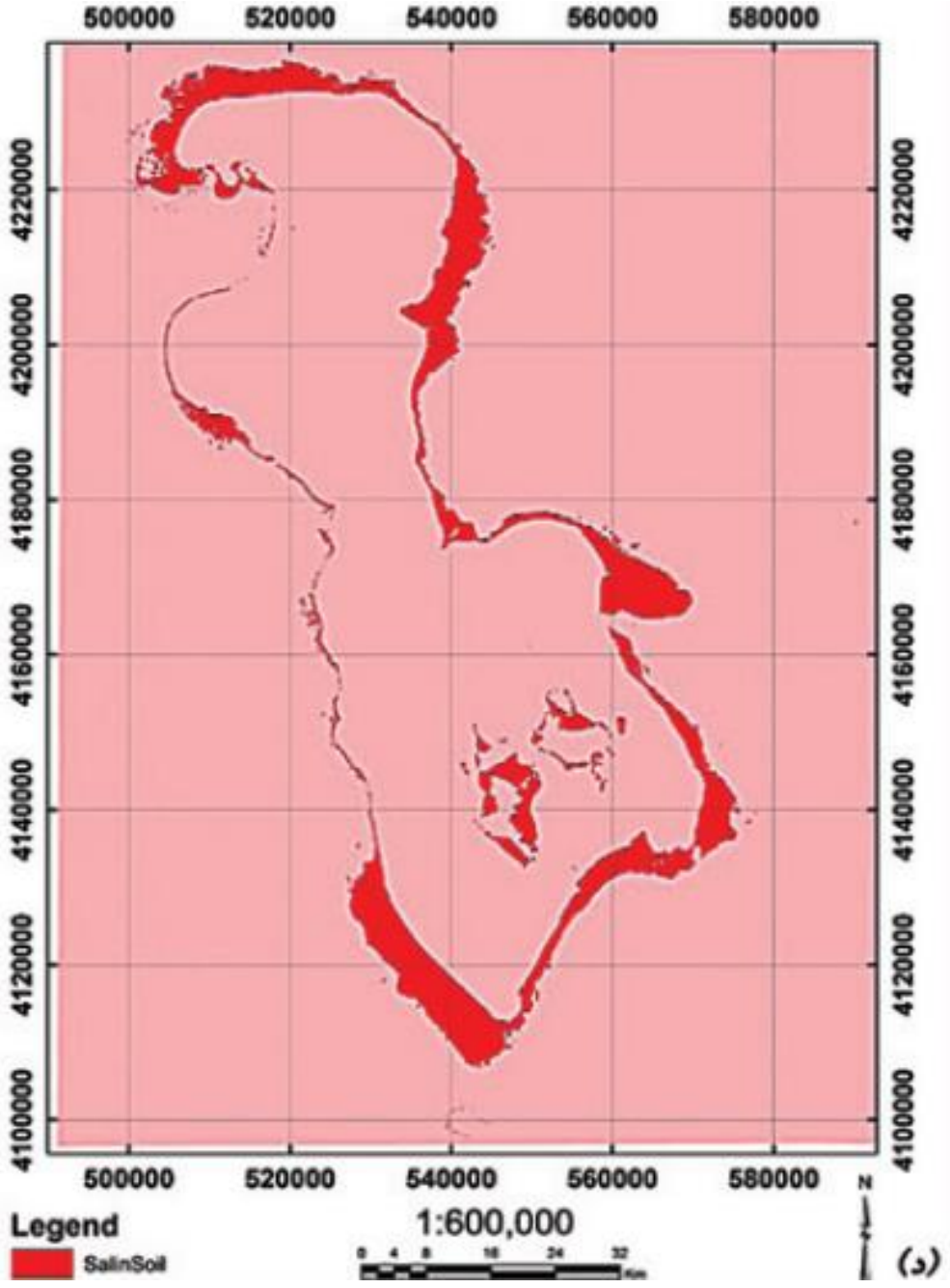
اکوسیستمهای دریایی حاوی مقادیر عظیمی از آلاینده ها محیط زیستی همچون جیوه، سرب و کادمیوم هستند که به طور بالقوه برای محیطهای آبی بخصوص موجودات زنده و استفاده کنندگان آنها سمی و خطرناک هستند. در این میان یکی از محیطهای که به شدت تحت تأثیر آلودگیهای شدید ناشی از فعالیتهای انسانی و تا حدودی طبیعی قرار گرفته اند، رسوبات موجود در مصب ها و نوارهای ساحلی هستند. به همین جهت رسوبات سطحی این نواحی به منظور ارزیابی دقیق آلودگی عناصر سنگین بکار گرفته شده است چرا که رسوبات دائماً آلاینده ها را جذب کرده و در نتیجه به مراتب آلودگی بیشتری نسبت به ستون آب دارند. علاوه بر جذب مداوم آلاینده ها، ذرات معلق موجود در ستون آب قبل از ته نشینی بر روی رسوبات، آلاینده های موجود در ستون آب را جذب نموده، که نتیجه این فرآیند تجمع بیشتر آلودگیها در رسوبات میباشد. همچنین فلزات سنگین در فرمهای آلی، معدنی و پایدار (Fractions)شیمیایی مختلفی در رسوبات وجود دارند، که این فرمهای مختلف خود موجب تحرک، دستیابی زیستی (bioavailability) و پتانسیل سمیت (toxicity potential) متفاوتی برای آنها شده است. بنابراین بررسی خصوصیات کیفی رسوبات سطحی و اندازه گیری آلودگی فلزات سنگین در نواحی ساحلی یک ابزار مدیریتی مهم برای ارزیابی و سنجش سلامتی اکوسیستمهای ساحلی است زیرا تجمع بالای فلزات سنگین در این اجزا میتواند منجر به تغییرات اکولوژیکی جدی شود. اصولاً آلودگی اکوسیستمهای آبی به فلزات سنگین می تواند از طریق بررسی آب، رسوبات و موجودات زنده و همچنین طیف وسیعی از شاخصهای محیط زیستی همچون ارزیابی ریسک سلامت، خطر اکولوژیکی، شاخص زمین انباشت شیمیایی، فاکتور آلودگی، شاخص بار آلودگی و غیره مورد تأیید قرار گیرد. اما در این میان یکی از شاخصهایی که به دلیل اهمیت فراوان در چند سال اخیر توجهات قابل ملاحظه ای را به خود جلب کرده، شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سمی در محیطهای آبی است چرا که این شاخص بر اساس میزان غلظت و فاکتور سمیت هر فلز، پتانسیل خطر اکولوژیکی آنها و همچنین خطر محیط زیستی مجموع فلزات را مشخص می نماید (Qiu et al, 2018; Omwene et al, 2018; Sari et al, 2018;Yang et al, 2015; Gurumoorthi et al, 2016; Nagajyoti et al, 2010).

۲-۲- پیامدهای زیست محیطی و سلامت ناشی خشک شدن دریاچه ارومیه

بر اساس شواهد موجود، وسعت دریاچه از ۵۲۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع در حال حاضر به کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع در طی دو دهه اخیر رسیده است. این حوضه از یک توپوگرافی ویژه ای برخوردار است و ، به شکل چاله ای است که اطراف آنرا رشته کوههائی فرا گرفته اند و شهرهای بزرگ، کوچک وروستاهائی در حاشیه این دریاچه بوجود آمده اند که یکی از قطبهای جمعیتی آذربایجان به حساب می آید و نزدیک به سیزده میلیون جمعیت را در خود جای داده است. از گذشته های دور تا حال این شهرها با برخورداری از رطوبت و بخار آب این دریاچه دارای آب و هوای معتدلی بوده و هستند.

طی دو دهه اخیر اخیر متاسفانه تراز دریاچه ارومیه ۸ متر کاهش یافته و رو به خشکی نهاده و بخش اعظمی از مساحت آن تبدیل به بیابان و نمکزارهایی شده است بطوریکه زمینهای شوره زار به وسعت حداقل ۱۵۰ هزار هکتار خصوصا در نواحی پست اطراف دریاچه و سواحل جزایر ایجاد گردیده است(لک و درویشی ، ۱۳۹۵) .

احمدی و همکارانش (۱۳۹۵) اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه را ۳۵۳۱۵۰ هکتار در استان های آذربایجان شرقی و غربی ذکر نموده اند. در این اراضی رسوبات در تماس مستقیم با باد و باران می باشند بطوریکه در اثر وزش باد، گردو غبار از کف دریاچه برخاسته و می تواند به اطراف انتشار یابد. بر این اساس جوامع اطراف دریاچه ارومیه می توانند از طریق تنفس گردو غبار آلوده، انباشت فلزات در گیاهان و محصولات کشاورزی و تغلیظ آنها در زنجیره غذایی و شبکه غذایی و همچنین از طریق پوستی تحت مواجهه قرار گیرند. در شکل ۱-۱ آخرین وضعیت اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱- نمایش شوره زارهای حوضه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۱ (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳)

نادر صفت (۱۳۹۰) پیش بینی کرده است که مهمترین تاثیر مورفولوژیکی این دریاچه بر روی پارامترهای آب و هوای این منطقه خواهد بود و برخی از پارامترهای اقلیمی را بشدت تغییر خواهد و اثرات مورفولوژیکی منفی آن بشرح زیر خواهد بود:

الف - با خشک شدن این دریاچه و کاهش رطوبت نسبی آن میانگین دمای این منطقه رو به افزایش خواهد گذاشت .بویژه در فصل تابستان.

ب - این چاله وحواشی آن دارای سازندهای تبخیری مربوط به دوره میوسن میباشد که بعد از خشک شدن دریاچه؛ گنبد های نمکی وکویر وسیعی بجای دریاچه رخنمون پیدا میکنند و با وزش بادها در فصول مختلف، نمکها را به زمینهای مجاور خود منتقل و باعث شوری این زمینها وکویر زائی خواهد شد. بویژه سواحل شرقی و جنوب شرقی

ج - به دنبال تبخیر شدید و خشکیدن آب این دریاچه و تبدیل آن به یک منطقه کویری درکاهش بارشها نیز تاثیر خوهد داشت.

د - همه شهرها و روستاهای واقع در حول این دریاچه از حیث اقتصاد کشاورزی بشدت آسیب خواهند دید، چون با شور شدن زمینهای حاشیه دریاچه وضعیت کشاورزی و تولیدات آن بشدت آسیب خواهند دید و ضرر و زیان حاصل از آن بیشتر متوجه ساکنین این منطقه و نهایتا کل کشور خواهد بود.

و - این دریاچه که از گذشته های دور یکی از مناطق توریستی، سیاحتی و گردشگری بوده و اغلب از شهرهای دور و نزدیک آذربایجان برای استفاده از آب درمانی و توریستی در فصل تابستان باین منطقه روی میآوردند، از این به بعد از این مسافرتها خبری نخواهد بود . مانند بنادر شرفخانه و گلمانخانه....

ه - آب این دریاچه برای پرورش و تکثیر نوعی میگوی آبهای شور بنام آرتمیا بسیار مناسب است که غذای ماهیهای پرورشی میباشد و از این نظر دارای منبع درآمد است . همچنین این دریاچه محل پذیرای گونه های مختلف از پرندگان مهاجر و بومی این منطقه میباشد که با خشک شدن دریاچه آنها کوچ یا نابود خواهند شد (نادر صفت، ۱۳۹۰)

بارانی پسیان (۱۳۹۶) اشاره کرده که اثرات خشک شدن دریاچه ارومیه در محیط های مختلف زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و امنیتی به شکل زیر خواهد بود(جدول ۱-۱):

جدول ۱-۱- پیش بینی انواع اثرات ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه (بارانی پسیان، ۱۳۹۶)

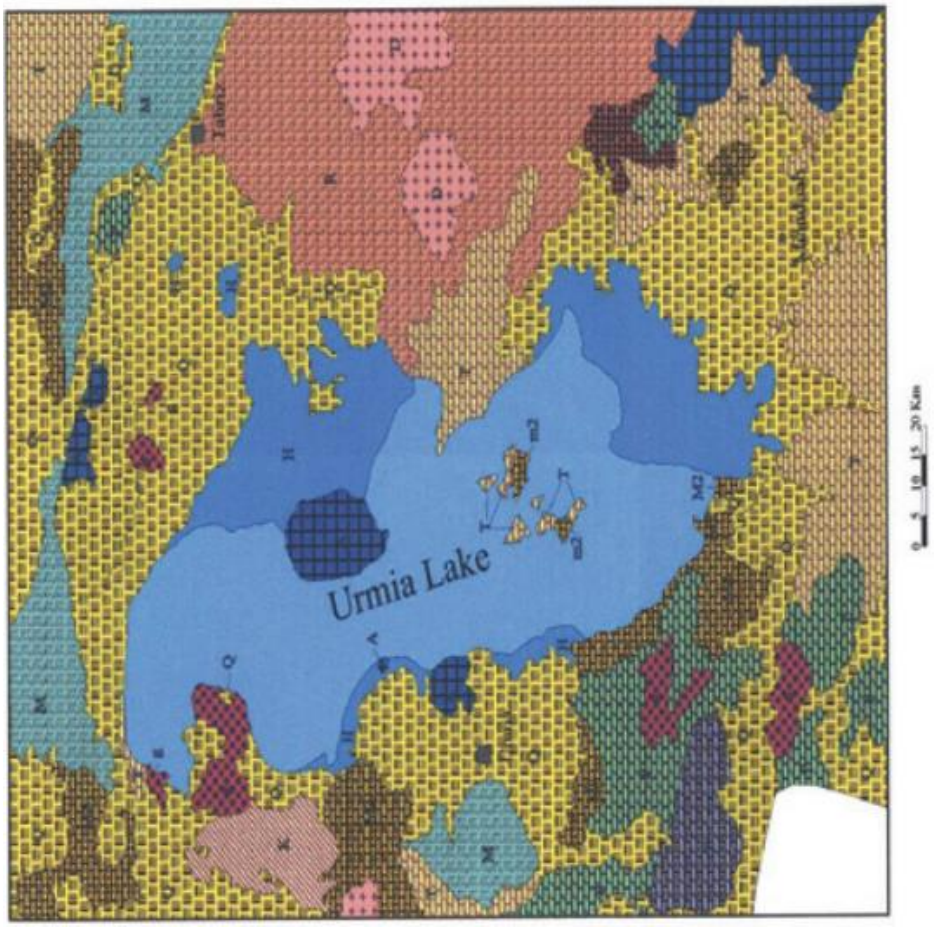
زیست‌محیطی	طوفان‌ها و ریزگردهای نمکی
	تشدید نوسانات اقلیمی و تغییر در زمان‌بندی فصول
	کاهش و ازبین‌رفتن ذخایر آرتمیا
	کاهش و ازبین‌رفتن حیوانات و پرندگان بومی و مهاجر
	بیابان‌زایی و توسعه آن به نواحی پیرامونی
اجتماعی	مهاجرت از مناطق مجاور دریاچه به‌ویژه روستاهای همجوار
	افزایش بیکاری
	کاهش سطح سلامت و ایجاد بیماری‌های صعب‌العلاج
	کاهش امنیت و مشارکت اجتماعی
اقتصادی	افت گردشگری
	ازبین‌رفتن اراضی کشاورزی و حاصلخیزی خاک
	گسترش فقر
سیاسی‌امنیتی	بی‌اعتمادی نسبت به مسئولان دولتی و استانی
	تنش‌های بین‌المللی و دخالت دولت‌های دیگر
	قوم‌گرایی و درگیری‌های قومی در منطقه

بر اساس فوق مشاهده می شود که طوفان ها و ریزگردهای نمکی به عنوان دغدغه زیست محیطی و کاهش سطح سلامت و ایجاد بیماریهای صعب العلاج از جمله دغدغه های اجتماعی خشک شدن دریاچه ارومیه است که بخشی از آن می تواند ناشی از مواجهه با ذرات گردو غباری باشد که از رسوبات و بستر دریاچه ارومیه منشاء می گیرند و ممکن است حاوی فلزات سنگین نیز باشند.

۲-۳-ویژگیهای زمین شناسی دریاچه ارومیه

طی سالهای اخیر بحران زیست محیطی خشک شدن دریاچه ارومیه نظرها را در سطح ملی و حتی بین المللی به خود جلب نموده است. دریاچه ارومیه (شکل ۱-۲) در شمال غربی ایران بزرگترین و مرتفع ترین دریاچه داخلی ایران است و در بین آذربایجان شرقی و غربی، در گودترین بخش آن، میان کوههای سبلان، سهند، میشوداغ، مهاباد، تخت سلیمان و ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه واقع شده و تنها دریاچه قابل کشتیرانی ایران است. دریاچه ارومیه یکی از چاله های تکتونیکی و گودال کشید های است که در مغرب فلات آذربایجان

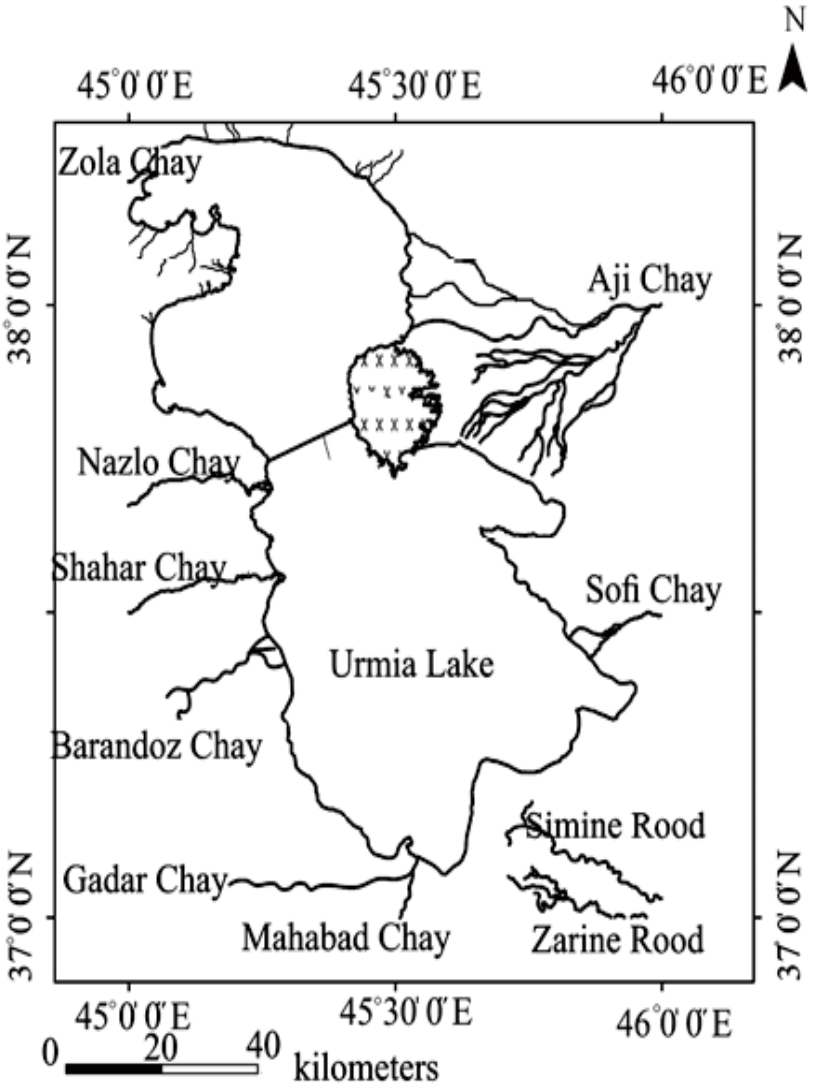
از شمال به جنوب کشیده شده است که با ابعاد بزرگی، آبهای حوض های به مساحت ۳۵,۰۰۰ کیلومتر مربع از فلات آذربایجان را به خود اختصاص داده و به طور طبیعی موجبات تقسیم آذربایجان به دو قسمت شرقی و غربی را فراهم ساخته است (نادر صفت، ۱۳۹۰).



شکل ۱-۲- زمین شناسی حوضه دریاچه ارومیه

۲-۴- ترکیب رسوبات دریاچه ارومیه

درخصوص آلودگی آب و رسوبات دریاچه ارومیه بایستی توجه شود که این دریاچه از سالیان دور شاهد ورود جریانهای آب سطحی از بخشهای مختلف به خود بوده است (شکل ۱-۳). بخشی از این جریانات سطحی شامل رودخانه هایی می باشند که از فواصل دور حوضه آبریز به سمت این دریاچه حرکت می کنند (مثلا آجی چای) و بدیهی است که انواع فاضلابها و پسابهای صنعتی و کشاورزی وارد این جریانات سطحی شده و نهایتا به دریاچه می رسد. از سوی دیگر به صورت طبیعی نیز علاوه بر حوضه آبریز بلافصل دریاچه، در خود رسوبات دریاچه نیز گونه های خاصی از مواد معدنی در غلظتهای بالا موجود می باشند.



شکل ۱-۳- رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه

در خصوص ترکیب رسوبات دریاچه ارومیه، تحقیقات مختلفی توسط محققین به عمل آمده است که نتایج برخی از تحقیقات صرفا در قالب گزارش بوده و برخی دیگر نیز در قالب مقاله به چاپ رسیده اند. از جمله گزارشات موجود می توان به تحقیقی با عنوان "گزارش مکان یابی و مقادیر عناصر در شورابه ها و نمک های بستر دریاچه ارومیه" اشاره کرد که مقادیر منیزیم، پتاسیم و لیتیم را در مناطق ۶ گانه دریاچه ارومیه در شورابه سطحی، شورابه بین منفذی و نمک بررسی و برآورد نموده است. رسوبات دریاچه ارومیه را با توجه به خاستگاه آن ها به دو دسته رسوبات آواری و برجا می توان تقسیم نمود که رسوبات برجا خود از دو تیپ شیمیایی و بیو شیمیایی تشکیل می شوند. نهشته های آواری: مطالعات رسوب شناسی دریاچه ۳ متر بستر به طور – ارومیه بر روی مغزه های نمونه برداری شده به وسیله لوله های مغزه گیر پیستونی تا عمق ۱,۱ متر دقیق صورت گرفته است. در این عمق نهشته های دریاچه از لایه های سیلتی سبز قهوه ای مایل به قرمز تشکیل می شود که دارای کانی های آواری مانند کوارتز، کلسیت، پلاژیوکلاز و کائولینیت است و به طرف بالا مقدار رسوبات آواری ها افزایش می یابد. رسوباتی که همراه رود ها و سیلاب ها وارد دریاچه میشوند آمیزه ای از دانه های ریز و درشت سنگ های رسوبی، آذرینی و دگرگونی هستند که خاستگاه آن ها از سنگ های تشکیل دهنده ارتفاعات پیرامون دریاچه و حوضه آبگیر آن می باشد. دانه ها و ریز دانه هایی که به صورت آواری به دریاچه حمل می شوند عبارت اند از: کلسیت، کوارتز، میکا، پلازیوکلاز و فلدسپات های پتاسیم دار و دولومیت. تغییر شرایط اقلیمی در طول دهه های اخیر عمر دریاچه باعث تغییر در رژیم رسوب گذاری گردیده و سبب شده است تا رسوبات فوق اشباع از نمک به رسوبات آب شیرین و یا لب شور تبدیل گردد و کانی های آواری موجود در آن ها بیشتر شود. نهشته های آواری دانه درشت و سیلت ها بیشتر در دهانه های ورودی رودخانه ها با دریاچه گسترش دارد. بنابر همین مطالعات رسوبات آواری دریاچه در مقایسه با نهشته های شیمیایی آن از اهمیت و ارزش کمتری برخوردار هستند (کره ای و همکاران، ۱۳۹۲).

بر اساس گزارش هوشمندزاده، بیشتر نهشته های دریاچه ارومیه را عناصر شیمیایی و فوق اشباع از نمک تشکیل می دهد. وجود لایه های بسیار نازک از نهشته های تخریبی از نوع آب شیرین در بین رسوبات، بیانگر تغییرات آب و هوایی و بروز دوره های یخچالی است. ممهمترین نهشته های دانه ریز لوله ای شکل آراگونیتی بنام ریز سرگین Fecal Pelles است که یک نهشته شیمیایی زیستی بوده و از تجمع و تراکم رسوب به دور خرچنگهای موجود در دریاچه بنام آرتمیا سالینا بوجود آمده است. گچ در نهشته های این دریاچه بصورت لایه هائی مستقل با بلورهای درشت در داخل گل و لای رشد پیدا کرده است (نادرصفت، ۱۳۹۰).

در تحقیقی که توسط احدی و پوراکبر(۱۳۹۵) انجام شد تاثیر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای دریاچه ارومیه در سه منطقه بر روی رشد گیاهی از منطقه بررسی شد که نتیجه پارامترهای اندازه گیری شده خاک در جدول ۱-۲ قابل مشاهده است. همچنانکه مشاهده می شود خاکهای منطقه تفاوتهای معنی دار با هم دارند اما عموما دارای pH قلیایی بوده و با افزایش شوری خاک، pH نیز افزایش می یابد.

جدول ۱-۲ - ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک سه منطقه چاربرج، چپقلو و صحرای جن، (احدی و پوراکبر، ۱۳۹۵)

مناطق / ویژگی‌های خاک	تپه چهار برج	چیپقلو	صحرای جن
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	۳/۵±۰/۵	۱۳/۲±۰/۷	۱۷/۴۳±۱/٤
رس (٪)	۲۱/٤۲±۲	۷/٤±۰/۸	۱۹/۲۳±۰/۵
سیلت (٪)	۷۸/۵۸±۵/۵	۲۵±۳	۲٦/۹۲±۱/۷
شن (٪)	۰±۰/۳	٦٦/٤±٤	۵۳/۸٤±۳/۸
بافت خاک	سیلیت-لومی	شنی-لومی	شنی-لومی
pH	۸/۸۷±۰/٤۹	۸/۳٦±۰/۸۵	۹/۰۳±۰/۵۷

۲-۵-ترکیب شورابه دریاچه ارومیه

بر اساس تحقیق انجام شده در خصوص دریاچه تا سال ۲۰۰۷ در آب دریاچه درصد سدیم بالاتر از منیزیم بود (۵/۱۲ برابر). این میزان در سال ۲۰۱۱ به ۰/۶۸٪ و در سال ۲۰۱۲ به ۰/۵۳٪ می رسد. گفته می شود هر چه تبخیر بالاتر رود نسبت منیزیم به سدیم افزایش می یابد. به عبارتی این وضعیت نشان دهنده خشک شدن شورابه سطحی است (لک و درویشی ۱۳۹۵). بر اساس گزارش شمشکی و کرمی (۱۳۹۶) نسبت یونی منیزیم به کلسیم از ۱۲/۶۵ برابر در سال ۱۹۸۵ به ۳۵/۰۵ برابر در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. به عبارت دیگر در بازه زمانی ۲۳ ساله از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۷ میزان Mg/Ca حدود ۲/۸ برابر شده است.

همچنین داوری و همکاران(۱۳۹۴) پتانسیل عناصر اقتصادی شورابه دریاچه ارومیه را بررسی کرده و در طی آن تغییرات غلظت منیزیم، پتاسیم، لیتیم و سدیم را بررسی کرده اند. در این تحقیق میزان لیتیم ۲۱ تا ppm ۳۴ و غلظت منیزیم ۵۶ تا ۱۰۴ گرم بر لیتر گزارش گردید.

در خصوص ترکیب شورابه دریاچه ارومیه و تغییرات آن درویشی خاتونی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کرده اند که تیپ شورابه دریاچه ارومیه میان سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰تغییرات کمی داشته است. این تغییرات برای سال ۲۰۱۱ بسیار زیاد است و در دوره های زمانی کوتاه مدت تغییرات بسیار زیادی در میزان آنیونها و کاتیونها رخ داده است بطوریکه از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ تیپ شورابه از نوعNa-Mg-Cl بوده که از سال ۲۰۱۱ با افزایش قابل توجهی میزان شوری و چگالی آب دریاچه، تیپ شورابه نیز تغییر کرده است. در سال ۲۰۱۱و ۲۰۱۲ با افزایش میزان سدیم و کلرید محلول و رسیدن به آستانه تبلور مستقیم هالیت از آب دریاچه، با ته نشست نمک در کف و حاشیه دریاچه میزانNa کاهش یافته و بواسطه کاهش میزانNa، میزان منیزیم افزایش یافته و تیپ شورابه از Na-Mg-Cl بهMg-Na-Cl تغییر یافته است و تیپMg-Na-Cl مربوط به دوره خشک می باشد. آنها تاکید کرده اند که به نظر میرسد این حالت نیز یک حالت گذرا باشد و این دریاچه در نهایت با تبخیر بیشتر، به شوری بالاتر میرسد (اکنون شوری دریاچه بیش ۴۰۰ گرم در لیتر است) و با ته نشست هالیت و سولفات سدیم، به تیپ$Mg\text{-}SO_4\text{-}Cl$ تکامل می یابد. همچنین با گذشت زمان اختلاف

ترکیب شیمیایی و شوری دریاچه در شمال و جنوب بزرگراه شهید کلانتری بیشتر میشود. در سال ۲۰۱۰، Esmaeili Dahesht و همکارانش مقاله ای را در خصوص نوسانات فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و جمعیت فیتوپلاکتون ها در آب دریاچه ارومیه منتشر کردند. آنالیزهای این تحقیق که در سال ۲۰۰۵ انجام شده بود نتایج زیر را نشان داد:

Cl^- 176.2-201.3 $g.l^{-1}$; CO_2 95-175$mg.l^{-1}$; dissolved oxygen (DO) 0.1-2.8 $mg.l^{-1}$; HCO_3 – 144-496 $mg.l^{-1}$; , PO_4^{2+} 104-875$mg.l^{-1}$; NO_3^-330-4104 $mg.l^{-1}$; NO_2- 4-21.5 $mg.l^{-1}$; , SO_4^{2-} 10490-29840 $mg.l^{-1}$; Ca^{2+}561-1606 $mg.l^{-1}$; Mg^{2+}3649-14587 $mg.l^{-1}$, hardness 21000- 62000 $mg.l^{-1}$

در مطالعه Alipour (2006) نتایج گزارش شده با مطالعه فوق اندکی تفاوت دارد و نشان داده شده که مقادیر املاح اندازه گیری شده غیر از کلسیم در بخش شمالی و جنوبی دریاچه چندان متفاوت نیست. آنالیز نمونه های آب از سطح (۰,۵ مترعمق) برایNa ، Mg، Ca، Br و Li به ترتیب غلظت ۸۷,۱۱۸، ۴,۸۲، ۴,۵۴ گرم در لیتر و ۱/۱۹ و ۱۲/۷ میکروگرم در لیتر را نشان داد. غلظت لیتیم در سه فصل هیچ تغییری نشان نداد ضمن آنکه ید زیر حد تشخیص بود. Zandvakilia and Ranjbarb در سال ۲۰۱۷ در خصوص بازیافت لیتیم از آب شور دریاچه ارومیه با استفاده از مبادله کننده یونی مرکب نتایج تحقیق خود را منتشر کردند. تاکید عمده این تحقیق بر ویژگیها و توانمندیهای ماده سنتز شده می باشد. همچنین همین محقق بر روی بازیافت لیتیم از دریاچه ارومیه با استفاده از یون دی اکسید منگنز با ساختار نانو نیز مقاله را منتشر نموده است (Zandvakil et al 2014). فلزات سنگین در برخی از مطالعات مرتبط با دریاچه ارومیه عموما با اهدافی غیر بهداشتی بررسی شده است. از جمله تحقیق Nejatkhah Manavi and Baniamam, 2011 نشان داده که آرتمیای دریاچه ارومیه قادر است فلزات سنگین از جمله نیکل را در بدن خود تغلیظ نماید. این می تواند به معنی آن باشد که پراکنده شدن آرتمیاهای موجود در لجن کف دریاچه ارومیه دراثر باد می تواند همراه با پخش احتمالی فلزات سنگین متمرکز شده در بدن این جاندارن نیز باشد. Baniamam در سال ۲۰۱۴ در خصوص اثرات سمی وانادیوم بر روی دو گونه آرتمیا مقاله ای را منتشر کرده و نتیجه گیری نمود که هر دو گونه قادر هستند این فلز را در خود تجمع دهند. همچنین دو محقق فوق الذکر همراه با Asadpour (۲۰۱۳) تجمع زیستی نیکل و وانادیوم و اثر آنها را بر رشد آرتمیا بررسی کرده اند. Zazouli et al, 2018 آبهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه را خیلی رسوبگذار و خورنده توصیف نموده اند. Chitsazan et al., 2017 نیز آبهای زیرزمینی ارومیه را خورنده و خیلی خورنده اعلام کرده اند. Gholampour et al., (2015) نسبت به منشاء یابی و جنس ذرات معلق هوا در اطراف دریاچه ارومیه در دو ایستگاه تحقیق نمودند. این مطالعه نشان داد که نمک های محلول در آب، ۳ تا ۲۰ درصد کل توده TSP و PM_{10} را تشکیل می دهند. تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که ذرات شور که از بستر دریاچه ارومیه تشکیل شده بودند، منبع غالب (٪۵۷/۶) TSP بودند. علاوه بر این، ذرات شور همراه با مواد پوسته ناشی از تعلیق مجدد منبع اصلی (٪۵۹/۹) PM_{10} بودند.

تا به حال هیچ جمع بندی مشخصی از ریسک سلامت و ریسک اکولوژیکی مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات در دسترس نمی باشد. هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی ریسک سلامت و ریسک اکولوژیکی ناشی از

مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات سطحی دریاچه ارومیه است. مطالعه در ۴ مرحله به گونه ای انجام گردید که بتواند اولا یک جمع بندی مشخص و قابل استنادی از تحقیقات انجام شده در خصوص فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات دریاچه ارومیه ارائه دهد، دوما آخرین وضعیت غلظت فلزات سنگین را در رسوبات سطحی دریاچه که مجاور با مناطق مسکونی می باشد سنجش و ارائه نماید، سوما ریسک سلامت و بهداشتی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات را از طرق مختلف مواجهه، محاسبه و ارائه نماید و نهایتا ریسک اکولوژیکی را نیز بر اساس جدیدترین شاخصها ارائه نماید. در مطالعه حاضر نمونه ها از حاشیه شرقی و جنوبی دریاچه که مشرف بر مناطق مسکونی و شهرهای اطراف است از رسوبات سطحی برداشت و آنالیز گردید. ارزیابی ریسک اکولوژیکی و سلامتی فلزات سنگین در رسوبات مناطق حاشیه شرقی دریاچه به عنوان نوآوری طرح حاضر می تواند در نظر گرفته شود.

اهداف طرح

هدف کلی طرح: ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

اهداف اختصاصی طرح:

۱- بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه

۲- تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه

۳- تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی

۴- تعیین ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

فرضیات طرح

با توجه به ماهیت طرح سوالات زیر به جای فرضیه در طول تحقیق مطرح شد:

۱- آخرین وضعیت توزیع کمی و کیفی فلزات سنگین و متالوئیدها در نمونه رسوبات سطحی دریاچه که از مجاورت مناطق مسکونی در حاشیه شرقی و جنوبی دریاچه برداشت شده اند چگونه است؟

۲- احتمال وجود پتانسیل خطر غیرسرطانزایی از طریق مصرف، تنفس و جذب پوستی ذرات رسوبات ناشی از دریاچه چقدر است؟

۳- خطر سرطانزایی فلزات سنگین موجود در رسوبات که از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی به بدن می رسد چقدر است؟

۴- آیا پتانسیل خطرات اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین موجود در رسوبات بالا می باشد؟

۳-فصل دوم : روش کار

۳-۱- روش انجام مطالعه

نوع مطالعه حاضر بنیادی – کاربردی است و در طی مراحل انجام مطالعه به منظور دستیابی به اهداف با استفاده از جستجوی اینترنتی در وب سایتهای مرتبط، گزارشات موجود در خصوص بررسیهای به عمل آمده در مورد عناصر معدنی موجود در رسوبات دریاچه ارومیه شناسایی و تهیه شد. همچنین مقالات منتشر شده نیز جمع آوری و بررسی شده و در نهایت تحلیلی از شرایط عناصر معدنی موجود در رسوبات دریاچه ارومیه با تاکید بر وجود فلزات سنگین آماده گردید. جهت تخمین آخرین وضعیت فلزات سنگین و عناصر معدنی در رسوبات بستر دریاچه، ۲۵ ایستگاه در حاشیه شرقی و جنوبی دریاچه ارومیه بویژه در محل هایی که در مجاورت آنها مناطق مسکونی قرار دارد تعیین و اقدام به نمونه برداری از رسوبات گردید. رسوبات تهیه شده از بستر دریاچه، در آزمایشگاه آماده سازی شده و پس از خشک شدن و هضم شدن، با روش ICP-MS آنالیز شده و غلظت ۵۰ فلز و شبه فلز در آنها تعیین گردید. به منظور تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات از رسوبات سطحی دریاچه ارومیه داده های حاصل از هدف ۱ و ۲ تحقیق با هم جمع بندی شده و وارد محاسبات ریسک سلامت (جهت برآورد احتمال خطرپذیری غیرسرطانزا و سرطانزا) شد. برای محاسبه ریسک سلامت از فرمول های مربوطه استفاده گردید که در ادامه بطور مفصل توضیح داده شده است. به منظور محاسبه پتانسیل خطرات اکولوژیکی رسوبات سطحی دریاچه در راستای هدف ۴ از شاخص های:

Contamination factor (CF)، Risk Index(RI),Geoaccumulation Index (Igeo) contamination degree (Cdeg),Pollution Load Index (PLI استفاده شد و همچنین فاکتور غنی شدگی Enrichment Factor(EF) جهت تعیین منشأ فلزات سنگین محاسبه گردید.

برای جمع آوری اطلاعات هدف اول، به عنوان ابزار از اینترنت و بانکهای اطلاعاتی مقالات استفاده شد. بطوریکه برای مقالات فارسی از سایت SID و برای مقالات انگلیسی از سایت web of Science و همچنین Google Scholar استفاده گردید. علاوه بر این در جستجوی عمومی google نیز عنوان دریاچه ارومیه وارد شد و کلیه مستندات و گزارشات موجود بویژه در سایت ستاد احیاء دریاچه ارومیه بررسی و ملاحظه گردید. در مرحله بعدی و جهت پاسخ به هدف ۲ نیز به صورت فیلدی از منطقه مورد مطالعه بازدید به عمل آمد و نمونه های برداشت شده در کیسه های پلاستیکی قرار داد شده و در آزمایشگاه با استفاده از فور خشک گردید و نهایتا با هضم اسیدی و با دستگاه ICPMS آنالیز گردید. برای اهداف ۳ و ۴ مطالعه نیز از کامپیوتر و فرمولهای مربوطه و SPSS و excel به عنوان ابزار استفاده شد.

حجم نمونه رسوبات و نمک بررسی شده در مطالعه حاضر به صورت تجربی ۲۵ عدد تعیین شد. عامل اصلی در تعیین تعداد نمونه ها، محدودیت مالی جهت آنالیز بود. با این حال در طی نمونه برداری سعی گردید نمونه ها به صورت مرکب تهیه شود. یعنی به جای یک نقطه از کف دریاچه، در یک محدود ۱۰۰ متر مربعی چندین نمونه از بستر دریاچه تهیه و با هم مخلوط گردید تا نمونه مربوطه نماینده مناسبی از آن بخش دریاچه باشد.

بدیهی است که در تهیه نمونه ها، توزیع جغرافیایی آنها و مناطق مسکونی اطراف دریاچه همه مد نظر قرار گرفتند. در ادامه گزارش، توضیحات تکمیلی اهداف اختصاصی به تفکیک هر هدف و آنالیز آماری استفاده شده ارائه شده است:

هدف اختصاصی شماره یک : بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه

خلاصه روش اجرا هدف اختصاصی یک: به منظور دستیابی به این هدف با استفاده از جستجوی اینترنتی در وب سایتهای مرتبط، گزارشات موجود در خصوص بررسیهای به عمل آمده در مورد عناصر معدنی موجود در رسوبات دریاچه ارومیه شناسایی و تهیه شد. همچنین مقالات منتشر شده نیز جمع آوری و بررسی شده و در نهایت تحلیلی از شرایط عناصر معدنی موجود در رسوبات دریاچه ارومیه با تاکید بر وجود فلزات سنگین آماده گردید. داده ها و اطلاعات حاصل از گزارشات و مقالات در قالب جداول آماری به صورت توصیفی آماده ارائه گردید.

عنوان هدف اختصاصی شماره دو : تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه

خلاصه روش اجرا هدف اختصاصی دو: به منظور دستیابی به این هدف ۲۶ ایستگاه در حاشیه شمالی، شرقی و جنوبی دریاچه ارومیه بویژه در محلهایی که در مجاورت آنها مناطق مسکونی قرار دارد تعیین گردیده و اقدام به نمونه برداری از رسوبات شد. در شکل ۲-۱ نحوه نمونه برداری از نمکها و رسوبات و در شکل ۲-۲ نحوه آماده سازی نمونه ها نمایش داده شده است. برای نمونه برداری از نمک ها و رسوبات دریاچه ارومیه از کیسه های پلاستیکی نمونه برداری عاری از هر نوع آلودگی استفاده شد. از هر نقطه نمونه برداری، با استفاده از بیلچه های چوبی از سطح تا عمق تقریبی ۸ سانتی متری از رسوبات و نمک های سطحی نمونه برداری صورت گرفت و سعی گردید که از فواصل چند متری نزدیک هم بصورت مثلثی برداشت و نمونه نهایی مخلوط آنها باشد. رسوبات تهیه شده از بستر دریاچه، در آزمایشگاه آماده سازی شده و پس از خشک شدن و هضم شدن، با روش ICP-MS آنالیز گردید. برای هضم و آماده سازی نمونه های نمک و رسوبات جهت اندازه گیری فلزات سنگین موجود در آنها از استاندارد ASTM D4698-92 استفاده گردید. و مطابق این روش ۰,۵ گرم از هر کدام از نمونه های الک شده با استفاده از ۴ اسید ($HF-HCLO_4-HNO_3-HCl$) کاملا هضم گردیدند و پس از طی این مراحل، محلول های بدست آمده توسط روش ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفت. مقدار هر یک از عناصر اندازه گیری و مشخص گردید. نمونه ها با استفاده از دستگاه ICP-MS مدل HP-4500 در آزمایشگاه شرکت نوین شیمیار مورد آنالیز قرار گرفته اند. شایان ذکر است که علاوه بر فلزات سنگین و شبه فلزات کادمیوم، جیوه، کروم، نیکل، سرب، آرسنیک، سلنیوم و کبالت که دارای اثرات سلامتی قابل توجهی هستند، عناصر دیگری نظیر استرانسیوم، بیسموت، مولیبدن، آنتیموان وانادیوم که می توانند سبب آلرژی، مشکلات تنفسی، آسیب های پوستی و سایر اثرات به ویژه در کودکان شوند نیز مورد ارزیابی شد. همچنین فلزات مس، آهن، روی، منگنز و لیتیوم نیز تعیین مقدار گردید که برخی از آنها در محاسبه شاخص های مربوط به ریسک اکولوژیک استفاده شد. در مورد عناصر پرتوزا، مقادیر کمی عناصر اورانیوم و توریوم توسط ICP-MS تعیین

مقدار شد. مقدار کمی این عناصر در نمونه های رسوبات بر حسب mg/kg گزارش گردید. داده های حاصل از آنالیز رسوبات تحلیل آماری گردید. در جدول ۲-۱ UTM و در شکل ۲-۳ موقعیت نقاط نمونه برداری شده ارائه شده است.

متغیر ها	نوع مقیاس	نوع متغیر	روش کنترل / ارزیابی	تعریف علمی متغیر(در صورت نیاز)
غلظت فلزات سنگین در رسوبات	کمی/ فاصله ای	مستقل	در هر نمونه رسوب غلظت فلزات سنگین(بالغ بر ۵۰ فلز و متالوئید) پس از آماده سازی و هضم، توسط دستگاه ICP-MS تعیین مقدار می گردد.	

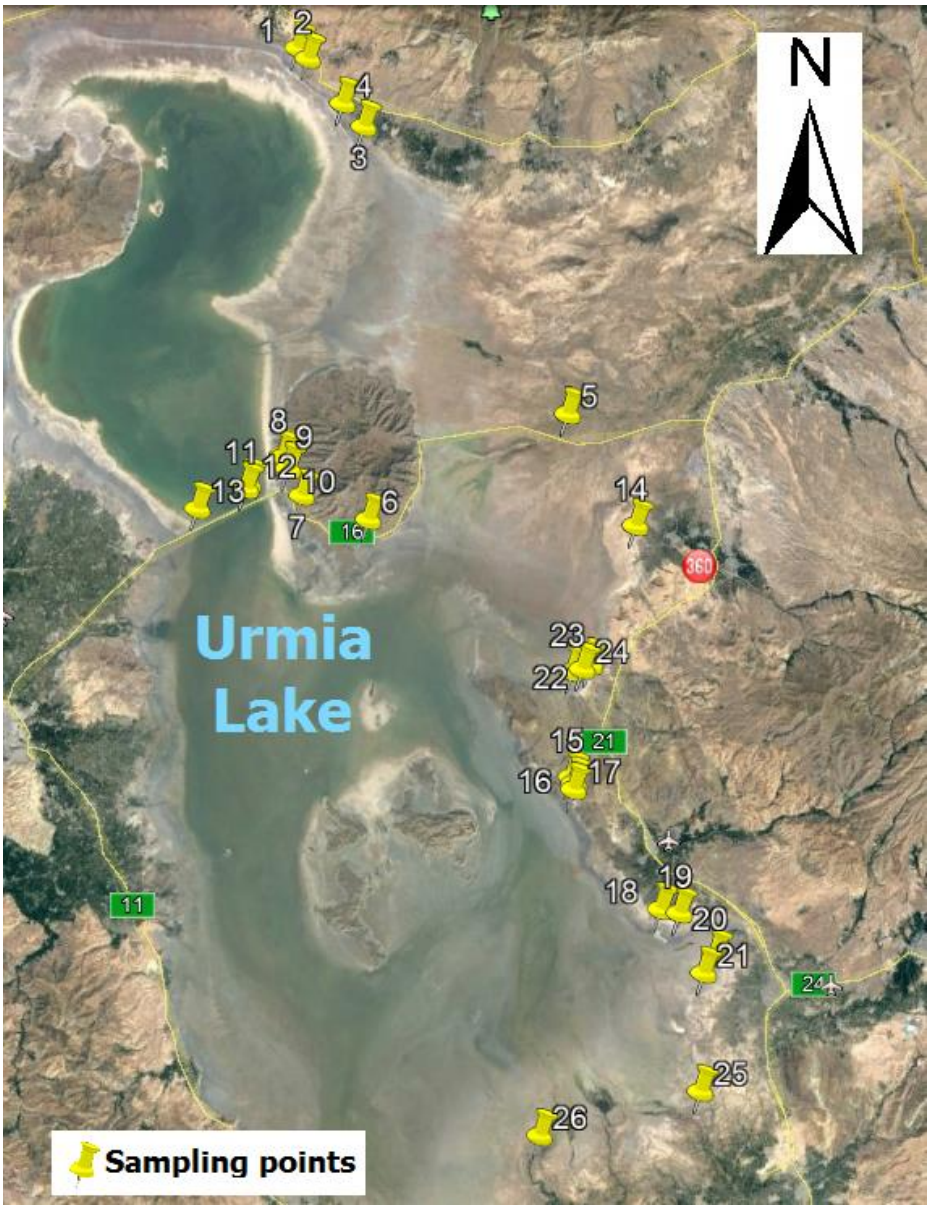
شکل ۲- ۱- نمونه برداری از نمک و رسوبات بخشهای ختلف بستر دریاچه ارومیه

شکل۲- ۲- آماده سازی نمونه ها در آزمایشگاه

جدول ۲- ۱- مختصات جغرافیایی **(UTM)** نقاط نمونه برداری شده از دریاچه ارومیه

Sample area	Stations	UTM(mE)	UTM(mN)
Sheikh-Vali village-1	S1	4231288.53	38s534239.29
Sheikh-Vali village-2	S2	4230172.43	38s535428.58
Sharafkhaneh-1	S3	4222967.25	38s542103.94
Sharafkhaneh-2	S4	4225406.82	38s539604.65
Aji Chay ravine	S5	4192471.45	38s566589.60
Gamichi village	S6	4179140.62	38s544651.12
Gamichi- Shahid Kalantari causeway	S7	4181658.78	38s537767.40
Agh Gonbad-1	S8	4185170.12	38s535503.97
Agh Gonbad-2	S9	4185724.85	38s535462.97
North of Shahid Kalantari causeway-mid east	S10	4184517.58	38s536074.28
Center of Shahid Kalantari causeway-mid east	S11	4182044.78	38s531528.71
Center of Shahid Kalantari causeway-mid west	S12	4182545.65	38s531789.37
South of Shahid Kalantari causeway-	S13	4179499.	38s526324

mid west		91	.11
Gheshlagh	S14	4180629.09	38s574804.04
Rahmanlu-1	S15	4152607.28	38s569319.91
Rahmanlu-2	S16	4151915.03	38s569682.95
Rahmanlu-3	S17	4151270.8	38s569655.37
Pesyan-1	S18	4138755.88	38s580002
Pesyan-2	S19	4138482.34	38s582100.32
Bonab-1	S20	4134082..14	38s586254.84
Bonab-2	S21	4132089.13	38s585144.25
Khaneghah-1	S22	4165033.21	38s570678.52
Khaneghah-2	S23	4164156.85	38s568746.89
Khaneghah-3	S24	4164502.79	38s569838.98
Ghara Gheshlagh	S25	4119172.26	38s585537.31
Zarrinehrood Estuaries	S26	4113303.69	38s568180.84



شکل۲- ۳- موقعیت نقاط نمونه برداری در حاشیه شمالی، شرقی و جنوبی دریاچه ارومیه

عنوان هدف اختصاصی شماره سه : تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی

خلاصه روش اجرا هدف اختصاصی سه: به منظور تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات از رسوبات سطحی دریاچه ارومیه داده های حاصل ازهدف دوم وارد محاسبات ریسک سلامت شد. برای محاسبه ریسک سلامت از روابط زیر استفاده گردید:

محاسبات به کمک فاکتورها و ضرایب ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) که در قالب راهنماهای پایش یا Risk Screening Level ارائه می شود، انجام گرفت.

$$CDI_{ingest} = \frac{Csed \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF$$

$$CDI_{inhale} = \frac{Csed \times InhR \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$$

$$CDI_{dermal} = \frac{Csed \times SA \times AFsoil\,ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF$$

در روابط فوق Chronic Daily Intake(CDI): جذب روزانه مزمن آلاینده (day-kg/mg) می باشد که جهت تخمین ریسک سلامتی ناشی از مواجهه با آلاینده از طریق بلع، تنفس و تماس پوستی با رسوبات مورد استفاده قرار می گیرد.

Csed: غلظت فلزات سنگین در رسوبات (mg/kg)

IngR: میزان متوسط ورود رسوبات به بدن از طریق بلع (mg/day)

EF: فرکانس در معرض قرار گرفتن (روز در سال)

ED: مدت زمان در معرض قرار گرفتن (سال)

BW: وزن بدن (kg)

AT: ED ×365

CF: فاکتور تبدیل (kg/mg)

InhR: نرخ تنفس (mg/cm^2)

PEF: نرخ انتشار ذرات(m3/kg)

SA: مساحت سطح پوست در تماس با رسوبات(cm^2)

AFsoil: فاکتور تماس پوستی با رسوبات (mg/cm^2)

ABS: فاکتور جذب پوستی

سپس به منظور برآورد احتمال خطرپذیری غیرسرطانزا، نسبت خطر (HQ) توسط رابطه زیر محاسبه می گردد که در آن RfD: دوز مرجع برای هر فلز سنگین می باشد.

$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

در صورتی که مقدار HQ بیشتر از یک باشد (میزان جذب روزانه بیشتر از دوز مرجع باشد) ، نشان می دهد که قرار گرفتن در معرض آن فلز سنگین به احتمال زیاد اثرات سوء بهداشتی خواهد داشت و در نهایت شاخص خطر Hazar Index (HI) که نشاندهنده مجموع خطر غیر سرطانزایی هر فلز از سه طریق مواجهه می باشد به صورت زیر تعیین می گردد: $HI = \Sigma HQ = HQing + HQinh + HQdermal$

در خصوص فلزات سنگین با پتانسیل سرطانزایی نیز خطر سرطانزایی از روابط زیر محاسبه می گردد:

مقادیر LCR در محدودهٔ ۱,۰E-04–1.0E-06 ریسک قابل قبول و یا قابل تحمل و سلامت انسان را نشان می دهد.

CSF: فاکتور شیب برای هر فلز،می باشد.

$$Cancer\ risk = CDI \times CSF$$

$$Cancer\ Risk = LCR = Cancer\ risk_{ing} + Cancer\ risk_{inh} + Cancer\ risk_{dermal} \Sigma$$

متغیر ها	نوع مقیاس	نوع متغیر	روش کنترل / ارزیابی	تعریف علمی متغیر(در صورت نیاز)
شاخص خطر (Hazard Index) جهت تخمین خطر سلامتی غیرسرطانزا	کمی/ فاصله ای	وابسته	پس از محاسبه میزان جذب مزمن آلاینده (CDI) و نسبت خطر(HQ)، براساس فرمولهای مربوطه محاسبه می گردد.	
ریسک سرطانزایی (LCR)	کمی/ فاصله ای	وابسته	بر اساس روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا براساس فرمولهای مربوطه محاسبه می گردد.	

هدف اختصاصی شماره چهار : تعیین ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه

خلاصه روش اجرا هدف اختصاصی چهار: به منظور تعیین ریسک اکولوژیک ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات از رسوبات سطحی دریاچه ارومیه داده های حاصل از هدف دوم وارد محاسبات ریسک اکولوژیکی شد. کلیه شاخصها و ریسک محاسبه شده اکولوژیکی با جداول موجود ارزیابی ریسک اکولوژیکی مقایسه و تحلیل گردید.

فاکتور غنی شدگی هر فلز جهت تعیین منشأ آن (EF) Enreachment Factor

$$EF = \frac{(Cn\ /Cref)sample}{(Cn/Cref)background}$$

C_n: غلظت فلز مورد بررسی و C_{ref}: غلظت فلز مرجع (آهن و یا آلومینیوم) می باشند که در نمونه رسوب و نمونه کنترل (غیرآلوده) تعیین مقدار شده اند.

ضریب انباشت ژئوشیمیایی (Index of geoaccumulation (Igeo :جهت تعیین درجه آلودگی رسوبات با منشأ انسان ساخت به کار می رود

C_n , B_n به ترتیب غلظت فلز سنگین در نمونه رسوب و غلظت زمینه می باشند.

$$Igeo = log_2 \frac{Cn}{1.5Bn}$$

فاکتور آلودگی (Contamination Factor(CF و درجه آلودگی (C_{deg} Contamination degree):

$$CF = \frac{C\ metal}{C\ background}$$

$$C_{deg} = \sum {}^{n}{}_{i} = CF^{i}{}_{f}$$

شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index(PLI: به منظور ارزیابی هم زمان وضعیت کلی آلودگی رسوبات به تمامی عناصر آلاینده اندازه گیری شده و طبق رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$PLI = \sqrt{CF1 \times CF2 \times \dots CFn}$$

پتانسیل ریسک اکولوژیک(PER) با توجه به تعداد، غلظت، و فراوانی هر عنصر مطابق رابطه زیر محاسبه می گردد :

E^{i}_{j}: پتانسیل ریسک اکولوژیک برای هرعنصر و T^{i}_{n}: فاکتور سمیت بیولوژیک هرعنصر

$$E^{i}_{j} = CF^{i}_{j} \times T^{i}_{n}$$

$$PER = {}^{n}{}_{i}\sum \times CF^{i}_{j}$$

متغیر ها	نوع مقیاس	نوع متغیر	روش کنترل / ارزیابی	تعریف علمی متغیر(در صورت نیاز)
شاخص غنی شدگی (EF)	کمی/ فاصله ای	وابسته	براساس روابط محاسبه و با مقادیر استاندارد مقایسه می گردد.	
فاکتور آلودگی (CF)	کمی/ فاصله ای	وابسته	براساس روابط محاسبه و با مقادیر استاندارد مقایسه می گردد.	
شاخص بار آلودگی (PLI)	کمی/ فاصله ای	وابسته	براساس روابط محاسبه و با مقادیر استاندارد مقایسه می گردد.	
شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیکی (RI)	کمی/ فاصله ای	وابسته	براساس روابط محاسبه و با مقادیر استاندارد مقایسه می گردد.	

- ملاحظات اخلاقی

ملاحظات اخلاقی طرح حاضر در چندین جنبه مطرح می باشد. مورد اول رعایت حقوق مولفین و نویسندگان در استفاده از منابع و انتشار نتایج می باشد. مورد بعدی رعایت جنبه های زیست محیطی در طی نمونه برداری و همچنین آنالیز نمونه ها است که بگونه ای عمل شود که آلودگی محیط زیست را در پی نداشته باشد. همچنین موضوع ایمنی محققین در طی بازدیدهای میدانی و نمونه برداری نیز اهمیت خاص خود را دارد. نهایتا اینکه در انتشار نهایی نتایج بایستی دقت شود که این موضوع باعث نگرانی و تنشهای اجتماعی نگردد و کلیه افراد مشارکت کننده در انجام تحقیق در حقوق مادی و معنوی طرح مد نظر قرار گیرند.

- محدودیت‌های طرح و راه‌های مقابله با محدودیت‌های پیش‌بینی شده

اولین مورد از محدودیتهای طرح حاضر، محدود بودن تحقیقات انجام شده در خصوص وجود فلزات سنگین در رسوبات و نمک کف دریاچه ارومیه و آلودگی ناشی از آن می باشد که لازم است در کشور توجه بیشتر به این موضوع صورت گیرد. دومین محدودیت مربوط به مسائل مالی و هزینه ی آنالیز نمونه های بیشتر بود که سعی شد با برداشت نمونه های ترکیبی این محدودیت تا حدود زیادی مرتفع گردد.

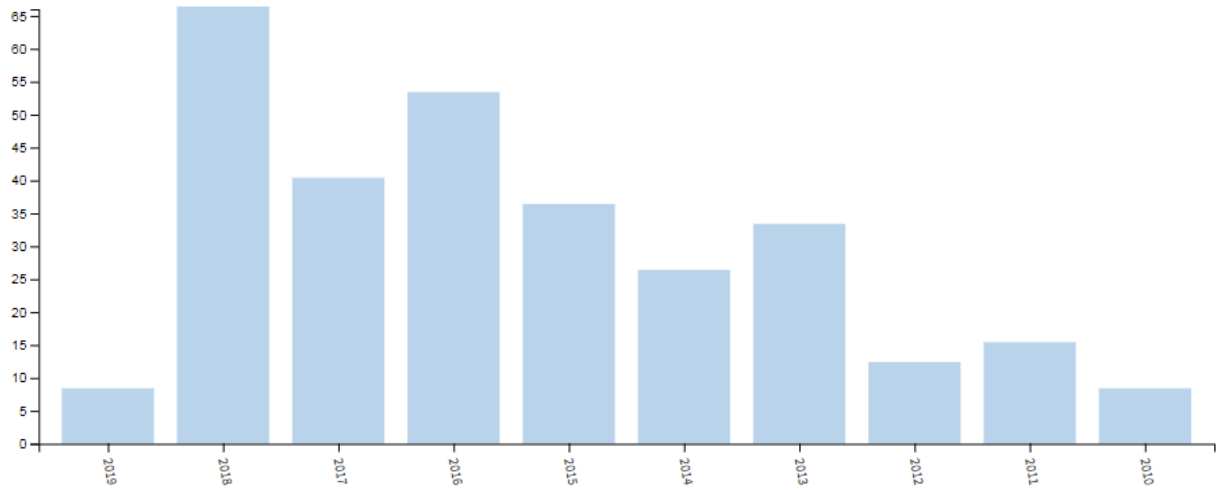
محدودیت بعدی در انجام چنین تحقیقاتی آن است که دانشگاه بازای هر میلیون تومان حمایت از طرح، خروجی و امتیاز پژوهشی معادل می خواهد این در حالی است که برخی از تحقیقات از نظر ماهیت بگونه ای است که بیشتر هزینه های طرح صرف آنالیز شده و با وجود صرف هزینه بالا برای کل طرح ، نهایتا از کل تحقیق یک مقاله ارزشمند می تواند تولید شود. لذا اجبار به کسب امتیاز پژوهشی معادل بودجه مصوب طرح باعث می شود که مجری طرح و تیم تحقیق تحت فشار قرار گیرد و سعی نماید با کاهش تعداد نمونه ها از میزان امتیاز پژوهشی معادل بودجه مصوب که تعهد نموده بکاهد که نتیجه آن طبیعتا کاهش کیفیت تحقیق و کاهش شانس انتشار مقاله خواهد بود.

۴- فصل سوم: نتایج

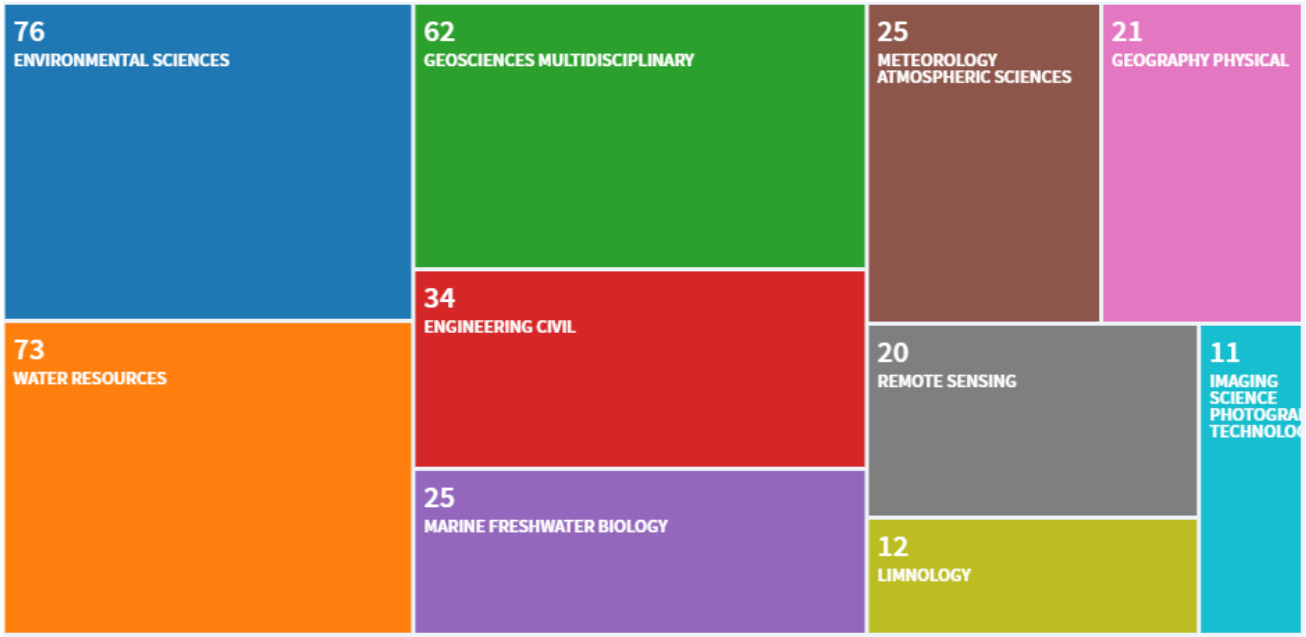
در این بخش از گزارش، نتایج بدست آمده به ترتیب اهداف تعریف شده در پروپوزال مصوب طرح ارائه شده است. به گونه ایکه در ابتدای این بخش نتیجه بررسی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات و شورابه دریاچه ارومیه و همچنین هوای اطراف ارائه شده و سپس نتایج آنالیز غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه که در طی تحقیق حاضر انجام شده ارائه گردیده است. در نهایت نیز محاسبات مربوط به تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی و همچنین ریسک اکولوژیکی ارائه و جمع بندی شده است.

۴-۱- بررسی متون و جمع بندی گزارشات و مقالات منتشر شده در خصوص میزان فلزات سنگین و شبه فلزات موجود در رسوبات دریاچه ارومیه

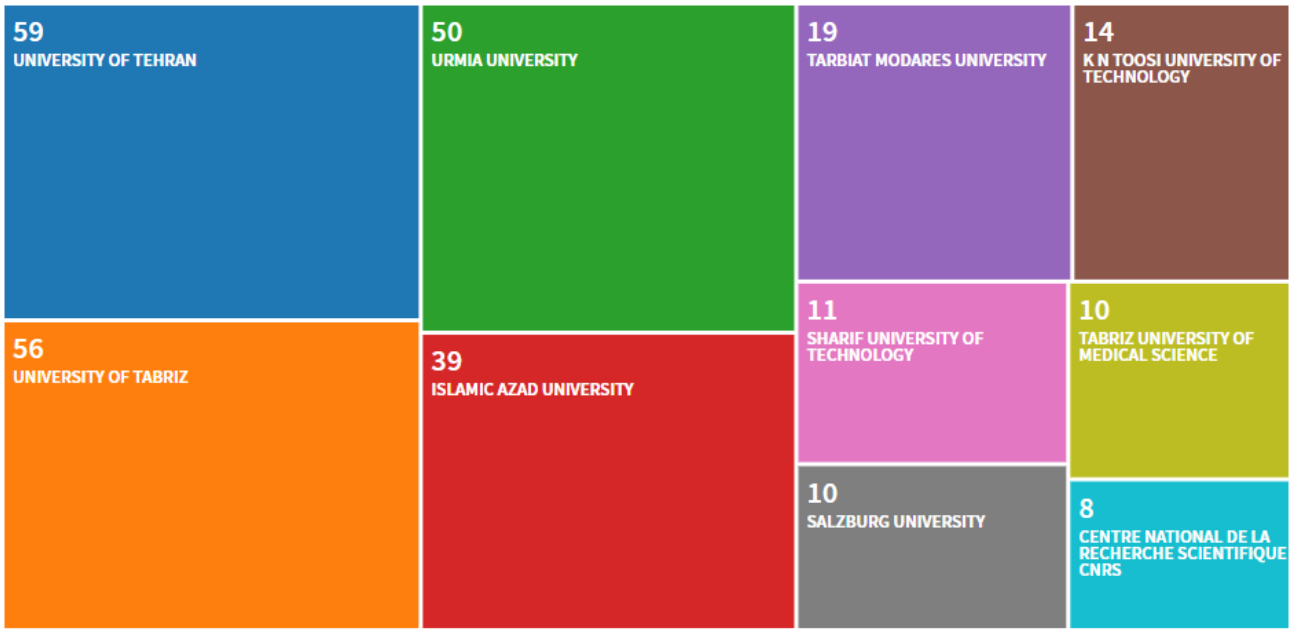
بر اساس بررسی انجام شده در پایگاه web of science در ارتباط با کلید واژه دریاچه ارومیه (Urmia lake) تحقیقات مختلفی در طی قریب به دو دهه اخیر انجام شده است. در پایگاه web of science از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ در مجموع ۳۲۸ مستند علمی در برگیرنده Urmia Lake منتشر شده که ۸ مورد در سال ۲۰۱۹، ۶۶ مورد در سال ۲۰۱۸، ۴۰ مورد ۲۰۱۷ و ۵۳ مورد در سال ۲۰۱۵ می باشد (شکل ۳-۱) . از کل مستندات علمی ۲۸۹ مورد مقاله، ۲۱ مورد مطاله در همایش، ۶ مورد EDITORIAL MATERIAL، ۵ مورد مروری و ۴ مورد چکیده همایش می باشد. از نظر حوضه تحقیق، ۷۶ مورد از ۳۲۸ مستند در حطیه علوم زیست محیطی، ۷۳ مورد در حیطه منابع آب، ۶۲ مورد در حیطه علوم زمین شناسی، ۳۴ مورد در حیطه مهندسی عمران و ۲۵ مورد در حیطه زیست شناسی آبهای شیرین دریایی می باشد (شکل ۳-۲). سهم دانشگاهها و کشورهای مختلف نیز در خصوص تولید مستندات منتشر شده در شکلهای ۳-۳ ارائه شده است.



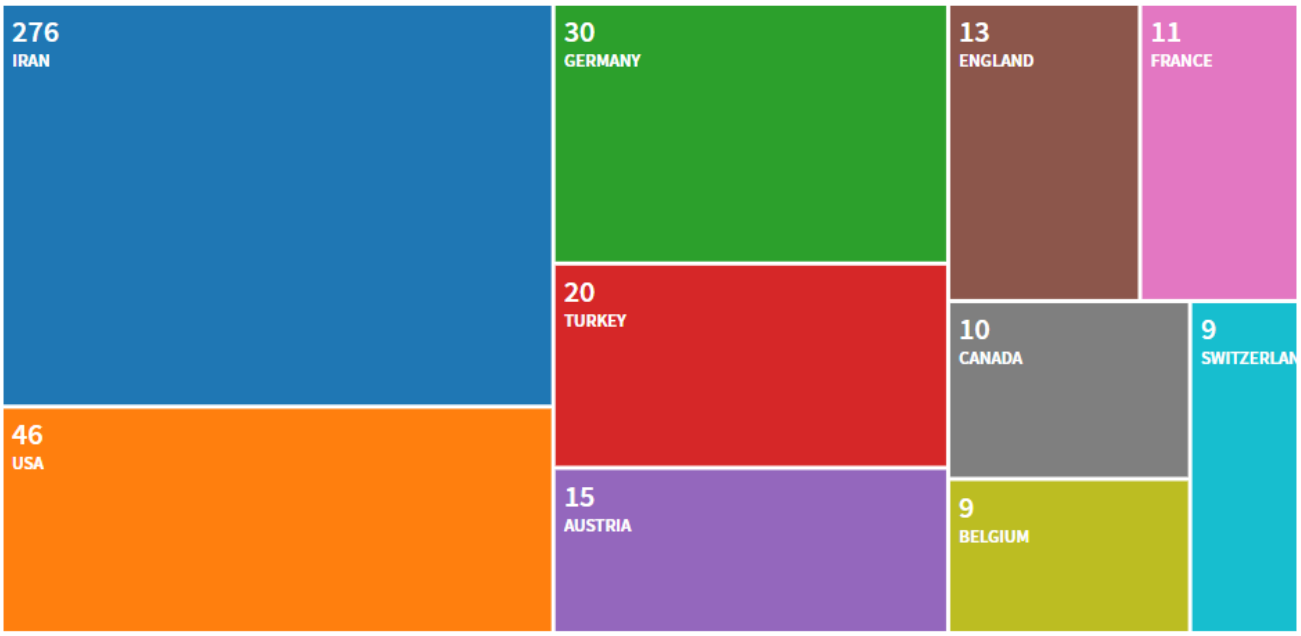
شکل ۳-۱- تعداد مقالات منتشر شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ در بردارنده کلید واژه "دریاچه ارومیه"



شکل ۳-۲- حیطه های مرتبط با تحقیقات "دریاچه ارومیه" منتشر شده در web of science



الف) دانشگاهها



ب) کشورها

شکل ۳-۳- میزان مشارکت کشورها و دانشگاههای مختلف در خصوص تحقیقات مرتبط با "دریاچه ارومیه" منتشر شده در web of science

زمانیکه واژه جستجوی "دریاچه ارومیه" با واژه های دیگر نظیر فلزات، رسوب، گردو غبار و نهایتا فلزات سنگین همراه می گردد نتایج جستجو به شرح جدول ۳-۱ تغییر می یابد که نشان دهنده آن است که در ارتباط با مقادیر فلزات سنگین در رسوبات دریاچه ارومیه تحقیقات محدودی به عمل آمده است.

جدول۳-۱ تعداد مستندات در پایگاه اطلاعاتی در مورد فلزات سنگین در دریاچه ارومیه

کلید واژه	تعداد مستندات در Timespan: 2000-2019. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI.
Urmia lake,	328
Urmia lake, Salt	52
Urmia lake, Metal	8
Urmia lake, Heavy metals	5
Urmia Lake, sediment	20
Urmia lake, dust	8
Urmia lake, dust and soil	3

۴-۱-۱-مقادیر فلزات سنگین گزارش شده در رسوبات دریاچه

۱. در سال ۲۰۱۸ نتایج تحقیق Alipour and Musavi در خصوص کانی شناسی و زمین شیمی عناصر خاکی عمده، کمیاب و نادر در رسوبات دریاچه ارومیه به زبان انگلیسی منتشر شد. آنها نمونه هایی از جزیره اسلامی (بخش مرکزی شرقی دریاچه) و بخش شمالی دریاچه اورمیه تهیه نموده و آنالیزهای لازم را انجام دادند. نتایج ۱۰ نمونه آنالیز شده توسط آنها در قالب جدول ۳-۲ ارائه شده است.

بر اساس یافته های این تحقیق، میانگین غلظت عناصر کمیاب نشاندهنده غنی شدن باریم و استرانسیم و از بین رفتن Rb,Ta Hf با استرانسیم برای نمونه هایی است که حاوی augite بیشتری هستند. در این مطالعه استرانسیم بین ۲۲۲ تا ۱۲۹۱ ppm با میانگین ۷۱۶ ppm مشاهده گردید. Hoseyni در سال ۲۰۱۲ در

جنوبغربی دریاچه و جنوب میانگذر، مقدار استرانسیم را ppm ۷۰۴ گزارش نموده و Haseli در سال ۲۰۱۴ مقدار استرانسیم را در جنوب شرقی و شمال میانگذر ppm ۱۵۶۰ گزارش کرده است. غنی شدن استرانسیم احتمالا با وجود فراوان کلسیم- فلدسپاتوئیدها مرتبط باشد. غنی شدگی استرانسیم نشاندهنده تقدم زمین شناسی محلی در رسوبات دریاچه و ورود آن از طریق شستشوی رسوبات جزیره اسلامی است. به عبارت دیگر نقش ورود رسوبات از اطراف به دریاچه مهمتر از نقش ترسیب شیمیایی مواد معدنی از آب دریاچه است. نسبت روبیدیوم به استرانسیوم در منطقه مورد مطالعه ۰/۱ تا ۰/۲۹ با میانگین ۰/۱ می باشد. غلظت روبیدیوم با استرانسیوم رابطه عکس دارد. در این مطالعه همچنین غلظت عناصر خاکی کمیاب بین ۶۷/۷۵ تا ppm ۲۱۸/۳۸ با میانگین ppm ۱۲۳/۶۲ گزارش گردید. این مطالعه نتیجه گیری کرده است که رسوبات دریاچه در منطقه بررسی شده از Ca, Mg, Sr, Ba غنی هستند اما از Rb, Ta, Hf فقیر می باشند. رابطه قوی بین Sr و CaO ناشی از جایگزینی استرانسیم با کلسیم در مواد معدنی کربناته است. رابطه قوی بین Rb با K ناشی از جایگزینی Rb با K2O در ایلیت-موسکویت می باشد. همچنین در رسوبات رسی قرمز رنگ آجی چای، عناصر ناپایدار از جمله کلسیم، سدیم و پتاسیم کاهش یافته ضمن آنکه آلومینیوم به عنوان یک عنصر پایدار افزایش یافته است.

جدول ۳-۲- غلظت اکسیدهای عمده (درصد وزنی**wt%**) و عناصر کمیاب **(ppm)** در رسوبات دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه **Alipour and Musavi** در سال ۲۰۱۸

	MAX	MIN	Average
SiO_2	47.29	22.37	36.609
Al_2O_3	13.07	3.53	8.767
CaO	22.31	7.04	14.492
Fe_2O_3	4.96	2.06	3.433
K_2O	2.71	0.53	1.883
MgO	14.58	4.07	7.635
MnO	0.12	0.05	0.087
Na_2O	13.11	0.78	5.447
P_2O_5	1.13	0.1	0.426
TiO_2	1	0.32	0.626
V	126	56	91.6
Cr	411	52	165.1
Co	27	8.3	16.55
Ni	190	49	89.4
Cu	63	27	44.2
Rb	73	8	45
Sr	1291	222	708.4
Y	28.5	10.9	18.04
Zr	189	47	98.8
Nb	14.6	3.7	9.56
Cs	5.5	1.2	3.9
Ba	1268	235	575.4
Hf	4.23	0.94	1.932
Ta	0.73	0.12	0.459
TH	10.94	4.52	7.057
U	2.7	1.1	2.092
LOI	32.8	1.36	19.146

۲. در مقاله دیگری که در بهار سال ۱۳۹۷ توسط علیپور و همکارانش در مجله علوم زمین تحت عنوان "مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب در رسوبات بستر دریاچه ارومیه" منتشر شد نتایج تلفیقی مطالعات انجام شده بر روی ژئوشیمی دریاچه ارومیه و غلظت عناصر جزئی توسط این محقق منتشر گردید که البته مشابهت و همپوشانی بسیار زیادی با مقاله انگلیسی منتشر شده توسط همین نویسنده دارد اما به لحاظ در نظر گرفتن سایر مطالعات کاملتر می باشد. بر اساس این مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی نشاندهنده گوناگونی و ناهمگنی زیاد در مقدار اکسید عناصر اصلی در رسوبات بخشهای شمال باختر، شمال خاور، جنوب باختر و جنوب بستر دریاچه است. نتایج تجزیه طیف سنج پراش پرتو ایکس(XRD) رسوبات نشان می دهد که فاز اصلی کانیهای رسوبات دریاچه را کانیهای

هالیت، کلسیت، آنکریت، کوارتز، ارتوکلاز، کلریت، آلبیت، ژیپس، پلاژیوکلاز، اوژیت، آمفیبول و هورنبلند تشکیل می دهند و رسوبات بستر دریاچه ارومیه از دید ترکیب کانی شناختی شبیه کانیهای عمومی تشکیل دهنده شیل و ماسه سنگ گریوک هستند. در میان اکسیدهای عناصر اصلی، MgO ،Na_2O و CaO غنی شدگی بالایی نسبت به استانداردها نشان می دهند. از مجموعه عناصر جزیی Rb و Sr غنی شدگی بسیار بالایی همراه با تهی شدگی Eu به ویژه در بخش جنوب باختر دریاچه نشان می دهد. در خصوص استرانسیم، استرانسیم در رسوبات بستر دریاچه ارومیه بیشینه مقدار ppm ۹۱۹۰/۹ و کمینه مقدار ppm ۱۸۲ (با مقدار میانگینppm ۱۰۷۲/۵) دارد که این مقدار غنی شدگی بسیار بالایی را نشان می دهد. روبیدیم نیز در رسوبات بستر دریاچه ارومیه دارای بیشینه مقدار ppm ۱۲۶۴ و کمینه مقدار ppm ۸ (با مقدار میانگینppm ۲۸۱/۱) است که بیشتر از مقدار متوسط آن است. بیشترین مقادیر غلظت Srو Rb در نمونه های امتداد پل شهید کلانتری دیده شده است. به عنوان نتیجه گیری در این تحقیق بیان شده که به نظر میرسد در رسوبات بستر دریاچه ارومیه، Rbدر کانیهای پتاسیم دار مانند مسکوویت و فلدسپار پتاسیم و Srدر کانیهای کلسیمدار مانند پلاژیوکلاز، آمفیبولها، پیروکسنها و کانیهای کربناته جایگزین شده باشند. حضور جزیره اسلامی در خاور دریاچه ارومیه و حضور سنگهای آتشفشانی آداکیتی کوه زنبیل در باختر دریاچه ارومیه نیز می تواند حضور بیشترین مقادیر این عناصر را در امتداد جاده شهید کلانتری توجیه کند. آداکیتها سنگهای غنی از سیلسیم هستند که ویژگیهای ژئوشیمیایی مانند استرانسیم بالای ppm ۴۰۰ دارند. استرانسیم در دریاچه ارومیه میتواند در اثر هوازدگی و فرسایش آداکیتهای شمال باختر ایران و ورود آنها به بستر دریاچه باشد. بر اساس این تحقیق نتایج آنالیز عناصر جزئی در رسوبات دریاچه ارومیه به شرح جدول ۳-۳ است:

جدول ۳-۳- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر جزیی **(ppm)**رسوبات بستر دریاچه ارومیه بر اساس مطالعه ی علیپور و همکاران، ۱۳۹۷

	Sc	V	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sb	Cs	Ba
MAX	73/5	146/1	27	411	63	190	1094	38	1264	9191	35/6	219/1	31/6	4/6	5/5	1268
MIN	2/7	21	3/6	25	6	21	39	2/4	8	182	10	47	3/7	0/23	1/2	215
Average	15/5	87/33	14/98	116/9	37/3	73/18	105	17	281/1	1073	19/857	110/8	14/56	1/68	3/633	446

۳. در مقاله جدید منتشر شده در خصوص ژئوشیمی رسوبات در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه توسط عرفان و رضایی (۲۰۱۸) اینگونه نتیجه گیری شده که فاکتور غنی سازی فلزات سنگین پیشنهاد می کند که فعالیتهای انسانی در غنی سازی فلزات سنگین دریاچه ارومیه در طی قرن گذشته شدید نبوده است. این تحقیق نشان داده که ارتباط منفی بین کلسیم و استرانسیوم با آلومینیوم وجود دارد. سدیم و

منیزیم نیز توسط محیط زیر آبی دریاچه تحت تاثیر قرار می گیرد. آلومینیوم، پتاسیم، آهن، منیزیوم و بریلیوم عناصر غالب terrigenous هستند. مشخص شده که آهن، منگنز و فسفات در طی تابستان در لایه هیپولیمنیون آنوکسیک تجمع پیدا می کنند. اجزاء کلاستیک clastic مرتبط با نیروهای خارجی یعنی رودخانه ها بوده و اجزا اوتیژنیک authigenic در ارتباط با نیروهای داخلی دریاچه (تولید و بهره وری) هستند هر چند هر دوی اینها نهایتا ممکن است توسط تغییرات اقلیم تحت تاثیر قرار بگیرند.

۴. Shariatifar et al., (2016) مقدار فلزات سنگین را در نمک خام (تصفیه نشده) و تصفیه شده دریاچه ارومیه بررسی کردند. نتایج به دست آمده توسط آنها به شرح جدول ۳-۴ می باشد. آنالیز آنها نشان داد که میزان خلوص نمک تصفیه شده و تصفیه نشده به ترتیب ۰/۰۱۶ ±۹۸/۸۳۰ و ۰/۰۵۳ ±۹۶/۹۸۵ درصد وزنی می باشد ضمن آنکه نتیجه گیری کردند که مقادیر فلزات سنگین در نمک دریاچه ارومیه با مقادیر رهنمودی تفاوت معنی دار دارد و پیشنهاد کرده اند که لازم است ارزیابی ریسک سلامت انجام شود.

جدول ۳-۴- غلظت فلزات سمی (میکروگرم در گرم وزن خشک نمک)در نمونه های نمک دریاچه ارومیه **Shariatifar et al., (2016)**

	Unrefined salt				Refined salt			
Metal	Mean	SE	Min	Max	Mean	SE	Min	Max
Ni	1.982	0.021	1.970	2.011	1.870	0.850	0.590	2.214
Cr	2.461	0.036	2.420	2.492	0.328	0.143	0.195	0.482
Mn	0.192	0.028	0.175	0.215	0.184	0.230	0.027	0.352
Co	8.450	0.160	8.375	8.682	3.214	0.880	1.83	3.462

۵. **Sharifi et al., (2013)** در ارتباط با شواهد ژئوشیمیایی و رسوبشناسی دریاچه ارومیه مقاله را در کنفرانس ارائه کردند. بر اساس یافته های آنها عناصر شیمیایی محافظه کارانه (به عنوان مثال، Ti، Si، Al، Ca) و همچنین عناصر حساس به ردوکس (به عنوان مثال Fe، K، Rb، Sr) در کسر کلاستیک رسوبات دریاچه و توزیع آنها منعکس کننده زمین شناسی منطقه ای است. آنالیز نمونه های رسوبات سطحی برای فلزات سنگین (Ni، Cr، V و Hg) نشان دهنده میزان متوسط تا شدید آلودگی در مناطق متاثر است بطوریکه Hg فراوان ترین فلز سنگین است. بالاترین غلظت جیوه با عامل غنی سازی نرمال شده ۶ در بخش وسط دریاچه مشاهده می شود که بیشترین فعالیتهای لایروبی و ساخت و ساز اتفاق افتاده است. در مقابل، پایین ترین غلظت جیوه در نواحی بکر نشاندهنده آن است که فلزات سنگین در سال های اخیر به محیط دریاچه وارد شده اند.

۶. Gholampour et al (2016) ترکیب شیمیایی ذرات معلق را در هوای اطراف دریاچه ارومیه آنالیز

کردند. در این تحقیق غلظت عناصر در رسوبات و نمک بستر دریاچه ارومیه نیز آنالیز و به شرح جدول ۳-۵ گزارش گردید:

جدول ۳-۵- نتایج آنالیز رسوبات و نمک بستر دریاچه ارومیه توسط غلامپور و همکاران (۲۰۱۶)

Sample(mg kg^{-1})	crustal soil of Urmia Lake Average ± SD	lake bed deposited salts Average ± SD
Al	7590 ± 440	42.6 ± 3.6
As	4.6 ± 4.1	2.7 ± 2.8
Ba	138 ± 40	1.9 ± 2.4
Be	1.9 ± 0.7	0.0 ± 0.0
Ca	280 ± 113	1500 ± 130
Cd	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Co	19.8 ± 7.3	0.3 ± 0.3
Cr	49.7 ± 15.2	0.5 ± 0.4
Cu	25.6 ± 18.1	0.4 ± 0.3
Fe	26160 ± 460	60.3 ± 22.3
K	500 ± 30	47.1 ± 38.1
La	2.8 ± 0.6	0.1 ± 0.0
Li	16.1 ± 4.2	0.5 ± 0.3
Mg	403 ± 1	365 ± 25
Mn	1710 ± 1170	19.7 ± 19.4
Mo	0.8 ± 0.4	0.2 ± 0.1
Ni	46.7 ± 12.8	2.2 ± 2.0
P	6330 ± 2870	1130 ± 810
Pb	50.3 ± 19.3	0.5 ± 0.0
Sb	0.7 ± 0.2	0.4 ± 0.0
Se	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Si	3570 ± 950	185 ± 35
Sn	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Sr	220 ± 145	34.9 ± 26.8
Te	0.8 ± 0.0	0.8 ± 0.0
Ti	5360 ± 2995	24.7 ± 20.9
Tl	3.6 ± 1.3	0.2 ± 0.1
V	45.0 ± 12.2	0.8 ± 0.7
Y	3.7 ± 1.2	0.0 ± 0.0
Zn	9.5 ± 3.0	0.4 ± 0.1
Zr	41.9 ± 9.7	0.6 ± 0.2

در این تحقیق همچنین همچنین ترکیب ذرات معلق را در بخش شمالی و جنوبی دریاچه ارومیه بررسی و نتیجه گیری شد که غلظت فراوانترین فلزات در TSP و PM_{10} دوبخش به شرح زیر می باشد:

TSP: Al (1.9 - 14.5 µg m^{-3}), Fe (2.3- 6.3 µg m^{-3}), Cu (0.2 - 2.8 µg m^{-3}), Ti (0.3 - 1.4 µg m^{-3}), and P (0.01 - 1.82 µg m^{-3})

PM10: Fe (1.6 - 10.4 µg m^{-3}), Al (0.5 - 8.5 µg m^{-3}) , Cu (0.2 - 2.7 µg m^{-3}), Ti (0.15 - 0.89 µg m^{-3}), and P (0.01 - 0.59 µg m^{-3})

۴-۱-۲- مقادیر فلزات سنگین گزارش شده در تحقیقات مرتبط با دریاچه ارومیه

۱. بر اساس تحقیق انجام شده توسط کره ای و همکاران (۱۳۹۲) در خصوص مقادیر منیزیم، پتاسیم و لیتیم قابل استحصال از دریاچه ارومیه، در صورتی که حجم فعلی شورابه سطحی دریاچه ارومیه را ۱/۵ میلیارد متر مکعب با چگالی تقریبی ۱/۲۹در نظر بگیریم در ۱/۵ میلیارد متر مکعب شورابه سطحی۸۴ میلیون تن منیزیم تغلیظ نشده، ۱۵ میلیون تن پتاسیم تغلیظ نشده و ۲۸/۴۵۵ تن لیتیم تغلیظ نشده موجود است. همچنین در این تحقیق فرض شده که در تمام مناطق دریا حدود ۶۴۵ میلیون تن شورابه زیرسطحی وجود دارد که با فرض میانگین عنصر منیزیم برابر۵۸/۹۱ گرم در لیتر، میانگین عنصر پتاسیم ۱۵/۶۴ گرم در لیتر و میانگین عنصر لیتیم ۰/۰۱۶ گرم در لیتر تخمین زده می شود در شورابه بین منفذی ۲۹/۴۵۵ میلیون تن منیزیم، ۷/۸۲ میلیون تن پتاسیم و ۸ هزار تن لیتیم موجود باشد. در خصوص نمک دریاچه ارومیه نیز مقدار نمک دریاچه ارومیه ۴/۳۲ میلیارد تن یا ۲ میلیارد متر مکعب تخمین زده شده و بر اساس نتایج تحقیق میانگین عنصر منیزیم در نمک های بستر ۸/۵۲ گرم در لیتر، میانگین عنصر پتاسیم ۴/۷۹ گرم در لیتر و میانگین عنصر لیتیم ۰/۰۱۷ گرم در لیتر تخمین زده می شود. بر این اساس در ۲ میلیارد متر مکعب از نمک دریاچه ارومیه مقدار عناصر منیزیم، پتاسیم و لیتیم به ترتیب ۱۷/۰۴ میلیون تن، ۹/۵۸ میلیون تن و ۳۴ هزار تن برآورد می گردد.

۲. Mohammadi et al., (2018) با استفاده از برگ درختان منتخب، مقادیر برخی فلزات سنگین را در اطراف دریاچه ارومیه در شعاع ۵ و ۱۰ کیلومتری اندازه گیری نمودند. ترتیب فلزات سنگین و غلظت سدیم در برگ ها به ترتیب Na> Zn> Cu> Ni> Pb> As> Cd بود. میانگین عامل غنی سازی برای عناصر از ۱ تا ۳ محاسبه شد. As، Pb، و Na با توزیع فضایی مشابهی در شمال غرب و مرکز شرق دریاچه ارومیه مشاهده شد. خطر زیست محیطی بالقوه (PER) نشان دهنده خطر متوسط در ۶٪ از مناطق نمونه برداری بود که در آن Cd و As به عنوان آلاینده های مسئول شناسایی شدند. مولفه اصلی و تجزیه و تحلیل همبستگی بین عناصر منابع انسان مانند فعالیت صنعتی و ترافیک جاده را برای Cd، Cu، Ni، Pb و Zn نشان می دهند، در حالی که As و Na به احتمال زیاد ناشی از آئروسل های دریاچه ارومیه بودند.

۳. در مطالعه Barzegar et al, 2017 ، مقادیر فلزات سنگین و شبه فلزات در آبهای زیرزمینی دشت شبستر که در همسایگی دریاچه ارومیه می باشد در قالب جدول ۳-۶ گزارش گردید. در این مطالعه ۲۹ نمونه آب زیرزمینی آنالیز شده بود.

جدول ۳-۶- مقادیر فلزات سنگین و شبه فلزات دشت شبستر **(Barzegar et al, 2017)**

Parameter	Minimum	Median	Maximum	SD	Skewness	Kurtosis	WHO (2011)

B	0.43	2.1	8.2	1.4	2.2	7.9	2.4
Br^-	11	0.3	7.4	1.6	3.1	10.1	–
Fe	19	72	1420	262	4.3	20.8	–
Mn	2	5	50	10.1	2.5	8.1	–
Al	< 10	10	237	46.5	3.3	13.5	900
Cu	< 3	3	33	6.4	3.8	14.5	2000
Cr	< 3	3	24	4.1	4.2	19.4	50
Zn	< 1	131	235	70.3	– 0.06	– 1.1	50
Pb	< 1	7	29	7.9	1.5	1.5	10
Ni	< 1	1	17	3.3	2.9	10.7	20
As	2	12	49	17	0.05	– 1.4	10

۴. Barzegar et al., (2016) مقدار فلزات سنگین را در رودخانه آجی چای به عنوان یکی از رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه با آنالیز ۱۲ نمونه آب بررسی کردند. آنها مقادیر فلزات سنگین را به شرح جدول ۳-۷ گزارش نموده و نتیجه گیری کردند که بالا بودن سرب و کادمیوم می تواند ناشی از واکنشهای هوازدگی و فرآیند آب پوشانی تشکیلات آتشفشانی باشد. بر اساس یافته های این محقق، مقادیر بالای سرب، کادمیوم، کروم و آرسنیک در رودخانه آجی چای نسبت به استانداردهای آب شرب، می تواند یکی از عوامل انباشت فلزات سنگین در بخشهایی از دریاچه ارومیه در نظر گرفته شود.

جدول ۳-۷- مقایسه مقادیر فلزات سنگین در رودخانه آجی چای با استانداردهای کیفی آب **(Barzegar et al, 2016)**

Parameters	pH	NO_3^- (mg/L)	Co (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Cd (µg/L)	Cu (µg/L)	Cr (µg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)
Aji-Chay River	7.4–7.9	0.8–96.9	14–175	21–75	10–110	4–35	5–58	5–175	67–4000	0.8–46
Irrigation	6.5–8.5[b]	30[a]	50[b]	50[a]	2000[b]	10[a]	200[a]	100[a]	5000[b]	100[a]

[a] FAO (1992)
[b] PSD (2008)

۵. تحقیقی که توسط Khalilzadeh Poshtegal and Mirbagheri (2017) در خصوص فلزات سنگین در حوضه آبریز زرینه رود در دو بخش کردستان و آذربایجان غربی داشت نتایج زیر را در خصوص ۴ فلز سنگین نشان داد(جدول ۳-۸):

جدول ۳-۸- نتایج آنالیز چهار فلزآلومینیوم، آهن، منگنز و سلنیوم در حوضه آبریز زرینه رود در استان های کردستان و آذربایجان غربی **(Khalilzadeh Poshtegal and Mirbagheri, 2017)**

Statistics	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Se (mg/l)
Kurdistan region (Chamsaghez, Chamkhorkhoreh, Jaghatoo Rivers)				
Mean	0.31	0.39	0.07	0.05
SD	0.34	0.25	0.06	0.04
Min	0.01	0.12	0.02	0.008
Max	1.18	1.28	0.23	0.10
West Azarbaijan Region (Sarough River)				
Mean	0.08	0.18	0.14	0.05
SD	0.10	0.10	0.17	0.04
Min	0.01	0.01	0.02	0.01
Max	0.30	0.41	0.60	0.10
WHO Standard 2008 for drinking water	0.1	0.3	0.4	0.01
Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI,1053, 5th.Revision	0.1	0.3	0.1	0.01

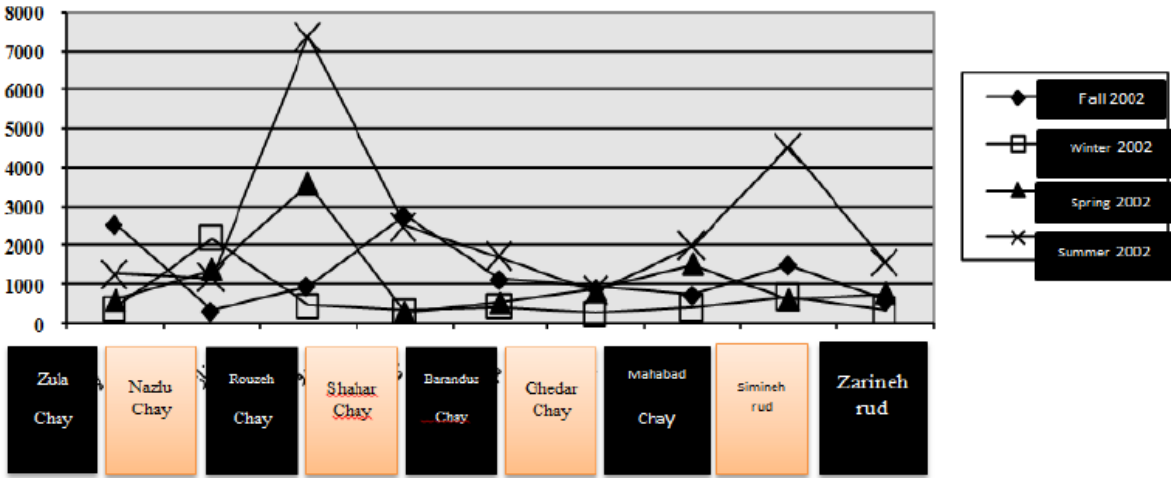
۶. طی مطالعه ای، Saatloo et al., (2014) مقادیر فلزات سنگین را در آب و رسوبات رودخانه های غرب دریاچه ارومیه اندازه گیری نموده و نتایج را در قالب جدول ۳-۹ و ۳-۱۰ گزارش کردند. همچنین تغییرات آرسنیک نیز در قالب شکل ۳-۴ نشان داده شد.

جدول ۳-۹ میانگین فلزات سنگین در رسوبات رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه **Saatloo et al., (2014)**

Row	River Name	Station location		The mean concentrations of measured parameters			
		Longitude	Latitude	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	As (µg/g)	Hg (µg/g)
1	ZulaChay	44° 58.477′	38° 14.266′	16.4	0.83	1096.2	0.63
2	NazluChay	° 14.050′ 45	37° 42.233′	19.58	0.89	1126.4	1.03
3	RouzehChay	45° 12.607′	37° 39.920′	17.54	0.9	2589.6	1.03
4	ShaharChay	45° 12.607′	37° 33.275′	19.542	0.752	797.2	0.704
5	BaranduzChay	45° 15.661′	37° 24.423′	14.46	0.7475	1457.6	0.788
6	GhedarChay	45° 38.511′	36° 58.570′	14.18	0.85	1206.8	0.82
7	MahabadChay	45° 43.835′	37° 01.197′	16.704	0.692	1227.2	0.886
8	Siminehrud	45° 48.876′	37° 01.614′	18.666	0.852	789	0.772
9	Zarinehrud	45° 53.390′	37° 5.167′	20.506	0.858	1157	1.116

جدول ۳-۱۰ میانگین فلزات سنگین در آب رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه **Saatloo et al., (2014)**

Row	River Name	Station location		The mean concentrations of measured parameters			
		Longitude	Latitude	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	As (µg/g)	Hg (µg/g)
1	ZulaChay	44° 58.477′	38° 14.266′	18	>1	>3	2.15
2	NazluChay	45° 14.050′	37° 42.233′	11	>1	3.75	>1
3	RouzehChay	45° 12.607′	37° 39.920′	27	>1	4.21	>1
4	ShaharChay	45° 12.607′	37° 33.275′	20	>1	4.25	>1
5	BaranduzChay	45° 15.661′	37° 24.423′	12	>1	>3	>1
6	GhedarChay	45° 38.511′	36° 58.570′	>10	>1	4.5	1.2
7	MahabadChay	45° 43.835′	37° 01.197′	>10	>1	3.5	1.4
8	Siminehrud	45° 48.876′	37° 01.614′	11	>1	>3	2.65
9	Zarinehrud	45° 53.390′	37° 5.167′	>10	>1	3.32	>1



شکل ۳-۴- تغییرات فصلی آرسنیک در نمونه های خاک غرب دریاچه ارومیه Saatloo et al., (2014)

۷. در مطالعه Rezapour and Moazzeni (2016) در خصوص تاثیر شیوه های کشاورزی بر میزان فلزات سنگین خاک در دشتهای غربی دریاچه ارومیه، مقدار فلزات سنگین منتخب به شرح زیر گزارش و نتیجه گیری شد که استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی توسط انسانها عامل افزایش آلودگی به این فلزات در خاکهای بررسی شده می باشد. در این تحقیق ترتیب فلزات به صورت Mn>Cu>Zn>Cd بود و غلظتها نیز به صورت زیر گزارش گردید:

Mn (89–985 mg kg^{-1}), Zn (24–152 mg kg^{-1}), Cu (8–27 mg kg^{-1}), Cd (0.6–1.7 mg kg^{-1}), Mn (1.2–11 mg kg^{-1}), Zn (0.3–4.4 mgkg^{-1}), Cu (0.3–3 mg kg^{-1}), Cd (0.03–0.09 mg kg^{-1}).

۴-۲- تعیین غلظت فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه

در این بخش از گزارش، نتایج آنالیز فلزات سنگین و شبه فلزات در ۲۶ نمونه از رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه در قالب جدول و شکل نمایش داده شده است. جدول ۳-۱۱ آمار توصیفی میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر غلظت فلزات سنگین را در نمونه های بررسی شده نمایش می دهد. در جدول ۳-۱۲ نتایج خام آنالیز انجام شده به تفکیک نقاط نمونه برداری شده نمایش داده شده است. همبستگی مابین فلزات سنگین و pH در جدول ۳-۱۳ ارائه شده است. شکل ۳-۵ و ۳-۶ نیز به ترتیب دندروگرام نقاط نمونه برداری شده را با در نظر گرفتن کل پارامترها و با در نظر گرفتن تعدادی از فلزات سنگین مهم نمایش می دهد.

جدول ۳-۱۱- آمار توصیفی فلزات سنگین (ppm) و **pH** در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه

پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
pH	7.77	9.08	8.5458	.32
As	.8	48.5	17.354	13.06
Cd	.00	.17	.0623	.052
Cr	.0	30.8	12.615	8.61
Ni	1.5	42.1	14.798	10.15
Pb	.8	20.9	11.031	5.94
Hg	.25	1.42	.5912	.32
Cu	1.9	53.0	24.765	16.52
Mn	8	698	274.36	184.74
Fe	588	22205	11713.93	6538.78
Zn	.0	42.7	21.208	13.07
Co	.1	7.7	4.055	2.38
Sb	.1	.6	.293	.16
V	.8	92.8	28.507	20.36
Sr	8.9	1126.6	320.792	341.97
Mo	.1	.8	.368	.18
Th	.1	11.2	2.831	2.52
U	.1	4.9	1.753	1.38
Br	6.2	29.0	14.519	6.14
Li	1.1	29.4	14.965	8.52
Se	.3	3.2	1.460	.64
Ba	3.7	644.0	107.072	122.02
Be	.1	2.9	.591	.65
Bi	.0	.2	.093	.04
Rb	1.1	35.7	10.875	8.53
Sn	.1	1.0	.354	.20

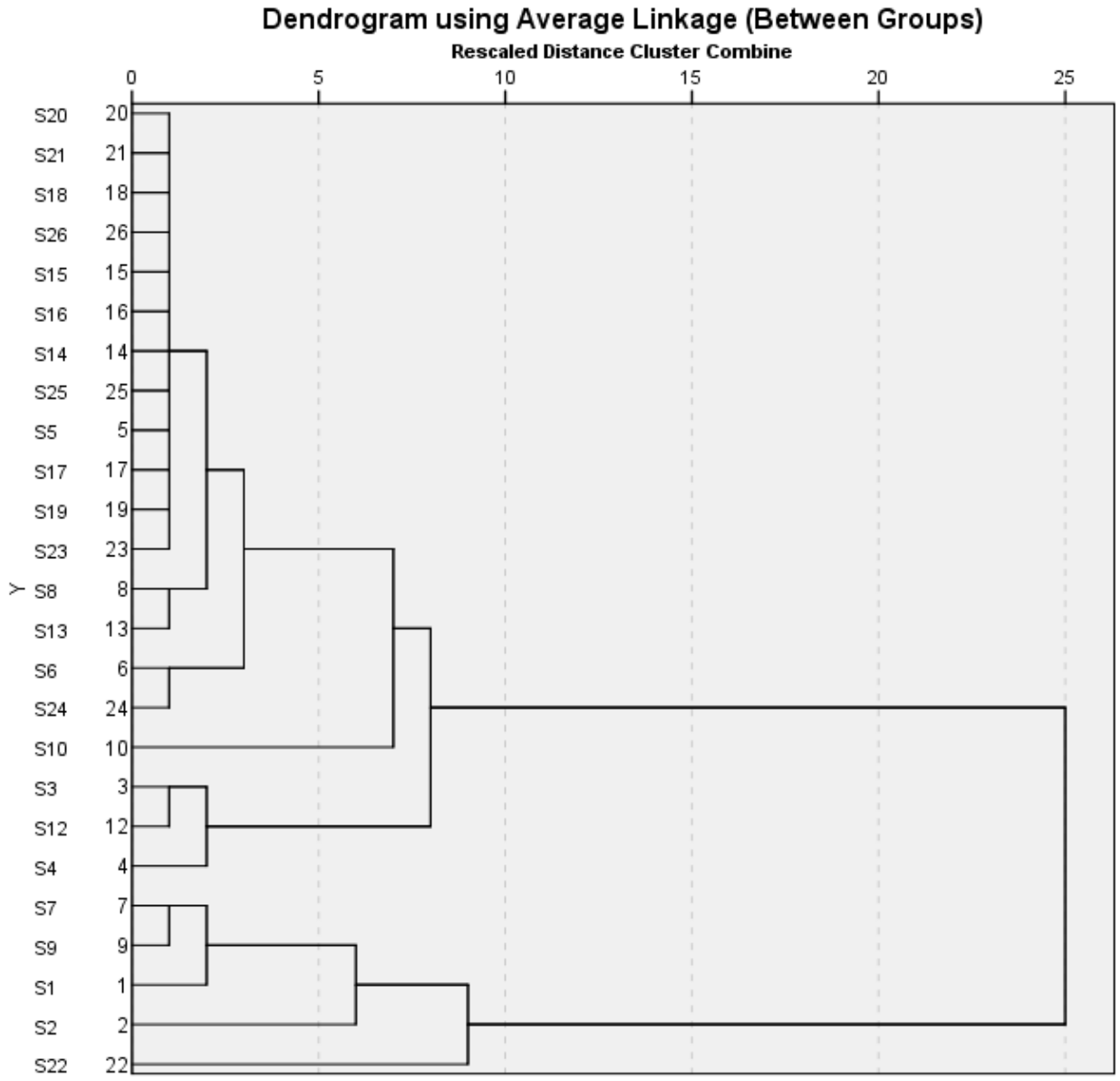
جدول ۳-۱۲- غلظت فلزات سنگین، شبه فلزات و pH در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه به تفکیک نقاط نمونه برداری(ppm)

	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Hg	Cu	Mn	Fe	Zn	Co	Sb	V	Sr	Mo	Th	U	Br	Li	Se	Ba	Be	Bi	Rb	Sn	pH
S1	48.5	.06	15.0	17.7	13.3	.96	16.4	231	11355	15.6	3.8	.3	22.1	1126.6	.3	2.4	4.2	15.7	17.5	1.7	123.2	.3	.1	10.1	.3	8.36
S2	39.3	.01	8.3	10.1	4.8	.33	7.5	168	7220	15.5	2.2	.2	13.1	929.5	.2	1.3	3.0	10.9	9.9	1.0	92.7	.2	.1	5.2	.2	8.65
S3	42.4	.02	15.9	13.8	12.9	.66	19.0	233	12704	19.2	3.4	.3	23.8	754.2	.3	2.5	2.9	7.7	18.0	2.0	81.8	.2	.1	12.2	.3	8.71
S4	1.5	.00	.0	1.9	.8	.36	1.9	8	593	.0	.2	.1	1.8	36.0	.2	.5	.2	10.4	4.1	1.1	3.7	.1	.0	2.5	.2	8.50
S5	13.2	.06	24.6	22.0	11.5	.30	26.3	372	16618	26.8	5.0	.2	48.1	215.4	.5	2.7	1.3	10.9	10.9	2.0	66.0	.2	.1	7.0	.3	7.77
S6	29.4	.07	30.2	36.1	18.2	.41	46.9	446	18305	34.4	7.7	.4	41.8	582.9	.4	6.1	4.3	16.3	29.4	1.8	207.0	1.1	.2	30.3	.5	8.74
S7	30.0	.03	10.6	10.3	20.9	.52	52.7	128	9889	14.5	3.0	.3	29.8	846.1	.5	7.9	4.9	8.2	12.1	2.6	191.6	2.3	.1	17.4	.8	9.08
S8	1.4	.00	1.0	1.8	.8	.33	4.1	12	984	.5	.3	.1	2.6	23.9	.2	.6	.2	9.4	2.1	1.2	10.9	.1	.1	2.2	.1	8.55
S9	5.8	.00	4.7	4.6	5.8	.32	13.1	57	4045	8.1	1.2	.1	9.4	376.1	.3	2.2	1.1	22.9	10.6	.9	92.8	.5	.0	7.8	.3	8.95
S10	9.0	.13	19.9	9.8	15.3	.25	49.7	192	13816	19.6	4.5	.2	38.7	358.6	.2	11.2	4.0	6.2	4.8	3.2	644.0	2.9	.1	35.7	.7	8.32
S11	.8	.00	.0	1.5	3.0	.25	3.2	8	588	.0	.1	.1	.8	18.8	.1	.1	.1	9.7	3.8	.4	.0	.0	.0	1.1	.1	8.82
S12	4.3	.10	6.3	14.1	5.7	.77	11.9	66	3676	9.3	1.3	.3	6.7	168.7	.7	.3	.8	29.0	11.6	1.6	32.7	.1	.1	4.7	1.0	8.73
S13	1.3	.00	.5	2.0	2.5	.42	2.6	13	939	.0	.3	.1	2.3	8.9	.1	.4	.1	8.8	1.1	.3	6.5	.1	.0	1.5	.1	8.54
S14	16.8	.13	30.8	42.1	12.3	.41	48.7	464	18096	37.1	7.1	.3	34.7	134.3	.4	3.6	1.5	12.3	25.5	1.8	154.6	.7	.1	11.1	.4	8.11
S15	17.1	.07	13.2	16.0	19.9	.42	53.0	461	20082	36.7	6.2	.3	45.3	162.3	.6	2.4	.9	10.3	19.1	1.6	67.7	.5	.1	8.3	.5	8.41
S16	24.4	.07	10.7	10.7	12.5	1.01	17.4	422	22205	36.2	6.4	.6	92.8	151.4	.7	2.2	1.5	13.1	17.7	1.1	90.2	.6	.1	7.5	.3	8.67
S17	28.2	.04	8.4	11.1	8.3	.41	18.3	403	17259	26.7	5.6	.3	50.1	267.9	.3	2.1	1.2	9.4	18.6	1.0	79.3	.6	.1	7.8	.3	8.65
S18	13.0	.08	6.7	8.9	16.1	.74	22.9	368	16711	34.0	5.5	.4	53.9	55.6	.3	2.2	.9	16.2	12.8	1.6	69.2	.4	.1	9.5	.3	8.51
S19	9.1	.02	4.3	5.0	6.3	.40	9.4	204	7934	10.7	2.3	.3	25.7	108.0	.8	.9	1.0	11.7	10.0	.9	42.0	.1	.1	4.0	.3	8.64
S20	18.1	.05	19.7	23.7	8.3	.73	38.3	277	16584	42.7	6.4	.5	32.9	59.5	.3	5.3	2.1	20.3	24.9	1.1	101.2	.7	.2	23.7	.4	7.97
S21	13.4	.04	15.2	21.0	13.5	.65	33.4	240	13510	30.9	5.7	.4	31.5	37.9	.3	5.0	1.4	16.2	21.7	2.0	84.6	.7	.2	21.4	.4	8.20
S22	25.8	.17	13.3	18.2	11.2	1.42	18.9	698	11347	17.4	5.2	.3	21.6	987.0	.3	1.7	2.8	25.7	27.1	1.6	84.7	.5	.1	8.1	.3	8.81
S23	7.7	.08	19.2	24.2	15.7	.94	38.8	382	14165	24.6	5.1	.2	27.8	235.2	.4	2.5	1.7	23.7	28.2	1.7	88.5	.7	.1	10.6	.4	8.64
S24	16.1	.17	17.9	23.3	15.6	.40	34.0	530	17223	30.9	6.9	.2	34.5	541.5	.5	2.1	2.0	16.0	26.2	1.7	74.9	.6	.1	10.4	.3	9.08
S25	15.2	.10	14.9	17.0	19.4	1.27	30.7	390	13356	31.6	4.8	.6	22.4	99.2	.3	2.7	.8	22.8	11.0	1.1	95.0	.5	.1	11.4	.3	8.54
S26	19.5	.12	16.7	18.0	12.2	.69	24.8	362	15358	28.4	5.3	.6	27.1	55.1	.4	3.2	.7	14.0	10.3	1.2	92.0	.3	.2	11.4	.3	8.24

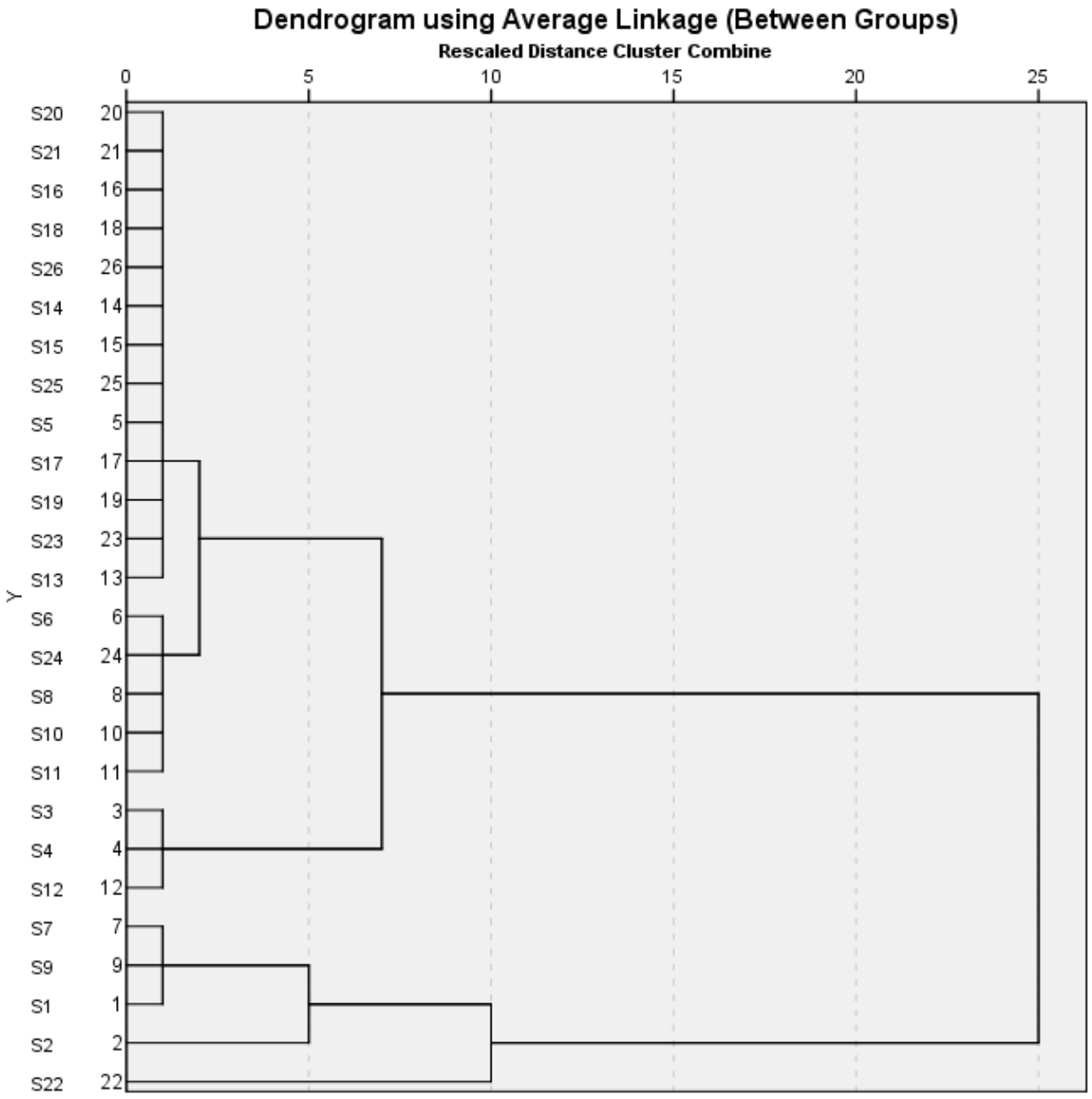
جدول ۳-۱۳- همبستگی Pearson فلزات سنگین و pH در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه

	pH	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Hg	Cu	Mn	Fe	Zn	Co	Sb	V	Sr	Mo	Th	U	Br	Li	Se	Ba	Be	Bi	Rb	Sn
pH	1																									
As	.063	1																								
Cd	-.063	.110	1																							
Cr	-.414*	.377	.587**	1																						
Ni	-.335	.324	.591**	.925**	1																					
Pb	.011	.412*	.541**	.642**	.547**	1																				
Hg	.045	.292	.445*	.129	.210	.345	1																			
Cu	-.185	.202	.505**	.763**	.677**	.835**	.039	1																		
Mn	-.098	.378	.758**	.647**	.670**	.630**	.481*	.513**	1																	
Fe	-.299	.439*	.567**	.742**	.670**	.750**	.263	.697**	.821**	1																
Zn	-.377	.342	.537**	.738**	.726**	.698**	.292	.701**	.762**	.945**	1															
Co	-.282	.394*	.655**	.811**	.792**	.735**	.293	.733**	.869**	.961**	.950**	1														
Sb	-.234	.326	.455*	.450*	.462*	.562**	.605**	.405*	.573**	.682**	.752**	.675**	1													
V	-.195	.318	.353	.454*	.350	.573**	.190	.467*	.626**	.875**	.763**	.764**	.576**	1												
Sr	.371	.790**	.161	.213	.157	.277	.226	.106	.226	.074	-.053	.091	-.080	-.031	1											
Mo	.078	.071	.308	.195	.233	.346	.160	.267	.338	.406*	.318	.314	.401*	.476*	-.009	1										
Th	-.176	.208	.284	.562**	.336	.587**	-.090	.768**	.148	.422*	.394*	.443*	.258	.340	.192	-.040	1									
U	.166	.708**	.236	.502**	.358	.534**	.123	.516**	.232	.317	.216	.342	.125	.217	.808**	.045	.688**	1								
Br	.128	-.109	.396*	.115	.297	.098	.642**	.008	.274	.028	.173	.151	.363	-.109	.043	.200	-.187	-.063	1							
Li	.006	.433*	.520**	.690**	.808**	.542**	.402*	.561**	.770**	.690**	.706**	.800**	.457*	.443*	.313	.296	.198	.392*	.430*	1						
Se	-.156	.261	.451*	.592**	.406*	.638**	.012	.708**	.263	.420*	.326	.419*	.122	.313	.343	.192	.776**	.660**	-.096	.281	1					
Ba	-.089	.102	.343	.428*	.152	.396	-.172	.557**	.059	.261	.167	.258	.012	.227	.207	-.122	.870**	.608**	-.243	-.016	.719**	1				
Be	.109	.090	.258	.348	.124	.529**	-.151	.691**	.044	.260	.174	.262	.045	.264	.220	-.037	.930**	.666**	-.246	.053	.747**	.882**	1			
Bi	-.455*	.274	.543**	.714**	.736**	.570**	.458*	.553**	.629**	.718**	.815**	.812**	.791**	.484*	-.036	.148	.391*	.229	.385	.663**	.321	.108	.091	1		
Rb	-.201	.238	.334	.652**	.476*	.571**	.001	.734**	.242	.482*	.503**	.554**	.359	.332	.170	-.080	.925**	.660**	-.008	.380	.692**	.793**	.776**	.575**	1	
Sn	.081	.053	.318	.265	.238	.416*	.099	.527**	-.002	.162	.168	.161	.248	.134	.142	.461*	.534**	.435*	.264	.169	.642**	.437*	.572**	.179	.477*	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)., **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۳-۵- دندروگرام ایستگاههای نمونه برداری شده در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه با لحاظ نمودن ارتباط میانگین کلیه پارامترهای آنالیز شده



شکل ۳-۶- دندروگرام ایستگاههای نمونه برداری شده در نمونه های رسوبات سطحی و نمک دریاچه ارومیه با لحاظ نمودن آرسنیک، سرب، جیوه، کادمیوم، آهن، روی، منگنز، لیتیم، استرانسیم

۴-۳-تعیین ریسک سلامت ناشی از مواجهه با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه از طریق تنفسی، بلع و پوستی

میزان دریافت روزانه فلزات سنگین از نمونه های رسوب اطراف دریاچه ارومیه برای بزرگسالان برحسب میلی گرم به ازای هرفرد در روز به تفکیک هریک از عناصر و از طریق سه مسیر مواجه (بلع- تنفس و جذب پوستی) در جدول آمده است. با عنایت به نتایج بدست آمده، میانگین کل دریافت روزانه از سه طریق مواجهه گوارشی، پوستی و تنفسی از بیشترین مواجهه به کمترین مواجهه به صورت استرانسیوم، منگنز، کروم، وانادیوم، مس، روی، آرسنیک، نیکل، سرب، کبالت، آنتیموان، جیوه، مولیبدن، لیتیوم و کادمیوم می باشد. حداکثر میانگین دریافت روزانه مزمن مربوط به استرانسیوم از طریق سه مسیر فوق به ترتیب مقادیر $۴/۴\times۱۰^{-۴}$، $۱/۷۵\times۱۰^{-۶}$ و $۶/۴۲\times۱۰^{-۸}$ و حداقل میانگین میزان دریافتی مربوط به فلز کادمیم با مقادیر $۸/۴۷\times۱۰^{-۸}$ ، $۳/۳۸\times۱۰^{-۱۰}$ و $۱/۲۶\times۱۰^{-۱۱}$ می باشد. ضمن اینکه نتایج بدست آمده نشان می دهد که بیشترین مواجهه از طریق گوارشی وکمترین مواجهه از طریق تنفسی رخ می دهد که لزوم توجه بیشتر به این مسیر را باتوجه به امکان برداشت این رسوبات جهت استحصال نمک خاطر نشان می سازد. اگرچه مقایسه مقادیر بدست آمده با دوز مرجع عناصر مربوطه نشان می دهد که دوز دریافتی این عناصر از هر سه مسیر مواجهه کمتر از مقادیر مرجع می باشد، اما استرانسیوم یک عنصر غیر ضروری برای بدن بوده و مطالعات در باره اثرات آن بر متابولیسم استخوان، اثـرات سـرطان زایـی آن را نشان داده است و لزوم پایش مستمر رسوبات را نشان می دهد. همچنین علیپور و همکاران نیز بطور مشابه، غلظت های بالایی از استرانسیوم را در بررسی های ژئوشیمیایی رسوبات بستر دریاچه گزارش نموده اند. این نتایج نشان می دهد که در پایش های آتی بایستی به جز استرانسیوم، عناصرآرسنیک، جیوه و نیکل بیشتر مورد توجه قرار گیرند؛ چراکه پتانسیل سمیت بیشتری داشته و جزء شبه فلزات و فلزات سنگین خطرناک می باشند؛ مضافاً اینکه نسبت به سایر فلزات خطرناک نظیر کادمیوم و کروم در نمونه های آنالیز شده از غلظت های بالاتری برخوردار هستند.

میانگین مقادیر ضریب خطر(HQ) عناصر کادمیوم، آرسنیک، کروم، سرب، جیوه، مس، روی، منگنز، نیکل و کبالت در نمونه های رسوب دریاچه بـه ترتیـب از طریق($۹/۳۴\times۱۰^{-۳}$)ingestion ، ($۱/۱۶\times۱۰^{-۶}$) inhalation و ($۱/۴۱\times۱۰^{-۱۰}$)dermal می باشد.

جدول ۳-۱۴ خطرات سرطانزایی و غیر سرطانزایی کلیه عناصر مورد بررسی را به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری نشان می دهد. محاسبه شاخص خطر نشان می دهد که در کل رسوبات (کلیه ایستگاه های نمونه برداری)، عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، جیوه، سرب،کبالت، مس، نیکل، روی و منگنز مقدار $HI<۱$ دارند، که نشاندهندهٔ عدم وجود پتانسیل خطر غیر سرطانزایی است (جدول ۳-۱۴). میانگین HI محاسبه شده برای تمامی ایستگاه ها ۰/۱ می باشد. در جدول ۳- ۱۵ دریافت روزانه فلزات سنگین (mg/kg

bw/d) از طریق مسیرهای مختلف مواجهه ارائه شده است.

با توجه به وجود نداشتن فاکتور شیب سرطانزایی برای عناصر مختلف، در این مطالعه مقدار ریسک سرطانزایی فقط برای عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، سرب و نیکل محاسبه شده است. مجموع ریسک سرطانزایی در ایستگاههای نمونه برداری در محدوده $۳/۴۴\times۱۰^{-۶}$ (وسط پل شهید کلانتری نیمه شرقی) و $۱/۳۴\times۱۰^{-۴}$ (ایستگاه شیخ ولی-۱) محاسبه شد که ریسک قابل قبول و یا قابل تحمل برای سلامت انسان را نشان می دهد. همچنین مقدار میانگین ریسک سرطانزایی از تمام عناصر فوق در مجموع ایستگاه های مورد پایش $۶/۳\times۱۰^{-۵}$ می باشد که در محدوده ریسک قابل تحمل برای انسان قرار دارد.

حداکثر خطر سرطانزایی(۱×۱۰^{-۴}) مربوط به ایستگاه شیخ ولی-۱ و ناشی از مواجهه با آرسنیک می باشد.

میانگین خطر سرطانزایی برای فلزات در رسوبات دریاچه به ترتیب آرسنیک ($۳/۶\times۱۰^{-۵}$) > نیکل ($۱/۸۵\times۱۰^{-۵}$)> کروم ($۸/۶۴\times۱۰^{-۶}$)> کادمیوم ($۵/۸۶\times۱۰^{-۷}$)> سرب ($۱/۲۸\times۱۰^{-۷}$) می باشد. بنابراین ریسک سرطانزایی سرب، کادمیوم و کروم قابل چشم پوشی و درمورد نیکل و آرسنیک، ریسک قابل تحمل برای سلامت را نشان می دهد.

جدول ۳-۱۴- ریسک سرطانزایی و غیرسرطانزایی عناصر مورد بررسی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری

Sample area	Stations	Total cancer risk	Total non-cancer risk
Sheikh-Vali village-1	S1	1.34E-04	2.4E-01
Sheikh-Vali village-2	S2	1E-04	1.87E-01
Sharafkhaneh-1	S3	1.17E-04	2.1E-01
Sharafkhaneh-2	S4	5.43E-06	6.24E-02
Aji Chay ravine	S5	7.23E-05	8E-02
Gamichi village	S6	1.28E-04	1.63E-01
Gamichi- Shahid Kalantari causeway	S7	8.31E-05	1.53E-01
Agh Gonbad-1	S8	5.77E-06	8.6E-03
Agh Gonbad-2	S9	2.1E-05	3.27E-02
North of Shahid Kalantari causeway-mid east	S10	4.58E-05	5.86E-02
Center of Shahid Kalantari causeway-mid east	S11	3.45E-06	6E-03
Center of Shahid Kalantari causeway-mid west	S12	3.18E-05	3E-02
South of Shahid Kalantari causeway-mid west	S13	5.48E-06	1E-01
Gheshlagh	S14	1.1E-04	1E-01
Rahmanlu-1	S15	6.52E-05	9.5E-02
Rahmanlu-2	S16	7.21E-05	1.27E-01
Rahmanlu-3	S17	7.87E-05	1.4E-01
Pesyan-1	S18	4.36E-05	7.3E-02

Pesyan-2	S19	2.84E-05	4.85E-02
Bonab-1	S20	8.12E-05	1E-01
Bonab-2	S21	6.5E-05	7.8E-02
Khaneghah-1	S22	8.7E-05	1.37E-01
Khaneghah-2	S23	6.01E-05	5.65E-02
Khaneghah-3	S24	7.63-05	9.2E-02
Ghara Gheshlagh	S25	6.41E-05	9.1E-02
Zarrinehrood Estuaries	S26	7.56E-05	1E-01

جدول ۳- ۱۵ - دریافت روزانه فلزات سنگین از طریق مسیرهای مختلف مواجهه

Heavy metal		Chronic Daily intake (mg/kg bw/d)			Total
		Ingestion	Inhalation	Dermal	
As	Min	1.04E-06	1.54E-10	4.17E-09	1.04E-06
	Max	6.64E-05	9.77E-09	2.65E-07	6.67E-05
	Mean	2.37E-05	3.5E-09	9.48E-08	2.38E-05
Cd	Min	0	0	0	0
	Max	2.32E-07	3.41E-11	9.26E-10	2.33E-07
	Mean	8.47E-08	1.24E-11	3.38E-10	8.51E-08
Cr	Min	0	0	0	0
	Max	4.22E-05	6.2E-09	1.68E-07	4.24E-05
	Mean	4.21E-05	2.54E-09	6.9E-08	4.22E-05
Pb	Min	1.06E-06	1.56E-10	4.25E-09	1.06E-06
	Max	2.86E-05	4.2E-09	1.14E-07	2.87E-05
	Mean	1.51E-05	2.22E-09	6.02E-08	1.52E-05
Hg	Min	3.46E-07	5.09E-11	1.38E-09	3.47E-07
	Max	1.94E-06	2.86E-10	7.76E-09	1.95E-06

	Mean	8.11E-07	1.19E-10	3.24E-09	8.14E-07
	Min	2.00E-06	2.95E-10	8E-09	2.01E-06
Ni	Max	5.77E-05	8.48E-09	2.3E-07	5.79E-05
	Mean	2.02E-05	3E-09	8.08E-08	2.03E-05
	Min	1.82E-07	2.69E-11	7.3E-10	1.83E-07
Co	Max	1.05E-05	1.55E-09	4.2E-08	1.05E-05
	Mean	5.55E-06	8.16E-10	2.2E-08	5.57E-06
	Min	1.22E-05	1.78E-09	4.9E-08	1.23E-05
Sr	Max	1.54E-03	2.27E-07	6.15E-06	6.15E-06
	Mean	4.4E-04	6.46E-08	1.75E-06	4.42E-04
	Min	1.07E-06	1.58E-10	4.3E-09	1.07E-06
V	Max	1.27E-04	1.87E-08	5.07E-07	1.28E-04
	Mean	3.9E-05	5.74E-09	1.56E-07	3.92E-05
	Min	3.61E-07	9.62E-12	2.61E-10	3.61E-07
Sb	Max	4.42E-06	1.25E-10	3.40E-09	4.42E-06
	Mean	2E-06	6E-11	1.61E-09	2.00E-06
	Min	3.61E-07	5.31E-11	1.44E-09	3.62E-07
Se	Max	4.42E-06	6.5E-10	1.76E-08	4.44E-06
	Mean	2E-06	2.94E-10	7.98E-09	2.01E-06
	Min	1.80E-07	2.65E-11	7.2E-10	1.81E-07
Mo	Max	1.04E-06	1.53E-10	4.16E-09	1.04E-06
	Mean	5.04E-07	7.41E-11	2.01E-09	5.06E-07
	Min	0	0	0	0
Zn	Max	5.85-05	8.6E-09	2.33E-07	2.42E-07

	Mean	2.9E-05	4.27E-09	1.16E-07	2.91E-05
	Min	1.02E-05	1.51E-09	1.05E-08	1.02E-05
Mn	Max	9.56E-04	1.41E-07	2.9E-07	9.56E-04
	Mean	3.57E-04	5.52E-08	1.35E-07	3.57E-04
	Min	0	2.3E-10	6.2E-09	6.43E-09
Li	Max	2.32E-07	5.93E-09	1.61E-07	3.99E-07
	Mean	8.47E-08	3.01E-09	8.18E-08	1.70E-07
	Min	2.63E-06	3.87E-10	1.0E-08	2.64E-06
Cu	Max	7.25E-05	1.06E-08	2.9E-07	7.28E-05
	Mean	3.391E-05	5 E-09	1.35E-07	3.40E-05

۴-۴- ارزیابی ریسک اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و شبه فلزات در رسوبات دریاچه ارومیه

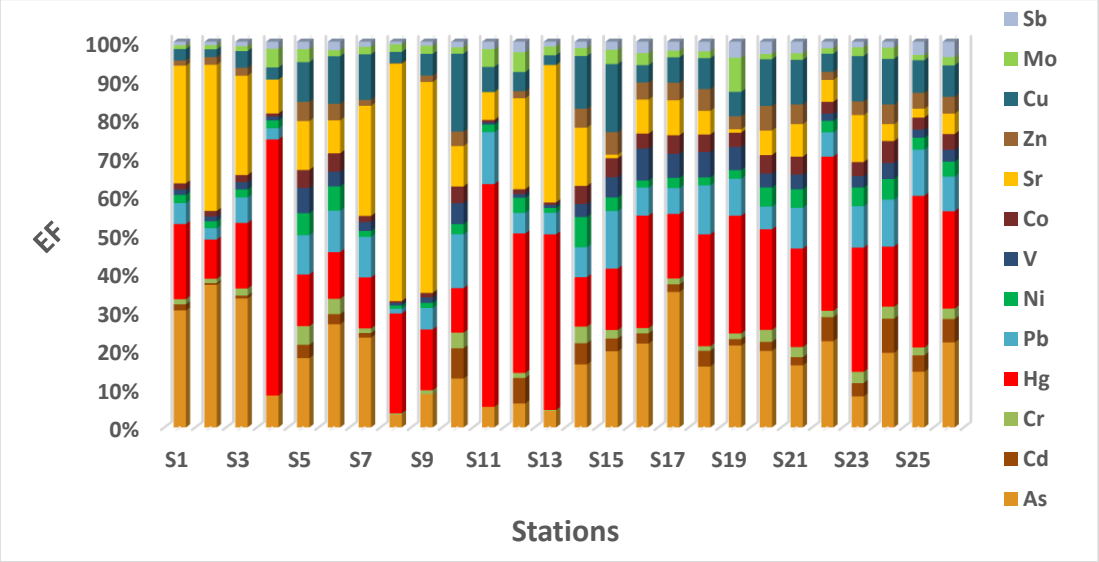
۴-۴-۱- فاکتور غنی سازی [۱]

جهت برآورد تأثیر فعالیت های انسان زاد برآلودگی رسوبات دریاچه ارومیه از فاکتور غنی سازی استفاده شد. بیشترین مقدار میانگین این فاکتور برای جیوه و به مقدار EF=۱۳/۸۷ بدست آمد که نشانگر غنی شدگی قابل توجه رسوبات با آن می باشد. منشأ احتمالی جیوه در این رسوبات، تخلیه فاضلابهای صنعتی و شهری به دریاچه و در نتیجه تجمع در رسوبات می باشد. نتایج بدست آمده (جدول ۳-۱۶ و شکل ۳-۷) نشان می دهد که براساس تقسیم بندی ساترلند، استرانسیوم و آرسنیک نیز از غنی شدگی قابل توجهی برخوردارمی باشند درحالیکه رسوبات دریاچه نسبت به عناصر کروم، آنتیموان، روی، کادمیوم، کبالت و وانادیوم از میزان غنی شدگی کمی برخوردارند (EF<۲)و همچنین براساس این طبقه بندی عنصر روی از غنی شدگی متوسطی (۲<EF<۵) برخوردار است.

جدول۳-۱۶ طبقه بندی عناصر براساس فاکتور غنی سازی

Metals	Percent Enrichment Factor (EF) Categories					Mean	Median	Range
	EF < 2	**2 < EF < 5**	**5 < EF < 20**	**20 < EF < 40**	**EF > 40**			
As	3.85	57.6	38.46	-	-	6	4.42	4.61-19.76
Cd	92.3	7.7	-	-	-	0.79	0.54	1.26-4.49
Cr	100	-	-	-	-	0.53	0.59	0.57-0.9
Hg	-	26.93	53.85	7.7	11.53	13.87	5.86	5.27-72
Pb	34.61	57.69	7.7	-	-	2.9	2.34	1.88-11.9
Ni	92.3	7.7	-	-	-	1.05	0.95	0.81-2.67
V	100	-	-	-	-	0.86	0.82	0.64-1.52
Co	100	-	-	-	-	0.84	0.81	0.85-1.13
Sr	46.15	15.38	23.07	7.7	7.7	10.85	2.07	1.11-93.18
Zn	100	-	-	-	-	0.78	0.84	0.92-1.28
Cu	38.46	53.84	7.7	-	-	2.58	2.51	1.7-5.77
Mo	84.61	15.38	-	-	-	1.16	0.53	0.45-5.23
Sb	96.15	3.84	-	-	-	0.73	0.59	0.83-2.01

[۱] Enrechment Factor



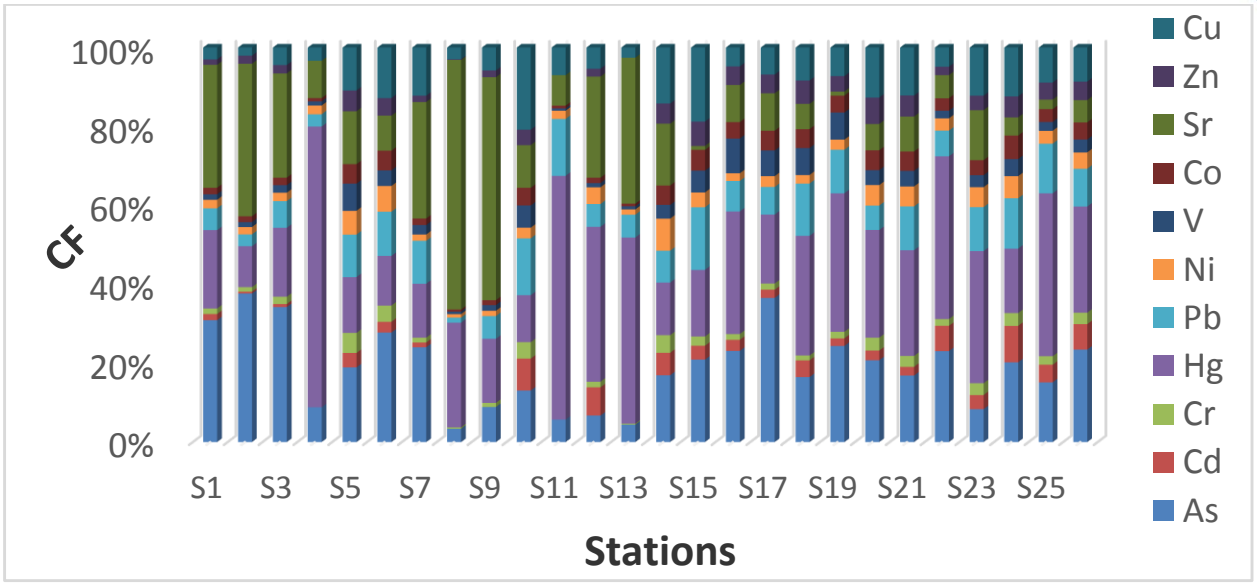
شکل ۳-۷ فاکتور غنی سازی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری

۴-۴-۲- فاکتور آلودگی[۲]

فاکتور آلودگی از جمله شاخص های مهم جهت سنجش میزان آلودگی رسوب است. شکل ۳-۸ وضعیت هریک از ایستگاه های نمونه برداری را در خصوص فاکتور آلودگی عناصر مختلف نشان می دهد.

بطور کلی مقادیر میانگین این شاخص در مجموع ایستگاه ها برای آرسنیک، کادمیوم، کروم، جیوه، سرب، نیکل، مس، آهن، روی، استرانسیوم، منگنز، کبالت، وانادیوم، آنتیموان و مولیبدن به ترتیب ۱/۳۳، ۰/۲، ۰/۱۴، ۱/۴۸، ۰/۵۵، ۰/۲۲، ۰/۲۵،۰/۵۵، ۰/۲۲، ۱/۰۵، ۰/۳۲، ۰/۲۱، ۰/۲۲، ۰/۱۹و ۰/۱۴ بدست آمد. بنابراین بجز آرسنیک، جیوه و استرانسیوم میانگین شاخص محاسبه شده برای بقیه عناصر در محدوده آلودگی کم واقع شده است(CF<۱). ۳۸/۴۶ درصد از ایستگاه های پایش شده آلودگی اندک(CF<۱)، ۵۳/۸۴ درصد آلودگی متوسط(۳>CF>۱) و ۷/۷درصد آلودگی قابل توجه (۶>CF>۳) ناشی از آرسنیک را داشته اند. ۵۷/۷ درصد و ۱۹/۲ درصد ایستگاه ها به ترتیب آلودگی متوسط ناشی از جیوه و مس را نشان دادند. همچنین ۳۰/۷۷ درصد ایستگاه ها، آلودگی متوسط تا قابل توجه ناشی از استرانسیوم را داشته اند.

[۲] Contamination Factor



شکل ۳-۸ فاکتور آلودگی به تفکیک ایستگاه های نمونه برداری

۴-۴-۳- شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده[۳]

مجموع ضرایب آلودگی آلاینده های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان میکند که به آن درجه آلودگی هاکنسون گفته می شود. ضمن اینکه به خاطر وجود محدودیت هایی که در شاخص درجه آلودگی هانکسون وجود داشت، ابراهیم در سال ۲۰۰۵ درجه آلودگی اصلاح شده را به جای درجه آلودگی مطرح کرد.

نتایج مقادیر شاخص درجه آلودگی (Cd) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات دریاچه ارومیه به تفکیک محل نمونه برداری در جدول ۳-۱۷ نشان داده شده است.

میانگین درجه آلودگی هانکسون برای رسوبات دریاچه ارومیه ۷/۱ محاسبه گردید که نشان دهنده درجه آلودگی متوسط این رسوبات به فلزات سنگین و برخی شبه فلزات آنالیز شده می باشد. ۶۹/۲۳ درصد از ایستگاه ها درجه آلودگی متوسط(۱۲>Cd> ۶)، ۳/۸۴ درصد (ایستگاه S1) آلودگی قابل توجه (۱۲<Cd) داشته و سایر ایستگاه ها از درجه پایین آلودگی برخوردار بودند.

با محاسبه شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)، به دلیل فرآیند میانگیری تاثیرات منفرد مقادیر انباشتگی آلاینده ها در نتیجه نهایی از الگوی عمومی آلودگی در منطقه، مستهلک و مخفی شده و از بین خواهد رفت. چنانچه نتایج نشان می دهد مقادیر این شاخص در محدوده ۰/۰۷تا ۰/۸ قرار گرفته و کمتر از ۱/۵ می باشد که نشان دهنده درجه بسیار پایین آلودگی در رسوبات از این حیث می باشد.

[۳] Modified degree of contamination

جدول ۳-۱۷ شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده به تفکیک ایستگاه ها

Stations	Cd	mCd
S1	12.8	0.86
S2	8.56	0.57
S3	10.36	0.7
S4	1.4	0.09
S5	6.5	0.43
S6	9.46	0.63
S7	10.34	0.69
S8	3.2	0.21
S9	5.34	0.35
S10	6.03	0.41
S11	1.13	0.07
S12	5.54	0.37
S13	2.33	0.15
S14	8.92	0.59
S15	7.7	0.51
S16	9.72	0.65
S17	7.1	0.47
S18	7.2	0.48
S19	3.79	0.25
S20	7.82	0.52
S21	7.07	0.47
S22	10.02	0.67
S23	8.13	0.54
S24	7.43	0.5
S25	8.96	0.6
S26	7.68	0.51
Mean(SD)	7.1(2.9)	0.47(0.85)

۴-۴-۴- شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی (Igeo)[۴]

در تحلیل های زیست محیطی، از شاخص زمین انباشت به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تأثیر عوامل انسان زاد از عوامل طبیعی استفاده می شود. نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات دریاچه ارومیه در جدول ۳-۱۸ نشان داده شده است. به جز آرسنیک

[۴] Geoaccumulation index

(Igeo=۰/۶) مقادیر میانگین این شاخص در ایستگاه ها کمتر از صفر است. در ایستگاه های S6, S7، S16 ، S17 و S22 آلودگی متوسط آرسنیک (Igeo=۱-۲) با توجه به این شاخص مشاهده می گردد.

جدول۳-۱۸ شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی به تفکیک ایستگاه ها

Station	Igeo														
	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	V	Mn	Mo	Ni	Sb	Co	Zn	Pb	Sr
S1	0.4	-0.90	-0.95	-0.61	-0.79	0.20	-0.95	-0.74	-1.10	-0.76	-0.94	-0.88	-0.96	-0.35	0.40
S2	0.3	-1.61	-1.21	-0.96	-0.99	-0.26	-1.17	-0.88	-1.23	-1.00	-1.13	-1.11	-0.96	-0.80	0.32
S3	0.34	-1.31	-0.93	-0.55	-0.75	0.04	-0.91	-0.74	-1.10	-0.87	-0.93	-0.92	-0.87	-0.37	0.22
S4	-1.12	0.00	0.00	-1.55	-2.08	-0.22	-2.05	-2.23	-1.36	-1.73	-1.60	-2.15	0.00	-1.58	-1.10
S5	-0.17	-0.88	-0.74	-0.41	-0.63	-0.30	-0.61	-0.53	-0.90	-0.67	-0.96	-0.76	-0.73	-0.41	-0.32
S6	1.51	-0.83	-0.65	-0.16	-0.59	-0.17	-0.67	-0.46	-1.04	-0.45	-0.74	-0.57	-0.62	-0.22	-0.32
S7	1.54	-1.11	-1.11	-0.11	-0.85	-0.06	-0.82	-1.00	-0.89	-0.99	-0.88	-0.98	-0.99	-0.16	0.28
S8	0.07	0.00	-2.15	-1.21	-1.86	-0.26	-1.87	-2.01	-1.39	-1.75	-1.65	-1.97	-2.48	-1.59	0.11
S9	0.3	0.00	-1.46	-0.71	-1.24	-0.27	-1.32	-1.35	-1.14	-1.35	-1.26	-1.38	-1.25	-0.72	0.27
S10	0.46	-0.54	-0.83	-0.13	-0.71	-0.38	-0.70	-0.82	-1.22	-1.02	-1.09	-0.80	-0.86	-0.29	-0.42
S11	0.04	0.00	0.00	-1.32	-2.08	-0.37	-2.40	-2.21	-1.47	-1.84	-1.67	-2.33	0.00	-1.01	-1.27
S12	0.2	-0.63	-1.33	-0.76	-1.28	0.11	-1.47	-1.28	-0.74	-0.86	-0.83	-1.35	-1.19	-0.72	-0.08
S13	0.06	0.00	-2.44	-1.42	-1.88	-0.16	-1.93	-2.00	-1.46	-1.71	-1.54	-2.01	0.00	-1.07	-0.27
S14	0.87	-0.54	-0.64	-0.14	-0.59	-0.17	-0.75	-0.44	-0.96	-0.38	-0.88	-0.60	-0.58	-0.39	-0.10
S15	0.87	-0.83	-1.01	-0.11	-0.55	-0.15	-0.63	-0.44	-0.79	-0.81	-0.85	-0.66	-0.59	-0.18	-1.38
S16	1.25	-0.82	-1.10	-0.59	-0.50	0.22	-0.32	-0.48	-0.75	-0.98	-0.59	-0.65	-0.60	-0.38	-0.29
S17	1.45	-1.09	-1.21	-0.57	-0.61	-0.16	-0.59	-0.50	-1.14	-0.96	-0.85	-0.70	-0.73	-0.56	-0.43

S18	0.66	-0.76	-1.31	-0.47	-0.63	0.09	-0.56	-0.54	-1.12	-1.06	-0.80	-0.72	-0.62	-0.27	-0.59
S19	0.47	-1.43	-1.49	-0.86	-0.95	-0.17	-0.88	-0.80	-0.71	-1.31	-0.86	-1.09	-1.13	-0.68	-1.70
S20	0.93	-0.96	-0.84	-0.25	-0.63	0.09	-0.77	-0.66	-1.20	-0.63	-0.65	-0.65	-0.52	-0.56	-0.53
S21	0.68	-1.04	-0.95	-0.3	-0.72	0.037	-0.79	-1.78	-1.13	-0.88	-0.72	-0.54	0.34	0.01	-0.44
S22	1.32	-0.43	-1	-0.55	-0.8	0.37	-0.96	-1.84	-1.08	-0.96	-0.82	-0.51	0.70	-0.24	-0.47
S23	0.4	-0.77	-0.85	-0.24	-0.7	0.19	-0.85	-1.72	-0.95	-0.81	-0.97	-0.52	0.08	-0.09	-0.23
S24	0.82	-0.42	-0.87	-0.3	-0.61	-0.18	-0.75	-1.74	-0.91	-0.82	-1.00	-0.50	0.31	0.01	-0.73
S25	0.78	-0.64	-0.96	-0.34	-0.72	0.32	-0.94	-1.87	-1.12	-0.72	-0.56	-0.52	0.40	0.02	-0.91
S26	0.99	-0.56	-0.91	-0.43	-0.66	0.06	-0.86	-1.85	-1.01	-0.92	-0.57	-0.54	0.44	-0.02	-0.62
Mean	0.68	-0.7	-1.03	-0.58	-0.9	-0.06	-1.02	-1.19	-1.07	-1	-0.97	-0.97	-0.51	-0.48	0.4-

۴-۵-شاخص های ارزیابی ریسک اکولوژیکی

۴-۵-۱- شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی(E_r^i)[۵] و شاخص ریسک (RI)[۶]

پتانسیل ریسک اکولوژیکی شاخصی برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی برای هر عنصر بالقوه سمناک در رسوب است که از ضرب فاکتور آلودگی به فاکتور سمیت بیولوژیکی هر عنصر به دست می آید. نتایج به دست آمده نشان می دهد که مقادیر پتانسیل ریسک اکولوژیکی همه عناصر در محدوده ریسک کم (۴۰>) قرار دارد. جدول ۳-۱۹ مقادیر محاسبه شده شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی و شاخص ریسک را به تفکیک عناصر مورد بررسی نشان می دهد. مقادیر میانگین شاخص (E_r^i) برای عناصر مورد بررسی بصورت آرسنیک> کادمیوم> مس و سرب > آنتیموان>نیکل> منگنز> کروم> روی می باشد. شاخص ریسک برای همه نمونه ها در محدوده ریسک کم (RI<۱۵۰) قرار دارد و بیشترین ریسک اکولوژیکی مربوط به ایستگاه شیخ ولی-۱(RI= ۵۱/۷) می باشد.

جدول۳-۱۹آمار توصیفی شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک

	E_r^i									
	As	Cd	Pb	Cr	Ni	Zn	Mn	Cu	Sb	**RI**
Mean	13.35	6.18	2.75	0.28	1.3	0.22	0.32	2.75	1.37	28.54
Std. deviation	10.05	5.17	1.48	0.19	0.89	0.13	0.22	1.83	0.76	14.17
Max	37.32	16.94	5.21	0.68	3.71	0.45	0.82	5.88	2.9	51.03
Min	0.58	0	0.19	0	0.13	0	0.008	0.21	0.22	1.98

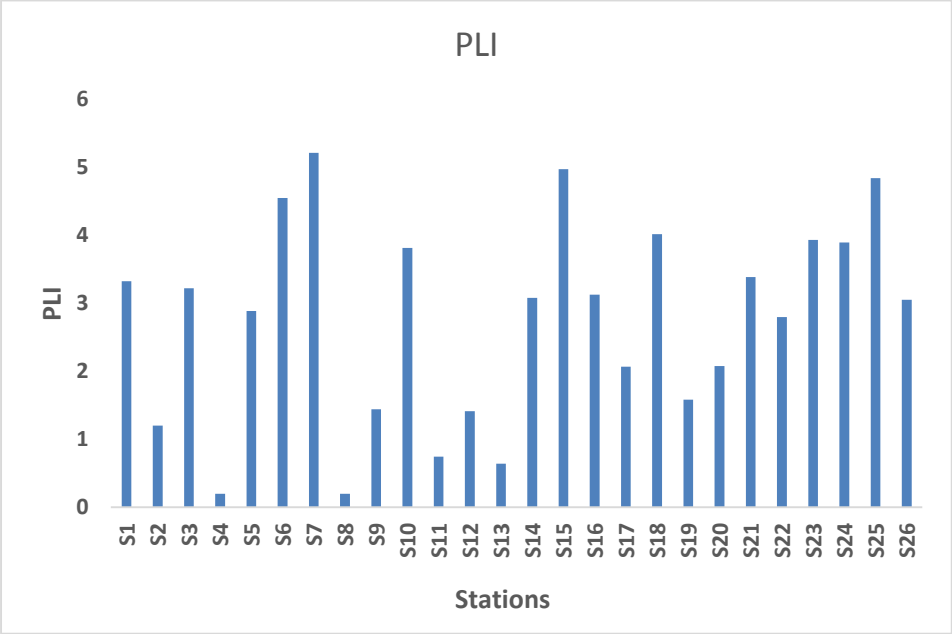
۴-۵-۲- شاخص بار آلودگی (PLI)[۷]

به منظور ارزیابی وضعیت کلی سمیت رسوبات دریاچه، شاخص بار آلودگی برای ۱۴ فلز سنگین و شبه فلز محاسبه گردیدکه میانگین آن ۰/۲۸ می باشد. در تمام ایستگاه های مورد بررسی مقدار این شاخص کمتر از یک بدست آمد و در برخی از ایستگاه ها مقدار آن صفر است. حداکثر مقدار آن (PLI =۰/۴۷) مربوطه به ایستگاه گمیچی (S6) می باشد. بنابراین از حیث این شاخص، آلودگی ناچیز در ایستگاه ها مشاهده می گردد(شکل ۳-۹).

[۵] Potential ecological risk

[۶] Risk Index

[۷] Pollution load index



شکل۳-۹ شاخص بار آلودگی محاسبه شده برای ایستگاه های مختلف

۵-فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

نگرانی در خصوص خشک شدن دریاچه ارومیه روز به روز در حال افزایش است. بر اساس بررسی صورت گرفته طی سالیان اخیر شاهد افزایش شوره زارهای اطراف دریاچه ارومیه می باشیم بطوریکه در سال، ۱۹۹۸دریاچه ارومیه بیشترین مساحت خود را داشته و در سال ۲۰۰۵ میلادی نسبت به سال ۱۹۹۸یک کاهش ۲۶درصدی در مساحت دریاچه رخ داده و در یک بازه زمانی کمتر از ۲۰سال، دریاچه یک چهارم از مساحت خود را از دست داده است. بدیهی است که از دست رفت مساحت آبی به معنی ایجاد و افزایش مساحت شوره زارها است. تغییرات مرز پیرامونی دریاچه ارومیه بین ۸ تا ۱۲کیلومتر در بخش جنوبی و حدود ۵ تا ۸ کیلومتر در بخش شرقی دریاچه در نوسان است.

با گذر زمان و کاهش حجم آب دریاچه ارومیه با سرعت چشمگیری بر وسعت شوره زارها افزوده شده و در نتیجه شوره زارهای ایجاد شده در اطراف دریاچه ارومیه ذرات نمکی قرار گرفته در معرض هوا می توانند توسط باد جابه جا شوند، بر روی اراضی حاصلخیز رسوب کرده و زمینهای کشاورزی را از عرصه تولید خارج کند. همچنین جابجایی این نمکها توسط باد و رسوب آنها در آبهای سطحی و نفوذ به آبهای زیرزمینی منجر به شور شدن آب آبیاری می شود که یکی از شدیدترین عوامل محدودکننده زیست محیطی بهره وری از محصولات کشاورزی است. از جمله اثرات جدی شوری اثر بر زیرساختها، منابع آب، محصولات کشاورزی، فرسایش خاک ساختار و ثبات جوامع اجتماعی و ... است(خادمی و همکاران، ۱۳۹۳). بر اساس اعلام اداره کل محیط زیست استان آذربایجان غربی هم اکنون ۷۰٪ مساحت دریاچه ارومیه خشک شده و بیش از دوسوم از وسعت آبی آن به شوره زار تبدیل شده است که میزان غلظت نمک آن به بیش از ۴۰۰گرم در لیتر رسیده است. این پسروی و کوچک شدن مساحت دریاچه هشدار مهمی است؛ زیرا با خشک شدن دریاچه ارومیه، یک کویر نمک به وسعت بیش از ۴۴۰۰ کیلومتر مربع تشکیل می شود. باد نمکهای موجود در شوره زارها را به سمت مزارع منتقل خواهد کرد و باعث آسیب دیدن مزارع و باغات کشاورزی به خصوص در نقاط روستایی دشتهای حاصلخیز آذربایجان غربی و شرقی خواهد شد که عمده ترین منبع درآمد ساکنان این منطقه است و برای سلامت ساکنان این مناطق تبعات منفی در پی خواهد داشت. تشکیل کویر نمک با این ابعاد باعث تغییر آب وهوای منطقه و موجب افزایش و شدت طوفان های گردوخاک در منطقه خواهد شد. بر اساس آمار موجود در محدوده ۳۰ کیلومتری دریاچه ارومیه ۲۳شهر و ۴روستا و جمعیتی بالغ بر ۱۵۹۰۴۸۰ نفر ساکن می باشد که این جمعیت می تواند در معرض تغییرات زیست محیطی دریاچه ارومیه قرار گیرد. بر اساس تحقیق بارانی پسیان و همکاران (۱۳۹۶) معیار زیست محیطی و زیرمعیارهای طوفانها و ریزگردهای نمکی، بیابانزایی و توسعه آن به نواحی پیرامون، قومگرایی و درگیریهای قومی، تشدید نوسانات اقلیمی و تغییر در زمانبندی فصول، و از بین رفتن اراضی کشاورزی و حاصلخیزی خاک به ترتیب مهمترین پیامدهای خشک شدن دریاچه ارومیه هستند (بارانی پسیان و همکاران، ۱۳۹۶). در خصوص اثرات زیست محیطی نمک اشاره شده که وجود آن در نهرها منجر به تغییر سلامت اکولوژیکی می شود و بزرگترین تهدید برای تنوع زیستی از دست دادن زیستگاه است. بالا بودن سطح نمک در آب موجود در

منافذ خاک ممکن است آب را از ریشه گیاه دوباره به سمت خاک برگرداند و در نتیجه آبزدایی از گیاه موجب کاهش راندمان و یا حتی مرگ گیاه می شود. یون کلراید برای گیاهان سمی بوده و زمانی که غلظت آن افزایش می یابد گیاه مسموم شده و می میرد. از طرفی نمک قدرت جذب بارش باران را در خاک کاهش داده و نرخ بالایی از رواناب را ایجاد میکند که این میتواند منجر به آسیب به جاده ها، نرده ها، سدها، اراضی کشاورزی و تالابها شود. نمک می تواند موادی مانند بتن را تجزیه کند این فرایند میتواند عواقب جدی از جمله از بین رفتن گیاهان و جانوران بومی و کاهش کیفیت آب را در پی داشته باشد. زیرساختهای شهری مانند جاده ها، ساختمانها، لوله های آب و فاضلاب میتوانند توسط شوری شهری تخریب شوند تا حدی که جایگزینی و تعمیر آنها گرانقیمت خواهد بود.

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات محیط های آبی و بستر دریاها می تواند گام موثری برای بررسی الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست محیطی وضعیت آلاینده ها در یک منطقه باشد. در مطالعه حاضر با انجام نمونه برداری از ۲۶ ایستگاه تعیین شده در حاشیه شرقی دریاچه که با بررسی های میدانی منطقه مورد مطالعه، بررسی نقشه های موجود و براساس نزدیکی به روستاهای همجوار(وجود جمعیت تحت تأثیر)، سهولت دسترسی و سایر فاکتورهای مؤثر انتخاب شده اند، نسبت به بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و ارزیابی ریسک اکولوژیک ناشی از آن ها اقدام شد .

بر اساس محاسبات صورت گرفته با استفاده از شاخص های زیست محیطی برای تعیین آلودگی رسوبات در ایستگاه های مختلف، با توجه به شاخصIgeo ، کلیه عناصر مورد بررسی به جز آرسنیک در تمام ایستگاه های مورد مطالعه فاقد آلودگی بوده و آلودگی متوسط آرسنیک در ایستگاه هایS6, S7 ، S16 ،S17 و S22 را نشان می دهد.

نتایج میانگین فاکتور آلودگی نیز آلودگی کم عناصر مورد پایش بجز جیوه، آرسنیک و استرانسیوم را درایستگاه ها نشان می دهد. ارزیابی فاکتور غنی شدگی نیز موید همین موضوع بوده و به ویژه غنی شدگی قابل توجه جیوه را در ایستگاه های S4 و S11 نشان می دهد. باتوجه به این فاکتور وقوع آلودگی محتمل در آینده در منطقه را بایستی مدنظر قرار داد. شاخص درجه آلودگی هانکسون حاکی از درجه آلودگی متوسط این رسوبات به فلزات سنگین و عناصر شبه فلز مورد بررسی می باشد و بنظر می رسد خشک شدن دریاچه باعث تجمع عناصری تظیر جیوه و آرسنیک در برخی نقاط بستر دریاچه شده که با ادامه این روند لزوم پایش مستمر این رسوبات را خاطر نشان می سازد .

مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج مطالعاتی که به سنجش و ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات سطحی سایر مناطق ایران پرداخته اند نشان می دهد که منشأ و متعاقباً غلظت و خطر اکولوژیکی این عناصر در محیط های آبی و رسوبات نواحی مختلف ایران متفاوت بوده و این آلاینده ها از راه ها و فرآیندهای متفاوتی وارد سیستمهای آبی شده و درنتیجه در رسوبات تجمع می یابند که ارزیابی های محیطی را پیچیده تر می کند. غلظت میانگین جیوه(۰/۵۹) در مطالعه حاضر بیش از میانگین شل جهانی (۰/۴) (Turekian & Wedepohl, 1961)، رسوبات جاسک(۰/۰۲۷) و سیریک (۰/۰۳) (Pourrahim

et al. 2009، رسوبات ساحلی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (۰/۰۲۹) (حق شناس و همکاران، ۱۳۹۶) ، رودخانه کرخه (۰/۰۲- ۰/۰۰۵) (رومیانی و پاینده، ۱۳۹۶) ، آب های ساحلی استان هرمزگان (۰/۱) (آگاه و همکاران، ۱۳۹۶) و عسلویه (۰/۰۲۹- ۰/۰۲۰۲) می باشد و البته کمتر از میانگین رسوبات منطقه بندر امام خمینی (۱/۷۵) است که بدلیل وجود صنایع مختلف به خصوص صنایع پتروشیمی در اطراف آن آلاینده های فراوان از جمله فلزات سنگین به این منطقه تخلیه می شود (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۱). در خصوص آرسنیک نیز میانگین غلظت آن در رسوبات دریاچه ارومیه (۱۷/۳۵) بیش از میانگین شل جهانی(۱۳) و بویژه میانگین پوسته زمین(۱/۸)، رسوبات سطحی سواحل سیسنگان (۰/۰۱۹)(باقری و عظیمی، ۱۳۹۴)، سیاهرود(۹/۹۹)(قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۱) و کمتر از رسوبات ساحلی جزیره هرمز(۳۳/۴۴)(غلام دخت بندری و رضائی، ۱۳۹۴) می باشد. لذا بایستی در مورد این آلاینده ها پیش از آنکه به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، اقدامات پیشگیرانه و مدیریت و نظارت صحیح در نظر گرفته شود.

از طرفی افزایش شوری می تواند منجر به کاهش جمعیت جوامع روستایی، بیکاری، هزینه بازسازی روستاهایی که مزارع در آنها بدون استفاده شده است، افزایش مشکلات بر سلامتی به علت استرس و نیز کاهش کیفیت محیط زیست طبیعی شود. (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳). بر این اساس زمانیکه نمک ها حاوی ناخالصیهایی از جمله فلزات سنگین باشند اثرات بهداشتی ناشی از تنفس گردوغبارهای نمکی، مصرف آبها و به ویژه مصرف خود نمک های آلوده افزایش خواهد یافت. بر اساس پیش بینی نور و آقایی (۱۳۹۱) اکثر شهرهایی که در بخش شرقی دریاچه ارومیه قرار دارند (تبریز، آذرشهر، صوفیان، میاندوآب، مرند و ...) در حداکثر خطرپذیری قرار دارند و شهرهایی هم چون بناب که جهت باد در آنها غربی می باشد در اوج خطرپذیری قرار دارند چون اکثر مناطق حاشیه دریاچه در ارتفاعات زیر ۳۰ متر از سطح دریا قرار دارند بر میزان خطرپذیری مناطق افزوده می گردد که در صورت جابجایی نمک توسط باد و آبیاری از طرف کشاورزان با شورشدن اراضی آبی و دیم به مساحت حدود ۱۰ میلیون هکتار بر مشکلات در طول زمان نیز افزوده خواهد شد و در نهایت منجر به مهاجرت صدها هزار نفر از ساکنین منطقه ما خواهد شد.

تحقیق Samadi et al., 2019 در خصوص تاثیر مواجهه طولانی مدت با ذرات معلق شور ناشی از دریاچه ارومیه بر بیماریهای قبلی عروقی در روستاهای اطراف دریاچه، ارتباط آماری معنی دار بین ذرات و فیبرینوژن را نشان داد. همچنین در یکی ازمناطق مورد مطالعه نیز بین ذرات شور hs-CRP رابطه معنی دار مشاهده گردید. آنها نتیجه گیری کردند که مواجهه با ذرات نمکی بر روی فاکتورهای خونی تاثیر می گذارد و لازم است اقدامات مناسب جهت قطع مواجهه به عمل آید. همچنین همین محقق و همکارانش در مقاله دیگری نشان داده اند که طی مواجهه فوق، بین ذرات معلق هوا و بیومارکرهای مرتبط با ریسک بیماریهای قلبی عروقی مشتمل بر Hcy, total WBC, neutrophil, monocyte, lymphocyte and basophile, رابطه معنی دار وجود دارد.

Hossein Mardi et al, 2018 طی تحقیقی در خصوص آئروسل های مرتبط با خشک شدن دریاچه ارومیه گزارش کرده اند که یکی از منابع عمده ذرات در منطقه بررسی شده مربوط به اراضی خشک شده در

اطراف دریاچه و بستر رودخانه های خشک می باشد و چرای دام همراه با برداشت نمک از بستر دریاچه دارای اثرات منفی در خصوص افزایش غلظت ذرات معلق بوده و لازم است از چنین فعالیتهایی که باعث آشفتگی بستر دریاچه می شوند جلوگیری به عمل آید. این تحقیق گزارش کرده که انتقال ذرات بویژه در فصل تابستان جدی تر بوده و لازم است مورد توجه قرار گیرد.

Mohammadi et al 2019 با انجام تحقیقی در خصوص اثرات بهداشتی منتسب به ذرات معلق در شهر ارومیه و با احتمال اینکه بخشی از این ذرات معلق ناشی از دریاچه ارومیه است گزارش کرده که بیش از ۱۰ میلیون نفر در معرض ذرات معلق شور خواهند بود و ممکن است دچار عوارض مختلف از جمله بیماریهای پوستی، چشمی و تنفسی شوند.

نتیجه گیری کلی

بر اساس یافته های این تحقیق، مطالعات مختلفی در خصوص دریاچه ارومیه از نظر اقلیم، زمین شناسی، رسوب شناسی، رژیم هیدرولیکی، گسترش اراضی شور(توسط سنجش از دور)، نوسانات سطح و عمق دریاچه و ... به انجام رسیده است اما جنبه های ریسک زیست محیطی و اکولوژیکی و نیز آلودگی به فلزات سنگین در رسوبات و شورابه دریاچه به میزان خیلی کم و اغلب بطور غیر مستقیم مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر تحقیقات انجام شده بویژه توسط سازمان زمین شناسی کشور در خصوص پتانسیل اقتصادی بازیافت عناصر ارزشمند و محدود به شورابه دریاچه و در برگیرنده کاتیون ها از جمله منیزیم و سدیم و پتاسیم و تغییرات نسبت آنها در طول زمان و همچنین مقادیر استرانسیم و لیتیم بوده است. در دو مورد مطالعه ژئوشیمیایی، برخی فلزات سنگین به صورت محدود از دیدگاه زمین شناسی در رسوبات دریاچه بررسی و نتیجه گیری شده که استرانسیم و باریم در دریاچه به دلیل تاثیر زمین شناسی اطراف دریاچه و ورود این عناصر به داخل دریاچه غنی سازی شده و افزایش یافته است. در دو مطالعه دیگر نیز جهت منشاء یابی ذرات معلق در هوای اطراف دریاچه ارومیه، تعداد محدودی نمونه رسوب نیز از بابت نوع ترکیب و وجود برخی فلزات سنگین آنالیز شده اما ریسک سلامت مورد توجه قرار نگرفته است. در خصوص مقدار فلزات سنگین در رسوبات دریاچه ارومیه بر اساس نتایج آنالیزهای انجام شده و با در نظر گرفتن میانگین غلظت ها، ترتیب فلزات به صورت زیر می باشد:

Fe>Sr>Mn>Ba>V>Cu>Zn>As>Li>Ni>Br>Cr>Rb>Pb>Co>Hg>Be>Mo>Sn >Bi>Cd

نتایج آنالیز ها در خصوص برخی عناصر از جمله استرانسیم مشابه با تحقیقات قبلی است ضمن آنکه آرسنیک دارای غلظت نسبتا بالایی در رسوبات بوده و در برخی از تحقیقات پراکندگی این ماده تا شعاع ۱۰ کیلومتری و تجمع آن بر روی برگ درختان از منشاء دریاچه مستدل رسیده است.

مرور متون انجام شده در تحقیق حاضر نشان می دهد که وجود فلزات سنگین در رسوبات دریاچه ارومیه می تواند در سالهای آینده به عنوان دغدغه ی بهداشتی و سلامتی در نظر گرفته شود. بویژه این موضوع زمانی اهمیت می یابد که به نتایج تحقیقاتی دقت کنیم که پراکندگی گردو غبار با منشا رسوبات دریاچه

ارومیه را نشان می دهد. باید دقت شود که اگر تنفس ذرات دریاچه ارومیه بر اساس تحقیق موجود منجر به تغییر برخی بیومارکرهای خونی شده است سایر تغییرات بهداشتی نیز می تواند در اثر ورود فلزات سنگین موجود در گرد و غبار رخ دهد.

با این وجود در حال حاضر نتایج ارزیابی ریسک سلامت در این مطالعه نشان داد که میانگین دریافت روزانه عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، جیوه، نیکل، کبالت، استرانسیوم، وانادیوم، آنتیموان، مولیبدن، روی و منگنز کمتر از مقادیر مرجع بوده و مقادیر ضریب خطر و شاخص خطر کمتر از یک بدست آمد که در محدوده قابل قبول برای خطرات غیر سرطانزا قرار دارد. مقدار میانگین ریسک سرطانزایی از تمام عناصر فوق در مجموع ایستگاه های مورد پایش $۶/۳\times۱۰^{-۵}$ می باشد (یک نفر در هر ۲۸۰۸۹ نفر). حداکثر میانگین، مربوط به آرسنیک و از طریق بلع به میزان $۳/۵۶\times۱۰^{-۵}$ می باشد. بیشترین ریسک سرطانزایی از طریق تنفس نیز مربوط به کروم با میانگین ($۱/۰۶\times۱۰^{-۷}$) می باشد که که ریسک قابل قبول برای سلامت انسان را نشان می دهد.

بر اساس نتایج بدست آمده در خصوص پتانسیل ریسک اکولوژیک، شاخص های فاکتور آلودگی و غنی شدگی آلودگی کم عناصر مورد پایش بجز جیوه، آرسنیک و استرانسیوم را در ایستگاه ها نشان می دهند. جیوه، استرانسوم و آرسنیک دارای بیشترین فاکتور غنی شدگی با مقادیر به ترتیب ۱۳/۸۷، ۱۰/۸۵ و ۶ بوده و رسوبات دریاچه از کمترین غنی شدگی نسبت به کروم برخوردار بودند. براساس شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی نیز در ایستگاه های S7, S6، S16، S17 و S22 آلودگی متوسط آرسنیک (Igeo=۱-۲) مشاهده گردید. مقادیر پتانسیل ریسک اکولوژیکی منفرد برای همه عناصر مورد بررسی و همچنین شاخص ریسک یکپارچه در محدوده ۱/۹۸ تا ۵۱/۰۳ و با میانگین ۲۸/۵۴در محدوده ریسک کم قرار داشتند.

آرسنیک، جیوه و استرانسیوم عمده آلاینده های شناسایی شده در نمونه رسوبات مورد بررسی بوده و بنظر می رسد که آرسنیک و جیوه ناشی از فعالیت های انسانی و بویژه تخلیه فاضلاب ها به دریاچه بوده و احتمالاً استرانسیوم دارای منشا طبیعی است. توجه به این نکته ضروری است که تداوم روند خشک شدن دریاچه می تواند به تشدید پتانسیل ریسک اکولوژیکی مربوطه بیفزاید.

اگر چه نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که سطوح ریسک سرطان زایی و غیرسرطان زایی عناصر انتخابی محدودهٔ بررسی شده در محدودهٔ قابل قبول یا نزدیک به آن قرار دارد، با این حال انجام ارزیابی های تکمیلی و گسترده تر و به ویژه با تمرکز بر روی گروه های آسیب پذیر مانند کودکان، پیشنهاد می گردد.

بویژه این موضوع زمانی اهمیت می یابد که به نتایج تحقیقاتی دقت کنیم که پراکندگی گرد و غبار با منشا رسوبات دریاچه ارومیه را نشان می دهد. باید دقت شود که چنانچه تنفس ذرات دریاچه ارومیه بر اساس تحقیقات موجود منجر به تغییر برخی بیومارکرهای خونی شده است سایر تغییرات بهداشتی نیز می تواند در اثر ورود فلزات سنگین موجود در گرد و غبار رخ دهد.

لذا عدم دستکاری بستر دریاچه ارومیه و توسعه و احیای پوشش گیاهی در اراضی خشک شده اطراف به

منظور کاهش گرد و غبار تولیدی قویا توصیه می شود.

۶- فهرست منابع

احدی ن، پوراکبر ل.، (۱۳۹۵)، اثر خاکهای سه منطقه شور بر برخی پارامترهای رشدی و بیوشیمیایی گیاه Halocnemum strobilaceum (مطالعه موردی: حاشیه جنوب شرقی دریاچه ارومیه)، نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال یازدهم، شماره ۴۴، صفحات ۱ تا ۹

احمدی ۱.، طاطیان م.، تمرتاش ر.، عصری ی. ، یگانه ح. (۱۳۹۵)، نقش خصوصیات خاک در پراکنش جامعه های گیاهی اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان، دوره چهارم، شماره نهم، ۱تا ۱۴

بارانی پسیان و. ، پوراکرمی م.، فتوحی مهربانی ب.، پوراکرمی س. (۱۳۹۶)، تحلیل روند خشک شدن دریاچه ارومیه و مهمترین تأثیرات آن بر سکونتگاههای پیرامونی، فصلنامه پژوهشهای روستایی، پاییز ۱۳۹۶، دوره ۸ شماره ۳، صفحات ۴۴۱ تا ۴۵۳.

بر ارائه راهکار مناسب جهت احیا محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۹۶،شماره ۳،پاییز ۵۳۶۱

باقری ح، عظیمی ع.، (۱۳۹۴)، مطالعه پراکنش فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان-جنوب دریای خزر، اقیانوس شناسی، سال ششم، شماره ۲۱، ۳۶-۲۷

آگاه ه، آستانی س، فاطمی س.م. (۱۳۹۶)، بررسی میزان آلودگی فلز سنگین جیوه و متیل جیوه در رسوبات استان هرمزگان، مجله علمی- پژوهشی زیست شناسی دریا / دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال نهم، شماره سی و سوم، ۲۰-۱۱

حقشناس آ.، حاتمی منش م.، میرزایی م.، میرسنجری م.م.، حسین خضری پ.(۱۳۹۶)، سنجش و ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، دوماهنامه طب جنوب، سال بیستم، شماره ۵ ، ۹۶۴ –۹۹۴

خادمی ف.، پیرخراطی ح.، شاه کرمی س.(۱۳۹۳)، مطالعه روند افزایش خاکهای شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GISو RS، علوم زمین، زمستان۹۳ ، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴ ، صفحه ۹۳تا ۹۸

داوری ن.، لک ر.، کارگر س.ر.، درویشی خاتونی ج. (۱۳۹۴)، ارزیابی پتانسیل عناصر اقتصادی شورابه دریاچه ارومیه، فصلنامه ک.اترنری ایران، دوره ۱، شماره ۴، صفحات ۳۶۹-۳۷۹

درویشی خاتونی ج.، لک ر.، محمدی ع. (۱۳۹۴)، بررسی هیدروژئوشیمیایی آب دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۷تا ۲۰۱۲ ، نشریه علوم زمین، بهار ۹۴،سال بیست و چهارم، شماره ۹۵،صفحه ۲۳۹تا ۲۵۲

رومیانی ل، پاینده خ. (۱۳۹۶)، بررسی تجمع فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی و چهار گونه گیاهان آبزی رودخانه کرخه، فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال نهم /

شماره ۳۳، ۴۸-۶

شمشکی ا.، کرمی غ.،(۱۳۹۶)، مقایسه روند تغییرات کمی و کیفی آب دریاچه ارومیه با تاکید بر اطلاعات کرانه جنوب خاوری آن، علوم زمین، سال ۲۶، شماره ۱۰۳، ۱۰۱ تا ۱۰۶ صفحات ۵۳۱تا ۵۱۵

عظیمی ع.،دادالهی ع.، صفاهیه ع.، ذوالقرنین ح.، سواری ا. (۱۳۹۱) ، مطالعه سطوح فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس- بندر امام خمینی(ره)، اقیانوسشناسی/ سال سوم/ شماره ۱۱، ۴۱ـ۳۳

علیپورص.، موسوی خ.، حسینی ا.، اصلانپور ش.، حاصلی ز. (۱۳۹۷)، مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب در رسوبات بستر دریاچه ارومیه، علوم زمین، بهار ۹۷ ، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۷،صفحه ۵۱تا ۶۲

غلام دخت بندری.، م و رضائی پ. (۱۳۹۴)، مطالعه آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز و منشا آن ها، اقیانوسشناسی،سال ششم، شماره ۲۲، ۱۰۶-۹۷

قشلاقی ا.، رستمی ش. (۱۳۹۵)، آلودگی و گونه سازی فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه سیاهرود (منطقه قائمشهر - استان مازندران)، پژوهش های‌چینه نگاری‌و رسوبشناسی، سال‌سی ودوم،شماره‌پیاپی ۳۶ ، شماره‌دوم، ۳۶-۳۳

کره ای و همکاران، (۱۳۹۲)، گزارش مکانیآبی و مقادیر عناصر در شورابه ها و نمک های بستر دریاچه ارومیه" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

لک ر.، درویشی خاتونی ج. (۱۳۹۵)، مطالعه محیطهای رسوبی و ترکیب شورابه دریاچه ارومیه با نگرشی بر ارائه راهکار مناسب جهت احیاء، محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۳، صفحات ۸۳۵ تا ۸۵۱

نادر صفت م. ح. (۱۳۹۰)، ویژگیهای ژئومورفولوژی دریاچه ارومیه وتاثیرآن در اکوسیستم این منطقه، دانشنامه جغرافیا، پیاپی ۸۲، ۲۳ تا ۳۲

نوری غ.، آقائی و. ، (۱۳۹۱)، ارزیابی خطرات زیست محیطی مناطق حاشیه دریاچه ارومیه ناشی از نوسانات مرز پیرامونی طی سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰، مجله مخاطرات محیطی،سال اول،چاپ ۱۳۹۱دوم،زمستان، صفحات ۷۹ تا ۹۴

Alipour S., 2006, Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, CHINESE Journal of Geochemistry Vol. 25 (Suppl.) 2006

Al-Taani AA, Batayneh AT, El-Radaideh N, et al.2015, Spatial distribution and pollution assessment of trace metals in surface sediments of Ziqlab Reservoir, Jordan. Environ Monit Assesst 2015;187(2): 32.

Ansari E., 2014, Heavy metal contamination of water and soil Analysis, Assessment, and Remediation StrategiesApple Academic Press, Inc

Asadpour Y.A., Nejatkhah Manavi P., Baniamam M., 2013, Evaluating the Bioaccumulation of Nickel and Vanadium and their effects on the Growth of Artemia urmiana and A. franciscana , Iranian Journal of Fisheries Sciences 12(1) 1 83- 192

Baniamam, M., 2014, Determination of Lethal Concentration (LC50) Values of Vanadium and Toxicity Effect on the Growth of Artemia urmiana and A. Franciscana, Journal of Survey in Fisheries Sciences 1(1)1-8.

Barzegar R., Asghari Moghaddam A., Tziritis E. (2016), Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran, Environ Earth Sci (2016) 75:1486

Chitsazan M., Aghazadeh N., Mirzaee Y., Golestan Y., Mosavi S., 2017, Hydrochemical characteristics and quality assessment of urban groundwater in Urmia City, NW Iran, Water Science & Technology: Water Supply | in press

Esmaeili Dahesht L., Negarestan H., Eimanifar A., Mohebbi F., Ahmadi R. 2010, The fluctuations of physicochemical factors and phytoplankton populations of Urmia Lake, Iran, Iranian Journal of Fisheries Sciences 9(3) 368-381 2010.

Esmat Saatloo J., Esmat Saatlo M., Siosemarde M., Merufinia E., 2014, Investigation and Measurement of Heavy Metals Amount (As, Pb, Cd, Hg) within Rivers Estuaries Located in the West Side of Urmia Lake, Journal of Civil Engineering and Urbanism, Volume 4, Issue 3: 233-238 .

from Urmia, Iran, Toxin Reviews, DOI: 10.1080/15569543.2016.1262875

Gholampour A., Nabizadeh R., Hassanvand M.S., Nazmara Sh., Mahvi A.H.,2016, Elemental composition of particulate matters around Urmia Lake, Iran, Toxicological & Environmental Chemistry, DOI: 10.1080/02772248.2016.1166226

Gholampour A., Nabizadeh R., Hassanvand M.S., Taghipour H., Nazmara SH., Mahvi A.H. 2015, Characterization of saline dust emission resulted from Urmia Lake drying , Journal of Environmental Health Science & Engineering (2015) 13:82 DOI 10.1186/s40201-015-0238-3

Gurumoorthi K, Venkatachalapathy R., 2016 Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. Pollution 2016; 2(3): 269-87.

Haseli, Z., 2014. Mineralogical and Geochemistry of SE corner of USL. M.SC thesis, Urmia University

Hoseyni, E., 2012. Mineralogical and Geochemistry of SW corner of USL. M.SC thesis, Urmia University.

Hossein Mardi, A., Khaghani, A., MacDonald, Alexander B., Nguyen, P., Karimi, N. and et al., 2018, The Lake Urmia environmental disaster in Iran: A look at aerosol pollution, Science of The Total Environment Volume 633, 15 August 2018, Pages 42-49

Khalilzadeh Poshtegal M., Mirbagheri S.A., 2017, Distribution and assessment of heavy metals and physicochemical parameters in riverine basin, European Water 58: 95-102, 2017

Mohammadi A., Faraji M., Oliveri Contid G., Ferranted M., Miri M., 2019, Mortality and morbidity due to exposure to particulate matter related to drying Urmia Lake in the NW Iran, European Journal of Internal Medicine 60 (2019) e14–e15

Mohammadi A., Mokhtari1 M., Mosleh Arani A., Taghipour H., Hajizadeh Y., Fallahzadeh H. 2018, Biomonitoring levels of airborne metals around Urmia Lake using

deciduous trees and evaluation of their tolerance for greenbelt development, Environmental Science and Pollution Research, https://doi.org/10.1007/s11356-018-1899-0

Nabi Shariatifar, Amir Sasan Mozaffari Nejad (Amir Khan) & Ayub Ebadi Fathabad (2016): Assessment of heavy metal content in refined and unrefined salts obtained

Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TV., 2010, Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environ Chem Lett 2010; 8(3): 199-216.

Nejatkhah Manavi P., Baniamam M., Toxic effects of Nickel on Artemia urmiana and Artemia franciscana 2011 International Conference on Biology, Environment and Chemistry, Singapoore.

Omwene P.I., Öncel M.S., Çelen M., Kobya M., 2018, Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey), Chemosphere, Volume 208, 2018, Pages 782-792,

Pourrahim Z, Dahrazma B, Ghasemi H, Mortazavi M, Taghipour B. Sedimentological assessment and contamination of superficial sediments in sirik and jask harbors with As and Hg. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches 2009; 25(2): 47-64.

Qiu J., Liu J., Li M., Wang S., Bai W., Zhang D., 2018, Assessment of heavy metal contamination in surface sediments from the nearshore zone, southern Jiangsu Province, China, Marine Pollution Bulletin, Volume 133, 2018,

Rezapour S., Moazzeni H., 2016, Assessment of the selected trace metals in relation to long-term agricultural practices and landscape properties Int. J. Environ. Sci. Technol. (2016) 13:2939–2950

Samad Alipour, Khadije Mosavi Onlaghi, 2018, Mineralogy and Geochemistry of Major, Trace and Rare Earth Elements in Sediments of the Hypersaline Urmia Salt Lake, Iran, ACTA GEOLOGICA SINICA (English Edition), Vol. 92 No. 4 pp.1384–1395

Samadi M.T., Khorsandi H., Bahrami Asl F., Poorolajal J., Tayebinia H., (2019): The effect of long-term exposures to hypersaline particles originated from drying Urmia hypersaline Lake on the increased cardiovascular risks in the villagers around the Lake, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, DOI: 10.1080/10807039.2018.1508330

Samadi M.T., Khorsandi H., Bahrami Asl F., Poorolajal J., Tayebinia H., (2019): Long-term exposures to Hypersaline particles associated with increased levels of Homocysteine and white blood cells: A case study among the village inhabitants around the semi-dried Lake Urmia, Ecotoxicology and Environmental Safety 169 (2019) 631–639.

Sarı E., M. Çağatay N., Acar D., Belivermiş M., Kılıç Ö., Arslan T.N., Tutay A., Kurt M.A., Sezer N.,2018, Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey, Chemosphere, Volume 205, 2018, Pages 387-395,

Shang Z, Ren J, Tao L, et al.,2015, Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. Environ Monit Assesst 2015; 187(3): 79.

Sharifi A., Pourmand A., Ardakani O.H., 2013, The story of a vanishing lake: Geochemical and sedimentological evidence for anthropogenic and climate impact on Urmia salt lake in NW Iran, https://www.researchgate.net/publication/236625224

Shohreh Erfan, Khalil Rezaei (2018), Geochemistry of sediment in south part of Urmia

Lake and responses to climate change during 20,000 years ago , Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-2123, 2018

Turekian, K., & Wedepohl, K. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological Society of America Bulletin, 72(2), 175-192.

Yang X, Duan J, Wang L, et al. , 2015, Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. Environ Monit Assesst 2015; 187(3): 111.

Zandevakili S., Ranjbar M., Ehteshamzadeh M., 2014, Recovery of Lithium from Urmia Lake by a Nanostructure MnO_2 Ion Sieve, Hydrometallurgy, doi: 10.1016/j.hydromet.2014.08.004

Zandvakili S., Ranjbar M. (2017): Preparation and characterisation of lithium ion exchange composite for the recovery of lithium from brine, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, DOI: 10.1080/03719553.2017.1334983

Zazouli MA, Kalankesh LR, RodríguezCouto S, Keshavarz A. Effect of Urmia Lake's drying on groundwater corrosion and scaling potential in the northwest of Iran (Case study: Spring and summer, 2015). Environ Qual Manage. 2018;1–8. https://doi.org/10.1002/tqem.2156

سپاسگزاری

طرح حاضر با کد پژوهان ۶۱۷۵۰ و شناسه IR.TBZMED.REC: 1397:326 کمیته سازمانی اخلاق در پژوهش با حمایت مالی معاونت محترم تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی تبریز در زمستان ۱۳۹۷ به انجام رسید. بدینوسیله گروه تحقیق قدردانی خود را از این معاونت اعلام می دارند. همچنین از آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت که آماده سازی نمونه ها در آنجا انجام شد و نیز کلیه عزیزانی که در برنامه نمونه برداری و آنالیز یارگیر ما بودند تشکر می گردد.

۷-چکیده به زبان انگلیسی

Abstract

Title: Health and ecological risk assessment of possible exposure to heavy metals and metalloeids in surface sediments of Urmia Lake

The present study was conducted with the main objective of assessing the level of contamination and determining the ecological risk and health risk from possible exposure to heavy metals and pseudo-metals in the surface sediments of the Urmia Lake through respiration and also the food chain. As target 1, All researches carried out in the country on the mineral compounds in the sediments of Lake Urmia were reviewed and the information and results were investigated and extracted. In order to know the latest state of the compounds of heavy metals and metalloids, 26 samples from the surface sediments and salts of Urmia Lake from different parts of the eastern and southern margins were prepared and after preparation, analyzed by ICP-MS method as target 2.

To determine the health risk from exposure to heavy metals and metalloid originated of surface sediments of Urmia Lake, the data from target 1 and 2 of the study were summarized and entered into health risk calculations (to estimate the risk of non-cancerous and carcinogenic risk) using appropriate formulas were used.

Most research (especially by the Geological Survey of the country) regarding the economic potential of recycling valuable elements and is limited to salt water in the lake. In addition, the emphasis in this study was on cations (including magnesium, sodium, and potassium) and changes in their ratio over time, as well as levels of strontium and lithium.

In two geochemical studies, some heavy metals were investigated from a geological point of view in lake sediments and concluded that strontium and barium in the lake were enriched and increased due to the geological impact of the lake and the entry of these elements form surrounding areas.

In two other studies, a limited number of sediment samples have also been analyzed for the type of compound and the presence of some heavy metals in order to source particulate matter in the air around Urmia Lake, but the health risks have not been addressed.

Regarding the amount of heavy metals in the surface sediments and slats of Urmia Lake, based on the results of our analyzes and the average concentrations, the order of metals is as follows:

Fe>Sr>Mn>Ba>V>Cu>Zn>As>Li>Ni>Br>Cr>Rb>Pb>Co>Hg>Be>Mo>Sn>Bi>Cd.

The results of the analyzes for certain elements, such as strontium, are similar to those of previous studies. Meanwhile, arsenic has a relatively high concentration in sediments. In some studies, the dispersion of arsenic to a radius of 10 kilometers and its accumulation on the leaf of trees (from the origin of the lake) has been substantiated.

The literature review carried out in this study showed that the presence of heavy metals in Urmia Lake sediments may be considered as a health concern. This is especially important when considering the research results that show the dispersion of dust with origin of the sediments of Urmia Lake. It should be noted that if breathing of Urmia Lake particles based

on existing research leads to the change of some blood biomarkers, other health changes can also occur due to the entry of heavy metals in dust.

Whereas, the estimated chronic daily intakes of As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Co, Sr, V, Sb, Se, Mo, Zn, Mn and Cu in our study were below the refrence doses and the target hazard quotient (THQ) and HI values were less than 1, which suggested that heavy metals and metalloids exposure from sediment samples dosent pose significant non carcinogenic health risks. The mean carcinogenic risks values (LCR) for all evaluated metals and metalloids were in acceptable range (6.3×10^{-5}) and the higest carcinogenic risk was due to arsenic from ingestion pathway exposure (3.56×10^{-5}).

Considering ecological risk assessment, the contamination factor and enrichment factor indicated minor contamination for all monitored metals and metalloids exept arsenic, mercury and strontium. Hg had the highest enrichment factor (13.87), followed by Sr (10.85) and As (6) while Cr had the lowest value (0.53). The geo-accumulation index (Igeo) of trace elements for this study indicated that S6, S7, S16, S17 and S22 stations are moderately contaminated with As.

The potential ecological risk index suggested that the total and individual heavy metal concentrations in the sediment were associated with low ecological risk.

The RI values of heavy metals of sediments varied from 1.98 to 51.03, with an average value of 28.54, at the low ecological risk level.

As, Hg and Sr are the main contaminants and it seems that arsenic and mercury mainly originated from human activities especially wastewater discharge to lake and Sr may has natural origin. Also, the drying trend of lake may lead to intensification of ecological risk level.

Therefore, avoid manipulating of the bed of Urmia Lake and the development and restoration of vegetation in the dry land around to reduce the production of dust from walnuts is strongly recommended.

Key Words: Heavy metals, Urmia Lake, Risk Assessment, Sediments, Pollution

مجموعه داوری گزارش فراخوان ارزیابی ریسک سلامتی و اکولوژیکی مواجهه احتمالی با فلزات سنگین و شبه فلزات رسوبات سطحی دریاچه ارومیه