

کاربرد روش‌های آماری چند متغیره برای جداسازی منشأ فلزات نهشته‌های دریاچه زریوار، استان کردستان، باختر ایران

بهروز رفیعی^{۱*}، فاطمه احمدی‌قمی^۲ و فروزان حسین‌پناهی^۳

۱، ۲ و ۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: b_raffei@basu.ac.ir

دریافت: ۹۵/۹/۱۶ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۵

چکیده

دریاچه زریوار واقع در استان کردستان از جمله منابع مهم آب شیرین در باختر ایران می‌باشد. با افزایش فعالیت انسانی در دریاچه و پیرامون آن، خطر آلودگی آب و رسوبات دریاچه به انواع آلاینده‌ها، از جمله فلزات سنگین بیش از پیش افزایش یافته است. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های آماری تک متغیره (ماتریس همبستگی) و چند متغیره (آنالیزهای مؤلفه‌های اصلی (PCA) و واکاوی خوشه‌ای (CA))، منشأ فلزات مس، کروم، روی، وانادیوم، نیکل، تیتانیوم، کبالت، اسکاندیوم، زیرکونیوم، لیتیم، کلسیم، استرانسیوم و منگنز رسوبات دریاچه زریوار مورد بررسی قرار گرفت. شمار ۳۱ نمونه توسط نمونه‌گیر فکی برداشت شد. بر پایه یافته‌های به دست آمده از واکاوی خوشه‌ای، دریاچه به دو بخش شمالی و جنوبی تفکیک می‌شود. در بخش شمالی تمام فلزات مورد بررسی از منشأ زمین‌شناسی می‌باشند. در بخش جنوبی دریاچه نیز به جز فلز سرب، دیگر فلزات مورد بررسی از منشأ زمین‌شناسی می‌باشند. واکاوی‌های خوشه‌ای و مؤلفه اصلی نشان‌دهنده منشأ انسانی فلز سرب در بخش جنوبی دریاچه است.

واژه‌های کلیدی: منشأ فلزات، روش‌های آماری، دریاچه زریوار، مریوان

مقدمه

یکی از مسایل مطرح در علوم محیط‌زیست، شناسایی منشأ فلزات موجود در رسوبات می‌باشد. ارزیابی منشأ و عوامل مؤثر بر الگوی توزیع فلزات در رسوبات با بهره‌گیری از روش‌های مختلف آماری انجام می‌گیرد. رایج‌ترین این روش‌ها، آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف از معیار، دامنه و تغییرات ضرایب برای مجموعه داده‌ها است [۱۷]. واکاوی‌های آماری چند متغیره روش پیشنهادی برای شناسایی منشأ آلودگی، شناسایی سهم آلودگی انسانی در برابر طبیعی، نمایش فرآیندهای جابجایی و شرایط محیطی است.

واکاوی مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA) به طور گسترده‌ای در مطالعات ژئوشیمیایی برای رسیدن به هدف مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد [۸، ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۸، ۲۹]. واکاوی خوشه‌ای^۲ (CA) نیز در اغلب موارد به همراه واکاوی مؤلفه‌های اصلی برای کنترل نتایج و گروه‌بندی متغیرها و پارامترهای منفرد به کار گرفته می‌شود [۹، ۱۰، ۱۲، ۲۴، ۲۸]. برای اطمینان یافتن از منشأ شناسایی

آلودگی محیط‌های آبی توسط فلزات سنگین تبدیل به یک مشکل زیست‌محیطی بزرگ برای کشورهای در حال پیشرفت و پیشرفته در سراسر جهان گشته است [۲۱، ۳۰]. ورود فلزات سنگین به محیط‌های آبی آن‌ها را به بخشی از سیستم آب و رسوب تبدیل می‌سازد [۱۴]. رسوبات معمولاً آمیخته چند مؤلفه مانند مواد کانی و ذرات آلی می‌باشد. فلزات توسط آب جاری حمل شده، به دلیل انحلال‌پذیری کم در آب به سرعت توسط رسوبات جذب شده و سرانجام در این رسوبات به دام می‌افتند [۲۳]. حتی پس از کاهش میزان فلزات در آب ورودی، مقدار آن‌ها در رسوبات کاهش نیافته و می‌تواند به محیط پیرامونی و جانداران آسیب برساند [۱۹]. رسوبات ته‌نشین شده در محیط‌های آبی، محل مناسبی برای انباشت مواد آلاینده به ویژه فلزات سنگین می‌باشند. دریاچه‌ها از جمله محیط‌های رسوبی پیچیده‌ای هستند که مقدار زیادی از مواد آلاینده را از محیط‌های طبیعی، شهری و صنعتی دریافت می‌کنند.

¹ Principle Component Analysis

² Cluster Analysis

۲- مواد و روش‌ها

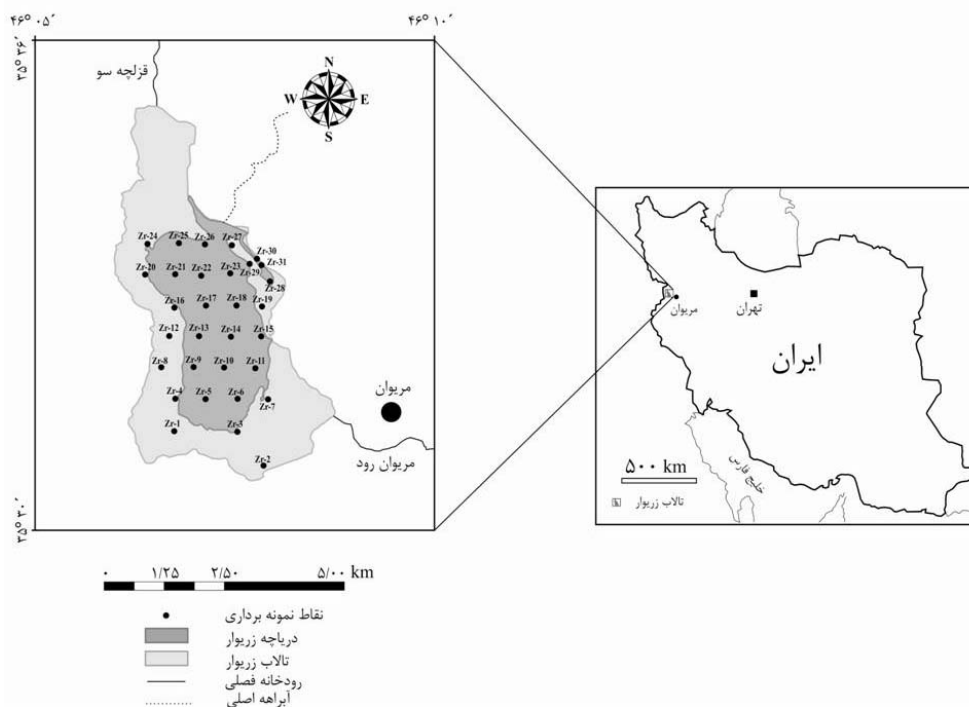
۲-۱- جایگاه جغرافیایی دریاچه زریوار

دریاچه زریوار در ارتفاع ۱۲۹۰ متری از سطح دریا و در ۳ کیلومتری شمال‌باختری مریوان در استان کردستان و نیمه باختری ایران در بین ۴۶° ۴' تا ۴۶° ۱۵' درازای خاوری و ۳۵° ۲۸' تا ۳۶° ۳۵' پهناى شمالی واقع شده است. درازای دریاچه زریوار نزدیک ۵ کیلومتر و پهناى آن نزدیک ۱/۶ کیلومتر است (شکل ۱).

منطقه زریوار دارای زمستان‌های سرد، تابستان‌ها معتدل و بهار و پاییز معتدل تا سرد است. بارندگی سالانه دریاچه میان ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است [۲۷]. بیشینه دمای آب دریاچه در تابستان به ۲۷ درجه سانتی‌گراد بالای صفر می‌رسد و در زمستان به زیر صفر کاهش می‌یابد. این وضعیت سبب یخبندان سطح دریاچه به مدت چند روز می‌شود [۳]. آب دریاچه زریوار از سه منبع عمده تأمین می‌شود که عبارتند از: ریزش‌های جوی (نزدیک ۱۴ میلیون متر مکعب در سال)، چشمه‌های کف جوش بستر دریاچه که به سفره‌های آب زیرزمینی وابسته بوده (نزدیک ۱۱ میلیون متر مکعب در سال) و آب‌های سطحی (۳۲ میلیون متر مکعب در سال) [۷].

شده و الگوی توزیع یک فلز خاص در آب و رسوب از واکاوی مؤلفه‌های اصلی و واکاوی خوشه‌ای به همراه هم به کارگرفته می‌شود [۱۱، ۱۵، ۲۶]. دریاچه زریوار واقع در استان کردستان و در کنار شهر مریوان از منابع آب شیرین در باختر کشور می‌باشد که اهمیت بسیاری برای منطقه از راه صید آبزیان، جنبه‌های تفریحی و تأمین آب دشت زریوار دارد. با توجه به روند گسترش فعالیت‌های انسانی در حوضه آبخیز و در خود دریاچه مشکلاتی مانند پُر شدن مخزن دریاچه از رسوبات ناشی از فرسایش خاک اراضی جنگلی و کوهستانی مجاور دریاچه و هم‌چنین آلودگی آب و در پایان کاهش گنجایش کمی و کیفی، آن را تهدید می‌کند [۱]. یکی از این تهدیدها انباشت فلزات سنگین است که به دلیل تأثیر فراوان بر کاهش عمر دریاچه و خطرات زیست‌محیطی حاصل از افزایش غلظت آن‌ها در محیط، مورد توجه قرار گرفته است.

در این پژوهش با بهره‌گیری از واکاوی‌های آماری تک متغیره و چند متغیره، کوشش شد تا منشأ فلزات Cu، Zn، Pb، Cr، Ni، Co، Ti، V و Mn رسوبات دریاچه زریوار شناسایی گردد. بر پایه نحوه پراکندگی فلزات، دریاچه پهنه‌بندی شده و منشأ فلزات موجود در هر پهنه جداگانه بررسی شده است.



شکل ۱. جایگاه جغرافیایی دریاچه زریوار و نقاط نمونه‌برداری

۲-۲- زمین‌شناسی

اشتوکلین [۲۰] برای نخستین بار ایران را به چند زون ساختمانی که دارای وضع تکتونیکی، تاریخچه ساختمانی و رسوبی متفاوتی بودند، تقسیم نمود. دریاچه زریوار و منطقه مریوان در بخش شمال‌باختری زون سنندج - سیرجان قرار دارد. در این منطقه سنگ‌های رسوبی آهکی تریاس و کرتاسه، رسوبات آواری ائوسن رخنمون دارند. سنگ‌های آذرین موجود در منطقه‌ی مریوان بیش‌تر در جنوب‌خاور، جنوب‌باختر و شمال‌باختری آن دیده می‌شوند. جنس توده‌های شمال‌باختری بیشتر از سنگ‌های گرانودیوریت، سینوگرانیت و مونزوگرانیت می‌باشد که توسط دایک‌های آپلیتی و پگماتیتی قطع شده است [۵]. سنگ‌های آذرین جنوب خاور مریوان از گابرو، دیوریت، کوارتزیدیوریت ساخته شده‌اند [۲]. کهن‌ترین سنگ‌های منطقه پیرامون دشت مریوان شامل سری دگرگون شده پالئوزوئیک و یا احتمالاً قدیمی‌تر از آن است که منشأ آذرین دارد و در جنوب‌باختری ناحیه قرار گرفته است. رخساره آن در حد شیبست‌سبز است و سنگ‌های آهکی کرتاسه در آن به شدت تکتونیزه و متبلور شده‌اند [۲]. توده آذرین شمال‌باختر دریاچه سبب ایجاد سنگ‌های دگرگونی تا رخساره آلبیت- اپیدوت- اکتینولیت هورنفلس و آمفیبول هورنفلس شده است [۴].

۲-۳- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از رسوبات دریاچه زریوار، در مهر ماه ۱۳۹۰ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و به وسیله نمونه‌گیر فکی کوچک ۴ لیتری (گرب) انجام گرفت. شمار ۳۱ نمونه رسوب سطحی از بستر دریاچه زریوار برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی گردآوری گردید. نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه و سپس در آون در ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای انجام واکاوی‌های شیمیایی، بخش کوچک‌تر از ۶۳ میکرون توسط الک جدا گردید. شایان یادآوری است، رسوبات درشت دانه (در حد ماسه و درشت‌تر) توان جذب فلزات از محیط را ندارند و به همین دلیل برای انجام واکاوی شیمیایی تنها از بخش سیلتی و رسی بهره‌گیری می‌شود.

۲-۴- آنالیز ژئوشیمیایی

برای انجام آنالیز شیمیایی، نمونه خشک از الک شماره ۲۳۰ (۶۳ میکرون) عبور داده شد. این بخش از رسوبات پودر شده و در آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی کشور و توسط دستگاه Varian 735 مورد واکاوی ICP-OES قرار گرفت. نمونه‌ها توسط چهار اسید (HCl, HF, HNO₃, HClO₄) هضم شد و مورد آنالیز قرار گرفتند. تمام عناصر مورد بررسی توسط روش یادشده اندازه‌گیری شدند. نکته قابل یادآوری اینکه شوربختانه عناصر اصلی در حد شناسایی دستگاه نبوده و به همین علت گفته نشده‌اند.

۲-۵- آنالیزهای آماری

آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام گرفت. آزمون نرمالیتی کولموگروف-اسمیرنوف برای شناسایی توزیع نرمال انجام گرفت. آزمون کولموگراف-اسمیرنوف یک آزمون ناپارامتری است که بر پایه آن چنانچه میزان تقریبی معنی‌داری آزمون (Asymptotic Significance) بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد، توزیع عناصر نرمال است.

ضرایب همبستگی پیرسون نیز برای داده‌ها برای شناسایی روابط میان عناصر محاسبه گردید. واکاوی‌های PCA و CA از جمله روش‌های آماری چندمتغیره‌ای هستند که در مطالعات زیست‌محیطی کاربرد بسیاری دارند [۲۲]. واکاوی CA مجموعه‌ای از مشاهدات و داده‌ها را بر پایه تلفیق متغیرهای درونی به دو یا چند گروه شناسایی دسته‌بندی می‌کند. هدف از این واکاوی، سازماندهی داده‌های گوناگون با ویژگی‌های همانند است. در این پژوهش از واکاوی خوشه‌ای (CA) به روش ارتباط میان گروه‌ها^۱ و معیار همبستگی پیرسون^۲ برای دسته‌بندی نمونه‌های رسوبی برداشت شده و شناسایی منشأ فلزات بهره‌گیری شد. معمولاً واکاوی CA به همراه PCA انجام می‌گیرد تا نتایج را بتوان کنترل کرده و پارامترها و متغیرهای مجزا را دسته‌بندی نمود [۱۶].

واکاوی PCA به طور معمول برای کاهش داده‌ها مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد و برای تحلیل ارتباط میان متغیرها، تعداد کم‌تری از عوامل مستقل (مؤلفه‌های اصلی) را استخراج می‌کند [۲۵]. برای ایجاد مؤلفه‌هایی

¹ Between-groups linkage

² Pearson correlation

۶۴/۶، سرب بین ۳/۹ و ۲۶/۶، کروم بین ۴۰/۲ و ۱۹۳/۸، روی بین ۳۶/۴ و ۱۴۸/۴، وانادیوم بین ۲۸/۷ و ۱۳۳/۹، اسکاندیوم بین ۲/۵ و ۱۹/۲، نیکل بین ۲۹/۱ و ۱۰۹/۶، تیتانیوم بین ۹۸۶/۹ و ۴۱۰۳/۲، کبالت بین ۳/۷ و ۱۶/۰، لیتیوم بین ۷/۲ و ۳۶/۶ و زیرکونیم بین ۷۰/۶ و ۱۸۸/۰ mg/kg تغییر می‌کنند.

بررسی‌های پیشین نشان داده است که در مجموع رسوبات دریاچه زریوار نسبت به فلزات مورد بررسی آلودگی نشان نمی‌دهند ولی سرب در برخی نقاط دارای آلودگی می‌باشد [۶]. در این بررسی تنها به بررسی شدت آلودگی عناصر پرداخته شده و به منشأ انسانی و زمین‌شناسی آن‌ها اشاره نشده است.

با قابلیت تفسیرپذیری بیش‌تر، واکاوی PCA با چرخش واریماکس [۱۵] انجام شد. آنالیزهای PCA و CA در تفسیر ارتباط موجود بین فلزات و فرآیندهای ژئوشیمیایی کاربرد دارند. به منظور بررسی تفاوت بین گروه‌ها از نظر محتوای فلزات مورد بررسی، روش اختلاف میانگین‌ها Hotelling's Trace و (t-test) به کار گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- غلظت فلزات

آمار توصیفی غلظت کل فلزات V, Zn, Cr, Pb, Cu, Mn, Sc, Ti, Ni, Li, Co, Zr در جدول ۱ نمایش داده شده است. تغییرات شناسایی در میزان غلظت فلزات وجود دارد. منگنز بین ۴۲۲/۷ و ۱۲۶۵، مس بین ۱۱/۹ و

جدول ۱. آمار توصیفی غلظت کل فلزات در نمونه‌های مورد بررسی (غلظت فلزات بر حسب mg/kg می‌باشد)

	Co	Li	Ni	Ca	Cr	Cu	Mn	Sc	Sr	Ti	V	Zn	Zr	Pb
Min	3.7	7.2	29.1	7.5	40.2	11.9	422.7	2.5	219.4	986.9	28.7	36.4	70.6	3.9
Max	16.0	36.6	109.6	29.9	193.8	64.6	1265.0	19.2	693.6	4103.2	133.9	148.4	188.0	26.6
Mean	7.0	14.2	46.8	22.7	81.2	24.1	893.3	9.2	503.2	1939.3	59.6	64.8	121.2	10.5
Median	6.5	12.5	42.1	24.1	70.3	21.3	949.9	8.2	506.1	1739.3	51.8	63.2	115.5	9.6
S.D.	2.6	6.2	17.0	4.9	33.5	9.9	256.3	3.5	77.6	657.0	24.2	23.3	25.9	4.0

عناصر گروه اول دارای همبستگی منفی قوی با عناصر گروه ۲ هستند. این همبستگی منفی نشانگر منشأی کاملاً متفاوت برای عناصر این دو گروه می‌باشد. برای بررسی چگونگی همبستگی عناصر در نمونه‌های مورد بررسی، آنالیز خوشه‌ای بر پایه روش همبستگی بین گروه‌ها و همبستگی پیرسون انجام شد (شکل ۲). دو خوشه اصلی در شکل دیده می‌شود. خوشه A شامل ۲ زیر خوشه A1 متشکل از دو مجموعه I (V, Ti, Ni, Co, Cr, Li, Sc, Zr) و مجموعه II (Zn, Cu) می‌شود. زیرخوشه A2 فقط از عنصر Pb ساخته شده است. حضور عناصر با هم در یک خوشه نشانگر منشأ یکسان است. حضور سنگ‌های دگرگونی و آذرین در پیرامون دریاچه [۳]، می‌تواند منشأ عناصر خوشه A باشد. عنصر سرب با دیگر فلزات این خوشه ارتباط معنی‌دار اما ضعیف‌تری نشان می‌دهد (جدول ۲) و در زیرخوشه دیگری قرار می‌گیرد (شکل ۲).

۳-۲ منشأ فلزات

برای شناسایی منشأ فلزات رسوبات دریاچه زریوار از واکاوی‌های آماری بهره‌گیری گردید. در آغاز نرمال بودن توزیع فلزات با بهره‌گیری از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف بررسی شد. بر این مبنا توزیع تمام عناصر مورد بررسی (به استثنای Li)، نرمال است (جدول ۲). برای شناسایی چگونگی ارتباط عناصر به یکدیگر از جدول ضرایب همبستگی بهره‌گیری گردید (جدول ۳). همبستگی معنی‌دار مثبت میان عناصر نشانگر وجود رفتاری مشابه و منشأ یکسان برای آن‌ها است. به طور کلی در جدول ۳ عناصر به دو گروه تقسیم‌بندی می‌گردند. عناصر گروه اول (V, Zn, Cr, Pb, Cu, Ni, Ti, Co, Li, Zr) دارای همبستگی مثبت بسیار قوی با هم هستند. البته همبستگی سرب با دیگر عناصر این گروه در محدوده متوسط قرار دارد. گروه دوم شامل عناصر Mn, Ca و Sr می‌گردد. عنصر Ca با دو عنصر دیگر این گروه دارای همبستگی مثبت و قوی می‌باشد. همبستگی میان عنصر Sr و Mn یافت نشد.

جدول ۲. یافته‌های به دست آمده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف. توزیع همه عناصر به استثنای Li نرمال می‌باشد.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		Cu	Mn	Pb	Cr	Zn	V	Sc	Ni	Ca	Ti	Co	Li	Sr	Zr
N		31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	24080	893301	10468	81170	64762	59597	9	46768	22810	1939258	7026	14	503	121
	Std. Deviation	10091	260527	4048	34019	23660	24549	4	17230	4732	6678282	2632	6	79	27
Most Differences	Extreme Absolute Positive	.190	.102	.181	.184	.164	.188	.197	.214	.219	.181	.143	.252	.233	.140
	Negative	-.138	-.102	-.121	-.142	-.120	-.104	-.139	-.153	-.219	-.144	-.102	-.163	-.233	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z		1.060	.569	1.006	1.024	.912	1.045	1.099	1.191	1.218	1.009	.794	1.406	1.296	.778
Asymp. Sig. (2-tailed)		.211	.903	.264	.245	.376	.225	.179	.117	.103	.261	.554	.038	.069	.580

a. Test distribution is Normal.

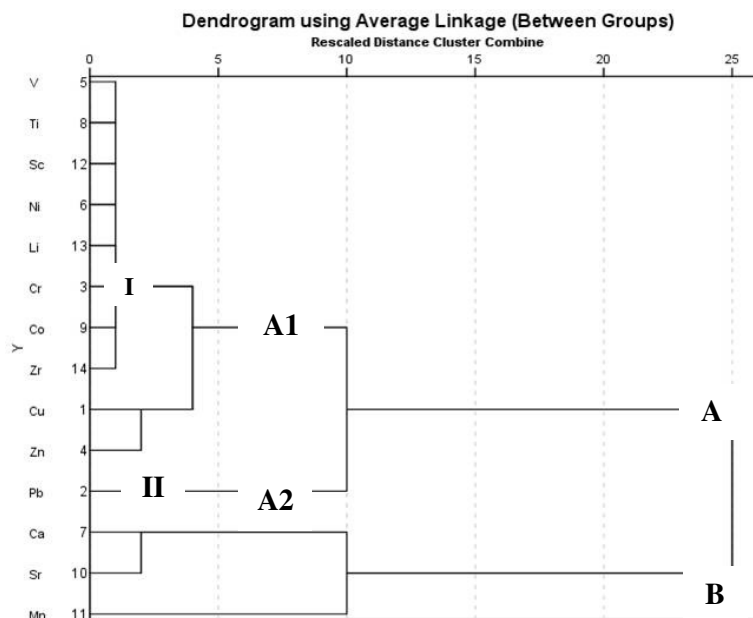
b. Calculated from data.

جدول ۳. نمایش همبستگی پیرسون عناصر مورد بررسی در رسوبات دریاچه زریوار

	Cu	M	Pb	Cr	Zn	V	Sc	Ni	Ca	Ti	Co	Sr	Zr
Cu	1												
Mn	-.255	1											
Pb	.417*	.038	1										
Cr	.768**	-.333	.380*	1									
Zn	.905**	-.198	.498**	.786**	1								
V	.785**	-.313	.386*	.965**	.812**	1							
Sc	.787**	-.310	.359*	.969**	.824**	.986**	1						
Ni	.770**	-.279	.417*	.971**	.814**	.973**	.957**	1					
Ca	-.586	.513**	-.361	-.794	-.597	-.757	-.713	-.824	1				
Ti	.775**	-.282	.376*	.970**	.818**	.989**	.984**	.981**	-.761	1			
Co	.724**	-.264	.354	.955**	.757**	.967**	.957**	.976**	-.778	.976**	1		
Sr	-.356	.221	-.373	-.639	-.382	-.590	-.528	-.715	.884**	-.624	-.656	1	
Zr	.736**	-.240	.409*	.931**	.757**	.944**	.917**	.927**	-.773	.939**	.925**	-.639	1

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

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



شکل ۲. واکاوای خوشه‌ای عناصر موجود در نمونه‌های برداشت شده از دریاچه زریوار. در این شکل دو خوشه اصلی (A و B) دیده می‌شود.

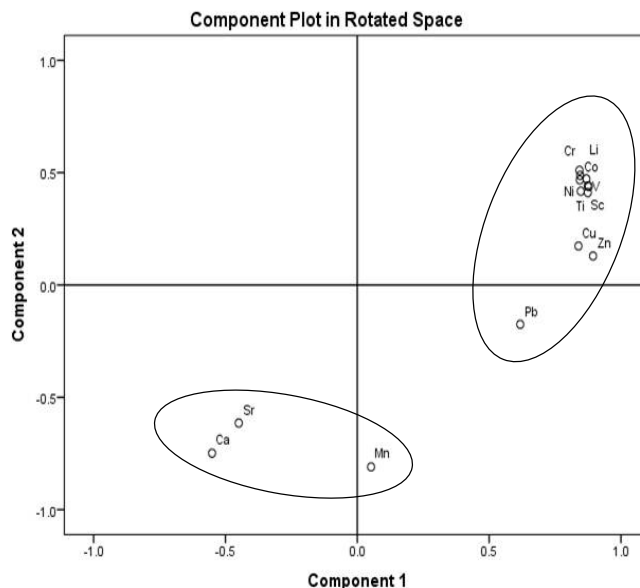
ضعیف‌تری دارد (شکل ۳). همبستگی ضعیف میان مجموعه عناصر مؤلفه اول و سرب شاید به دلیل ورود سرب از منشا دیگر و تأثیر آن بر نتایج در نمونه‌های مورد بررسی در کل دریاچه زریوار باشد.

در مؤلفه PC2 (۸/۳۹ درصد واریانس) عناصر منگنز، کلسیم و استرانسیم با مقادیر منفی بالا قرار دارند که وابسته به منشأ دیگری، سنگ‌های آهکی، خواهند بود. نمودار این دو مؤلفه نیز نشانگر همبستگی میان عناصر یادشده است. شکل ۳ جایگاه عناصر نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است عنصر Mn شباهت و همبستگی کم‌تری با Ca و Sr دارد.

با توجه به آنالیزهای انجام شده به نظر می‌رسد که رسوبات دریاچه و فلزات موجود در آن‌ها دست کم از دو منشأ طبیعی مختلف تأمین شده‌اند. یکی از منشأ سنگ‌های دگرگونی و آذرین رخنمون یافته در حوضه آبریز دریاچه (به ویژه رخنمون‌های شمالی) و دیگری سنگ‌های کربناته موجود در منطقه. به عبارت دیگر فلزات مورد بررسی از زمین‌شناسی منطقه منشأ گرفته‌اند. البته به نظر می‌رسد عنصر سرب به طور کامل از این قاعده تبعیت نمی‌کند.

با توجه به ضرایب همبستگی دیگر عناصر مورد بررسی و نوع سنگ‌های منطقه (هورنفلس، شیسیت، مونزونیت و گرانودیوریت) [۲]، سرب نیز باید دارای همبستگی قوی با دیگر عناصر به ویژه مس و روی باشد.

همبستگی ضعیفی میان منگنز با عناصر کلسیم و استرانسیم در خوشه B وجود دارد. با توجه به ضریب همبستگی عناصر و آنالیز CA، به نظر می‌رسد عنصر Ca از دو راه مختلف، با کانی‌هایی به همراه Sr و دیگری به میزان کم‌تر به همراه کانی‌های دارای Mn به محیط و رسوبات وارد شده است. نبود همبستگی منگنز و استرانسیم نیز نشانگر جدابودن منشأ این دو عنصر است. برای ارزیابی کمی روش خوشه‌ای، آنالیز PCA با چرخش واریماکس برای نمونه‌های رسوبی و عناصر اندازه‌گیری شده به کار گرفته شده که نتیجه آن در جدول ۴ نمایش داده شده است. آنالیز PCA نشان می‌دهد که دو مؤلفه اصلی وجود دارد که ۸۳/۱۶ درصد واریانس را در بر می‌گیرد. مؤلفه PC1 (۷۴/۷۷ درصد واریانس) از عناصر Cu, Pb, Cr, Zn, V, Ni, Ti, Co, Li, Sc و Zr تشکیل شده و نشانگر منشأ مشترک برای این عناصر است. وجود فاصله کم میان Zn و Cu با دیگر عناصر نیز نشان‌دهنده دو مجموعه کانی از یک منشأ برای این عناصر است. عنصر سرب با دیگر عناصر مؤلفه PC1 همبستگی



شکل ۳. نمودار نتایج واکاوی PCA برای تمام نمونه‌های دریاچه زریوار. دو مولفه روی شکل دیده می‌شوند.

جدول ۴. یافته‌های واکاوی PCA با چرخش واریماکس. دو مولفه کاملاً مجزا دیده می‌شود.

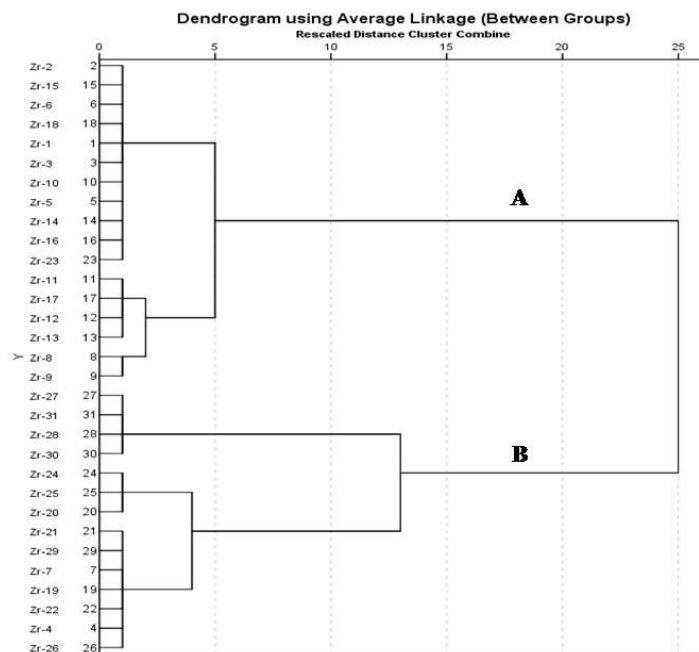
	Component	
	1	2
Cu	.839	.173
Mn	.052	-.810
Pb	.618	-.175
Cr	.845	.488
Zn	.894	.129
V	.874	.441
Sc	.874	.412
Ni	.869	.472
Ca	-.551	-.749
Ti	.878	.439
Co	.844	.468
Li	.843	.510
Sr	-.450	-.614
Zr	.847	.417

در خوشه A و نمونه‌های ۴، ۷، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۳۱ در خوشه B قرار می‌گیرند. با توجه به جایگاه نمونه‌ها و غلظت عناصر موجود در این‌ها، شناسایی است که نمونه‌های خوشه A سرشار از عناصر منگنز، کلسیم و استرانسیم بوده و نمونه‌های خوشه B دارای مقادیر بیشتری از عناصر Cu، Pb، Cr، Zn، V، Ni، Ti، Li، Sc، Co و Zr می‌باشد. نمونه‌های موجود در گروه A همگی در

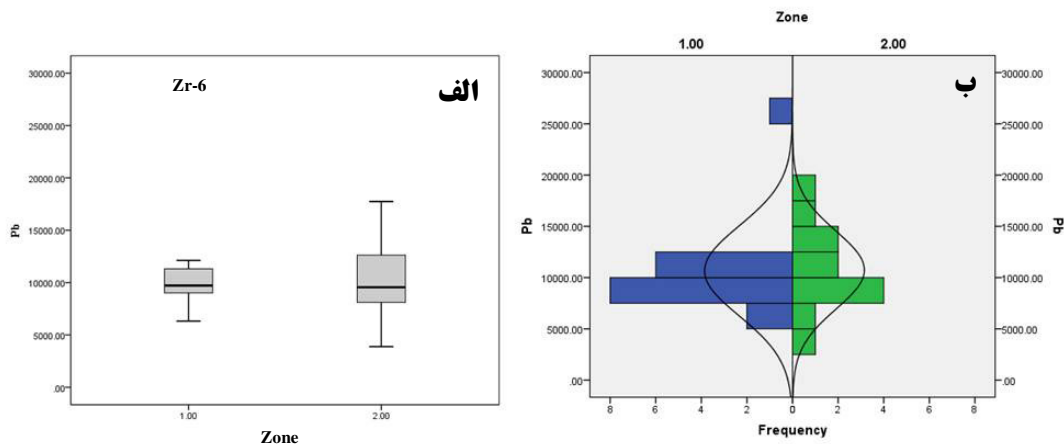
برای جداسازی و دسته‌بندی نمونه‌ها از نظر محتوای عناصر مورد بررسی و سرانجام یافتن دقیق‌تر منشأ فلزات مختلف، آنالیز خوشه‌ای میان نمونه‌ها رسوبی انجام شد (شکل ۴). در این آنالیز نمونه‌هایی که همانندی بسیاری از نظر محتوای عناصر با هم دارند در یک دسته قرار می‌گیرند. در شکل ۴ دو دسته کاملاً مجزا بین نمونه‌ها دیده می‌شود. نمونه‌های ۱ الی ۳، ۵ و ۶، ۸ الی ۱۸ و ۲۳

به دو بخش شمالی با غلظت بیش‌تر فلزات Cr, Pb, Cu, Zr و Li, Co, Ti, Ni, Sc, V, Zn و بخش جنوبی با غلظت بیش‌تر منگنز، کلسیم و استرانسیم تقسیم نمود (شکل ۵).

بخش میانی و جنوبی دریاچه واقع شده‌اند در صورتی که نمونه‌های گروه B (به استثنای نمونه Zr-7 و Zr-4) در بخش شمالی قرار دارند. بدین ترتیب می‌توان دریاچه را



شکل ۴. نمودار واکاوی خوشه‌ای میان نمونه‌های برداشت شده از دریاچه زیروار. دو شاخه مجزا نشان‌دهنده دو دسته نمونه از دید محتوای فلزی می‌باشد. خوشه A نشانگر مجموعه نمونه‌های بخش جنوبی و میانی و خوشه B نمونه‌های بخش شمالی دریاچه هستند.



شکل ۵. الف: نمودار جعبه‌ای عنصر سرب موجود در نمونه‌های بخش جنوبی (منطقه ۱) و بخش شمالی (منطقه ۲) دریاچه زیروار. غلظت سرب در محور عمودی میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد. ب: دیاگرام توزیع نرمال عنصر سرب در دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه زیروار

قوی و چرخش آب در دریاچه نیز مانع گسترش و پراکندگی زیاد این عناصر به بخش‌های جنوبی دریاچه شده است.

برای بررسی درستی اختلاف دو گروه، آزمون مقایسه میانگین‌های چند متغیره اثر هتلینگ^۱ اجرا شد. نتایج

بدین ترتیب شناسایی می‌شود که فلزات سنگین Cu, Pb, Cr, Zr و Li, Co, Ti, Ni, Sc, V, Zn از سمت شمال به دریاچه وارد می‌شوند. در واقع محل ورود رودخانه قزلچه سو و رودخانه‌های فصلی کوچک‌تر در بخش شمال و شمال خاور دریاچه، و گذر آن از میان سنگ‌های دگرگونی و آذرین منطقه بالادست عامل فراوانی این عناصر در بخش شمالی دریاچه است. نبود جریان‌های

¹ Hotelling's Trace

شمالی ۱۰/۲۴ mg/kg و بخش جنوبی ۱۰/۶۶ mg/kg می‌باشد که اختلاف زیادی را نشان نمی‌دهد. نبود اختلاف میانگین سرب در بخش‌های شمالی و جنوبی دریاچه نشانگر ورود سرب به بخش جنوبی دریاچه از منشا دیگری به غیر از رودخانه قزلجه‌سو و مناطق شمالی دریاچه می‌باشد. این پدیده برای دیگر فلزات مورد بررسی دیده نمی‌شود. همبستگی کم سرب با دیگر فلزات سنگین در آنالیزهای CA و PCA نیز می‌تواند ناشی از ورود سرب از چند منشأ متفاوت به دریاچه باشد.

این آزمون نشان می‌دهد که دو گروه از نمونه‌ها در مجموع دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۵). به منظور بررسی میزان اختلاف عناصر موجود در دو گروه به صورت جداگانه، آنالیز مقایسه میانگین‌ها (آزمون t-test تک متغیره) برای آن‌ها اجرا شد (جدول ۶). یافته‌های این آزمون نشان می‌دهد که اختلاف میانگین عناصر Mn، Cu، Cr، Zn، V، Sc، Ni، Ca، Ti، Co، Li و Zr بین دو گروه معنی‌دار می‌باشد. اختلاف میانگین عناصر Pb و Sr معنی‌دار نیست. میانگین غلظت سرب نمونه‌های بخش

جدول ۵. نتیجه آزمون مقایسه میانگین‌های چند متغیره (اثر هتلینگ) برای دو گروه نمونه‌ها، در شمال (A) و جنوب (B) دریاچه زریوار. نتیجه واکاوی نشان معنی‌داری اختلاف دو منطقه شمالی و جنوبی دریاچه از نظر محتوای کلی عناصر می‌باشد.

Effect	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	
Zone A & B	Hotelling's Trace	7.371	8.424 ^b	14.000	16.000	.000

b. Exact statistic

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین‌های میان عناصر موجود در مجموعه نمونه‌های شمال و جنوب دریاچه زریوار. با توجه به مقدار ضریب معنی‌داری (sig) در آزمون، فقط عناصر سرب و استرانسیوم اختلاف معنی‌داری در دو مجموعه نشان نمی‌دهند.

Element	Equality of Levene's Test for Variances		t-test for equality of means	
	F	Sig.	(2-tailed) Sig.	Mean Difference
Cu	6.445	0.017	0.028	-8775.94
Mn	0.760	0.390	0.000	381714.60
Pb	0.175	0.678	0.779	420.82
Cr	10.939	0.003	0.010	-34400.37
Zn	3.285	0.080	0.043	-17122.06
V	10.029	0.004	0.011	-24236.05
Sc	10.064	0.004	0.005	-3.78
Ni	10.359	0.003	0.032	-14743.57
Ca	6.201	0.019	0.027	4107.56
Ti	9.015	0.005	0.012	-657953.78
Co	5.815	0.022	0.015	-2496.89
Li	13.585	0.001	0.020	-5.85
Sr	4.627	0.040	0.488	22.16
Zr	10.565	0.003	0.039	-21.67

۷ که در منطقه جنوبی دریاچه واقع شده و در گروه نمونه‌های بخش شمالی قرار گرفته‌اند، حذف شده‌اند. در ابتدا برای شناسایی دامنه تغییرات عنصر سرب در دو بخش شمالی و جنوبی، نمودار جعبه‌ای رسم شد (شکل ۵ الف). همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد، سرب در بخش جنوبی دریاچه از پراکندگی کم‌تری برخوردار می‌باشد. دامنه توزیع این عنصر در بخش شمالی بیش‌تر است. بنابراین نبود اختلاف میانگین سرب در دو بخش دریاچه نشان‌دهنده همسان بودن توزیع غلظت این عنصر در دو بخش نیست. ضمناً در منطقه جنوبی دریاچه، سرب

با توجه به همبستگی سرب با دیگر عناصر، به ویژه عناصری که بیش‌ترین تمرکز را در بخش شمالی دریاچه دارند، اصولاً باید غلظت سرب باید در بخش شمالی بیش‌تر از بخش جنوبی آن باشد، اما نتایج آماری آن را نشان نمی‌دهند. به منظور درک علت نبود اختلاف میانگین عنصر سرب در بخش‌های شمالی و جنوبی دریاچه، و شناسایی منشأهای احتمالی ورود سرب به دریاچه، آنالیزهای آماری به طور مجزا بر روی نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های شمالی و جنوبی انجام شد. شایان یادآوری است که در این محاسبات، نمونه‌های ۴ و

واکاوی CA نمونه‌های بخش شمالی دریاچه دو خوشه کاملاً مجزا را نشان می‌دهد (شکل ۶). خوشه A از دو زیرخوشه A1 (Cr, V, Sc, Ni, Ti, Co, Li و Zr) و A2 (Cu, Pb و Zn) تشکیل شده است. همبستگی بهتر عنصر سرب با عناصر دیگر در شکل ۶ کاملاً مشهود است. کانی‌های سیلیکاتی، اکسیدی (برای زیر خوشه A1) و سولفیدی (برای زیرخوشه A2) ناشی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی مناطق بالادست در رسوبات آواری رودخانه قزلجه سو و رخنمون‌های پیرامون دریاچه می‌توانند منشأ این عناصر باشند. خوشه B از سه عنصر Sr, Ca, Mn ساخته شده که می‌تواند وابسته به رسوبات کربناته بستر دریاچه باشد. البته همبستگی Mn با دو عنصر دیگر بسیار کم است (جدول ۷) و وجود منشأ دیگری محتمل است. این در حالی است که واکاوی CA برای نمونه‌های منطقه جنوبی حالت متفاوتی را نمایش می‌دهد (شکل ۶). در شکل ۶ برای نمونه‌های بخش جنوبی، دو دسته کلی از عناصر دیده می‌شود. خوشه A متشکل از دو زیرخوشه A1 (عناصر Sr و Ca, Mn) و زیرخوشه A2 (عناصر Cu, Cr, V, Ni, Ti, Co, Sc, Zr و Li) می‌باشد. شاخه B فقط از عنصر Pb ساخته شده است. شاخه A نشانگر دو بخش کربناته و آواری رسوبات بوده و منشأ زمین-شناسی دارد. شاخه B از منشأ انسانی است زیرا در شاخه عناصر مرتبط به زمین‌شناسی منطقه قرار نگرفته و رفتاری کاملاً متفاوت نشان می‌دهد. عنصر Mn با Ca و Sr ارتباطی خوب دارند. البته Mn با عناصر دیگر نیز همبستگی خوبی داشته و شناساگر خوبی در این بخش از دریاچه نیست. با این حال با توجه به آنالیز CA، می‌توان منشأ Mn را احتمالاً از آب‌های کف جوش دریاچه در نظر گرفت.

وجود دو دسته کاملاً مجزا در نتایج به‌دست آمده از آنالیز PCA رسوبات بخش شمالی دریاچه نیز نشانگر دو منشأ متفاوت برای فلزات مورد بررسی در این بخش است (شکل ۷). گروه عناصر Cr, V, Sc, Ni, Ti, Co, Li و Zr و گروه Cu, Pb و Zn کاملاً جدا از عناصر Sr, Mn و Ca می‌باشند. فاصله عنصر Mn از عناصر Sr و Ca نبود همبستگی آن‌ها نشان می‌دهد که عنصر منگنز منشأیی جدا از کربنات‌ها می‌تواند داشته باشد. این عنصر به دلیل پراکندگی در رسوبات دریاچه، ممکن است از راه چشمه‌های کف دریاچه به محیط وارد شده باشد.

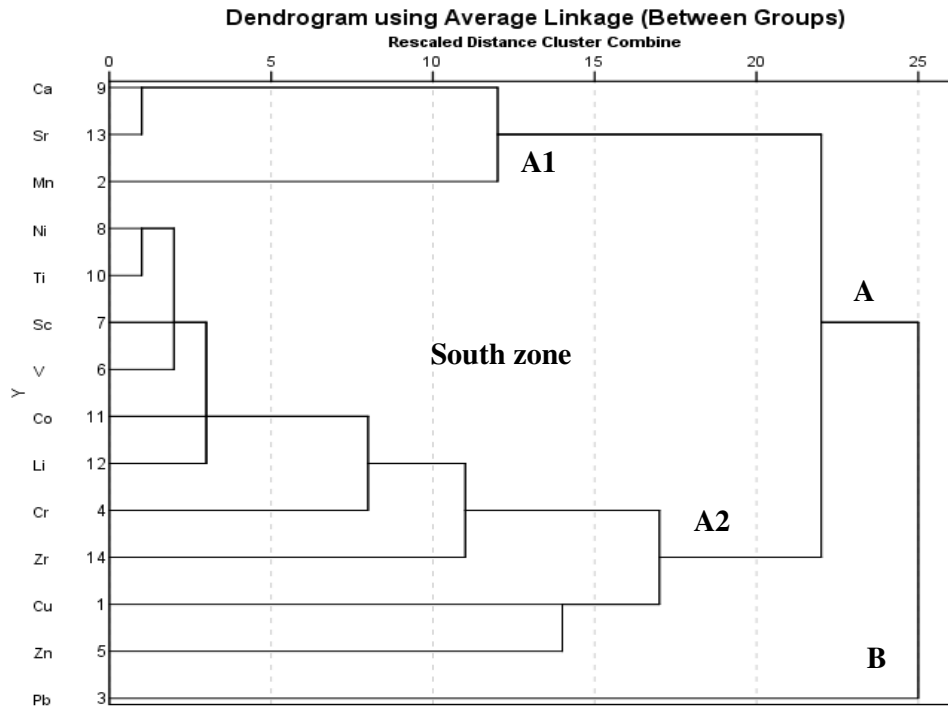
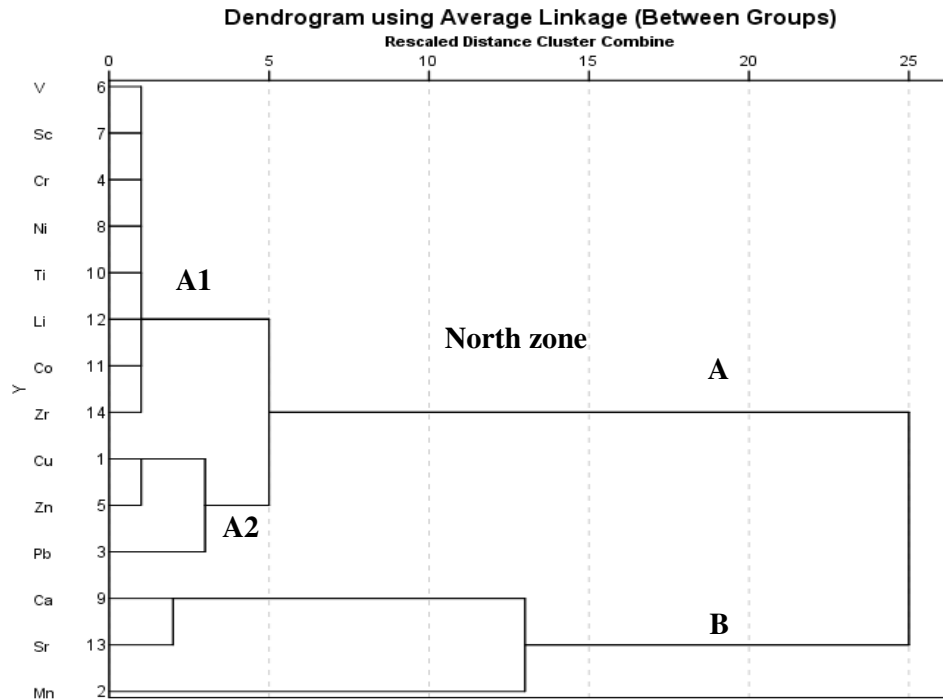
موجود در نمونه Zr-6 از محدوده توزیع آن بسیار خارج است. غلظت سرب در این نمونه نسبت به دیگر نمونه‌های موجود در بخش جنوبی بسیار بیش‌تر است.

شکل ۵ ب نیز نشانگر نحوه توزیع عنصر سرب در دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه است. توزیع یکنواخت (توزیع نرمال) و دامنه تغییرات بیش‌تر سرب در بخش شمالی کاملاً شناخته شده است. در بخش جنوبی سرب دامنه تغییرات اندکی داشته و فقط یک نمونه (نمونه Zr-6) دارای غلظتی بسیار بیش‌تر از دیگر نمونه‌ها (حتی بیش‌تر از نمونه‌های بخش شمالی) می‌باشد. این نمونه در بخش جنوب خاوری دریاچه قرار گرفته است (شکل ۱).

با توجه به جدایی دریاچه به دو بخش شمالی و جنوبی، واکاوی‌های آماری چندمتغیره به تفکیک برای هر یک از این بخش‌ها انجام شده است.

جدول ۷ نتایج ماتریس همبستگی بین عناصر مورد بررسی را در دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه زیروار نشان می‌دهد. در بخش شمالی، همبستگی قوی مثبت بین عناصر Cu, Pb, Cr, Zn, V, Sc, Ni, Ti, Co و Zr دیده می‌شود. همبستگی Pb با دیگر فلزات این گروه به ویژه Zn ($r = 0.849$) و Cu ($r = 0.843$) به مراتب بهتر شده است. این مطلب نشانگر منشأ یکسان برای این عناصر است. همبستگی مثبت قوی بین Ca و Sr (0.925) نیز نشانگر منشأ یکسان برای این عناصر است. مسئله مهم، نبود همبستگی عنصر Mn با دیگر عناصر می‌باشد.

آنالیز ماتریس همبستگی عناصر در بخش جنوبی نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند. همبستگی عناصر Cu, Cr, Zn, V, Sc, Ni, Ti, Co و Zr با یکدیگر کاهش یافته و حتی بعضی از عناصر این مجموعه ارتباط خود را با برخی دیگر از دست داده‌اند. عنصر Cu و Zn به عنوان عناصر کالکوفیل با یکدیگر ارتباط متوسطی دارند. دیگر عناصر لیتوفیل (V, Sc, Ti, Zr, Co, Cr و Ni) همبستگی قوی مثبت با هم دارند. عنصر Mn ارتباط مثبت با بیش‌تر عناصر دارد. همبستگی Ca و Sr نیز به مانند بخش شمالی دریاچه، بسیار قوی ($r = 0.987$) می‌باشد. عنصر سرب در این جدول با هیچ یک از عناصر موجود در رسوبات ارتباط معنی‌داری نشان نمی‌دهد. این بدان معناست که سرب عمدتاً از منشأیی متفاوت از دیگر عناصر در بخش جنوبی حضور دارد.



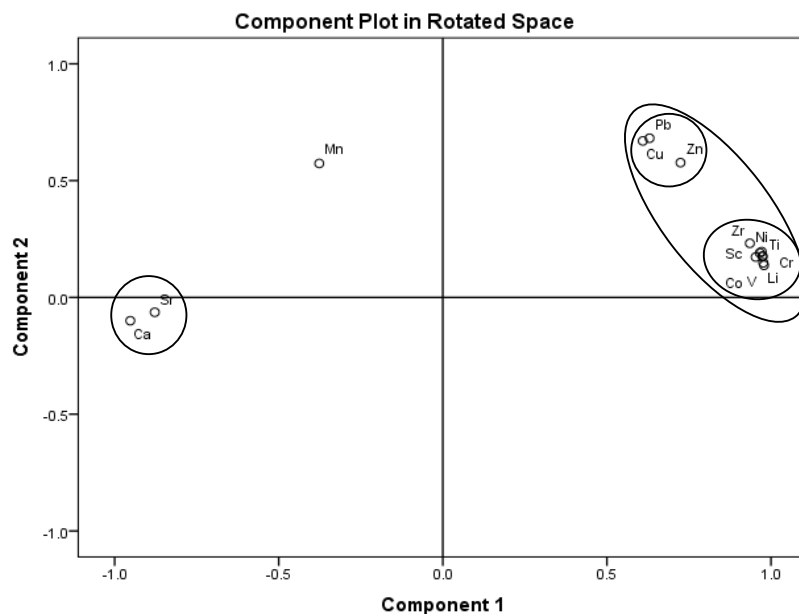
شکل ۶. در نمودار واکاوی خوشه‌ای نمونه‌های بخش شمالی دریاچه زریوار دو خوشه کاملاً جدا دیده می‌شود. همبستگی سرب با دیگر عناصر به ویژه روی و مس بیشتر شده است. در حالی که در نمودار واکاوی خوشه‌ای نمونه‌های بخش جنوبی دریاچه، سرب در یک خوشه کاملاً جداگانه قرار گرفته است.

جدول ۷. یافته‌های واکاوی ماتریس همبستگی میان عناصر مورد بررسی به طور جداگانه در دویخش شمالی و جنوبی دریاچه زریوار

	Cu	Mn	Pb	Cr	Zn	V	Sc	Ni	Ca	Ti	Co	Sr	Zr
Cu	1												
Mn	.491*	1											
Cr	.440	.523*	.226	1									
Zn	.512*	.481	.244	.396	1								
V	.369	.586*	.202	.655**	.400	1							
Sc	.435	.692**	.151	.784**	.518*	.907**	1						
Ni	.441	.565*	.179	.759**	.591*	.916**	.918**	1					
Ca	.194	.574*	-.131	.079	.260	.190	.369	.072	1				
Ti	.440	.652**	.159	.726**	.580*	.949**	.966**	.968**	.231	1			
Co	.297	.544*	.033	.666**	.335	.907**	.881**	.916**	.051	.924**	1		
Sr	.194	.553*	-.170	.069	.223	.081	.296	-.009	.987**	.141	-.038	1	
Zr	.233	.224	.167	.596*	.182	.710**	.503*	.734**	-.384	.629**	.680**	-.452	1
Cu	1												
Mn	-.117	1											
Pb	.843**	.042	1										
Cr	.674*	-.218	.677*	1									
Zn	.960**	-.178	.849**	.768**	1								
V	.723**	-.260	.697*	.991**	.819**	1							
Sc	.724**	-.253	.700*	.989**	.825**	.996**	1						
Ni	.694*	-.191	.732**	.989**	.786**	.982**	.973**	1					
Ca	-.602*	.262	-.714**	-.921**	-.717**	-.918**	-.907**	-.936**	1				
Ti	.690*	-.198	.696*	.989**	.787**	.988**	.980**	.991**	-.935**	1			
Co	.627*	-.138	.706*	.973**	.730**	.952**	.944**	.985**	-.931**	.968**	1		
Sr	-.437	.070	-.639*	-.860**	-.529	-.824**	-.808**	-.890**	.925**	-.887**	-.896**	1	
Zr	.676*	-.138	.720**	.963**	.781**	.965**	.972**	.945**	-.919**	.962**	.929**	-.845**	1

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

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



شکل ۷. نمودار واکاوی PCA برای نمونه‌های بخش شمالی دریاچه زریوار. جدایی عناصر به دو دسته روی شکل مشخص است.

می‌رسد سرب از منشأ کاملاً جداگانه تامین شده است. عبور رودخانه مریوان رود از میان شهر مریوان و ورود آن به دریاچه از سمت جنوب‌خاور دریاچه و نیز ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی به این منطقه می‌تواند به عنوان منشأ سرب در بخش جنوبی و جنوب‌خاوری دریاچه در نظر گرفته شود. حضور بیش‌ترین مقدار عنصر سرب در نمونه Zr-6 که در نزدیکی مناطق شهری و ورود روان‌آب‌های شهری به دریاچه زیروار قرار دارد، نیز گواهی بر منشأ غیرطبیعی این عنصر در مناطق جنوبی دریاچه است.

واکاوی PCA نمونه‌های بخش جنوبی دریاچه زیروار نشان دهنده ۳ مؤلفه است (جدول ۸). مؤلفه ۱ شامل عناصر Cu, Cr, V, Ni, Ti, Co, Sc, Li و Zr می‌باشد. این مجموعه اجزای سازنده کانی‌های برگرفته از سنگ‌های دگرگونی و آذرین پیرامون دریاچه هستند. مؤلفه دو از عناصر Ca, Mn, Sr ساخته شده که نشانگر رسوبات کربنات کلسیمی بستر دریاچه هستند. خاطر نشان می‌شود که همبستگی منگنز با دو Ca و Sr کمتر از همبستگی دو عنصر Ca و Sr با یکدیگر است. مؤلفه سوم شامل Zn و Pb می‌شود. با توجه به آنالیز CA و این که سرب و روی در دو شاخه جداگانه هستند، به نظر

جدول ۸. یافته‌های واکاوی PCA با چرخش واریماکس برای نمونه‌های بخش جنوبی دریاچه زیروار

	Rotated Component Matrix ^a		
	Component		
	1	2	3
Cu	.416	.332	.286
Pb	.057	-.222	.859
Cr	.777	.080	.244
Zn	.395	.362	.600
V	.939	.100	.098
Ni	.960	.047	.197
Ca	.034	.958	-.020
Ti	.949	.197	.167
Co	.961	.003	-.068
Sr	-.046	.970	-.035
Mn	.589	.648	-.017
Sc	.907	.330	.155
Li	.883	.043	.279
Zr	.779	-.453	.020

Ca و Sr نیز از سنگ‌های کربناته موجود در حوضه آبریز دریاچه منشأ گرفته‌اند. به نظر می‌رسد عنصر Mn ناشی از چشمه‌های کف‌جوش دریاچه باشد. بنابراین در این بخش از دریاچه تمام عناصر فلزی مورد بررسی از منشأ زمین‌شناسی می‌باشند.

در بخش جنوبی دریاچه توزیع مکانی این فلزات متفاوت می‌باشد. مجموعه عناصر Cu, Cr, Zn, V, Ni, Ti, Co, Sc, Zr و Li و نیز مجموعه عناصر Ca, Sr و Mn به مانند بخش شمالی از منشأ زمین‌شناسی می‌باشند. با توجه به ورود عناصر مجموعه اول از شمال و شمال‌خاور به دریاچه، و نبود یک جریان مناسب و قوی برای جابجایی رسوبات در سطح دریاچه، مقادیر این عناصر در بخش جنوبی به مراتب کمتر از بخش شمالی است. در این میان عنصر سرب رفتاری متفاوت با دیگر فلزات نشان می‌دهد. آنالیزهای خوشه‌ای و مؤلفه‌های اصلی عناصر موجود در

۴- نتیجه‌گیری

روش‌های آماری تک‌متغیره (ماتریس همبستگی) و چند متغیره (PCA و CA) به عنوان ابزاری برای شناسایی منشأ عناصر فلزات در رسوبات دریاچه زیروار مورد بهره‌گیری قرار گرفته است. بدین ترتیب منشأ طبیعی و انسانی فلزات در نمونه‌های رسوبی شناسایی شد.

برای شناسایی منشأ فلزات Cu, Cr, Zn, V, Ni, Ti, Co, Sc, Zr, Li, Ca, Sr و Mn از واکاوی خوشه‌ای برای نمونه‌های رسوبی بهره‌گیری گردید. بدین ترتیب دریاچه از نظر محتوای عناصر مورد بررسی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شد.

در بخش شمالی عناصر Cu, Cr, Zn, V, Ni, Ti, Pb, Co, Sc, Zr و Li از سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه بالادست منشأ گرفته که توسط رودخانه‌های فصلی موجود، به ویژه قزلجه، به این بخش وارد شده‌اند. عناصر

- [۵] رائین، ا.، سپاهی‌گرو، ع.، معین‌وزیری، ح.، و آلیانی، ف (۱۳۸۹) پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های پلوتونیک منطقه‌ی مریوان در زون سنندج-سیرجان. پترولوژی، ۲: ۴۳-۵۹.
- [۶] رفیعی، ب.، حسین‌پناهی، ف.، شکیب‌آزاد، ع.، و صادقی‌فر، م (۱۳۹۳) بررسی پراکندگی و منشأ فلزات سنگین (Ni, V, Co, Mn, Ti) در رسوبات بستر دریاچه زریوار. رسوب‌شناسی کاربردی، ۳: ۱-۱۱.
- [۷] مهندسین مشاور آساراب (۱۳۸۷) مطالعات لیمنولوژیکی و حفظ تعادل اکولوژیک دریاچه زریوار - مریوان، استانداری کردستان.
- [8] Boruvka, L., Vacek, O., Jehlicka, J (2005) Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128: 289-300.
- [9] Casado-Martinez, M.C., Forja, J.M., DelValls, T.A (2009) A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports. *Journal of Hazardous Material*, 163: 1353-1359.
- [10] Chung, C.Y., Chen, J.J., Lee, C.G., Chiu, C.Y., Lai, W.L., Liao, S.W (2011) Integrated estuary management for diffused sediment pollution in Dapeng Bay and neighboring rivers (Taiwan). *Environmental Monitoring and Assessment*, 173: 499-517.
- [11] Everitt, B.S (1993) Cluster analysis. Heineman. Academic Press, London, 170 p.
- [12] Facchinelli, A., Sacchi, E., Mallen, L (2001) Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114: 313-324.
- [13] Filgueiras, A.V., Lavilla, I., Bendicho, C (2004) Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. *Science of the Total Environment*, 330: 115-129.
- [14] Gleyzes, C., Tellier, S., Astruc, M (2002) Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. *Trends in Analytical Chemistry* 21(6): 451-467.
- [15] Jolliffe, I.T (1986) Principal component analysis. Springer-Verlag, New York, 246 p.
- [16] Lu, X.W., Wang, L.J., Li, L.Y., Lei, K., Huang, L., Kang, D (2010) Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 744-749.
- [17] Oyewale, A.O., Funtua, I.I (2003) Copper and Zinc levels in soils along Kaduna-Zaria Highway, Nigeria - Estimation of pollution level. *Scientia*, 2(1), 26-32.

رسوبات بخش جنوبی نشان می‌دهد که عنصر سرب بیش‌تر منشأ انسانی داشته و از مناطق جنوب و جنوب خاور توسط رودخانه مریوان‌رود که از شهر مریوان گذر می‌کند، به دریاچه وارد می‌شود. وجود سرب در بنزین (که در گذشته نه چندان دور مصرف می‌شده) و صنایع موجود در شهر مریوان از منابع اصلی این عنصر می‌باشند. جداسازی نمونه‌های رسوبی دریاچه به دو بخش شمالی و جنوبی، به کارگیری روش‌های آماری ماتریس همبستگی، مقایسه میانگین‌ها، آنالیزهای خوشه‌ای و مؤلفه‌های اصلی، منشأ زمین‌شناسی را برای عناصر Ni, V, Zn, Cr, Ti, Co, Sc, Li, Ca, Sr, Mn و منشأ دوگانه زمین‌شناسی و انسانی را برای عنصر سرب نشان می‌دهد. برای شناسایی دقیق منشأ هر یک از عناصر، بررسی‌های تکمیلی شامل نمونه‌برداری از رخنمون‌های پیرامون دریاچه، مغزه‌گیری از رسوبات دریاچه به منظور بررسی تغییرات مقادیر عناصر طی زمان در هر ایستگاه نمونه‌برداری و نیز بررسی ایزوتوپی عنصر سرب پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

در اینجا لازم است از دانشگاه بوعلی‌سینا همدان به دلیل پشتیبانی مالی سپاسگزاری نماییم. بدین‌وسیله از سازمان زمین‌شناسی کشور برای در اختیار قراردادن نمونه‌ها و انجام واکاوی‌های شیمیایی قدردانی می‌نماییم.

منابع

- [۱] ابراهیم‌پور، ص.، محمدزاده، ح.، و محمدی، ا (۱۳۹۰) بررسی کیفیت آب دریاچه‌ی تالابی زریوار و پهنه‌بندی آن با استفاده از شاخص‌های کیفی (OWQI) و (NSFWQI) و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۲] ابراهیم‌پور، ص.، و محمدزاده، ح (۱۳۹۱) کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار و هیدروژئوشیمی به منظور بررسی منشأ و تغییرات کیفی منابع آب حوضه آبریز دریاچه زریوار. نشریه آب و خاک، ۲۶ (۴): ۱۰۳۱-۱۰۱۸.
- [۳] احمدیان شالچی، ن (۱۳۸۹) چشم‌اندازهای جغرافیایی ایران. مشهد، بنیاد پژوهش‌های اسلامی، ۴۳ صفحه.
- [۴] رائین، ا (۱۳۸۸) پترولوژی سنگ‌های پلوتونیک و دگرگونی منطقه مریوان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه بوعلی‌سینا، گروه زمین‌شناسی.

- [29] Yu, K.C., Chang, C.Y., Tsai, L.J., Ho, S.T (2000) Multivariate analyses on heavy metal binding fractions of river sediments in Southern Taiwan. *Water Science and Technology*, 42:193–199.
- [30] Zhu, H.N., Yuan, X.Z., Zeng, G.M., Jiang, M., Liang, M., Liang, J., Zhang, C., Yin, J., Huang, H.J., Liu, Z.F., Jiang, H.W (2012) Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 22: 1470–1477.
- [18] Qu, W.C., Kelderman, P (2001) Heavy metal contents in the Delft canal sediments and suspended solids of the River Rhine: multivariate analysis for source tracing. *Chemosphere*, 45: 919–925.
- [19] Simpson, S.L., Batley, G.E., Chariton, A.A., Stauber, J.L., King, C.K., Chapman, J.C., Hyne, R.V., Gale, S.A., Roach, A.C., Maher, W.A (2005) *Handbook for Sediment Quality Assessment*. CSIRO, Bangor, NSW, 117 p.
- [20] Stocklin, J (1968) Structural history and tectonics in Iran, a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7): 1229-1258.
- [21] Sun, Y.B., Zhou, Q.X., Xie, X.K., Liu, R (2010) Spatial sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 455–462.
- [22] Tahri, M., Benyaich, F., Bounakhla, M., Bilal, E., Gruffat, J.J., Moutte, J., Garcia, D (2005) Multivariate analysis of heavy metal contents in soils, sediments and water in the region of Meknes (central Morocco). *Environmental Monitoring and Assessment*, 102: 405–417.
- [23] Tang, W., Zhao, y., Wang, C., Shan, B., Cui, J (2013) Heavy metal contamination of overlying waters and bed sediments of Haihe Basin in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98: 317–323.
- [24] Tariq, S.R., Shah, M.H., Shaheen, N., Khalique, A., Mansoor, S., Jaffar, M (2006) Multivariate analysis of trace metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: a case study from Peshawar, Pakistan. *Journal of Environmental Management*, 79: 20–29.
- [25] Tokalioglu, S., Kartal, S (2006) Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40: 2797–2805.
- [26] Upadhyay, A.K., Gupta, K.K., Sircar, J.K., Deb, M.K., Mundhara, G.I (2006) Heavy metals in freshly deposited sediments of the river Subernarekha, India: an example of lithogenic and anthropogenic effects. *Environmental Geology* 50:397–403.
- [27] van Zeist W., Wright H.E (1963) Preliminary pollen studies at Lake Zeribar, Zagros Mountaines, southwestern Iran. *Science*, 140: 65-67.
- [28] Wang, X.S., Qin, Y., Sang, S.X (2005) Accumulation and sources of heavy metals in urban topsoils: a case study from the city of Xuzhou, China. *Environmental Geology*, 48:101–107.