

## ارزیابی آماری فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو موجود در رسوبات و نمک‌های

### برجای مانده در بستر خشک شده دریاچه ارومیه

اصغر اصغری مقدم<sup>\*۱</sup>

[Moghaddam@tabrizu.ac.ir](mailto:Moghaddam@tabrizu.ac.ir)

فاطمه نظری<sup>۲</sup>

محسن موذن<sup>۳</sup>

وارطان سیمونز<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۵

#### چکیده

**زمینه و هدف:** در سال‌های اخیر، سطح آب دریاچه ارومیه، به طور فزاینده‌ای کاهش یافته و حجم عظیمی از رسوبات و نمک در بستر آن برجای مانده است. با توجه به زمین‌شناسی اطراف دریاچه و نیز پساب‌ها و فاضلاب‌هایی که به دریاچه وارد شده‌اند، عناصر مضر و آلودگی‌ها در دریاچه شده است. با پس‌روی دریاچه آلودگی‌های مجتمع در آب، به رسوبات و نمک‌های بستر دریاچه منتقل شده است که در صورت تبدیل احتمالی این رسوبات و نمک‌های حاوی عناصر خطرناک به ریزگرد، مناطق اطراف را تحت تأثیر قرار خواهند داد. در این مطالعه، محتوای فلزات مضر سنگین (As, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Co, Mn, V, Cd و Hg) و مواد رادیواکتیو (Th و U) در رسوبات و نمک‌های بستر دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این پژوهش، شناسایی و مطالعه منشأ آلودگی عناصر مضر موجود در رسوبات و نمک‌های برجای مانده در بستر خشک شده قسمت نیمه شرقی و میان‌گذر دریاچه ارومیه می‌باشد.

**روش بررسی:** جهت بررسی، نمونه برداری از رسوبات و نمک‌های سطحی دریاچه، از قسمت شرقی و میان‌گذر دریاچه صورت گرفت و نمونه‌ها مورد ارزیابی ژئوشیمیایی و آنالیز آماری قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** مقایسه نتایج غلظت‌های به‌دست‌آمده با متوسط پوسترهای نشان داد که عناصر As, Cu, Ni, Co, Hg, Cd, Th و U در منطقه بیش‌تر از متوسط پوسترهای هستند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** عناصر مورد مطالعه با ارزیابی‌های آماری هم‌چون ضریب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از هر سه روش تاییدکننده یکدیگر بود. طبق این نتایج، منشأ عناصر U و Hg، زمین‌شناسی و منشأ سایر عناصر انسانی می‌باشد. منابع اصلی آلودگی انسانی ناشی از پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی مناطق اطراف دریاچه می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** دریاچه ارومیه، ضریب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، فلزات سنگین.

۱- استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- کارشناس ارشد علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۴- استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

# **Statistical Assessment of Heavy Metals and Radioactive Elements Built in Sediments and Residual Salts in the Dry Bed of Lake Urmia**

**Asghar Asghari Moghaddam**<sup>1\*</sup>

[Moghaddam@tabrizu.ac.ir](mailto:Moghaddam@tabrizu.ac.ir)

**Fatemeh Nazari**<sup>2</sup>

**Mohsen Moazzen**<sup>3</sup>

**Vartan Simmonds**<sup>4</sup>

Admission Date: September 20, 2017

Date Received: May 26, 2017

## **Abstract**

**Background and Objective:** In recent years, the water level of Lake Urmia has been increasingly reduced and a huge amount of sediment and salt has remained in its bed. Due to the geology around the lake as well as the effluents and sewage that have entered the lake, harmful elements have entered the lake water. With the regression of the lake, the complex contaminants in the water have been transferred to the sediments and salts of the lake bed, which in case of possible conversion of these sediments and salts containing hazardous elements into fine dust, will affect the surrounding areas. In this study, the content of heavy harmful metals (As, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Co, Mn, V, Cd and Hg) and radioactive materials (Th and U) in sediments and salts of Lake Urmia were evaluated. . The purpose of this study is to identify and study the source of contamination of harmful elements in sediments and residual salts in the dried bed of the semi-eastern part and between the passage of Lake Urmia.

**Method:** To investigate, sampling of sediments and surface salts of the lake was done from the eastern and middle part of the lake and the samples were geochemically evaluated and statistically analyzed.

**Findings:** Comparison of the results of the obtained concentrations with the average crust showed that the elements As, Cu, Ni, Co, Hg, Cd, Th and U in the region are more than the average crust.

**Discussion and Conclusion:** The studied elements were examined by statistical evaluations such as correlation coefficient, cluster analysis and factor analysis. The results of all three methods were consistent with each other. According to these results, the origin of U and Hg elements is geology and the origin of other human elements. The main sources of human pollution are from urban and industrial effluents and sewage in the areas around the lake.

**Keywords:** Urmia Lake, Correlation Coefficient, Cluster Analysis, Factor Analysis

---

1- Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran\* (Corresponding Authors)

2- Environmental Geology Graduate Student, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- Assistant Professor, Research Center of Basic Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

## مقدمه

با صنعتی شدن جوامع، آلاینده‌های مختلفی به محیط وارد می‌شوند. فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار و بادوام محیط‌زیست به شمار می‌آیند. رسوبات سطحی و فوقانی دریاچه‌ها از جمله محل‌های مهمی هستند که قابلیت زیادی برای جذب آلودگی دارند (۱). فلزات سنگین پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف هم‌چون فاز معدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه‌ریز و یا بقایای مواد آلی تجمع می‌یابند (۲). مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده سواحل، دفع و تخلیه فضولات کشتی‌ها، تخلیه مواد نفتی از شناورهای کوچک و بزرگ و فاضلاب ناشی از صنایع هستند. پساب‌های مناطق شهری، روستایی و کشاورزی و آلودگی‌های ناشی از پسماندهای جامد که عمدتاً از طریق شناورهای صیادی و بعضاً مناطق روستایی و شهری وارد آب دریا می‌شوند، دیگر منابع آلوده‌کننده سواحل هستند. پسماندهای ناشی از فعالیت‌های انسانی در صورت ورود به اکوسیستم‌های آبی، می‌توانند غلظت مواد زائد به‌خصوص فلزات سنگین را در این محیط‌ها افزایش دهند (۳).

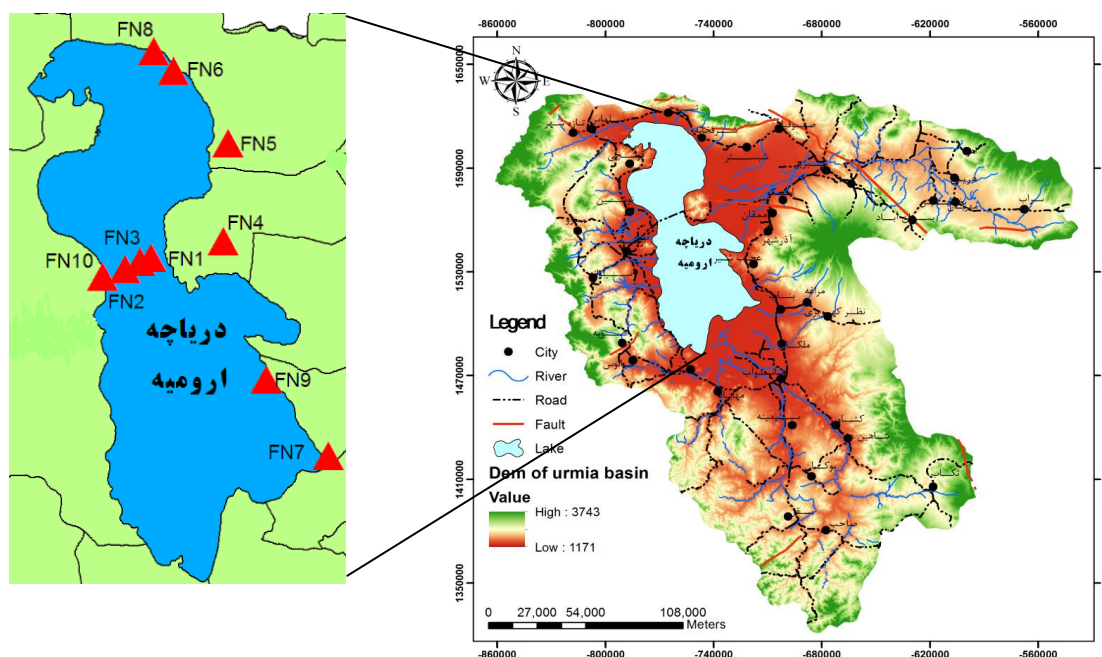
عناصر رادیواکتیو به عناصری اطلاق می‌شود که به دلیل ناپایداری در ساختمان خود، با انتشار انرژی به فازهای کم انرژی‌تر (پایدار) تبدیل می‌شوند. بیماری‌هایی مانند سرطان، کاهش باروری و اختلالات سلولی از عوارض شناخته شده ناشی از افزایش این عناصر در محیط‌زیست به شمار می‌روند (۴). کرباسی و همکاران (۱۳۹۴) ژئوشیمی محیط زیستی و شدت آلودگی عناصر سنگین در شمال و شمال غرب دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج تحلیل خوشه‌ای، ارتباط معنی‌داری بین تمامی عناصر (به‌غیر از نقره، کادمیوم و سرب) در قسمت شمالی دریاچه نشان داده است، در این منطقه شاخص شدت آلودگی، عدم آلودگی را برای عناصر کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیوم، روی و آهن نشان دادند. آنالیز

خوشه‌ای برای قسمت شمال غربی دریاچه ارومیه، ارتباط معناداری بین تمامی عناصر (به‌غیر از آرسنیک و کادمیوم) نشان داده‌اند (۵).

هدف از این پژوهش، شناسایی و مطالعه منشأ آلودگی عناصری از جمله فلزات سنگین (Co, Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, As), مواد رادیواکتیو (U و Th) موجود در رسوبات و نمک‌های برجای مانده در بستر قسمت نیمه شرقی و میان‌گذر دریاچه ارومیه، به‌عنوان منبع احتمالی در ایجاد ریزگردهای آینده می‌باشد. بدین‌منظور از روش‌های آماری (مطالعه ضریب همبستگی بین عناصر، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی عناصر) به منظور تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در این مطالعه استفاده شده است.

## معرفی منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در مختصات جغرافیایی "۱۵' ۰۶" ۳۷ و "۱۵' ۱۵" ۳۸ عرض شمالی و "۴۵' ۰۰" ۱۳ و "۴۵' ۵۵" ۲۰ طول شرقی در شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). رشته‌کوه‌های اطراف دریاچه با مورفولوژی خشن و ناهنجار با روندهای مختلف، این حوضه را بشکل چاله‌ای درآورده که آب‌ها به‌صورت همگرا وارد آن می‌شوند. اکثر قسمت‌های حوضه در ارتفاع بیش از ۱۱۷۱ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارند (شکل ۱). حوضه دریاچه ارومیه در اقلیم سرد تا بسیار سرد نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای واقع است. این دریاچه در مرکز یک حوضه زهکش بسته واقع شده است و تمامی آب‌های سطحی و زیرزمینی به طرف آن زهکش می‌شوند. رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های صنعتی، بهره‌برداری زیاد از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تبخیر بالا و ته‌نشینی مداوم نمک منجر به شوری زیاد آن و خشک شدن قسمت عمده‌ای از دریاچه گردیده است (۶).



شکل ۱- نقشه جغرافیایی و موقعیت نقاط نمونه برداری منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Map of geographical location and sampling point of the study area.

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

با توجه به سمت غالب باد، ریزگردهای احتمالی بیشتر مناطق شرقی دریاچه را درگیر خواهند کرد، لذا سعی شد تمرکز نقاط نمونه برداری بیشتر در نیمه شرقی باشد. نمونه‌ها از ده ایستگاه (قسمت‌های شمالی و جنوبی میان گذر، قسمت میانی ساحل شرقی، روستاهای شندآباد، قره تپه و شیخ ولی در قسمت‌های شمالی نیمه شرقی و روستاهای قبادلو و خضولو در قسمت‌های جنوبی نیمه شرقی دریاچه)، از رسوبات و نمک‌های سطحی بستر خشک شده دریاچه (از سطح تا عمق حدود ۱۰ سانتی-متری) برداشته شده (شکل ۱) و در کیسه‌های مخصوص نمونه برداری ریخته شدند. نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه و محیط عاری از آلودگی خشکانده شدند و پس از غربال توسط الک ۲۰۰ مش، ذرات زیر الک بسته بندی و جهت آنالیز با دستگاه طیفسنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) به آزمایشگاه Actlabs کانادا ارسال گردیدند. قسمتی از نمونه‌ها همچنین جهت اندازه گیری pH و EC از روش عصاره گیری نمونه‌ها، استفاده شدند. به دلیل بالا بودن شوری نمونه‌ها، عصاره‌ها با نسبت ۱ به ۵ تهیه گردیدند و با استفاده از pH متر

و EC متر پارامترهای مورد نظر اندازه گیری شدند.

### آنالیزهای آماری

پس از آنالیزهای شیمیایی، به منظور بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر و تعیین منشأ آن‌ها، نتایج حاصل تحت آنالیزهای آماری قرار گرفتند. محاسبات ضریب همبستگی (پیرسون)، آنالیز خوشه‌ای (CA) و آنالیز تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) توسط نرم افزار SPSS20 انجام شد.

### بحث و نتایج

#### نتایج غلظت عناصر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

نتایج آنالیز غلظت عناصر (برحسب ppm) و مقادیر اندازه گیری شده EC (برحسب  $\mu S$ ) و pH نمونه‌ها در جدول ۱ و پارامترهای آماری مربوط به داده‌های غلظت عناصر مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده‌اند. اندازه گیری pH نمونه‌ها نشان داد که نمونه‌ها دارای مقادیر بیش تر از ۷ و قلیایی می‌باشند. همچنین بیش ترین EC اندازه گیری شده مربوط به نمونه ایستگاه FN2 می‌باشد که نمک است که موجب شده نسبت به نمونه‌های رسوبی غلظت عناصر آن کم تر باشد، زیرا نمک طعام

چهارم حد حساسیت دستگاهی جایگزین شدند. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، بیشترین میانگین غلظت و دامنه تغییرات مربوط به عنصر منگنز و سیس وانادیم می باشد. مقادیر صفر در واریانس برخی عناصر، نشان از یکسان بودن داده‌ها در تمامی ایستگاه‌ها دارد. این عناصر همان عناصر دارای مقادیر کم‌تر از حد دستگاهی بوده و از طریق روش جایگزینی ساده به دست آمده‌اند. نتایج آنالیز کولموگروف اسمیرونوف نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند.

غالب در این نمونه، بر خلاف سایر کانی‌های دیگر، به ویژه کانی‌های رسی، در شبکه اتمی خود و یا با جذب سطحی قادر به جذب و تثبیت فلزات سنگین نیست. نتایج آنالیز ICP-OES برخی از عناصر (Hg و Cd، U، Th) دارای مقادیر کم‌تر از حد دستگاهی برای این عناصر بودند که برای استفاده آنها در محاسبات آماری، با توجه به اینکه تعداد یافته‌های سنسورد این عناصر در مقابل کل عناصر مورد بررسی ناچیز می باشد، از روش جایگزینی ساده (۷) برای تخمین مقدار داده‌های این عناصر استفاده گردید. لذا مقادیر این عناصر با سه

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر سنگین و مواد رادیواکتیو و مقادیر pH و EC در نمونه‌های جمع آوری شده (غلظت‌ها به ppm و EC به میکروزیمنس بر سانتی‌متر).

Table 1. Results of chemical analysis for the heavy metals and radioactive materials and pH and EC values in the collected samples (concentrations in ppm and EC in  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).

	As	Cr	Pb	Zn	Mn	Ni	Co	Cd	Hg	Cu	V	Th	U	pH	EC
FN1	۱۵	۴۶	۶	۵۷	۴۴۹	۷۱	۱۰	۰/۵>	۱>	۳۹	۵۱	۲۰>	۱۰>	۹/۱۱	۳۰۱۰۰
FN2	۲>	۱	۲>	۳	۱۴	۲>	۱>	۰/۵>	۱>	۱۶	۱	۲۰>	۱۰>	۷/۹۱	۱۹۲۶۰۰
FN3	۱۳	۴۷	۶	۴۴	۴۱۹	۷۲	۱۰	۰/۵>	۱>	۳۲	۴۹	۲۰>	۱۰>	۸/۸۶	۳۷۵۰۰
FN4	۱۸	۷۱	۱۶	۷۴	۷۲۲	۹۸	۱۷	۰/۵>	۱>	۶۷	۸۴	۲۰>	۱۰>	۸/۹۵	۱۶۰۳۰
FN5	۱۸	۷۹	۷	۶۲	۶۱۰	۱۳۱	۱۶	۰/۵>	۱>	۴۰	۷۲	۲۰>	۱۰>	۸/۵۱	۸۹۸۰۰
FN6	۳۶	۲۱	۵	۳۱	۴۰۴	۳۳	۷	۰/۵>	۱>	۲۱	۴۲	۲۰>	۱۰>	۹/۶۸	۱۰۵۵۰
FN7	۱۸	۳۶	۱۱	۸۷	۸۹۰	۳۸	۱۹	۰/۵>	۱>	۴۷	۱۹۳	۲۰>	۱۰>	۹/۷۵	۲۳۲۰
FN8	۳۵	۳۶	۸	۳۵	۷۴۶	۳۶	۹	۰/۵>	۱>	۲۸	۳۸	۲۰>	۱۰>	۸/۴۹	۹۰۶۰۰
FN9	۱۷	۶۱	۶	۷۳	۴۸۱	۷۸	۱۴	۰/۵>	۱>	۴۱	۵۶	۲۰>	۱۰>	۸/۷	۳۰۵۰۰
FN10	۱۸	۵۸	۵	۶۱	۵۰۴	۸۵	۱۱	۰/۵>	۱>	۳۸	۶۳	۲۰>	۱۰>	۹	۱۵۱۵۰

جدول ۲- محاسبات آماری غلظت عناصر سنگین و عناصر رادیواکتیو در رسوبات کف دریاچه (غلظت‌ها به ppm).

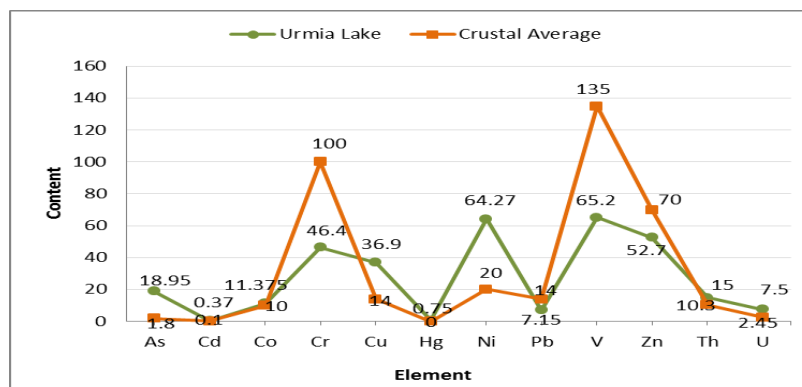
Table 2. Statistical calculations of the heavy elements and radioactive elements concentration in the sediments of the Lake bottom (concentrations in ppm).

عناصر	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
As	۱/۵	۳۶	۱۸/۹۵	۱۰/۰۶۲	۱۰۱/۲۴۱	۰/۴۷۶	۰/۸۷۹
Cr	۱	۷۹	۴۶/۴	۲۲/۵۹۸	۵۱۰/۷۱۱	-۰/۵۴۶	۰/۶۱۷
Pb	۱/۵	۱۶	۷/۱۵	۳/۹۳۰	۵۵/۴۴۷	۱/۲۴۹	۲/۴۴۹

Zn	۳	۸۷	۵۲/۷	۲۴/۸۲	۶۱۶/۲۳۳	-۰/۷۲۰	۰/۳۷۳
Mn	۱۴	۸۹۰	۵۲۳/۹	۲۴۱/۱۱	۵۸۱۳۷/۶۶	-۰/۶۶۹	۱/۴۶۹
Ni	۰/۷۵	۱۳۱	۶۴/۲۷	۳۷/۷۳۶	۱۴۲۳/۹۸	-۰/۰۵۲	-۰/۰۶۶
Co	۰/۷۵	۱۹	۱۱/۳۷	۵/۳۷۱	۲۸/۸۵۱	-۰/۵۰۵۰	۰/۳۹۰
Cd	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۷	۰	۰	-	-
Hg	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰	۰	-	-
Cu	۱۶	۶۷	۳۶/۳۹	۱۴/۲۷	۲۰۳/۶۵۶	۰/۶۹۰	۱/۴۱۴
V	۱	۱۹۳	۶۵/۲	۵۰/۱۵۴	۲۵۱۵/۵۱	۱/۹۷۰	۵/۴۸۵
Th	۱۵	۱۵	۱۵	۰	۰	-	-
U	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۰	۰	-	-

دو عنصر رادیواکتیو مورد مطالعه (U و Th)، با توجه به مقداری که برای آن‌ها در نظر گرفته شده بیش‌تر از متوسط پوسته‌های هستند که البته به دلیل استفاده از جایگزینی ساده برای مقادیر عناصر U، Th، Hg و Cd، این مقایسه نمی‌تواند برای عناصر مذکور به اندازه کافی دقیق باشد. در نهایت مقادیر Cr، Pb، V و Zn در رسوبات و نمک‌های منطقه کم‌تر از متوسط پوسته‌ای می‌باشند (شکل ۲).

نتایج حاصل از مقایسه غلظت عناصر مورد بررسی در منطقه با مقادیر پوسته‌ای مقایسه متوسط غلظت عناصر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی با مقادیر پوسته‌ای (متوسط پوسته‌ای) McDonough and (Sun, 1995) نشان می‌دهند که غلظت فلزات سنگین، از جمله Ni، Cu، As، بیشتر از متوسط پوسته‌ای بوده و Co، Hg و Cd تفاوت اندکی با مقادیر متوسط پوسته‌ای دارند. هر



شکل ۲- نمودار مقایسه غلظت فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو در رسوبات و نمک‌های دریاچه ارومیه با مقادیر متوسط پوسته‌ای (۸).

Figure 2 . Comparison diagram of the concentrations of heavy metals and radioactive elements in sediments and salts of the Urmia Lake with average earth crust values (8).

شود، همبستگی کم‌تر می‌شود. در نمونه های دریاچه ارومیه همبستگی میان فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو با یکدیگر در دو سطح معنی‌دار ۰/۰۵ و ۰/۰۱ تعیین شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. داده‌های این جدول بیان گر

تعیین ضریب همبستگی بین عناصر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی همبستگی، میزان ارتباط بین دو متغیر را بیان می‌کند و بین دو عدد +۱ و -۱ نوسان می‌کند. هر چه این عدد به صفر نزدیک‌تر

هستند که رفتار ژئوشیمیایی مشابهی داشته و در ساختار بسیاری از سنگ‌ها و کانی‌سازی‌ها به همراه یکدیگر و یا به صورت جانشینی یافت می‌شود. این عناصر به عنوان ردیابی از آلودگی بشرزاد در نظر گرفته می‌شوند. همبستگی‌های دیگری که مهم بوده و منشأ بشری و آلاشی را نشان می‌دهند، همبستگی بین Ni با Cu، Co با Cu، Th، Cr با Zn و Cu، Pb با Co و نیز Zn با Co هستند که نه از نظر رفتار ژئوشیمیایی مشابهند و نه از نظر ژنتیکی در کانه‌زایی‌ها یا در طی تفریق سنگ‌های آذرین با هم متمرکز می‌شوند و می‌تواند منشأ بشرزاد برای این عناصر نشان دهد. در مواردی همبستگی بین عناصر مورد مطالعه، می‌تواند به عنوان منشأ طبیعی نیز در نظر گرفته شود. همبستگی بالای Mn با فلزات، از جمله Zn به دلیل جذب متفاوت این عناصر توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز است. در مورد همبستگی بالای بین Ni، Cr و Co می‌توان به شباهت آن‌ها در ژنز، انتقال و تجمع این فلزات اشاره کرد. همچنین همبستگی بالای بین Cu و Pb احتمالاً نشان‌دهنده عوامل کنترل‌کننده یکسان در مورد این عناصر و نیز همراهی ژنتیکی در کانی‌سازی‌ها می‌باشد. پارامترهای EC و pH هیچ گونه همبستگی معنی‌دار با فلزات مورد بررسی نشان ندادند. pH به طور مستقیم و غیر مستقیم مکانیسم‌های جذب فلزات در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. میزان کاهش تحرک فلزات در مقادیر بالاتر از ۷ شدت بیش‌تری را نشان می‌دهد (Yalcin, Battaloglu and Ilhan, 2007). در منطقه مورد مطالعه، همان طور که گفته شد pH نمونه‌ها بیش‌تر از ۷ و قلیایی می‌باشد و نشان‌دهنده کاهش تحرک فلزات در این منطقه می‌باشند.

همبستگی بالا بین بیش‌تر عناصر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. دلیل این امر تنوع منابع آلاینده در منطقه از جمله آلودگی‌های ناشی از ورود رودخانه‌های حاوی پساب‌ها، فاضلاب‌ها و کودهای سمی ناشی از کشاورزی و صنایع و کارخانه‌های متعدد واقع در اطراف دریاچه می‌باشد. دلیل دیگر همبستگی زیاد، ترکیب ژئوشیمیایی واحدهای متنوع زمین‌شناسی ساحلی و اطراف دریاچه، زمین‌شناسی مسیر رودخانه‌های ورودی به دریاچه و مواد مادری خاک منطقه می‌باشد. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که کروم بیش‌ترین تطابق مثبت را با روی ( $r = 0.728$ )، نیکل ( $r = 0.970$ )، کبالت ( $r = 0.757$ ) و مس ( $r = 0.732$ ) دارد. سرب بیش‌ترین تطابق را با روی ( $r = 0.678$ )، منگنز ( $r = 0.794$ )، کبالت ( $r = 0.773$ ) و مس ( $r = 0.883$ ) دارد. روی بیش‌ترین تطابق مثبت را با منگنز ( $r = 0.764$ )، کبالت ( $r = 0.955$ )، مس ( $r = 0.874$ )، وانادیم ( $r = 0.799$ ) و توریم ( $r = 0.723$ ) دارد. منگنز بیش‌ترین تطابق مثبت را با کبالت ( $r = 0.846$ )، مس ( $r = 0.668$ ) و وانادیم ( $r = 0.769$ ) دارد. نیکل با کبالت ( $r = 0.650$ ) و مس ( $r = 0.637$ ) دارای تطابق مثبت بالاست. کبالت بیش‌ترین تطابق مثبت را با مس ( $r = 0.828$ )، وانادیم ( $r = 0.819$ ) و توریم ( $r = 0.711$ ) دارد. در این میان سرب با اورانیم دارای همبستگی منفی بالا ( $r = 0.670$ ) می‌باشد. مطالعات مختلف از جمله مطالعه یالسن و همکاران (۲۰۰۷) در مورد ضریب همبستگی نشان داده شده که فلزات دارای ضریب همبستگی قوی، احتمالاً منابع آلاینده یکسانی دارند (۹). برای مثال همبستگی بالای Co با Zn و Cr و نیز Cu با Pb و Zn احتمالاً نشان‌دهنده منشأ مشترک این فلزات می‌باشد. زوج فلزات Zn و Pb فلزاتی

## جدول ۳- ضریب همبستگی عناصر نمونه های برداشتی.

Table 3. Correlation coefficient of elements in collected samples.

	As	Cr	Pb	Zn	Mn	Ni	Co	Cd	Hg	Cu	V	Th	U	pH	EC
As	1														
Cr	0.119	1													
Pb	0.223	0.520	1												
Zn	0.062	0.728*	0.678*	1											
Mn	0.496	0.528	0.794**	0.764*	1										
Ni	-0.02	0.970**	0.384	0.615	0.371	1									
Co	0.134	0.757*	0.773**	0.955**	0.846**	0.650*	1								
Cd	0.481	0.258	0.072	0.361	0.434	0.102	0.320	1							
Hg	-0.271	-0.218	-0.335	-0.268	-0.310	-0.179	-0.282	0.041	1						
Cu	-0.061	0.732*	0.883**	0.847**	0.668*	0.637*	0.852**	0.086	-0.351	1					
V	-0.068	0.278	0.616	0.799**	0.769**	0.173	0.819**	0.277	-0.202	0.598	1				
Th	-0.158	0.497	0.335	0.723*	0.387	0.399	0.711**	0.411	0.045	0.513	0.567	1			
U	-0.502	-0.479	-0.670*	-0.400	-0.607	-0.378	-0.594	-0.321	0.340	-0.467	-0.413	-0.534	1		
pH	0.465	0.120	0.368	0.521	0.504	0.021	0.460	0.209	-0.239	0.239	0.553	0.162	0.444	1	
Ec	0.425	-0.500	-0.505	-0.536	-0.495	-0.375	-0.539	0.353	-0.161	-0.559	-0.547	0.302	0.458	-0.88**	1

## تحلیل خوشه‌ای (CA)

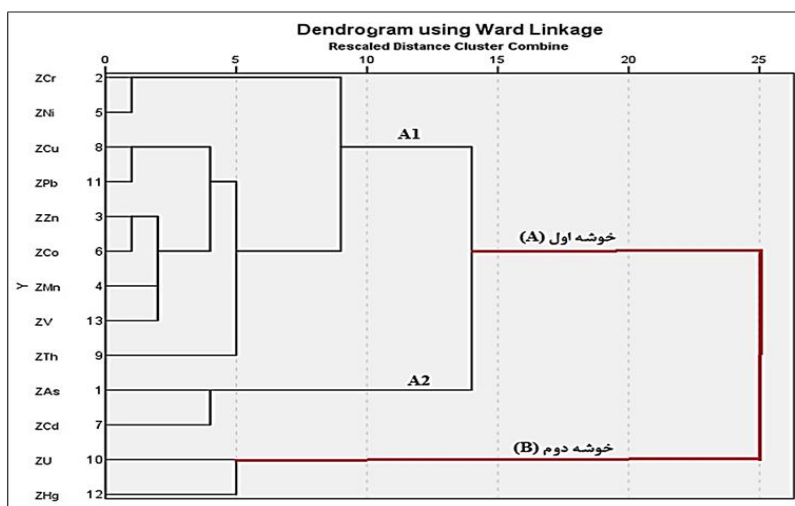
در خوشه A1 عناصر Cr، Ni، Mn و V از نظر منشأ زمین‌شناسی بیشتر در سنگ‌های اولترابازیک و عناصر Cu، Pb و Zn در سنگ‌های اسیدی گرانیتی و گرانودیوریتی یافت می‌گردند. در نتیجه از لحاظ زمین‌شناختی، ژئوشیمیایی، کانه‌زایی و هم منشأ بودن این دو گروه با هم دیده نمی‌شوند. از این رو با هم قرار گرفتن این عناصر در یک خوشه نشان‌گر منشأ غالب انسانی می‌باشد. عناصر آرسنیک و کادمیم در خوشه A2 نشان از منشأ انسانی دارد که می‌تواند از راه‌های مختلف منجمله کودها و پساب‌ها و ... توسط رودخانه‌های تغذیه‌کننده وارد دریاچه شده باشند. در خوشه دوم (B) قرار گرفتن Hg با U در یک گروه، منشأ زمین‌زاد این عناصر را بیان می‌کند، زیرا در اطراف دریاچه ارومیه هیچ‌گونه فعالیت معدن‌کاری و صنعتی و یا هر نوع فعالیت مرتبط با اورانیم وجود ندارد. لذا اورانیم موجود در محیط بیش‌تر ناشی از منشأ زمین‌شناسی می‌باشد و از آنجایی که جیوه نیز همراه با اورانیم در یک گروه قرار گرفته است، منشأ آن نیز زمین‌زاد در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه، با نتایج ضریب همبستگی تطابق دارد. مثلاً عناصری هم چون Cr، Ni، Cu، Pb، Zn، Co، Mn، V و Th که در تحلیل خوشه‌ای در یک

ضریب همبستگی تا حدودی ارتباط بین عناصر را در نمونه‌ها مشخص می‌کند، اما جهت بررسی توأم همبستگی‌های موجود و درک ملموس‌تر روابط بین عناصر از آنالیز خوشه‌ای استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر با توجه به این که تعداد خوشه‌های موردنیاز جهت گروه‌بندی مشاهدات مورد مطالعه در منطقه مشخص نیست، از فرمان خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شده است. قرارگیری هر یک از این عناصر در هر خوشه می‌تواند نشان از ارتباط هر عنصر با عناصر دیگر از لحاظ منشأ باشد. طبق دندروگرام شکل ۳، دو خوشه اصلی A و B در مورد عناصر موجود در نمونه‌های مورد بررسی قابل تشخیص می‌باشد. در خوشه اول عناصر Cr، Ni، Pb، Cu، Zn، Co، Mn، V، Th، As و Cd و در خوشه دوم عناصر Hg و U قابل مشاهده هستند. خوشه اول را برحسب درجه وابستگی عناصر به یکدیگر می‌توان به دو زیر خوشه A1 و A2 تقسیم نمود. در زیر خوشه A1 عناصر Cr، Ni، Pb، Cu، Zn، Co، Mn، V، Th و در زیر خوشه A2 عناصر As و Cd قرار می‌گیرند. وابستگی عناصر موجود در خوشه‌ها، گویای رفتار مشابه آن‌ها در رسوبات ناحیه مورد مطالعه دارد.



Hg و U، در جدول همبستگی (جدول ۳)، هر چند با ضریب اندک نسبت به بقیه عناصر، به صورت As-Cd و Hg-U همبستگی نشان می‌دهند.

خوشه قرار گرفته‌اند (شکل ۳). در نتایج مربوط به ضریب همبستگی نیز (جدول ۳)، به صورت Cr-Ni، Pb-Cu، Zn-Co، Th-Zn و Co-Th، Mn-V، Co، همچنین عناصر موجود در تحلیل خوشه‌ای منجمله As، Cd،



شکل ۳- نمودار خوشه‌ای مربوط به عناصر نمونه‌های برداشتی.

Figure 3. The Cluster diagram for the elements of the collected samples.

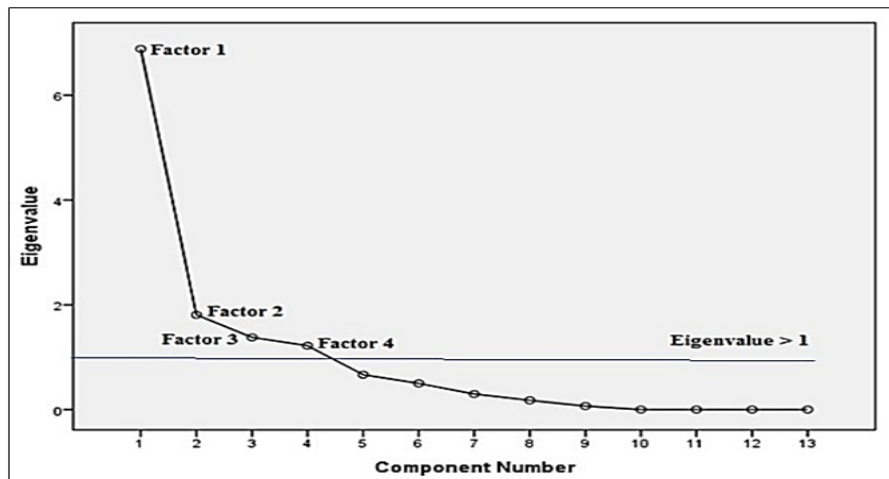
#### ۴-۵- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

شوند. در مؤلفه اول عناصر Zn، Mn، Co، Cu، Th، Pb و V با بارگذاری مثبت، در مؤلفه دوم عناصر Ni، Cr و Cu با بارگذاری مثبت، در مؤلفه سوم عناصر As و Cd با بارگذاری مثبت و U با بارگذاری منفی و در مؤلفه چهارم عناصر Pb و Hg با بارگذاری منفی بیش‌ترین مقدار بارگذاری را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از این قسمت با نتایج به دست آمده از آنالیز خوشه‌ای و ضریب همبستگی مطابقت دارند. از این رو عناصری که در تحلیل عاملی، با بارگذاری مثبت در مؤلفه‌های مؤثر آورده شده‌اند، در تحلیل خوشه‌ای نیز، این عناصر در یک خوشه قرار گرفته‌اند و در نتایج مربوط به ضریب همبستگی نیز این عناصر دارای همبستگی بوده و منشأ یکسانی را نشان می‌دهند. برای مثال در تحلیل عاملی، در مؤلفه اول، عناصر Zn، Mn، Co، Cu، Pb، Th و V، در تحلیل خوشه‌ای نیز در یک خوشه قرار گرفته‌اند و در نتایج مربوط به ضریب همبستگی به صورت Zn-Mn، Zn-Co، Zn-Cu، Zn-V، Zn-Pb، Zn-Th، Mn-Co، Mn-Cu، Mn-V، Co-Cu،

در این مطالعه، تحلیل عاملی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و چرخش واریماکس بر روی عناصر مختلف در نمونه‌ها انجام شد. داده‌های مورد استفاده ابتدا در محیط نرم افزاری SPSS20 استاندارد شدند و سپس عوامل از آن‌ها استخراج گردید. با توجه به شکل ۴ چهار عامل از ۱۳ عامل که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک را دارند، به‌عنوان عوامل اصلی شناسایی شدند. در این بررسی به‌منظور بهبود روابط بین متغیر و عاملی اولیه و برای تفسیر بهتر داده‌ها از چرخش واریماکس استفاده شد. جدول ۴ درصد واریانس و درصد تجمعی عوامل اصلی را نشان می‌دهد. چهار عامل اول به ترتیب با درصد واریانس‌های ۳۵/۵۱۹، ۲۲/۴۴۲، ۱۵/۵۵۲ و ۱۳/۳۴۲ حدود ۸۶/۸۵ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود. درصد واریانس هر یک از مشخصه‌ها نشان از اهمیت آن مشخصه در منطقه دارد. جدول ۵، ماتریس ۴ عامل استخراجی را نشان می‌دهد. وزن‌های عاملی بالای ۰/۵ که به‌صورت پر رنگ مشخص شده‌اند به‌عنوان پارامترهای مؤثر در هر عامل استخراجی انتخاب می-

بارگذاری مثبت، در تحلیل خوشه‌ای نیز در یک خوشه و از یک منشأ و U با بارگذاری منفی در خوشه جداگانه و از منشأ دیگر می‌باشد. در مؤلفه چهارم تحلیل عاملی عناصر Pb و Hg با بارگذاری‌های منفی، در تحلیل خوشه‌ای نیز در خوشه‌های جداگانه و از منشأ متفاوت قرار گرفته‌اند.

Pb-Co و Pb-Mn .Cu-Pb .Co-Cu .Co-Th .Co-V دیده می‌شود. در مؤلفه دوم تحلیل عاملی، عناصر Ni ،Cr و Cu، در تحلیل خوشه‌ای نیز در یک گروه قرار گرفته و در ضریب همبستگی به صورت Cr-Ni ،Cr-Cu و Ni-Cu با همبستگی نشان می‌دهند. در مؤلفه سوم عناصر As و Cd



شکل ۴- نمودار عامل‌های استخراجی همراه با مقادیر ویژه آن‌ها.

Figure 4. Extraction factor chart with their special values.

جدول ۴- عوامل استخراجی، مقادیر واریانس و درصد تجمعی آن‌ها قبل و بعد چرخش واریماکس.

Table 4. Extraction factors, variance amounts and their cumulative percent before and after varimax rotation.

مؤلفه	الف			ب		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۶/۸۸۰	۵۲/۹۸۶	۵۲/۹۸۶	۴/۶۱۷	۳۵/۵۱۹	۳۵/۵۱۹
۲	۱/۸۰۸	۱۳/۹۰۷	۶۶/۸۹۳	۲/۹۱۸	۲۲/۴۴۲	۵۷/۹۶۱
۳	۱/۳۷۸	۱۰/۵۹۷	۷۷/۴۹۰	۲/۰۲۲	۱۵/۵۵۲	۷۳/۵۱۳
۴	۱/۲۱۷	۹/۳۶۵	۸۶/۸۵۵	۱/۷۳۴	۱۳/۳۴۲	۸۶/۸۵۵

## جدول ۵- نتایج تجزیه به عوامل قبل و بعد چرخش واریماکس

Table 5 . Results of analysis to the before and after varimax rotation factors.

	اجزای ماتریکس				چرخش اجزای ماتریکس			
	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
Zscore (As)	۰/۲۳۷	-۰/۸۸۷	-۰/۰۵۲	۰/۲۶۶	-۰/۰۶۵	-۰/۰۵۶	۰/۸۸۷	۰/۳۵۱
Zscore (Cr)	۰/۷۹۲	۰/۲۶۰	-۰/۱۷۴	۰/۵۱۸	۰/۳۰۴	۰/۹۳۰	۰/۱۵۶	۰/۱۰۵
Zscore (Zn)	۰/۹۳۳	۰/۱۸۲	۰/۱۴۵	-۰/۰۸۳	۰/۸۳۱	۰/۴۷۷	۰/۱۰۳	۰/۰۵۳
Zscore (Mn)	۰/۸۶۴	-۰/۳۴۷	۰/۰۵۵	-۰/۱۵۴	۰/۷۳۲	۰/۱۸۹	۰/۴۶۵	۰/۳۲۵
Zscore (Ni)	۰/۶۶۶	۰/۳۹۰	-۰/۲۵۵	۰/۵۵۵	۰/۱۷۳	۰/۹۶۵	۰/۰۰۸	۰/۰۸۸
Zscore (Co)	۰/۹۸۱	۰/۱۰۲	۰/۰۸۱	-۰/۰۷۲	۰/۸۳۳	۰/۴۹۲	۰/۱۶۸	۰/۱۴۷
Zscore (Cd)	۰/۳۷۸	-۰/۴۴۴	۰/۶۲۴	۰/۳۶۶	۰/۲۶۳	۰/۱۰۹	۰/۷۹۷	-۰/۳۸۴
Zscore (Cu)	۰/۸۸۲	۰/۲۶۲	-۰/۲۲۴	-۰/۱۳۶	۰/۷۰۴	۰/۵۳۹	-۰/۱۰۵	۰/۳۴۴
Zscore (Th)	۰/۶۵۴	۰/۳۲۲	۰/۵۱۹	۰/۰۲۸	۰/۶۹۷	۰/۳۷۴	۰/۰۶۹	-۰/۴۱۵
Zscore (U)	-۰/۶۷۷	۰/۴۱۹	۰/۱۶۱	۰/۱۱۸	۰/۳۶۴	-۰/۳۰۱	-۰/۵۲۴	-۰/۴۲۰
Zscore (Pb)	۰/۸۲۵	-۰/۱۰۰	-۰/۲۶۶	-۰/۲۹۱	۰/۶۹۲	۰/۲۵۸	۰/۱۰۲	-۰/۵۳۹
Zscore (Hg)	-۰/۳۵۷	۰/۲۸۲	-۰/۵۹۸	۰/۱۵۱	-۰/۱۲۶	-۰/۱۱۳	۰/۰۹۰	-۰/۷۴۲
Zscore (V)	۰/۷۵۲	-۰/۰۴۲	۰/۲۹۴	-۰/۵۱۰	۰/۹۴۶	-۰/۰۴۶	۰/۱۰۸	۰/۰۷۸

## نتیجه گیری

می‌باشند. دلیل این همبستگی بالا بیش‌تر ناشی از منابع آلاینده یکسان است. از جمله این منابع می‌توان به آلودگی‌های انسانی ناشی از پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی حاوی عناصر خطرناک اشاره کرد که توسط رودخانه‌های مهم تغذیه‌کننده وارد محیط دریاچه‌ای می‌شود. دومین منبع آلاینده دریاچه که می‌تواند دلیل میزان آلودگی یکسان و همبستگی بالای بین عناصر مورد مطالعه باشد، آلودگی‌های طبیعی ناشی از واحدهای زمین‌شناختی مسیر رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه و زمین‌شناسی اطراف دریاچه می‌باشد. طبق تحلیل خوشه‌ای، عناصر مورد مطالعه در دو گروه قرار می‌گیرند. گروه اول که خود به دو زیرگروه تقسیم می‌شود، ناشی از عوامل انسانی بوده و شامل عناصر Cr، Ni، Cu، Pb، Zn، Co، Mn، V و Th در زیرگروه اول و As و Cd در زیرگروه دوم می‌باشد و گروه دوم ناشی از عوامل طبیعی بوده و شامل عناصر U و

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده بر روی عناصر مضر موجود در رسوبات و نمک‌های برجای مانده حاصل از خشک شدن دریاچه ارومیه در مقایسه با مقادیر متوسط پوسته‌ای نشان می‌دهد که غلظت As، Ni، Cu، As، Th بیش‌تر از متوسط پوسته‌ای بوده و Co، Hg و Cd تفاوت اندکی با مقادیر متوسط پوسته‌ای دارند. مقادیر Cr، Pb، V و Zn در رسوبات و نمک‌های منطقه کم‌تر از متوسط پوسته‌ای می‌باشند. البته باید توجه شود که غلظت عناصری هم چون U، Th، Hg و Cd، به دلیل کم‌تر بودن از حد حساسیت دستگاهی، از روش جایگزینی ساده برای تخمین مقادیر این عناصر استفاده شد. لذا به دلیل غیرقطعی بودن مقادیر این عناصر، این مقایسه نمی‌تواند برای عناصر مذکور به اندازه کافی دقیق باشد. بررسی‌های آماری انجام شده نشان می‌دهد که بیش‌تر عناصر مورد مطالعه در منطقه دارای ضریب همبستگی بالایی با یکدیگر

- Sciences and Health Services.(In Persian)
5. Karbasi,A., Sanaei, M., Heidary, Sh. And Gorbani, P., 2015, Investigation of the severity of heavy elements pollution in the northwestern region of Urmia Lake. Second International Conference on Environmental Engineering, Center for Strategies for Achieving Sustainable Development, Tehran, Iran. (In Persian)
  6. Ahmadian, M. A. and Asghari, S., 2013. Environmental consequences of lowering the water level of Urmia Lake and Solutions to its survival. Geographical Quarterly of the Land, Year 10, Number Forty. (In Persian)
  7. Hassani Pak. A. A. and Sharafuddin, M., 2001, Exploratory data analysis, University of Tehran Publishers, P. 990. (In Persian)
  8. McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. [Chemical Geology](#), vol.3-4. pp. 223-253.
  9. Yalcin, M. G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Environmental geology, vol.2. pp. 399-415.

Hg می باشد. بر اساس نتیجه حاصله از تحلیل عاملی، چهار مؤلفه اصلی تشخیص داده شد که نتایج حاصل از این تحلیل با نتایج تحلیل خوشه‌ای مطابق بود. به طوری که عناصر مربوط به هر مؤلفه با توجه به نوع بارگذاری، در تحلیل خوشه‌ای در یک گروه قرار دارند و مربوط به یک منشأ می باشند. به طور کلی از مطالعات آماری (ضریب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل عاملی) برای یافتن منشأ فلزات در نمونه‌ها و ارزشیابی محیط زیست منطقه استفاده شد که نتایج حاصل از هر سه روش آماری مؤید یکدیگر بودند.

### Reference

1. Salomons, W., and Forstner, U., 2012. Metals in the hydrocycle. Springer science and Business media.
2. Clark, R.B., Frid, C. and Attrill, M., 1997. Marine Pollution, Oxford: Clarendon Press, Vol. 4.
3. Morillo, J., Usero, G. and Gracia, I., 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest of Spain. *Chemosphere*, Vol.3. pp.431-42.
4. Omidiani, S.,h. and Bayat, I., 2003, Investigation and measurement of radioactive uranium and thorium elements in some fishes of the Persian Gulf in terms of control of radioactive substances in the environment, Sixth National Conference on Environmental Health, Sari, Mazandaran University of Medical