

مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب در رسوبات بستر دریاچه ارومیه

صمد علیپور^۱، خدیجه موسوی^۲، ابتسام حسینی^۲، شعله اصلان پور^۲ و زینب حاصلی^۲

استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه فوق اشباع از نمک در جهان است که در میان استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در شمال باختر ایران جای دارد. در این پژوهش ژئوشیمی عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب ۱۳۰ نمونه که از ۲۵ سانتی متری پایانی گمانه حفر شده با ژرفای یک و نیم متری میان سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ برداشت شده است؛ بررسی شد. مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی نشان‌دهنده گوناگونی و ناهمگنی زیاد در مقدار اکسید عناصر اصلی در رسوبات بخش‌های شمال باختر، شمال خاور، جنوب باختر و جنوب بستر دریاچه است. نتایج تجزیه طیف سنج پراش پرتو ایکس (XRD) رسوبات نشان می‌دهد که فاز اصلی کانی‌های رسوبات دریاچه را کانی‌های هالیت، کلسیت، آنکرت، کوآرتز، ارتو کلاز، کلریت، آلپیت، ژپس، پلاژیو کلاز، اوژیت، آمفیبول و هورنبلند تشکیل می‌دهند و رسوبات بستر دریاچه ارومیه از دید ترکیب کانی شناختی شبیه کانی‌های عمومی تشکیل‌دهنده شیل و ماسه سنگ گری وک هستند. در میان اکسیدهای عناصر اصلی، CaO، MgO و Na₂O غنی‌شدگی بالایی نسبت به استانداردهای PAAS، UCC و NASC نشان می‌دهند. از مجموعه عناصر جزیی Rb و Sr نسبت به PAAS، UCC و NASC غنی‌شدگی بسیار بالایی همراه با تهی‌شدگی Eu به‌ویژه در بخش جنوب باختر دریاچه نشان می‌دهند. مقایسه ترکیب ژئوشیمیایی رسوبات ژرفای مورد مطالعه، با سنگ‌های پیرامون دریاچه نشان از کنترل اصلی ترکیب کانی شناختی توسط زمین شناسی پیرامون دریاچه در مقایسه با کانی شناسی آورد رسوبی رودخانه‌ها دارد.

کلیدواژه‌ها: ژئوشیمی، کانی شناسی، رسوبات بستر، دریاچه ارومیه، ایران

*نویسنده مسئول: صمد علیپور

E-mail: Alipour_Samad@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

سرنوشت مواد حمل شده به درون حوضه‌ها و همچنین عامل‌های کنترل کننده توزیع ژئوشیمیایی رسوبات دریاچه‌ها در طول فرسایش، هوازدهی و رسوب گذاری به کار گرفته شود (Last and Smol., 2001; Jin et al., 2001; Bianchi et al., 2002; Das and Haake, 2003; Rose et al., 2004). با توجه به کمبود اطلاعات از کیفیت رسوبات کف دریاچه ارومیه و ضرورت این اطلاعات، بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب رسوبات بستر دریاچه ارومیه برای گسترش اطلاعات بنیادی و کاربردی، موضوع این پژوهش را تشکیل می‌دهد.

۲- روش مطالعه

برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی حدود ۲ کیلوگرم از ۱۳۰ نمونه رسوب از بستر دریاچه ارومیه توسط دستگاه اوگر دستی از ۲۵ سانتی متری انتهایی بخش ژرفای ۱/۵ متری از ۱۳۰ گمانه‌های حفر شده برداشت شد (شکل ۱- الف). رسوبات این ژرفا به منظور دستیابی به رسوبات عاری از تأثیرات آلاش‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی و زیست محیطی در حوضه حمل رسوبات دریاچه ارومیه انتخاب شد. پس از خشک کردن نمونه‌ها در هوای آزاد، یک چهارم از کل نمونه‌های گرفته شده برای تجزیه آسیاب و از سرند ۲۰۰- عبور داده شدند. به منظور شناسایی ترکیب شیمیایی عناصر اصلی و جزیی و خاکی کمیاب ۴۹ نمونه برای انجام تجزیه طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و پلاسما مزودج القایی- طیف نگاری جرمی (ICP-MS) و ۱۵ نمونه برای انجام تجزیه طیف سنج پراش پرتو ایکس (XRD) در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما در تهران آزمایش و اندازه‌گیری شد. در این مقاله از ضریب همبستگی پیرسون که با از نرم افزار SPSS10 به دست آمده، برای تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده است. همه داده‌ها نسبت به استانداردهای PAAS، UCC و NASC برای استفاده از همبستگی پیرسون بهنجار شده‌اند.

۳- فیزیوگرافی و زمین شناسی دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه بزرگترین بدنه آب شور در خاورمیانه با مساحتی متغیر میان ۵۲۰۰ تا

دریاچه ارومیه در میان استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در مختصات جغرافیایی ۳۷° ۴۲' درجه شمالی و ۱۹° ۴۵' درجه خاوری در شمال باختر ایران جای گرفته است. این دریاچه در سال‌های گذشته از دید کیفیت آب، آب شناسی و آب زمین شیمی توسط پژوهشگرانی چون (Abich, 1856; Tamaddon, 1971; Kelts and Shahrabi, 1986; Jamshidi, 2002; Asem et al., 2010; Asem and Mahmoudi, 2013) نیز مطالعاتی توسط (Eimanifar and Mohebbi (2007), Hassanzadeh et al. (2011), Tourian et al. (2015) و Alipour and Olya (2015) انجام شده است. مطالعات سیستماتیک در ارتباط با رسوبات بستر دریاچه ارومیه توسط علیپور و همکاران (۱۳۹۲)، موسوی اونلقی و علیپور (۱۳۹۳)، موسوی اونلقی و همکاران (۱۳۹۳) و حاصلی مبارک آبادی و همکاران (۱۳۹۲) در قالب چندین پایان‌نامه کارشناسی ارشد انجام و نتایج تلفیقی این پژوهش‌ها در این مقاله بیان شده است.

ژئوشیمی عناصر جزیی در این رسوبات از عواملی مانند ویژگی‌های سنگ منبع، هوازدهی حوضه آبریز، جورشدگی و فرایندهای رخ داده در طول حمل و نقل، رسوب گذاری و واکنش‌های پس از رسوب گذاری تأثیر می‌پذیرند. ژئوشیمی رسوبات دریاچه‌ای می‌تواند نقش مؤثری در آشکار کردن هوازدهی حوضه آبریز، تغییرات زیست محیطی و بازسازی آب و هوای گذشته ایفا کند (Last and Smol, 2001; Jin et al., 2001; Laird et al., 2003; Rose et al., 2004). الگوی توزیع عناصر اصلی، جزیی و خاکی کمیاب در سامانه‌های متفاوت بدنه‌های آبی در مقایسه با الگوی آنها در سنگ منبع برای مطالعات ژئوشیمیایی و رسوب شناختی در سامانه‌ها و ساختمان‌های مختلف ضروری است (Goldstein and Jacobsen, 1988; Dupre et al., 1990; Elderfield et al., 1990; Bau, 1993; Knappe et al., 2005).

عناصر خاکی کمیاب در طی هوازدهی وارد رسوبات بستر دریاچه‌ها می‌شوند. از La تا Lu عناصر خاکی کمیاب نشان‌دهنده محدوده گوناگونی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی هستند که در بخش‌های مختلفی از پوسته زمین تفکیک پیدا می‌کنند (Das and Haake, 2003). تفاوت در رفتار ژئوشیمیایی برخی از این عناصر مانند Rb, Sr, Zr, Cr, Pb, Th, Ga, Sc و REEs می‌تواند به عنوان شاخص مفیدی برای تعیین فرایندهای زمین شناسی، منشأ و ساختار زمین ساختی حوضه‌های رسوبی،

۴- ژئوشیمی

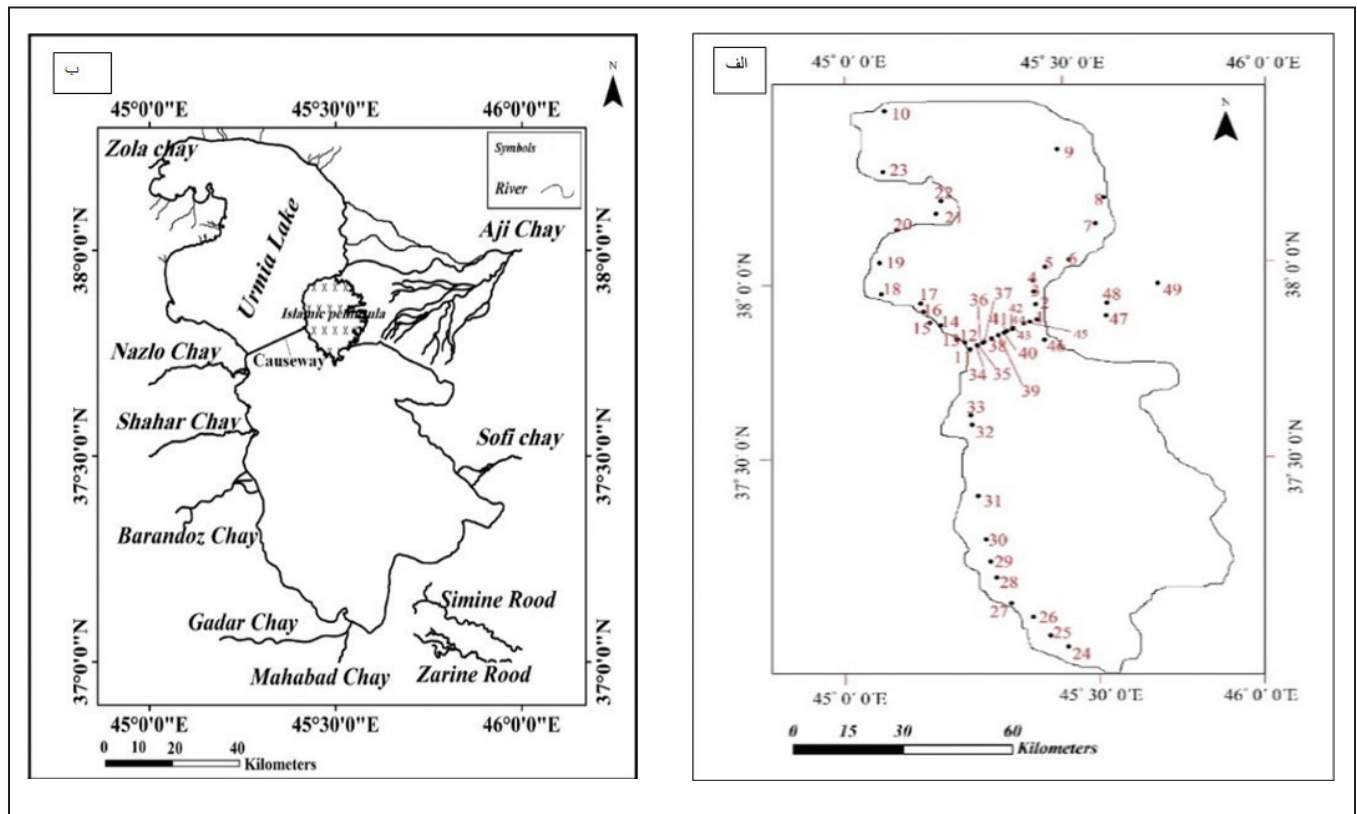
۴-۱. ژئوشیمی عناصر اصلی

مقدار توزیع عناصر اصلی رسوبات بستر دریاچه ارومیه در جدول ۱ تنظیم شده است. میانگین عناصر اصلی در دریاچه نمک ارومیه کمتر از پوسته‌ی قاره‌ای بالایی (UCC) (Taylor and McLennan, 1985)، شیل‌های استرالیایی پس از آرکنن (PAAS) (Taylor and McLennan, 1985) و شیل‌های آمریکای شمالی (NASC) (Gromet et al., 1984) است (جدول ۱). اکسید منیزیم و کلسیم مقدار بالاتری نسبت به استانداردهای یاد شده نشان می‌دهد که به ترتیب به علت حضور سنگ‌های اولترامافیک در حاشیه سواحل دریاچه ارومیه به ویژه در بخش خاوری و ورود املاح از رودخانه‌های وارده به دریاچه با درصد شوری بالاست (جدول ۱).

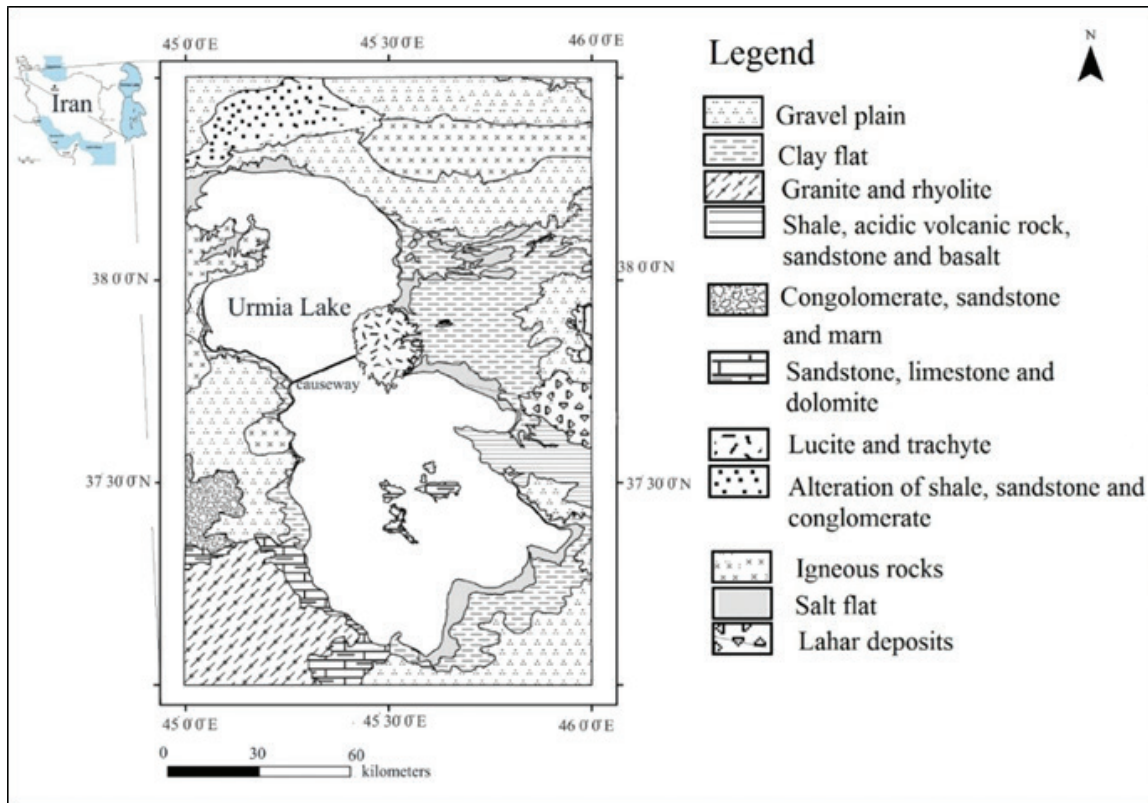
– **ترکیب کانی‌شناختی:** ۱۵ نمونه از رسوبات همگن شده، تجزیه XRD شد (شکل ۳ و جدول ۲). کانی‌های هالیت، کلسیت، آنکرت، کوارتز، ارتوکلاز، کلریت، آلپیت، ژپس، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، اوژیت، آمفیبول و هورنبلند فاز اصلی رسوبات دریاچه ارومیه را شامل می‌شوند (شکل ۳ و جدول ۲). کانی‌های فاز فرعی شامل آراگونیت، کلسیت، دولومیت، ژپس، مسکوویت-آلیت، آلپیت، ارتوکلاز، کلریت، مونت‌موریونیت، میکروکلین، کائولینیت، اسمکتیت، هورنبلند و کربنات هیدروکسی آپاتیت است (شکل ۳ و جدول ۲). از نتایج حاصل از تجزیه XRD برای تفسیر ژئوشیمیایی رسوبات در بخش‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود.

۶۰۰۰ کیلومتر مربع در طول قرن بیستم بوده است (Zarghami, 2011).

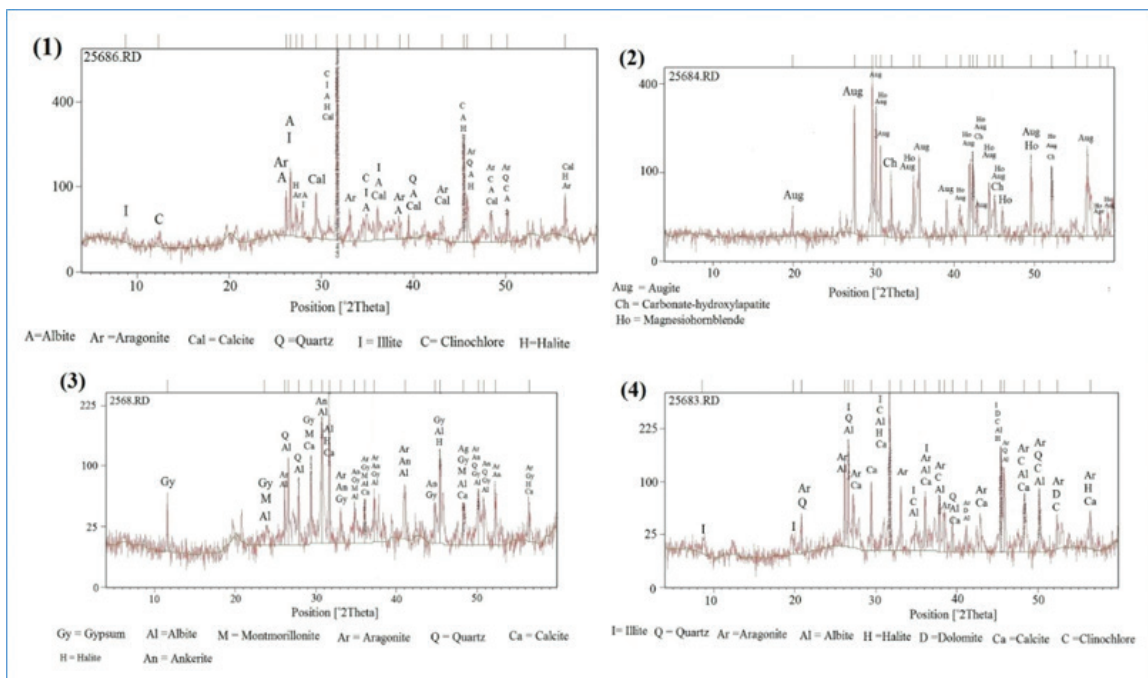
این دریاچه در سال ۱۹۷۱ در عهدنامه رامسر به عنوان یک تالاب مهم بین‌المللی و در سال ۱۹۷۶ توسط سازمان یونسکو به عنوان زیست‌کره حفاظت شده اعلام شد (Birkett and Mason, 1995). بیش از ۲۰ رودخانه دائمی و فصلی به دریاچه وارد می‌شوند (شکل ۱- ب). کمترین و بیشترین ژرفای دریاچه به ترتیب ۶ و ۱۶ متر است (Azari Takami, 1993). امروزه در نزدیکی پل شهید کلاتری ژرفای دریاچه به ۲ تا ۲ و نیم متر رسیده است. زرينه‌رود و سیمینه‌رود در جنوب دریاچه از دید میزان تغذیه آب شیرین، با تأمین در مجموع ۶۰٪ آب ورودی (Alipour, 2006) و آجی‌چای در شمال خاور دریاچه از دید میزان حمل نمک و رسوبات رسی متمایل به رنگ سرخ با سبزی ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر که در این بخش از دریاچه در مسیر خود به جای گذاشته است؛ مهم‌ترین رودخانه‌های وارده به آن هستند (Kelts and Shahrabi, 1986). دریاچه ارومیه دارای جزایر بسیاری است که بزرگ‌ترین آن جزیره‌ی اسلامی است که امروزه به صورت شبه‌جزیره در آمده است. از دید ترکیب سنگی جزیره اسلامی در بخش خاور دریاچه از توالی واحدهای لوسیت-تفریت، تفریت، لوسیت-بازانیت و بازانیت با میان‌لایه‌های آذرآواری (شکل ۲) و سنگ‌های آذرآواری شامل لاهار، برش‌های آتشفشانی، آگلومرا و توف تشکیل شده است (Moayyed et al., 2008).



شکل ۱- الف) موقعیت نقاط نمونه برداری؛ ب) موقعیت آبراهه‌های اصلی وارده به دریاچه.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی پیرامون دریاچه ارومیه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عجب شیر (محمدیان و حدادان، ۱۳۸۴)، آذرشهر (زیبیه و قمیشی، ۱۳۸۱)، مرند (جمشیدی و افشاریان زاده، ۱۳۷۲)، تسوج (قمیشی و افشاریان زاده، ۱۳۷۱) و اشنویه (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۶۳).



شکل ۳- طیف پراش پرتو ایکس (XRD) برای نمونه‌های ۱ تا ۴.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و L.O.I رسوبات بستر دریاچه ارومیه (بر حسب درصد وزنی).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃ (T)	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₃	TiO ₂	LOI	sun
UL-1	09/31	96/8	71/12	3/6	1/99	5/35	0/08	8/23	0/31	0/51	58/25	41/98
UL-2	42/82	7/49	16/48	5/75	1/58	9/9	0/12	13/1	1/13	1	02/8	4/107
UL-3	47/29	3/53	22/31	5/01	0/53	14/58	0/11	0/78	0/88	0/87	36/1	25/97
UL-4	32/04	7/75	16/36	4/17	1/8	6/01	0/09	6/66	0/8	0/72	59/21	99/97
UL-5	33/62	9/64	11/75	3/7	2/42	5/7	0/06	6/09	0/28	0/55	63/24	44/98
UL-6	22/37	6/78	18/95	2/51	1/67	8/52	0/09	4/51	0/26	0/39	8/32	85/98
UL-7	41/41	13	7/59	4/48	2/71	7/91	0/09	3/15	0/18	0/6	97/16	04/98
UL-8	44/51	13/1	7/04	4/54	2/66	8/28	0/09	2/27	0/18	0/61	72/14	97/97
UL-9	24/65	6/71	21/57	2/39	1/55	4/07	0/05	6/05	0/1	0/32	39/31	85/98
UL-10	46/29	10/8	10/16	4	1/92	6/03	0/09	3/62	0/14	0/69	4/14	13/98
UL-11	48/12	11/4	8/71	3/6	2/41	3/6	0/08	4/22	0/19	0/79	32/15	42/98
UL-12	51/45	12	7/62	4	2/48	3/24	0/08	3/51	0/25	0/92	72/12	22/98
UL-13	47/14	13/3	8/36	4/57	2/67	3/6	0/11	3/34	0/17	0/78	91/13	99/97
UL-14	55/84	12/1	8/01	3/62	2/4	3/11	0/08	2/78	0/23	0/91	32/9	97/98
UL-15	50/89	12/2	9/08	3/56	2/6	3/39	0/08	3/02	0/2	0/74	6/12	26/99
UL-16	51/08	12	7/96	3/58	2/59	3/54	0/06	3/64	0/2	0/78	95/12	01/99
UL-17	52/23	11/6	8/52	3/49	2/4	3/38	0/08	3/27	0/22	0/81	4/12	5/97
UL-18	40/2	11/6	12/85	4/58	2/27	5/97	0/1	1/81	0/16	0/64	79/17	54/97
UL-19	28/65	6/45	27/68	1/84	1/52	3/14	0/04	2/47	0/09	0/37	72/26	74/91
UL-20	24/85	4/54	29/71	1/06	1/47	2/24	0/02	4/12	0/03	0/17	05/13	65/95
UL-21	34/35	5/84	25/94	1/76	1/87	1/56	0/03	3/26	0/05	0/29	06/24	35/97
UL-22	39/65	8/8	16/91	5/77	1/26	4/21	0/16	3/51	0/19	1/96	05/15	5/90
UL-23	50/32	12/6	5/77	5/7	2/58	4/2	0/11	4/89	0/26	1/14	96/9	39/91
UL-24	21/1	4/25	29/9	1/64	0/98	2/47	0/04	6/4	0/06	0/27	63/24	62/95
UL-25	35	7/68	14/8	3/1	1/6	3/02	0/06	6/1	0/13	0/46	7/23	07/95
UL-26	27/3	6/7	18/4	3/04	1/34	3/56	0/06	7	0/11	0/41	43/29	58/96
UL-27	34/5	8/85	14/4	4/14	1/48	3/52	0/08	5/1	0/16	0/71	56/17	87/86
UL-28	30	8/59	14/1	3/65	1/8	4/19	0/07	8/5	0/11	0/49	89/19	8/95
UL-29	28/3	8/16	15/7	3/74	1/61	4.62	0/08	10/9	0/1	0/5	91/21	03/109
UL-30	33/5	8/57	12/7	3/95	1/52	4.57	0/07	6/9	0/14	0/61	54/22	39/103
UL-31	35/7	10/3	12/3	4/79	1/94	6.52	0/08	3	0/19	0/65	11/21	07/102
UL-32	35/3	7/78	19/7	2/75	1/55	2.21	0/04	4/2	0/09	0/38	87/12	76/90
UL-33	32/6	8/38	21/4	2/48	1/19	2.51	0/04	5/8	0/1	0/29	01/21	28/91
UL-34	48/4	12/6	9/88	4/85	2/5	3.49	0/07	3	0/19	0/85	2/23	93
UL-35	41/6	12/2	7/59	5/07	1/89	3.15	0/07	6/6	0/2	0/92	1/24	96/105
UL-36	34/4	9/95	7/97	4/45	1/81	3.44	0/07	11/8	0/16	0/62	4/27	18/103
UL-37	23/5	7/46	17/2	3/43	1/5	4.86	0/05	8/8	0/1	0/36	5/23	67/90
UL-38	23/3	7/03	19/2	3/16	1/29	4/73	0/05	7	0/09	0/33	1/25	5/95
UL-39	22/1	6/92	18/6	3/21	1/49	5/23	0/04	95	0/08	0/33	5/25	5/88
UL-40	42/34	9/19	17/82	3/67	2/14	3/35	0/06	3/27	0/18	0/54	4/23	36/94
UL-41	37/46	9/69	16/77	3/65	1/97	4/64	0/07	5/21	0/2	0/42	1/23	18/103
UL-42	26/15	7/18	16/87	3/16	1/83	3/74	0/05	7/47	0/13	0/39	7/23	67/90
UL-43	27/15	7/45	17/16	3/17	2/1	3/74	0/06	10/1	0/12	0/59	9/23	5/95
UL-44	32	9/23	14/15	4/13	2/26	5/7	0/08	7/27	0/21	0/77	7/12	5/88

ادامه جدول ۱

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃ (T)	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI	sun
UL-45	33/65	10/9	12/17	5/66	1/92	2/41	0/13	7/29	0/33	0/77	1/19	36/94
UL-46	36/31	11	13/58	5/41	2/08	2/96	0/12	3/58	0/36	0/62	5/20	47/96
UL-47	42/84	11/6	12/64	4/76	2/08	4/2	0/1	2/35	0/19	0/71	2/25	65/106
UL-48	49/82	12/6	12/81	4/36	1/92	5/56	0/1	1/02	0/18	0/64	9/19	89/108
UL-49	54/73	11/7	11/99	4/78	1/77	5/45	0/09	0/84	0/19	0/67	3/17	55/109
Sum	1829/9	458	721/84	187/48	92/91	225/4	3/73	257/3	10/6	30/86	-	-
Max	55/84	13/3	29/9	5/77	2/71	14/58	0/16	13/1	1/13	1/96	-	-
Min	21/1	3/53	5/77	1/06	0/53	1/56	0/02	0/78	0/03	0/17	-	-
Average	37/39	9/31	14/85	3/81	1/89	4/735	0/077	5/32	0/23	0/647	-	-
UCC	66	15/2	4/2	5	3/4	2/2	0/08	3/9	-	0/5	-	-
PAAS	62/8	18/9	1/3	7/23	3/7	2/2	0/11	1/2	0/16	1		
NASC	64/8	16/9	3/56	6/33	3/99	2/85	0/06	1/15	0/11	0/78		

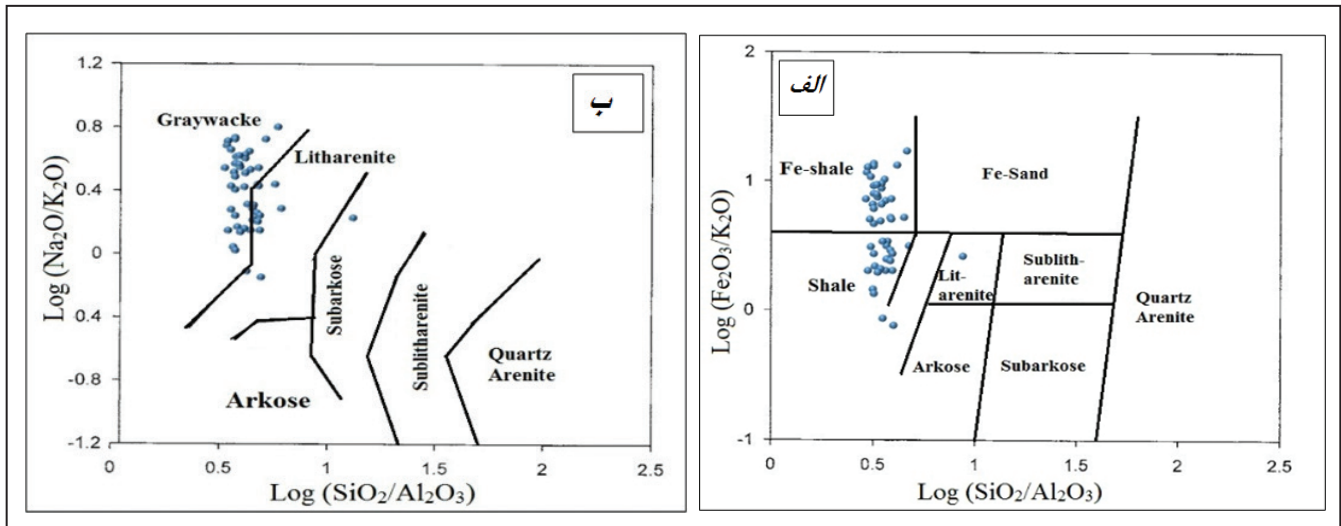
جدول ۲- نتایج تجزیه XRD رسوبات بستر دریاچه ارومیه.

کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی	
هالیت	آراگونیت، کلسیت، مسکوویت-ایلیت، کلریت	۱
اوژیت	هورنبلند، کربنات هیدروکسی آپاتیت	۲
آنکرت، هالیت، کلسیت، کوارتز	آراگونیت، آلپیت، ژپس، مونت موریلونیت	۳
هالیت، آراگونیت، کوارتز، کلسیت	کلسیت، مسکوویت-ایلیت، کلریت، دولومیت، آلپیت	۴
آلیت، کوارتز، کلسیت، ارتوکلاز	هورنبلند، کلریت، مسکوویت-ایلیت-دولومیت-هالیت	۵
کوارتز، آلپیت	ارتوکلاز، کلسیت، هورنبلند، مسکوویت-ایلیت، کلریت، دولومیت، هالیت	۶
آراگونیت، کوارتز، آلپیت	کلسیت، ایلیت، میکروکلین، هالیت، کانولینیت	۷
کوارتز، هالیت، کلسیت، آلپیت	مسکوویت-ایلیت، ژپس، کلریت، مونت موریلونیت، دولومیت، آراگونیت	۸
هالیت، کلریت، کوارتز، آراگونیت	کلریت، مسکوویت-ایلیت، آلپیت، دولومیت	۹
کوارتز، آلپیت، کلسیت	کلریت، مسکوویت-ایلیت، هورنبلند، ارتوکلاز، دولومیت، آراگونیت، هالیت	۱۰
هالیت، آراگونیت، کوارتز، آلپیت	کلریت، مسکوویت-ایلیت	۱۱
کوارتز، هالیت، کلسیت، آمفیبول	مسکوویت-ایلیت، اسمکتیت، کانولینیت	۱۲
کوارتز، هالیت، کلریت، هورنبلند	مسکوویت-ایلیت، آمفیبول، ژپس، مونت موریلونیت	۱۳
کوارتز، ژپس، پلاژیوکلاز	کانولینیت، کلریت، مسکوویت-ایلیت، اسمکتیت	۱۴
کوارتز، کلسیت، پلاژیوکلاز	اسمکتیت، کلریت، مسکوویت-ایلیت، کانولینیت	۱۵

– ترکیب سنگ‌شناختی: برای تعیین ترکیب سنگ‌شناختی کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات از نمودار Pettijohn et al. (1972) استفاده شد که نمونه‌ها در محدوده شیل (Shale) تا شیل آهن‌دار (Fe-Shale) جای دارند (شکل ۴-الف). در حالی که در نمودار Herron (1988) نمونه‌ها در محدوده گری وک تا لیتارنایت جانمایی می‌شوند (شکل ۴-ب). در حالت کلی، بررسی نمونه‌ها نشان می‌دهد که احتمالاً رسوبات وارده به دریاچه ارومیه در پایان تبدیل به سنگ رسوبی شیل خواهند شد.

– همبستگی میان عناصر اصلی: محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون میان عناصر اصلی (جدول ۳)، نشان‌دهنده همبستگی مثبت قوی میان SiO_2 (0.56) و K_2O

(0.59) TiO_2 ، (0.53) Fe_2O_3 و (0.73) Al_2O_3 است که احتمالاً از جایگزینی و هم‌بافتی پتاسیم و آلومینیم در ساختمان کانی‌هایی مانند مسکوویت- ابلت و کلریت حاصل شده است. همبستگی سیلیسیم با آهن و تیتانیوم احتمالاً به علت حضور کانی‌های مافیک مانند آمفیبول و پیروکسن در رسوبات بستر دریاچه و در سنگ‌های مافیک شمال دریاچه و ذخیره تیتان قره‌آعاج (امامعلی‌پور و همکاران، ۱۳۷۸) ارومیه است. ضرایب همبستگی پیرسون میان CaO با Fe_2O_3 (-0.66)، MnO (-0.49)، K_2O (-0.74) و TiO_2 (-0.51) نشان‌دهنده همبستگی منفی اکسید کلسیم با دیگر اکسیدهای موجود در منطقه است که احتمالاً کلسیم بیشتر در منطقه به صورت کانی کرنات‌ها حضور دارد (جدول ۳).



شکل ۴- جانمایی نمونه‌های رسوبی در نمودارهای رده‌بندی ژئوشیمیایی: الف) (Pettijohn et al. (1972)؛ ب) نمودار (Herron (1988).

جدول ۳- ضرایب همبستگی محاسبه شده به روش پیرسون میان عناصر اصلی دریاچه ارومیه.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2
SiO_2	1									
Al_2O_3	0/737**	1								
CaO	-0/669**	-0/891**	1							
Fe_2O_3	0/530**	0/587**	-0/666**	1						
K_2O	0/562**	0/826**	-0/747**	0/289*	1					
MgO	0/115	-0/109	-0.063	0/370**	-0/162	1				
MnO	0/478**	0/464**	-0/497**	0/855**	0/206	0/402**	1			
Na_2O	-0.570**	-0/358*	0/104	-0/055	-0/254	-0/062	-0/178	1		
P_2O_5	0/249	-0/081	-0/076	0/492**	-0/108	0/649**	0/507**	0/127	1	
TiO_2	0/596**	0/452**	-0/511**	0/745**	0/241	0/173	0/784**	-0/178	0/373**	1

**همبستگی زیر سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. *همبستگی زیر سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

۴-۲. ژئوشیمی عناصر جزئی

در میان عناصر جزئی، Sr و Rb غنی‌شدگی بسیار بالایی نسبت به استاندارد UCC نشان می‌دهند (شکل ۵). روییدیم و استرانسیم در هوازدهی‌های فیزیکی و شیمیایی در کانی‌های عامل آنها شکسته (Goldstein and Jacobsen, 1988) و توسط رودخانه‌های موجود به سوی دریاچه حمل می‌شوند. استرانسیم در رسوبات بستر دریاچه ارومیه بیشینه مقدار ۹۱۹۰ /۹ پی‌پی‌ام و کمینه مقدار ۱۸۲ پی‌پی‌ام (بامقدار میانگین ۱۰۷۲/۵ پی‌پی‌ام) دارد که این مقدار غنی‌شدگی بسیار بالایی را نسبت به $\text{PAAS}=200\text{ppm}$ ، $\text{UCC}=350\text{ppm}$ و $\text{NASC}=142\text{ppm}$ نشان می‌دهد (جدول ۴). روییدیم نیز در رسوبات بستر دریاچه ارومیه دارای بیشینه مقدار ۱۲۶۴ پی‌پی‌ام و کمینه

عناصر جزئی اطلاعات مهم ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی را نسبت به فراوانی خود در رسوبات ارائه می‌دهند (White, 2013). رفتار عناصر جزئی در طول فرایندهای رسوب‌گذاری متأثر از عامل‌هایی مانند هوازدهی، جورشدگی فیزیکی، منشأ رسوبات، عوامل دیاژنز و دگرگونی است (Taylor and McLennan, 1985; Nesbitt and Young, 1989). مقایسه مقادیر تجزیه شیمیایی عناصر جزئی در رسوبات (جدول ۴) با مقادیر این عناصر در PAAS، UCC، نشان می‌دهد که متوسط مقادیر عناصر جزئی رسوبات بستر دریاچه ارومیه به مقادیر استانداردهای PAAS و NASC نزدیک و از UCC بیشتر است (جدول ۴).

باشند. حضور جزیره اسلامی در خاور دریاچه ارومیه و حضور سنگ‌های آتشفشانی آداکتی کوه زنبیل (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳) در باختر دریاچه ارومیه نیز می‌تواند حضور بیشترین مقادیر این عناصر را در امتداد جاده شهید کلاتری توجیه کند. آداکت‌ها سنگ‌های غنی از سیلیسیم هستند که ویژگی‌های ژئوشیمیایی مانند $Sr > 400ppm$ بالا دارند (Defant and Drummond, 1990) که احتمالاً حضور بالای استرانسیم در دریاچه ارومیه می‌تواند در اثر هوازدگی و فرسایش آداکت‌های شمال باختر ایران و ورود آنها به بستر دریاچه باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳).

مقدار ۸ پی‌پی‌ام (با مقدار میانگین ۲۸۱/۱ پی‌پی‌ام) است که بیشتر از مقدار متوسط آن در $PAAS=160ppm$ ، $UCC=112$ و $NASC=125ppm$ است (جدول ۴). با توجه به نتایج تجزیه، بیشترین مقادیر غلظت Sr و Rb در نمونه‌های امتداد پل شهید کلاتری دیده شده است.

به نظر می‌رسد در رسوبات بستر دریاچه ارومیه، Rb در کانی‌های پتاسیم دار مانند مسکوویت و فلدسپار پتاسیم و Sr در کانی‌های کلسیم دار مانند پلاژیوکلاز، آمفیبول‌ها، پروکسن‌ها و کانی‌های کربناته (Zeng et al., 2013) جایگزین شده

جدول ۴- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر جزئی رسوبات بستر دریاچه ارومیه بر حسب ppm.

	Sc	V	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sb	Cs	Ba
UL-1	9/4	83	12/7	103	39	70	60	16	50	882	14/5	80	9/2	0/8	4/8	497
UL-2	43/2	126	24	190	63	49	77	12	23	878	28/5	189	14/6	0/8	4/6	1224
UL-3	73/5	96	27	369	23	78	1094	5/5	8	548	26/1	92	3/7	2/4	1/2	444
UL-4	16/9	101	16/2	117	58	54	62	20	36	1132	20	135	13	0/8	4/2	1268
UL-5	10/7	89	14/6	112	48	98	68	31	73	554	15/9	84	10/6	1	4/9	387
UL-6	8	65	10/5	64	36	68	46	13	50	1095	11/8	122	7	0/7	3/4	323
UL-7	13/2	105	16/5	109	48	111	77	29	65	223	17/3	88	11	1/2	5/5	454
UL-8	13/1	107	16/9	124	44	127	78	25	66	259	18/7	97	11/5	1/1	5/2	537
UL-9	6/2	56	8/3	52	27	49	47	34	37	1291	10/9	47	5	0/8	3	235
UL-10	12/2	88	18/8	411	34	190	59	11	42	222	16/7	54	10	0/7	2/2	385
UL-11	10/8	77	11	94	28	48	72	23	73	254	21/3	69	14/6	3	4	414
UL-12	11/6	84	12	101	32	44	77	27	75	204	23/9	73	16/4	4/6	4	480
UL-12	13/4	97	15/9	101	38	59	93	21	89	182	24	87	16	3/1	5/4	423
UL-14	11/6	77	10/6	88	29	38	68	30	73	207	24/8	69	16	3/1	3/9	400
UL-15	11/4	79	11/2	78	29	42	73	33	81	225	21/7	72	14/5	2/4	4/5	414
UL-16	11/1	81	12	92	28	47	74	19	80	204	22	74	14/4	3/1	4/5	376
UL-17	10/3	74	11/2	96	25	43	69	14	67	214	21/8	66	13/5	2/3	3/5	379
UL-18	13/6	86	17/2	125	40	81	89	24	78	592	24/8	72	12/1	2/3	4/4	412
UL-19	5/8	39	3/6	58	14	32	45	20	48	1868	18/5	80	117	1/5	2/5	258
UL-20	2/7	21	<1	25	7	24	54	29	48	2315	18/6	65	14/6	2/5	1/7	215
UL-21	3/3	21	<1	27	6	21	40	38	61	1948	33/3	100	31/6	3/7	1/5	284
UL-22	20/7	110	15	81	11	27	77	14	37	725	35/6	52	27/2	1/8	2	257
UL-23	17/8	98	17/4	124	29	44	101	15	86	218	33/1	48	18/6	2/1	4	420
UL-24	-	41	-	-	-	-	79	-	-	1480	<10	100	<10	-	-	250
UL-25	-	74	-	-	-	-	70	-	-	510	<10	100	<10	-	-	240
UL-26	-	72	-	-	-	-	53	-	-	810	<10	110	<10	-	-	230
UL-27	-	91	-	-	-	-	59	-	-	560	10	180	10	-	-	220
UL-28	-	86	-	-	-	-	62	-	-	640	<10	100	<10	-	-	250
UL-29	-	74	-	-	-	-	61	-	-	780	<10	100	<10	-	-	250
UL-30	-	91	-	-	-	-	59	-	-	450	<10	110	<10	-	-	260

ادامه جدول ۴

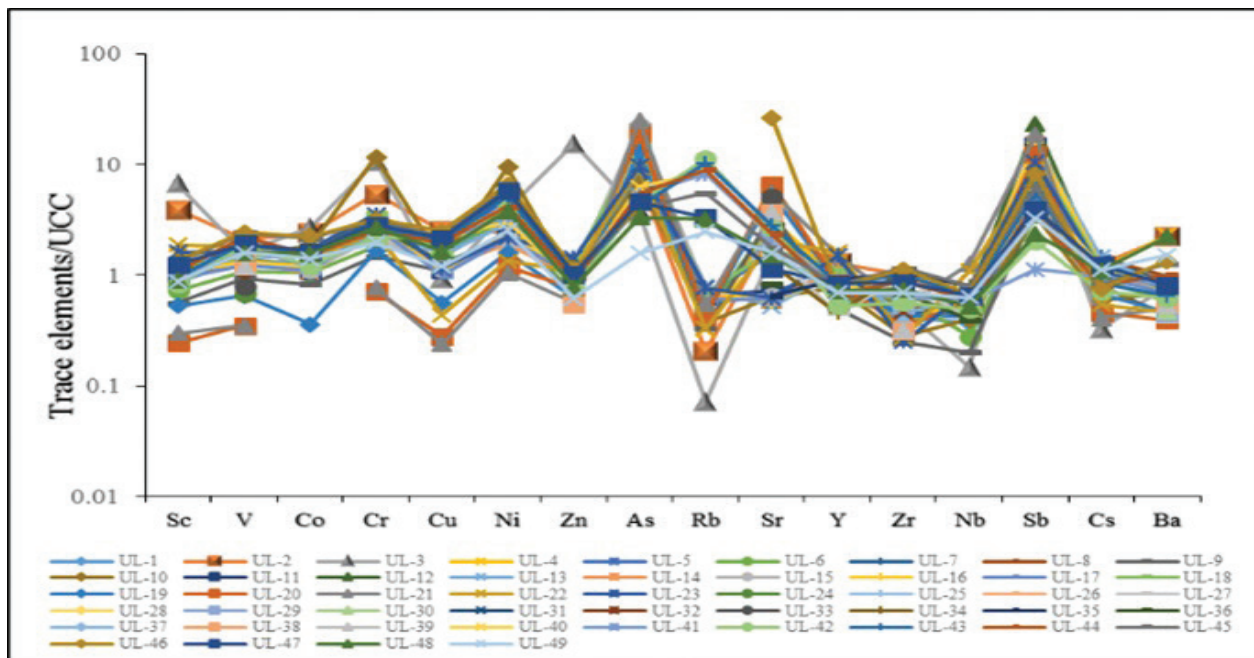
	Sc	V	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sb	Cs	Ba
UL-31	-	104	-	-	-	-	59	-	-	430	<10	120	<10	-	-	290
UL-32	-	55	-	-	-	-	58	-	-	1450	<10	90	<10	-	-	330
UL-33	-	48	-	-	-	-	42	-	-	1800	<10	150	<10	-	-	420
UL-34	-	97	-	-	-	-	68	-	-	440	10	210	20	-	-	400
UL-35	-	122	-	-	-	-	63	-	-	230	20	200	20	-	-	320
UL-36	-	88	-	-	-	-	77	-	-	290	<10	130	10	-	-	300
UL-37	-	74	-	-	-	-	56	-	-	1020	<10	70	<10	-	-	290
UL-38	-	76	-	-	-	-	39	-	-	1280	<10	60	<10	-	-	300
UL-39	-	70	-	-	-	-	61	-	-	1310	<10	60	<10	-	-	290
UL-40	10/4	97/2	17/1	87/7	52/5	62	63/5	9/5	958/1	785.2	18/1	117/5	15/2	1/1	4/5	462
UL-41	10/1	106/9	11/8	81/9	51/3	68/7	68/5	7/9	919/3	795.5	16/6	122/5	14/6	0/2	3/7	444
UL-42	9/1	108/7	12/2	76/9	52/5	82/8	54/3	6/9	1264	932.8	11/7	107/7	12/3	0/4	2/6	343
UL-43	10/4	119/2	14/8	95/5	50	104/3	68/9	6/2	1160	976.8	18/8	190/3	16/6	1/1	3/1	362
UL-44	11/8	132/5	15/2	88/2	49/3	84/8	64/9	8/2	1010	819	14/8	167/7	14/9	0/7	3	558
UL-45	14/4	144/6	21/5	109/1	56/2	128/6	78/6	6/1	620/1	616.2	18/1	219/1	20/2	1/3	3/1	705
UL-46	14/8	146/1	22/3	112/2	62/9	132/1	81/3	6/2	>10000	9191	17/3	215/7	16/8	1/6	2/8	741
UL-47	13/7	116/3	16/5	99/4	53/8	116/4	72/2	6/9	370/9	401/8	18/5	163/8	16/4	0/8	4/6	448
UL-48	9/8	96/5	15/6	94/7	41/1	76/2	55/5	5	360/5	527/4	16	140/8	13/1	0/5	4/1	1231
UL-49	9/7	95/6	14/2	69/5	30/2	50/5	44/2	2/4	277/9	558/7	15/3	133	15/8	0/7	4.1	838
MAX	73/5	146/1	27	411	63	190	1094	38	1264	9191	35/6	219/1	31/6	4/6	5/5	1268
MIN	2/7	21	3/6	25	6	21	39	2/4	8	182	10	47	3/7	0/23	1/2	215
Average	15/5	87/33	14/98	116/9	37/3	73/18	105	17	281/1	1073	19/857	110/8	14/56	1/68	3/633	446
PAAS	16	150	23	110	50	55	85		160	200	27	210	19		15	650
NASC	14/9	130	25/7	125		58		28/4	125	142	35	200	13	2/1	5/2	636
UCC	11	60	10	35	25	20	71	1/5	112	350	22	190	25	0/2	3/7	550

۴-۳. ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب

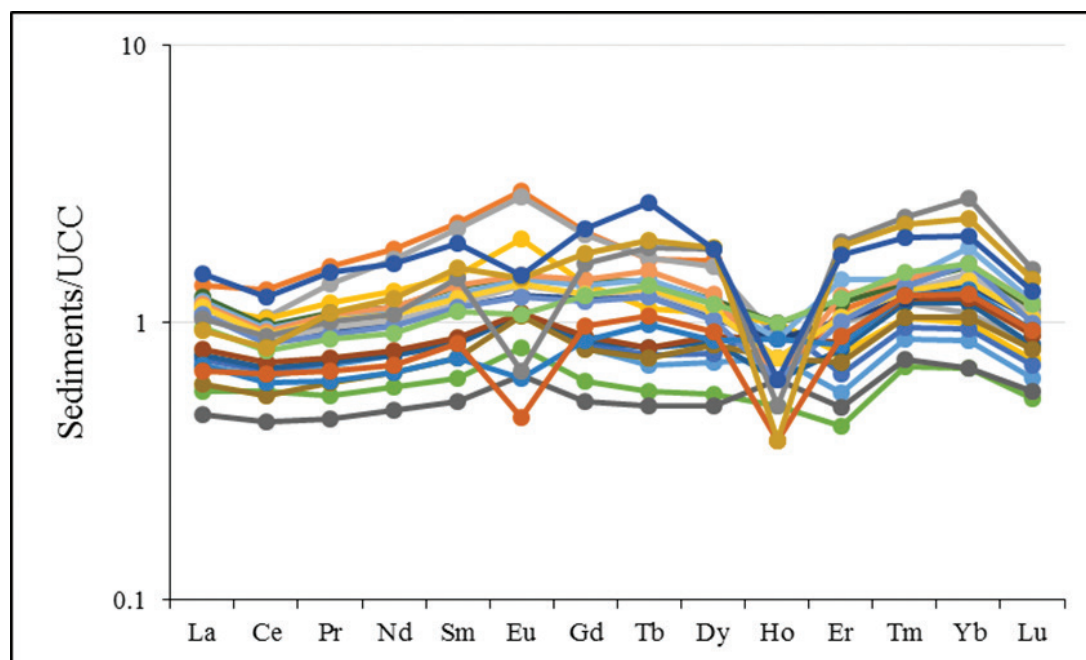
نمونه‌ها برای مطالعات عناصر خاکی کمیاب تجزیه و در جدول ۵ تنظیم شده‌اند. عناصر خاکی کمیاب در بیشتر شیل‌ها مشابه یکدیگرند و غنی‌شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE = La, Ce, Pr, Nd, Sm and Eu) را نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu) نشان می‌دهند (Henderson, 1984; Taylor and McLennan, 1985). این نسبت در بیشتر گریوک‌ها، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک‌ها کاهش می‌یابد (Henderson, 1984). در رسوبات بستر دریاچه ارومیه عناصر خاکی کمیاب سبک در رسوبات بستر دریاچه ارومیه

نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (LREEs (La/Sm)_n = 5.76) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREEs (La/Yb)_n = 10.81) غنی‌شدگی نشان می‌دهند که تأییدی بر ترکیب سنگ‌شناختی معادل شیل رسوبات بستر دریاچه ارومیه است. نمودار بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب نسبت به UCC رسم شده است (شکل ۶). عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های رسوبی بخش جنوبی دریاچه ارومیه بی‌هنجاری منفی Eu نشان می‌دهند که احتمالاً به علت نبود کانی‌های فلدسپاری کنترل‌کننده Eu (کریم‌پور، ۱۳۷۸) در جنوب دریاچه است.

در رسوبات بستر دریاچه ارومیه عناصر خاکی کمیاب سبک



شکل ۵- نمودار توزیع عناصر جزئی نمونه رسوبات بستر دریاچه ارومیه بهنجار شده به UCC (Taylor and McLennan, 1985).



شکل ۶- نمودار توزیع عناصر خاکی کمیاب نمونه رسوبات بستر دریاچه ارومیه بهنجار شده به UCC (Taylor and McLennan, 1985).

جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر خاکی کمیاب رسوبات بستر دریاچه ارومیه بر حسب ppm.

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
UL-1	21	41	4/97	19/9	3/81	0/97	3/09	0/45	2/52	0/6	1/29	0/2	1/9	0/19
UL-2	41	84	11/31	48/2	10/26	2/68	8/09	1/08	5/84	0/5	2/55	0/31	2/8	0/27
UL-3	31	67	9/82	43/9	9/84	2/56	7/95	1/1	5/59	0/7	2/29	0/27	2/4	0/25
UL-4	34	66	8/39	33/8	6/72	1/81	5/26	0/72	3/8	0/8	1/77	0/24	2/2	0/22
UL-5	22	43	5/12	20/2	3/86	0/98	3/2	0/49	2/72	0/8	1/51	0/22	2/1	0/21
UL-6	17	36	3/86	15/3	2/85	0/73	2/33	0/36	1/94	0/4	0/97	0/16	1/5	0/16
UL-7	23	44	5/14	19/8	3/81	0/97	3/29	0/52	2/98	0/5	1/84	0/27	2/6	0/25
UL-8	24	46	5/33	20/5	3/98	0/98	3/38	0/52	3/13	0/7	1/97	0/28	2/7	0/27
UL-9	14	28	3/21	12/6	2/35	0/58	1/97	0/32	1/75	0/5	1/14	0/17	1/5	0/17
UL-10	18	35	4/32	17/1	3/37	0/95	3/05	0/48	2/92	0/6	1/65	0/24	2/3	0/24
UL-11	32	55	6/66	25/6	5/14	1/13	4/65	0/82	3/62	0/7	2/36	0/28	3	0/31
UL-12	37	62	7/72	29/7	6/06	1/32	5/38	0/91	4/22	0/8	2/7	0/32	3/5	0/33
UL-13	36	61	7/49	28/9	5/7	1/29	5/2	0/92	4/19	0/7	3/31	0/33	4/1	0/36
UL-14	35	59	7/62	29/6	6/16	1/33	5/46	0/98	4/46	0/5	2/89	0/33	3/6	0/35
UL-15	32	55	6/84	26/5	5/26	1/23	4/82	0/83	3/78	0/6	2/42	0/3	3/3	0/32
UL-16	34	58	7/28	27/9	5/48	1.25	4/81	0/85	3/85	0/6	2/41	0/3	3/1	0/31
UL-17	32	54	6/46	25/4	5/11	1/11	4/54	0/79	3/59	0/5	2/33	0/31	3/6	0/3
UL-18	29	51	6/19	23/9	4/93	0/96	4/74	0/87	4/07	0/8	2/83	0/35	3/6	0/35
UL-19	21	39	4/39	17/2	3/36	0/57	3/28	0/63	3/01	0/7	1/92	0/29	2/9	0/28
UL-20	20	42	4/73	18/3	3/77	0/41	3/72	0/68	3/25	0/3	2/06	0/29	2/8	0/28
UL-21	31	57	7/2	28	6/49	0/6	6/23	1/2	6/43	0/4	4/52	0/55	6/2	0/47
UL-22	28	52	7/72	31/8	7/11	1/3	6/8	1/27	6/54	0/3	4/35	0/52	5/2	0/43
UL-23	45	79	10/82	42/5	8/76	1/34	8/3	1/73	6/43	0/5	4/03	0/47	4/5	0/39
UL-24	27/7	44/8	4/3	22/3	4/9	1/1	3/4	1/6	3/7	0/4	1.7	0/2	2/4	0/2
UL-25	26/3	41/7	4/9	22/6	3/7	0/7	4	1/8	3/1	0/5	1.8	0/2	2/2	0/2
UL-26	19/4	29/6	4/4	16/4	4/2	0/6	3/3	1/5	2/9	0/7	1/2	0/2	2/1	0/2
UL-27	25/3	34	4/5	13/7	4/1	0/7	3/6	1/3	3/1	0/8	1/7	0/2	2/7	0/2
UL-28	27/7	39/4	5/4	20/8	4/7	0/8	4/3	1/7	2/8	0/7	1/4	0/3	2/1	0/2
UL-29	31/2	52/1	7	24/6	5/3	0/7	5/4	2/8	4/3	0/8	2/2	0/3	2/5	0/3
UL-30	32/3	47/5	4/6	21/7	6	1	5/2	3	4/1	0/4	1/6	0/3	2/8	0/3
UL-31	28/4	48	5/7	24	5/6	1/2	4/6	1/8	3/9	1/1	2/3	0/3	2/6	0/3
UL-32	25/2	40/7	6	18/9	3/7	0/9	5/1	2/1	3/6	0/7	2/1	0/3	2/2	0/3
UL-33	27/5	45/6	5/4	20/5	4/1	1	4/2	2/1	3/7	0/7	2	0/2	2/1	0/2
UL-34	10/9	21/1	2/5	9/4	1/8	0/41	1/74	0/27	1/76	0/4	1/1	0/18	1/1	0/17
UL-35	18/6	37	4/34	16/8	3/2	0/71	3/04	0/5	3/05	0/65	1/95	0/27	1/8	0/25
UL-36	18/1	34/1	4/04	14/9	3/4	0/78	3/66	0/63	3/89	0/81	2/22	0/31	2	0/28
UL-37	24	48/8	5/65	21/4	4/2	0/92	3/97	0/65	3/97	0/79	2/37	0/34	2/4	0/31
UL-38	18/5	35/4	4/1	15/7	3/3	0/73	2/92	0/46	2/82	0/64	1/7	0/26	1/6	0/22
UL-39	16/9	32/9	3/87	14/5	2/9	0/64	2/58	0/39	2/5	0/52	1/5	0/24	1/4	0/21

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
UL-40	20/9	40/6	4/79	18/6	3/9	0/83	3/1	0/51	3/19	0/63	1/78	0/27	1/7	0/25
UL-41	23/5	46/6	5/31	20	3/9	0/83	3/71	0/56	3/36	0/71	2/02	0/3	1/9	0/28
UL-42	15/6	32	3/67	13/9	2/8	0/62	2/57	0/39	2/35	0/48	1/43	0/2	1/3	0/16
UL-43	25/6	44/9	4/61	16/3	2/5	0/61	2/19	0/29	1/97	0/41	1/1	0/17	1/1	0/17
UL-44	25/9	54/4	6/46	24/4	4/9	1/09	4/66	0/69	4/55	0/93	2/68	0/39	2/5	0/35
UL-45	28/4	58	6/5	24/9	5/3	1/18	5/03	0/78	4/99	1/02	3/01	0/43	2/8	0/37
UL-46	22/7	46/3	5/42	21/2	4/2	0/89	3/79	0/62	3/83	0/8	2/25	0/32	2/2	0/58
UL-47	12/9	26/5	2/98	11/5	2/2	0/51	2	0/32	1/97	0/4	1/12	0/17	1/1	0/14
UL-48	14/4	26/5	3/07	11/4	2/3	0/51	2/07	0/32	1/9	0/41	1/21	0/16	1/1	0/15
UL-49	12/2	23	2/67	9/9	1/9	0/41	1/69	0/25	1/71	0/36	1/04	0/15	0/9	0/12
PAAS	38	80	8/8	32	5/6	1/1	4/7	0/77	4/4	-	2/9	0/41	2/8	0/4
UCC	30	64	7/1	26	4/5	0/9	3/8	0/64	3/5	0/8	2/3	0/33	2/2	0/3

۵- نتیجه گیری

Herron (1988) گری وک تا لیت آرنایت است. کانی های هالیت، کلسیت، آنکریت، کوارتز، ارتوکلاز، کلریت، آلپیت، ژیس، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، اوژیت، آمفیبول و هورنبلند فاز اصلی رسوبات دریاچه ارومیه را شامل می شوند. کانی های فاز فرعی شامل آراگونیت، کلسیت، دولومیت، ژیس، مسکوویت-آلیت، ارتوکلاز، کلریت، مونت موریلونیت، میکروکلین، کائولینیت، اسمکتیت، هورنبلند و کربنات هیدروکسی آپاتیت است. در میان عناصر جزئی، Sr و Rb مقادیر بسیار بالایی نسبت به PAAS، UCC و NASC نشان می دهند که احتمالاً ناشی از فرسایش و هوازگی آداکت های شمال باختر ایران باشد. در حالت کلی عناصر خاکی کمیاب در رسوبات بستر دریاچه ارومیه غنی شدگی LREEs نسبت به HREEs نشان می دهند.

عناصر اصلی در رسوبات بستر دریاچه ارومیه مقادیر بسیار متفاوتی در میان اکسیدها نشان می دهند. برای نمونه محتوای SiO_2 از ۵۵/۸۴ به ۲۱/۱ درصد وزنی متغیر است که تفاوت در مقدار این عناصر به علت حضور واحدهای سنگ شناسی مختلف در حاشیه سواحل دریاچه است. به علت حضور سنگ های مافیک در پیرامون سواحل دریاچه ارومیه برخی اکسیدهای عناصر اصلی مانند MgO و CaO نسبت به UCC، PAAS و NASC مقادیر بالاتری نشان می دهند. اکسید سدیم به علت شوری بالای آب دریاچه ارومیه ناشی از حمل نمک توسط رودخانه های منتهی به دریاچه مقدار بالایی را نسبت به دیگر اکسیدها در دریاچه نشان می دهد. ترکیب سنگ شناسی رسوبات بر پایه نمودارهای Pettijohn et al. (1972) شیل تا شیل آهن دار و بر پایه نمودار

کتابنگاری

- امامعلی پور، ع.، عبدالهی شریف، ج. و میرمحمدی، م. ص.، ۱۳۷۸- بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر P، Ti، Fe در کانسار تیتانیوم قره آغاج، شمال غربی ارومیه، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران ۷ تا ۹ آبان ماه.
- پایگاه ملی علوم داده های زمین، ۱۳۶۳- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰. اشنویه.
- جمشیدی، ح. و افشاریان زاده، ف. د.، ۱۳۷۲- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرند، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حاصلی مبارک آبادی، ز.، علیپور، ص.، عابدینی، ع. و حسینی، ا.، ۱۳۹۲- بررسی کانی شناسی نیمه جنوب شرقی و باختری و امتداد جاده شهید کلاتری دریاچه ارومیه، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.
- زیبیهی، ا. و قمیسی، م.، ۱۳۸۱- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ آذرشهر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علیپور، ص.، عابدینی، ع. و حسینی، ا.، ۱۳۹۲- ژئوشیمی رسوبات نیمه باختری دریاچه ارومیه با تأکید بر آنومالی نقره، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.
- قمیسی، ا. و افشاریان زاده، ۱۳۷۱- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم پور، م. ح.، ۱۳۷۸- کانی ها و سنگ های صنعتی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۹۶ ص.
- محمدیان، ه. و حدادان، م.، ۱۳۸۴- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ عجب شیر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی اونلقی، خ. و علیپور، ص.، ۱۳۹۳- کانی شناسی رسوبات بستر شمال شرق دریاچه ارومیه. بیست و دومین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- موسوی اونلقی، خ.، علیپور، ص. و اصلان پور، ش.، ۱۳۹۳- کانی شناسی رسوبات شمال دریاچه ارومیه (با مقایسه دو مجموعه شمال شرقی و باختری)، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین.

References

- Abich, H., 1856- Vergleichende chemische Untersuchungen des Wassers des Kaspischen Meers. des Urmia und Wansees, Petersburg 57 pp.
- Alipour, H. and Olya, G.T. H., 2015- A Discourse on the Ecological Modernization Approach to Environmental Education: The Case of Eastern Mediterranean University. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 5 (4), 99-111.
- Alipour, S., 2006- Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake. Iran Saline Systems 2 (9):1-9.
- Asem, A. and Mahmoudi, A., 2013- One and a half centuries of physicochemical data of Urmia Lake, Iran: 1852-2008. International Journal of Science and Knowledge 2 (1): 57-72.

- Asem, A., Rastegar-Pouyani, P., De Los Rios, R., Manaffar, F. and Mohebbi, F., 2010- Biometrical comparison of *Artemia urmiana* Günther, 1899 (Crustacea: Anostraca) cysts between rainy and drought years (1994-2003/4) from Urmia Lake, Iran. *International Journal of Biological and Life Sciences* 6 (2): 100-106.
- Azari Takami, G., 1993- Uraemia Lake as a valuable source of *Artemia* for feeding sturgeon fry. *Journal of veterinary faculty, University of Tehran* 47:14-2.
- Bau, M., 1993- Scavenging of dissolved yttrium and rare earths by precipitating iron oxyhydroxide: experimental evidence for Ce oxidation Y-Ho fractionation, and lanthanide terrad effect. *Acta* 63: 67-77.
- Bianchi, T. S., Mitra, S. and McKee, B. A., 2002- Sources of terrestrially derived organic carbon in lower Mississippi River sediments: implications for differential sedimentation and transport at the coastal margin. *Chem.* 77: 211-223.
- Birkett, C. and Mason, I., 1995- A new global Lakes database for remote sensing programme studying.
- Das, B. K. and Haake, B., 2003- Geochemistry of Rewalsar Lake sediment, Lesser Himalaya, India: implications for source-area weathering, provenance and tectonic setting. *Geosci*7: 299-312.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted. *Lithosphere. Nature* 367:662-665.
- Dupre, B., Gaillardet, J., Rousseau, D. and Allegre, C., 1990- Major and trace elements of river-borne material: the congo Basin. *Acta* 60: 1301-1321.
- Eimanifar, A. and Mohebbi, F., 2007- Urmia Lake (Northwest Iran): a brief review. *Saline Systems* 3:5.
- Elderfield, H., Upstill-Goddard, R. and sholkovitz, E., 1990- The rare earth elements in rivers, estuaries and coastal seas and their significance the composition of ocean water. *Acta* 54: 971-991.
- Goldstein, S. and Jacobsen, J., 1988- Rare earth elements in river waters. *Sci. Lett* 89: 35-47.
- Gromet, L. P., Dymek, R. F., Haskin, L. A. and Korotev, R. L., 1984- The 'North American Shale Composite': its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim Cosmochim* 48: 2469-2482.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M. and Hassanzadeh, Y., 2011- Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling. *Water Resources Management*, 26(1): 129-145.
- Henderson, H., 1984- General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry, Elsevier* 2:1-9.
- Herron, M. M., 1988- Geochemical classification of terrigenous sand and shales from core or log data. *J. Sediment. Petrol* 58: 820-829.
- Jamshidi, N., 2002- Study of chemical characters of Urmia Lake in Rashakan region. Conference of Urmia Lake Bridge and Environmental, 11-12 Dec. 2002, Tehran University, 84-88.
- Jin, Z. D., Wang, S., Shen, J., Zhang, E. and Ji, J., 2001- Chemical weathering since the Little Ice Age recorded in Lake sediments: a high-resolution proxy of past climate. *Earth Surf Process Landf*26: 775-782.
- Kelts, K. and Shahrabi, M., 1986- Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, Northwestern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 54: 105-130.
- Knappe, A., Moller, P., Dulski, P. and pekdeger, A., 2005- Positive gadolinium anomaly in surface water and ground water of the urban area Berlin, Germany. *Erde* 65 :167-189.
- Laird, K. R., Cumming, B. F., Wunsam, S., Rusak, J. A., Oglesby, R. J., Fritz, S. C. and Leavitt, P. R., 2003- Lake sediments record large-scale shifts in moisture regimes across the northern prairies of North America during the past two millennia. *Proc Natl Acad Sci* 100: 2483-2488.
- Last, W. M. and Smol, J. P. (Eds.), 2001- *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Moayyed, M., Moazzen, M., Calagari, A. A., Jahangiri, A. and Modjarrad, M., 2008- Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: Implications for deep-mantle metasomatism. *Chemie der erde* 68:141-154.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1989- Formation and diagenesis of weathering profiles. *J. Geol* 97: 129-147.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1972- *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York.
- Rose, N. L., Boyle, J. F., Du, Y., Yi, C., Dai, X., Appleby, P. G., Bennion, H., Cai, S. and Yu, L., 2004- Sedimentary evidence for changes in the pollution status of Taihu in the Jiangsu region of eastern China. *J. Paleolimnol* 32: 41-51.
- Tamaddon, M., 1971- *The situation of Iran in first war (History of Rezaiyeh)*, Tamaddon Publications, Urmia. 444 pp.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, London.
- Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q. and Devaraju, B., 2015- A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment*, 156, 349-360.
- White, W. M., 2013- *Geochemistry*, John Wiley and Sons.
- Zarghami, M., 2011- Effective watershed management; case study of Urmia Lake, Iran. *Lake and Reservoir Management* 27 (1):87-94.
- Zeng, Y, Guo, L. P., Chen, B. D., Hao, Z. P., Wang, J. Y., Huang, L. Q., Yang, G., Cui, X. M., Yang, L., Wu, Z. X., Chen, M. L. and Zhang, Y., 2013- Arbuscular mycorrhizal symbiosis and active ingredients of medicinal plants: current research status and prospectives. *Mycorrhiza* DOI 10.1007/s00572-013-0484-0.

Geochemistry of major, trace and rare earth elements in bed-sediments of Urmia lake

S. Alipour^{1*}, Kh. Mosavi-Ovenlegi², E. Hosseini², Sh. Aslanpour² and Z. Haseli²

¹Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

²M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 2016 December 20

Accepted: 2017 May 17

Abstract

The Urmia Salt Lake as the largest hyper saline lake of the world is located between west and east Azerbaijan provinces, NW Iran. Geochemistry of trace and rare earth elements of bed sediments taken from 25 Cm of the lower most of 1.5 meters depth of drilled holes in 130 samples between 2014-2015 were investigated. General geochemical composition of samples revealed a very heterogeneous variation of major oxides at NW, NE, SW and SE parts of the lake. MgO, CaO and Na₂O show a high enrichment compared to UCC, PAA and NASC values. Main minerals of the bed sediments include halite, calcite, ankerite, quartz, orthoclase, augite, hornblende and chlorite. The overall geochemical composition of sediments, resemble ferruginous shale and graywacke sandstone. Weathering in the various parts of the bed sediments is relevant to general climatological characters in the region. Rb and Sr among trace elements show high anomaly in respect to UCC, PAAS and NASC, while Eu indicated high depletion, especially at SW corner of the lake. Geochemical comparisons indicate the major role of different rock units in forming bed sediments rather than sediments carried by entering rivers to the lake.

Keywords: Geochemistry, Mineralogy, bed-sediments, Urmia Lake, Iran

For Persian Version see pages 51 to 62

*Corresponding author: S. Alipour; E-mail: Alipour_Samad@yahoo.com