

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوب بستر دریاچه و خاک‌های سطحی بخش شرقی شهرستان ارومیه با استفاده از شاخص‌های آلودگی

فاطمه مهری‌یاری^۱، حسین پیرخراطی^{۱*}، خلیل فرهادی^۲، نوشین سلطانه‌علی‌نژاد^۳ و فاطمه نقش‌افکن^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۷)

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین یک مشکل جدی زیست‌محیطی است که سلامت بشر را تهدید می‌کند. پژوهش حاضر به منظور بررسی و شناسایی آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، مس، سرب، روی و آهن متأثر از فعالیت‌های انسانی و طبیعی در رسوب بستر دریاچه و خاک‌های سطحی بخش شرقی شهرستان ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی انجام شد. در مجموع تعداد ۲۰ نمونه خاک و رسوب سطحی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی از مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین خاک با استفاده از اسید هیدروکلریک و اسید نیتریک صورت گرفت و غلظت کل فلزات توسط دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. نتایج محاسبه فاکتور آلودگی نشان داد که مس، آهن، روی و سرب در کلاس آلودگی کم و متوسط و آرسنیک در ۶۵/۵ درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی بسیار زیاد قرار داشت. مقادیر بالای فاکتور آلودگی مس، سرب و روی در حاشیه شهر و فاکتور آلودگی آرسنیک در بستر دریاچه مشاهده شد. تجزیه و تحلیل نقشه‌های فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی، نشان داد که مس، سرب و روی بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و آرسنیک متأثر از مواد مادری در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، شاخص بار آلودگی، دریاچه ارومیه

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲- گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه ارومیه

۳- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: h.pirkharrati@urmia.ac.ir

مقدمه

همگام با رشد فزاینده جمعیت و پیشرفت سریع فناوری، افزایش نگرانی‌ها در ارتباط با آلودگی‌های زیست‌محیطی به فلزات سنگین و خطراتی که بوم‌سامانه‌های طبیعی و انسانی را تهدید می‌کند رشد چشمگیری داشته است. در این میان خاک به‌عنوان یکی از اجزای محیط زیست، در معرض تجمع و انباشت فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های انسان روی کره زمین و فرایندهای هوازدگی مواد مادری و خاکسازی قرار دارد. آلوده شدن خاک به عناصر بالقوه سمی به‌دلیل تجزیه‌ناپذیر بودن این عناصر، طولانی بودن نیمه‌عمر آنها در بدن انسان و تجمع در بافت‌های زنده یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی است (۱۷). فلزات سنگین به گروهی از فلزات و بعضاً شبه‌فلزات با چگالی نسبتاً بالا (جرم حجمی مخصوص بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) اطلاق می‌شود که در غلظت‌های کم سمی باشند (۱ و ۱۱). تحرک این فلزات در خاک کم و معمولاً به لایه‌های زیرین انتقال نمی‌یابند و با تجمع در لایه‌های سطحی خاک بیشتر در معرض جذب و انتقال به گیاه قرار دارند. از آنجا که این فلزات نمی‌توانند از طریق فرایندهای زیستی و یا شیمیایی در طبیعت تجزیه شوند، نسبت به سایر آلاینده‌ها ماندگاری بیشتری در محیط دارند و در فواصل زیاد توسط آب یا باد منتقل می‌شوند و با ورود به زنجیره غذایی سلامت موجودات زنده را به مخاطره می‌اندازند. به‌همین دلیل بررسی پراکندگی این فلزات در خاک به‌دلیل اعمال مدیریت بهتر محیط زیستی، امری ضروری است.

متأسفانه طی سال‌های اخیر، دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و یکی از شورترین دریاچه‌های جهان، در اثر دخالت‌های انسانی و طبیعی رو به نابودی و خشک شدن رفته و به یکی از بزرگ‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی تبدیل شده است. یکی از آثار خشک شدن دریاچه، انتشار ریزگرد و انتقال مواد در اثر فرسایش بادی از رسوبات و نمک در اراضی خارج شده از زیر سطح آب است. با توجه به جهت وزش بادهای و مورفولوژی منطقه، مقدار زیادی از

آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین و سدیم در هوا، آب و خاک در شمال غربی ایران گسترش می‌یابد و به‌عنوان خطری بالقوه مطرح است. برای تعیین اثرگذاری فلزات سنگین، مقدار این عناصر در رسوبات سطحی دریاچه ارومیه و خاک اراضی کشاورزی و مناطق حاشیه شهر به‌صورت موردی در بخش شرقی شهرستان ارومیه بررسی شد. تاکنون مطالعات زیادی درخصوص آلودگی فلزات سنگین در خاک و رسوبات دریاچه‌ای در سراسر جهان گزارش شده است از جمله محمدی و همکاران (۱۲) فلزات سنگین را در خاک کشاورزی مناطق اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از فاکتور آلودگی، شاخص زمین‌انباشتگی و ضریب غنی‌شدگی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده آلودگی جزئی خاک با آرسنیک، کادمیوم، مس، نیکل و روی و آلودگی متوسط سدیم و سرب بود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان‌دهنده منشأ انسانی برای کادمیوم، مس، نیکل، سرب و روی در خاک است درحالی که منابع آرسنیک و سدیم ناشی از گردوغبار منتشر شده از بستر خشک دریاچه ارومیه و صنایع سیمان است.

اسماعیل‌زاده و همکاران (۸) میزان آلودگی فلزات سنگین را در خاک کشاورزی نیشابور با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شاخص‌های آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که میانگین مقدار فلزات سرب، نیکل و روی در خاک بیشتر از میانگین غلظت فلزات در پوسته زمین است و شاخص‌های آلودگی برای سرب بسیار بالا و برای سایر عناصر مورد بررسی در خاک کشاورزی منطقه کم تا متوسط است. سزگین و همکاران (۱۵) ارزیابی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین را در خاک‌های شهری استانبول ترکیه با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی و پتانسیل خطر زیست‌محیطی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که غنی‌شدگی خاک با فلزات روی، سرب، مس و کادمیوم از منشأ طبیعی و در جیوه تا حدی تحت تأثیر فعالیت انسانی است. همچنین با توجه به مقادیر شاخص زمین‌انباشت، نمونه‌ها، غیرآلوده تا دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند. میانگین پتانسیل خطر

و در ناحیه جنوب غربی منطقه گسترش یافته است. همچنین پادگانه‌های دریاچه‌ای به صورت نواری در اطراف دریاچه در بخش شرقی منطقه دیده می‌شوند. در شمال شرقی منطقه سنگ‌های ولکانیک آندزیتی تا داسیتی توأم با خرده سنگ‌های تکتونیزه و تناوب ماسه سنگ، توف، مارن، سنگ آهک و کنگلومرا با دیرینه‌های میوسن تا میوپلیوسن به صورت وسیع گسترش دارند (شکل ۲) (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ارومیه).

نمونه برداری از خاک و تجزیه آزمایشگاهی

به منظور انجام این تحقیق، محدوده مورد مطالعه به سه بخش حاشیه شهر شهرستان ارومیه، باغات و اراضی کشاورزی و حاشیه غربی دریاچه ارومیه تقسیم شد. تعداد ۲۰ نمونه خاک سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر) به صورت کاملاً تصادفی در آبان ۹۶ از اراضی گفته شده جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. از این تعداد ۶ نمونه در حاشیه شهر، ۷ نمونه در اراضی کشاورزی (باغ و زمین کشاورزی) و ۷ نمونه در حاشیه غربی ساحل دریاچه ارومیه واقع می‌شوند. موقعیت برداشت نمونه‌ها در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. پس از انتقال نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه، نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین خاک با استفاده از اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسید هیدروکلریدریک ۳۲ درصد به نسبت چهار به یک صورت گرفت (۶). غلظت کل عناصر آرسنیک، مس، سرب، روی و آهن به وسیله دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. تعیین بافت خاک بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتری (۹)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۰)، کربنات کلسیم معادل از روش خنثی سازی با اسید (۱۳)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت‌سنج و pH نمونه‌های خاک در سوسپانسیون یک به پنج آب و خاک بعد از دو ساعت چرخش توسط شیکر، با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شدند (۷).

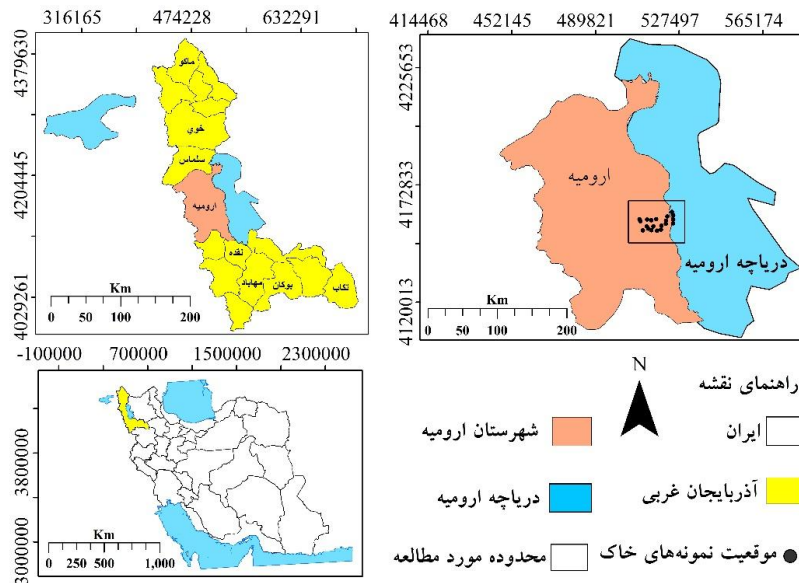
زیست‌محیطی به ترتیب کاهشی برای عناصر $Zn < Pb < Cu < Cd < Hg$ است که با توجه به آن، اکثر نمونه‌های خاک خطرات زیست‌محیطی کم و متوسط دارند.

با توجه به اهمیت شهرستان ارومیه از نظر سطح تولیدات کشاورزی در کشور و تأثیر این فعالیت‌ها روی کیفیت خاک و آلودگی خاک‌های زراعی، در اثر انباشت عناصر سنگین و آلاینده‌ها و ایجاد خطر جدی برای سلامت انسان با ورود به زنجیره غذایی، لزوم انجام این پژوهش بیش از پیش آشکار می‌شود. با توجه به این مهم این تحقیق با هدف تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین (Fe-Cu-Pb-Zn As) در بخش شرقی شهرستان ارومیه با استفاده از معیارهای ضریب آلودگی (CF)، شاخص بار آلودگی (PLI) و ارزیابی وضعیت آلودگی خاک در کاربری‌های مختلف صورت گرفت.

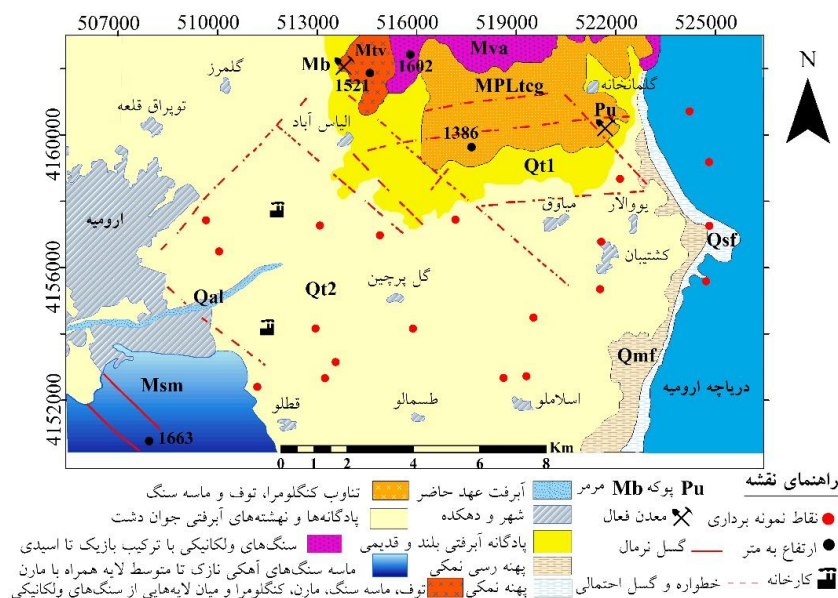
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در استان آذربایجان غربی و در بخش شرقی شهرستان ارومیه بین طول‌های جغرافیایی $37^{\circ} 45' 16''$ و $33^{\circ} 45' 06''$ و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 49' 02''$ تا $37^{\circ} 49' 17''$ واقع شده است. این محدوده مطالعاتی با مساحتی حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع از شمال به کوه‌های حاجیاداغی و بزوداغی و از طرف شرق به دریاچه ارومیه و از طرف غرب به شهرستان ارومیه محدود می‌شود (شکل ۱). بر اساس اطلاعات اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی، میانگین دمای سالانه منطقه $12/6$ درجه سانتی‌گراد، میزان متوسط بارندگی سالانه 325 میلی‌متر و مجموع روزهای یخبندان در طول سال حدود 120 روز است. منطقه مورد مطالعه از پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنر پوشیده شده و زمین‌های کشاورزی و باغات در سطح همین رسوبات گسترش پیدا کرده‌اند. کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون‌یافته در منطقه، مجموعه‌ای از ماسه سنگ‌های آهکی نازک تا متوسط لایه همراه با مارن است که به میوسن تعلق دارد



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

$$CF = \frac{C_{\text{metal}}}{C_{\text{background}}} \quad (1)$$

در این معادله CF فاکتور آلودگی، C_{metal} غلظت عنصر در نمونه برداشت شده از خاک منطقه مورد مطالعه و $C_{\text{background}}$ غلظت عنصر در نمونه زمینه است که در این مطالعه از ترکیب پوسته میانگین استفاده شد. بر اساس رده‌بندی هاکنسون فاکتور آلودگی به چهار گروه طبقه‌بندی می‌شود: فاکتور آلودگی کم ($CF < 1$),

شاخص‌های آلودگی

محاسبه فاکتور آلودگی

فاکتور آلودگی برای تعیین آلاینده‌گی خاک به عناصر سنگین استفاده می‌شود. بر این اساس غلظت عناصر نسبت به غلظت زمینه سنجیده و میزان آلودگی تعیین شد (۹). فاکتور آلودگی طبق رابطه (۱) برای عناصر مورد بررسی محاسبه شد:

بسیاری از محل‌های نمونه‌برداری در حاشیه شهر و مناطق کشاورزی ترکیب عمده را تشکیل می‌دهد. بافت نمونه‌های رسوب بستر دریاچه بیشتر سیلتی لومی (سنگین) بود. مقدار pH در هر سه منطقه در محدوده خنثی و یا کمی قلیایی نوسان دارد افزایش نامحسوس pH در رسوبات بستر دریاچه با میانگین ۷/۳ می‌تواند ناشی از میزان بالای کربنات کلسیم معادل در این منطقه باشد. میانگین هدایت الکتریکی در خاک حاشیه شهر، مناطق کشاورزی و بستر دریاچه به ترتیب برابر ۳۸/۹، ۳۱ و ۶۳۱/۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. بیشترین مقدار ماده آلی (۲/۶ درصد) با توجه به کاربری زمین، پوشش گیاهی و مصرف کودهای حیوانی در محدوده مناطق کشاورزی و کمترین مقدار (۰/۹ درصد) در نمونه بستر دریاچه است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که ماده آلی نقش کمتری در تحرک یا عدم تحرک فلزات در بستر دریاچه داشته باشد. کربنات کلسیم معادل در رسوبات بستر دریاچه بیشترین مقدار را نسبت به اراضی کشاورزی و حاشیه شهر دارد.

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف
 آماره‌های توصیفی فلزات سنگین خاک و رسوب در کاربری‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس یافته‌های این جدول میانگین غلظت مس، روی، سرب و آرسنیک در مناطق کشاورزی به ترتیب برابر با ۱۶/۹، ۵۰/۳، ۶/۱ و ۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور در کاربری‌های کشاورزی برای حفاظت انسان پایین‌تر است (۱۹). همچنین با مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مس، روی، سرب و آهن در رسوبات بستر دریاچه با میانگین جهانی رسوبات مشاهده می‌شود که میانگین غلظت عناصر فوق‌کمتر و میانگین غلظت آرسنیک بیش از میانگین جهانی رسوبات است (۱۶)، می‌توان گفت منطقه تا حدودی از نظر آرسنیک آلوده است. میانگین غلظت مس، روی، سرب و آرسنیک در خاک‌های حاشیه شهری به ترتیب برابر ۲۷/۷، ۶۶، ۱۰/۸ و ۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که کمتر از میانگین جهانی خاک و غلظت آهن ۷۵۳۴/۳ بیشتر است (۱۴).

فاکتور آلودگی متوسط ($1 \leq CF < 3$)، فاکتور آلودگی زیاد ($CF > 6$) و فاکتور آلودگی بسیار زیاد ($CF \geq 6$).

شاخص بار آلودگی

به منظور آگاهی از پتانسیل آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی همزمان وضعیت کلی آلودگی خاک نسبت به عناصر آلاینده مورد اندازه‌گیری از شاخص بار آلودگی استفاده شد. مقادیر این شاخص، شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین و کیفیت محیطی خاک را نشان می‌دهد (۳).

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n} \quad (2)$$

PLI شاخص بار آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی، CF فاکتور آلودگی هر یک از عناصر فلزی و n تعداد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده است (۴). بر اساس این شاخص خاک‌ها از نظر درجه آلودگی به دو گروه غیرآلوده ($PLI < 1$) و آلوده ($PLI > 1$) تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۸).

نقشه پراکنش فاکتور و شاخص بار آلودگی

به منظور شناسایی هرچه بهتر مناطق آلوده به فلزات سنگین و یا در معرض آلودگی، اقدام به تهیه نقشه‌های پراکنش فاکتور و شاخص بار آلودگی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.4 شد. چنین نقشه‌هایی قادر به نشان دادن خطر آلودگی با تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه بر اساس سطوح مختلف غلظت و با استفاده از روش تفکیک رنگ هستند به نحوی که رنگ سفید غلظت بالای فلزات سنگین و رنگ سبز غلظت پایین‌تر را نشان می‌دهد. محاسبات آماری با کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و رسوب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک و رسوب در کاربری‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان از بالا بودن ذرات ماسه‌ای در خاک منطقه مورد مطالعه دارد به نحوی که ذرات خاک بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون در

جدول ۱. آمار توصیفی ویژگی‌های خاک و رسوب منطقه مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف

کاربری	پارامترهای خاک	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشدگی
حاشیه شهر	pH	-	۶/۳	۷/۱	۶/۶	۰/۲	۱/۳	۲/۴
	EC	μS/cm	۲۵	۷۹/۱	۳۸/۹	۲۰/۹	۱/۸	۳/۵
	کربنات کلسیم معادل	%	۴/۷	۱۰	۶/۹	۲	۰/۷	-۰/۹
	ماده آلی	%	۱/۳	۲/۵	۱/۸	۰/۴	۱	۰/۶
	رس	%	۵/۱	۲۳/۱	۱۰/۹	۶/۸	۱/۳	۱/۵
	سیلت	%	۳/۴	۴۹/۷	۲۶/۸	۱۷/۹	۰/۲	-۱/۳
	شن	%	۴۵	۷۳/۳	۶۲/۲	۱۲/۴	-۰/۸	-۱/۷
کشاورزی	pH	-	۶/۴	۷/۴	۶/۹	۰/۲	۰	۲/۶
	EC	μS/cm	۲۲/۱	۴۲/۵	۳۱	۷/۳	۰/۴	-۱
	کربنات کلسیم معادل	%	۹/۲	۲۲/۵	۱۵/۶	۵/۱	۰	-۱/۵
	ماده آلی	%	۱/۳	۲/۶	۲/۱	۰/۵	-۰/۴	-۱/۳
	رس	%	۳/۸	۱۶/۷	۹/۱	۵/۷	۰/۶	-۱/۸
	سیلت	%	۱۴/۹	۶۶/۵	۴۳/۳	۱۸/۶	-۰/۷	-۰/۶
	شن	%	۲۹/۶	۶۸/۳	۴۷/۴	۱۳/۷	۰/۵	-۰/۶
بستر دریاچه	pH	-	۶/۱	۸/۱	۷/۳	۰/۸	-۰/۴	-۲/۲
	EC	μS/cm	۱۷	۱۶۵	۶۳۱/۷	۷۷۳/۲	۰/۶	-۲
	کربنات کلسیم معادل	%	۱۳/۲	۴۰/۳	۲۵	۱۰/۶	۰/۵	-۱/۲
	ماده آلی	%	۰/۹	۲/۲	۱/۵	۰/۳	-۰/۳	۲/۴
	رس	%	۳/۸	۳۲/۱	۱۱/۲	۹/۹	۱/۹	۳/۹
	سیلت	%	۱۷/۶	۸۸/۴	۶۲/۴	۲۶/۶	-۰/۹	-۰/۴
	شن	%	۵/۱	۵۰/۲	۲۶/۲	۱۸/۸	۰/۲	-۱/۹

واحد ماده آلی و کربنات کلسیم معادل به صورت درصد وزنی وزنی

فاکتور آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های اراضی مختلف

جدول ۳ توصیف آماری فاکتور آلودگی هریک از فلزات سنگین را در کاربری‌های اراضی مختلف در منطقه نشان می‌دهد. مقدار میانگین فاکتور آلودگی فلزات در حاشیه شهر به ترتیب کاهشی برای آرسنیک < روی < سرب < مس < آهن است و در مناطق کشاورزی به ترتیب آرسنیک (۴/۱)، روی (۰/۶)، سرب (۰/۴)، مس (۰/۳) و آهن (۰/۱) محاسبه شد. در بستر دریاچه ارومیه مقادیر فاکتور آلودگی برای فلزات

فوق به ترتیب کاهشی برای فلزات آرسنیک (۱۰)، روی (۰/۵)، سرب (۰/۲)، مس (۰/۲) و آهن (۰/۱) به دست آمد. با توجه به کلاس آلودگی فلزات سنگین، ۱۰۰ درصد نمونه‌های آهن و مس در کلاس آلودگی کم، روی و سرب در کلاس آلودگی کم و متوسط قرار گرفته در حالی که ۳۲/۴ درصد نمونه‌ها در فاکتور آلودگی آرسنیک در کلاس آلودگی زیاد و ۶۵/۵ درصد در کلاس آلودگی بسیار زیاد قرار دارند (جدول ۴).

جدول ۲. آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) مورد بررسی در کاربری‌های مختلف

کاربری	عنصر	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشی‌دگی
	مس	۶	۱۵/۲	۳۸/۱	۲۷/۷	۹/۱	-۰/۴	-۱/۶
حاشیه	روی	۶	۴۲/۴	۸۷/۷	۶۶	۱۷/۵	-۰/۱	-۱/۷
شهر	سرب	۶	۶/۴	۱۸/۱	۱۰/۸	۴/۷	۰/۸	-۰/۹
	آرسنیک	۶	۵/۶	۱۰/۶	۸/۵	۲/۱	-۰/۴	-۱/۹
	آهن	۶	۶۲۳۶/۵	۸۹۶۹/۵	۷۵۳۴/۳	۱۰۸۹/۴	-۰	-۱/۶
	مس	۷	۱۰/۹	۲۲/۵	۱۶/۹	۴/۱	۰	-۰/۸
کشاورزی	روی	۷	۳۵/۱	۶۹/۵	۵۰/۳	۱۱/۳	۰/۵	-۰/۲
باغ	سرب	۷	۳/۶	۹/۳	۶/۱	۲	۰/۳	-۰/۹
	آرسنیک	۷	۴/۱	۹/۱	۶/۲	۱/۸	۰/۶	-۰/۸
	آهن	۷	۵۰۰۶	۷۵۶۵	۵۹۹۵	۸۳۵/۵	۱	۱/۵
	مس	۷	۵/۵	۲۹/۱	۱۳/۲	۸/۱	۱/۳	۱/۸
بستر	روی	۷	۱۵/۹	۹۴/۳	۳۸/۸	۲۵/۵	۲/۱	۵/۲
دریاچه	سرب	۷	۲/۲	۴/۹	۳/۸	۰/۸	-۰/۶	۰/۶
	آرسنیک	۷	۵/۱	۳۳/۲	۱۶/۶	۱۲/۳	۰/۶	-۱/۷
	آهن	۷	۳۳۴۵/۶	۵۳۴۲	۴۵۵۲/۱	۶۸۲/۷	-۰/۶	۰/۵

جدول ۳. مشخصه‌های آماری فاکتور آلودگی (CF) فلزات سنگین مورد بررسی در کاربری‌های اراضی مختلف

Zn	Fe	As	Pb	Cu	CF
۰/۵	۰/۱	۳/۷	۰/۴	۰/۳	حداقل
۱/۱	۰/۲	۷/۱	۱/۳	۰/۷	حداکثر
۰/۸	۰/۱	۵/۷	۰/۷	۰/۵	میانگین
۰/۴	۰/۱	۲/۷	۰/۲	۰/۲	حداقل
۰/۹	۰/۱	۶	۰/۶	۰/۴	حداکثر
۰/۶	۰/۱	۴/۱	۰/۴	۰/۳	میانگین
۰/۲	۰	۳/۴	۰/۱	۰/۱	حداقل
۱/۲	۰/۱	۲۲/۱	۰/۳	۰/۵	حداکثر
۰/۵	۰/۱	۱۱	۰/۲	۰/۲	میانگین

جدول ۴. کلاس آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی برحسب درصد در کل نمونه‌های خاک

CF-Fe	CF-As	CF-Pb	CF-Zn	CF-Cu	
۱۰۰	-	۷۵/۴	۶۶/۹	۱۰۰	کم
-	۱/۹	۲۴/۵	۳۳	-	متوسط
-	۳۲/۴	-	-	-	زیاد
-	۶۵/۵	-	-	-	بسیار زیاد

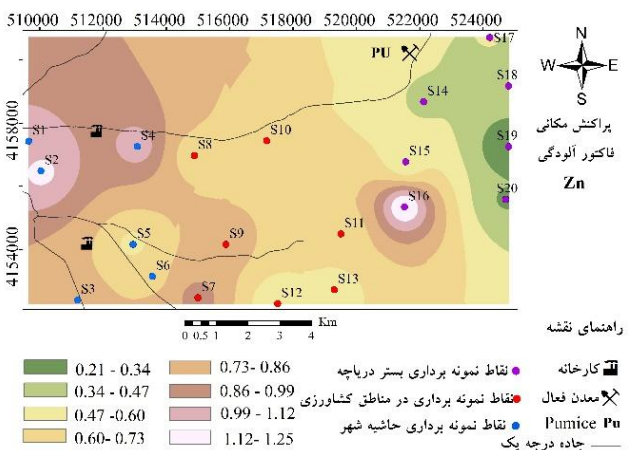
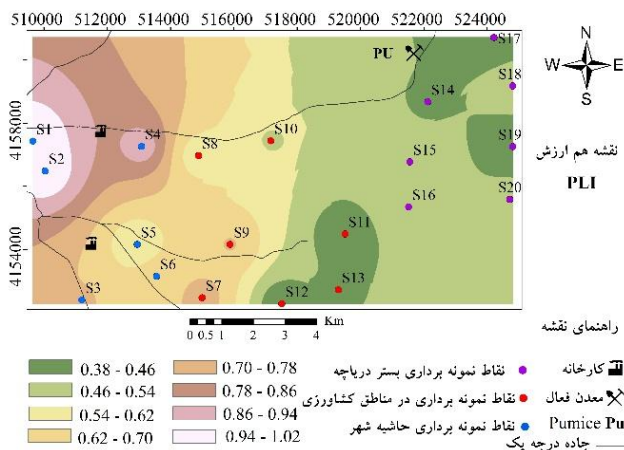
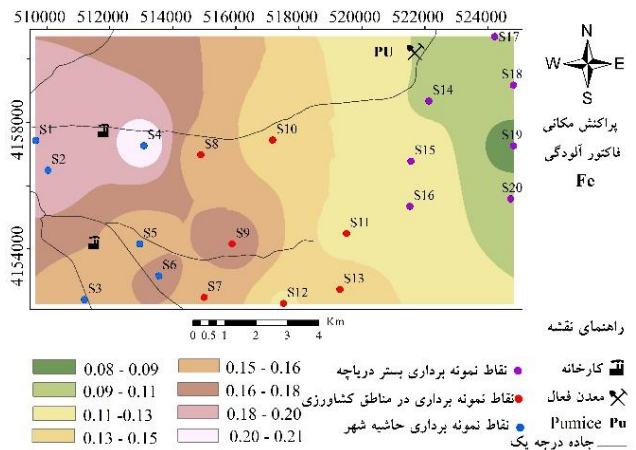
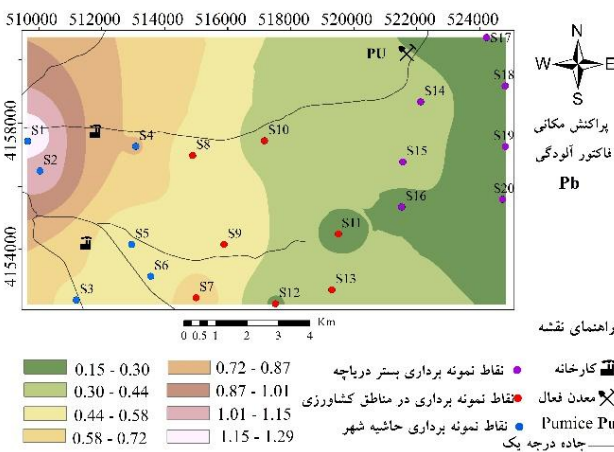
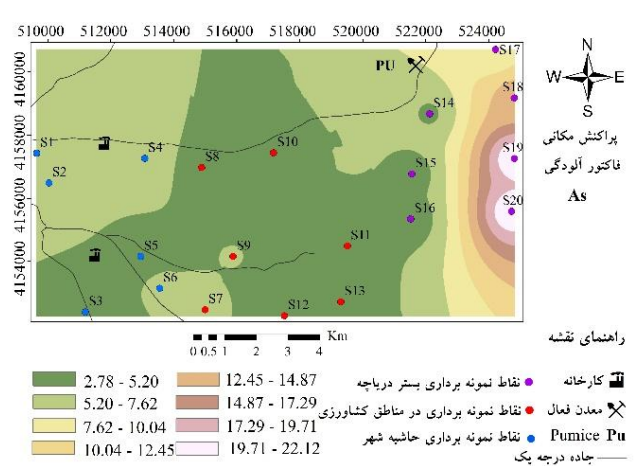
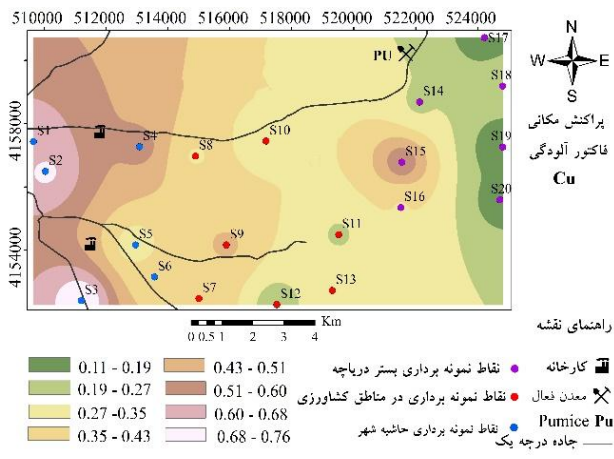
منطقه مورد بررسی دارای خطرپذیری بالاتری نسبت به بستر دریاچه و اراضی کشاورزی هستند. که این خطرپذیری احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است. عظیم‌زاده و خادمی (۵) در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین مس، روی، نیکل، سرب و کادمیم در خاک سطحی استان مازندران مشاهده کردند که مناطق شهری و اراضی کشاورزی خطرپذیری بالاتری نسبت به اراضی جنگلی و مراتع نشان می‌دهند.

ارتباط بین فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

همبستگی بین فاکتور آلودگی فلزات مختلف در کل منطقه مطالعاتی در جدول ۵ نشان داده شده است. رابطه همبستگی بین فاکتور آلودگی مس، سرب، روی و آهن با یکدیگر در سطح یک درصد رابطه مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، همبستگی فاکتور آلودگی فلز روی با فاکتور آلودگی آرسنیک ارتباط منفی و معنی‌دار داشت. بالاترین ضریب همبستگی ارتباط بین سرب و آهن (۰/۸۲۷) و مس و سرب (۰/۷۵۸) به‌دست آمد. ضریب همبستگی بالا بین فلزات نشان‌دهنده منشأ آلودگی یکسان و عامل کنترل‌کننده مشترک این فلزات است (۳ و ۱۰). افشاری و همکاران (۲) در بررسی خاک‌های اراضی کشاورزی، مرتع و شهری در استان زنجان فلزات سرب، روی، کادمیم و مس را در گروه اول و متأثر از مؤلفه انسانی بیان کردند این محققان نیکل، کروم، کبالت، آهن و منگنز را حاصل فرایندهای خاکسازي و مواد مادری در منطقه معرفی کردند.

شکل ۳ پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. بر این اساس فاکتور آلودگی فلزاتی مانند مس، روی، آهن و سرب بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه هستند. بالاترین میزان فاکتور آلودگی این فلزات در منطقه حاشیه شهر مشاهده می‌شود. از طرف دیگر پراکنش فاکتور آلودگی آرسنیک متفاوت است. الگوی توزیع مکانی فاکتور آلودگی این فلز عکس فلزات قبلی است و در مناطق شهری میزان فاکتور آلودگی آنها نسبت به بستر دریاچه پایین‌تر است و منبع اصلی آرسنیک در رسوبات دریاچه مواد مادری است اما تجمع محدود آن در محیط‌های حاشیه شهری اغلب به علت احتراق سوخت‌های فسیلی و رسوب اتمسفری ذرات ناشی از انتشار صنعتی می‌تواند باشد. با توجه به نقشه توزیع مکانی، در مجموع آلودگی آرسنیک از غرب به شرق روند افزایشی دارد. محمدی و همکاران (۱۲) در ارزیابی فلزات سنگین در خاک کشاورزی مناطق اطراف دریاچه ارومیه به روند متفاوت توزیع As نسبت به سایر فلزات سنگین در قسمت‌های شمال شرق، جنوب و جنوب غرب دریاچه اشاره کردند. بدین ترتیب که منابع As در نواحی شمال شرق منابع صنعتی محلی (استخراج و ذوب فلزات، کارخانجات تولید مواد شیمیایی)، مناطق جنوبی ترافیک جاده‌ای و بخش‌های جنوب غربی انتشارات یک کارخانه سیمان را دلیل افزایش غلظت آرسنیک عنوان کردند.

نقشه پهنه‌بندی شاخص PLI در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، مناطق حاشیه شهر واقع در بخش غربی



شکل ۳. نقشه پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین (Pb-Fe-Cu-As-Zn) و شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۵. ضرایب همبستگی (اسپیرمن) بین فاکتور آلودگی هریک از فلزات سنگین در کل نمونه‌های خاک

CF- Zn	CF-As	CF-Pb	CF- Fe	CF-Cu	
				۱	CF-Cu
			۱	۰/۷۵۶**	CF- Fe
		۱	۰/۸۲۷**	۰/۷۵۸**	CF-Pb
	۱	-۰/۱۹۱	-۰/۴۲۶	-۰/۴۳۳	CF-As
۱	-۰/۴۷۰*	۰/۶۷۳**	۰/۷۴۳**	۰/۶۷۸**	CF- Zn

**معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد **معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

نتیجه‌گیری

میانگین غلظت مس، روی، سرب و آرسنیک در مناطق کشاورزی کمتر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور در زمین‌های کشاورزی برای حفاظت انسان بود. اما میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های بستر دریاچه از میانگین جهانی رسوبات و غلظت آهن در نمونه‌های حاشیه شهر بیشتر از میانگین جهانی خاک بود و می‌توان گفت منطقه از نظر این عناصر آلوده است.

کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی مس، آهن، روی و سرب در طبقه آلودگی کم تا متوسط و فاکتور آلودگی آرسنیک در ۶۵/۵ درصد نمونه‌ها کلاس آلودگی بسیار زیاد بود. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان داد که عناصر روی، سرب، مس و آهن در بخش غرب (حاشیه شهر)، دارای آلودگی بالاتری نسبت به مناطق دیگر است و غلظت عناصر در منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی به‌ویژه حمل‌ونقل و فعالیت‌های صنعتی بود. این در حالی است که پراکنش فاکتور آلودگی آرسنیک با پراکنش عناصر دیگر متفاوت و با موقعیت مناطق حاشیه شهر همخوانی ندارد و

پایین‌تر از بستر دریاچه است و بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی، هوازدگی و دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت) و نیز استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های حاوی آرسنیک به دلیل رونق کشاورزی و نبود سیستم تصفیه فاضلاب است. نقشه پراکنش شاخص بار آلودگی نیز نشان می‌دهد که نگرانی ناشی از فلزات سنگین در بخش غربی منطقه مورد مطالعه بیش از مناطق دیگر است. به‌طور کلی رشد سریع فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و روند خشک شدن دریاچه ارومیه در آلودگی خاک مناطق اطراف آن مؤثر بوده و برای حفظ تعادل اکوسیستم و سلامت انسان باید اقداماتی در جهت کاهش ورود فلزات سنگین به خاک صورت گیرد. در نتیجه خاک‌های منطقه نیازمند پالایش مطابق با راهبردهای کیفی خاک و به‌کارگیری روش‌های گیاه‌پالایی برای حذف فلزات با غلظت بالا هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از ستاد احیای دریاچه ارومیه بابت مساعدت و همکاری، ابراز می‌کنند.

منابع مورد استفاده

- Adani, M., M. Mircea, M. D'Isidoro, M. P. Costa and C. Silibello. 2015. Heavy metal modelling study over italy: effects of grid resolution, lateral boundary conditions and foreign emissions on air concentrations. *Water, Air, & Soil Pollution* 226:46.
- Afshari, A., H. Khademi and M. Delaware. 2015. Assessment of heavy metal pollution using Contamination factor in soils with different land uses in the central part of Zanjan province. *Journal of Water and Soil Science* 25(2): 41-

52. (in Farsi).
3. Andem, A. B., K. A. Okorafor, E. E. Oku and A. A. Ugwumba. 2015. Evaluation and characterization of trace metals contamination in the surface sediment using pollution load Index (PLI) and geo-accumulation index (Igeo) of Ona River, Western Nigeria. *International Journal of Scientific and Technology Research* 4(1): 29-34.
 4. Angulo, E. 1996. The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel- Watch" data: a useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment* 187(1): 19-56.
 5. Azimzadeh, B. and H. Khademi. 2012. Estimation of Concentration of Fields for Evaluation of Pollution of Some Heavy Metals in Surface Soils in Mazandaran Province. *Journal of Water and Soil (Science and Technology of Agriculture)* 27(3): 548-559. (in Farsi).
 6. Black, C. A., D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark. 1965. Methods of Soil Analysis: Part 2. Madison, WI: USA.
 7. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. In: Black, C. A. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
 8. Esmaeilzadeh, M., J. Jaafari, A. A. Mohammadi, M. Panahandeh, A. Javid and S. Javan. 2018. Investigation of the extent of contamination of heavy metals in agricultural soil using statistical analyses and contamination indices. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 1-12.
 9. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-409. In: Klute, A. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 1, Madison, WI: USA, SSSA
 10. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water research* 14(8): 975-1001.
 11. Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination, *British Medical Bulletin* 68: 167-182.
 12. Mohammadi, A., Y. Hajizadeh, H. Taghipour, A. Mosleh Arani, M. Mokhtari and H. Fallahzadeh. 2018. Assessment of metals in agricultural soil of surrounding areas of Urmia Lake, northwest Iran: A preliminary ecological risk assessment and source identification. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 1-18.
 13. Roades, J. D. 1962. Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. *Science Society of America* 27(2): 841-850.
 14. Salah, E., A. Turki and S. Noori. 2013. Heavy metals concentration in urban soils of Fallujah City, Iraq. *Journal of Environment and Earth Science* 3(11): 100-112.
 15. Sezgin, N., S. Nemlioğlu and N. Balkaya. 2019. Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Urban Soils: A Case Study. In *Recycling and Reuse Approaches for Better Sustainability*. Springer, Cham.
 16. Salomons, W. and U. Förstner. 1984. Trace metal analysis on polluted sediments, Evaluation of environmental impact: *Environmental Technology Letters* 1(11): 506-517.
 17. Toacen Xingmei, L., Z. Muzhi, Z. Keli, W. Jianjun, X. Jianming and H. Panming. 2007. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. *Environmental Pollution* 1-12.
 18. Tomlinson, D. C., J. G. Wilson, C. R. Harris and D. W. Jeffrey. 1980. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 33(1): 566-575.
 19. The quality standard of soil resources and its guides. 2012. Iran Environment Organization. (in Farsi)
 20. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.

Evaluation of Heavy Metals Pollution in Lakes Subsoil and Surface Soils in Urmia Eastern Region Using Pollution Indicators

F. Mehri Yari¹, H. Pirkharrati^{1*}, Kh. Farhadi², N. Soltanalinezhad³ and F. Naghshafkan¹

(Received: December 10-2018; Accepted: July 8-2019)

Abstract

Soil pollution by heavy metals is a serious environmental problem that threatens the human health. The present study was carried out to investigate and detect the contamination of heavy metals of arsenic, copper, lead, zinc and iron due to human and natural activities in the sediment of lake bed and the surface soils of the eastern part of Urmia Province, West Azarbaijan Province. A total of 20 soil samples and surface deposition from the depths of 0 to 30 cm were collected randomly from the studied areas. After preparing the samples, extraction was carried out to determine the concentration of the heavy metals in the soil by using hydrochloric acid and nitric acid, and the total concentration of metals was measured using ICP-OES. The results of the calculation of the contamination factor showed that copper, iron, zinc and lead in the class of low and medium pollution and arsenic in 65.5% of the samples were very high in the class. The high concentrations of copper, lead and zinc contamination in the margin of the city and the contamination of arsenic in the lake bed were observed. The analysis of the contamination factor maps and contamination index with land use and geological map showed that copper, lead and zinc were mostly affected by human activities and arsenic influenced by the maternal materials in the region.

Keywords: Soil contamination, Heavy metals, Contamination factor, Pollution index, Urmia lake

1- Department of Geology, College of Science and University of Urmia, Urmia, Iran.

2- Department of Analytical Chemistry, College of Chemistry, Urmia, Urmia, Iran.

3- Department of Chemistry and Soil Fertility, Department of Soil Science, College of Agriculture and Urmia University, Urmia, Iran.

*: Corresponding author, Email: h.pirkharrati@urmia.ac.ir