



## تحول سازوکار آتشفشانی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر

محمد سیاری<sup>۱\*</sup> و مرتضی شریفی<sup>۲</sup>

(۱) مدیریت مطالعات پایه منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

### چکیده

در این پژوهش پایگاه ژئوشیمی زمین مرجع متشکل از ۹۹ آنالیز شیمیایی در طول حدود ۲۰۰ کیلومتر از بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر (از شمال تا شرق اصفهان) مورد کنکاش قرار گرفت. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی  $۵۱^{\circ}۱۵'$  و  $۵۲^{\circ}۵۷'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $۳۲^{\circ}۳۵'$  و  $۳۳^{\circ}۴۷'$  شمالی واقع شده است. این پایگاه داده از بین داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل منتشر شده در پهنه مورد بررسی که دو شرط مهم را داشته‌اند، انتخاب شدند. اول اینکه داده‌ها دارای مختصات جغرافیایی صحیح و یا نقشه مختصات دار باشند، دوم اینکه آنالیزها توانایی تفکیک سری‌های ماگمایی و تشخیص آداکیت‌ها را داشته باشند (عناصر کمیاب Y، Yb، Lu، Sr با دقت مناسب گزارش شده‌اند). این آنالیزها در سه دسته سنی ائوسن، الیگوسن - پلیوسن و پلیو-کواترنر قرار می‌گیرند. یک نمودار جریان برای شناسایی سری ماگمایی نمونه‌ها طراحی شد و کلیه داده‌ها به صورت نظام‌مند بر مبنای آن مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که ماهیت ماگماتیسم فاز اول اغلب کالک‌آلکالن، فاز دوم معمولاً شوشونیتی و فاز سوم اغلب آداکیتی بوده است. با استفاده از نمودارهای تعیین درصد ذوب‌بخشی سنگ‌های ماگمایی مشخص شد که نمونه‌های کالک‌آلکالن از ذوب‌بخشی حدود ۱۵ درصد گوه گوشته‌ای اسپینل-گارنت لرزولیت به دست آمده‌اند. برآورد می‌شود که نمونه‌های شوشونیتی از ذوب‌بخشی حدود ۳ درصد گوه گوشته‌ای با ترکیب اسپینل-گارنت لرزولیت حاصل شده‌اند. آداکیت‌ها حاصل ذوب پوسته اقیانوسی فرورانده شده هستند و بر اساس درصد ذوب‌بخشی منشأ به دو دسته قابل تفکیک‌اند. دسته اول، نمونه‌های منطقه کجان و کهنک که از ذوب‌بخشی حدود ۱۰ درصد گارنت آمفیبولیت حاصل شده‌اند و دسته دوم، نمونه‌های منطقه جوشقان-قهرود که نزدیکی بیشتری با سنگ منشأ هورنبلند اکلوزیت دارند، ذوب‌بخشی حدود ۶ درصد نشان می‌دهند. البته باید توجه داشت این تفاسیر بر مبنای داده‌های موجود است و در آینده با در دست داشتن داده‌های صحیح مختصات دار بیشتر، این پایگاه داده می‌تواند کامل تر شده و ارزیابی دقیق‌تری از تحولات ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه ارائه نماید.

واژه‌های کلیدی: آتشفشانی، سنوزوئیک، ذوب‌بخشی، آداکیت، ارومیه-دختر

## مقدمه

فعالیت‌های آتشفشانی سنوزوئیک در کمان ماگمایی ارومیه-دختر در سه برهه اصلی ائوسن، الیگوسن- پلیوسن و پلیو-کواترنری رخ داده است ( Sayari, 2010; Dilek et al., 2015). کمان ماگمایی ارومیه-دختر خود بخشی از یک ایالت ماگمایی وسیع است که حاصل هم‌گرایی بین صفحه‌های آفریقا-عربی و اوراسیا است ( Jackson and McKenzie, 1984; Dewey et al., 1986; McClusky et al., 2000; 2003; Allen et al., 2004; Dilek McClusky et al., 2009 and Sandvol, 2009). پژوهش‌های متعددی روی سنگ‌های ماگمایی کمان آتشفشانی ارومیه-دختر انجام شده است ( Amidi et al., 1984; Hassanzadeh, 1993; Aftabi and Atapour, 2000; Dilek et al., 2010; Sayari et al., 2014; Sayari and Sharifi, 2016; Sayari and Sharifi, 2018). تا چند سال گذشته ولکانیسم ارومیه-دختر با سری‌های غالب کالک‌آلکان و بعضی موارد شوشونیتی مشخص می‌شد؛ اما در سال‌های اخیر به وجود نوع خاصی از ولکانیسم در بخش‌هایی از این کمان ماگمایی یعنی ولکانیسم آداکیتی اشاره شده است ( Jahangiri, 2007; Ghadami et al., 2008; Omrani et al., 2008; Sayari, 2015; Sayari and Sharifi, 2018). از آنجا که منشأ ماگماتیسم کالک‌آلکان، شوشونیتی و به‌ویژه آداکیت‌ها متفاوت است، تغییرات ماهیت ولکانیسم سنوزوئیک تا کواترنری ایران، کلید شناخت تحولات ژئودینامیک و تکتونوفیزیکی ایران محسوب می‌شود.

در روند تکامل علم پترولوژی، رفته‌رفته نقش ژئوشیمی پررنگ‌تر شده تا امروزه بررسی‌های ژئوشیمی بخش‌هایی ناپذیر پژوهش‌های پترولوژی را تشکیل می‌دهد. تعبیر و تفسیرهای ژنتیکی ماگما، فرایندهای متحول‌کننده ترکیب ماگما و شناخت محیط تکتونوماگمایی، بدون داشتن آنالیزهای شیمیایی قابل اطمینان، امکان‌پذیر نیست. در این رهیافت هرچه تعداد آنالیزهای انجام‌شده معتبر با پراکندگی مناسب در منطقه بیشتر باشند، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری به‌دست می‌آید و نظریه‌ها مبنای علمی محکم‌تری خواهند داشت. با افزایش تعداد داده،

نیاز به نرم‌افزارهای قوی و تخصص‌یافته برای پردازش آماری داده‌ها بیشتر ضروری به‌نظر می‌رسد. از این گذشته وقتی داده‌های ژئوشیمیایی، زمین‌مرجع می‌شوند و در محیط GIS با داده‌های ژئوفیزیکی، زمین‌ساختی و ساختارهای منطقه‌ای و ناحیه‌ای تلفیق می‌شوند، اطلاعات با ارزشی درباره تکامل ژئودینامیکی و تکتونوماگمایی منطقه مهیا می‌کنند. متأسفانه چنین اطلاعاتی با وجود تعدد پژوهش‌های پترولوژیکی انجام‌شده در کمان ارومیه-دختر نادر هستند (هم از لحاظ نوع آنالیز و هم از لحاظ موقعیت دقیق زمینی). خوشبختانه مطالعات اخیر به سمت تولید داده‌های زمین‌مرجع پیش‌می‌رود.

در این پژوهش، سعی شده است با ارائه یک پایگاه داده ژئوشیمی و سپس پردازش نظام‌مند داده‌های ژئوشیمیایی برای سه فاز اصلی آتشفشانی سنوزوئیک در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر (از شمال تا شرق اصفهان)، تحول آتشفشانی این بخش مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

## روش مطالعه

برای ایجاد پایگاه داده‌های ژئوشیمی زمین‌مرجع، آنالیزهای شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن تا کواترنری (تفکیک سنی بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی) در پهنه مورد بررسی (بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر در شمال شرق اصفهان) به طول حدود ۲۰۰ کیلومتر که در نوشته‌های علمی به چاپ رسیده‌اند، جمع‌آوری شدند. از آنجایی که بررسی‌های پترورژنتیکی و تفکیک سنگ‌های آداکیتی از کالک‌آلکان، بدون داشتن عناصر کمیاب غیرممکن است و همچنین برای افزایش دقت بررسی‌ها و پردازش‌های آماری، تنها آنالیزهایی مورد توجه قرار گرفتند که دارای عناصر کمیاب سنجیده‌شده با روش ICP-MS و همچنین موقعیت مشخص زمینی بودند. این گزینش‌ها سبب شد تا تعداد نمونه‌ها از بیش از ۲۰۰ نمونه به ۹۹ نمونه تقلیل یابد. در ابتدا صرف نظر از ماهیت ژئوشیمیایی، کلیه نمونه‌ها بر مبنای سه فاز اصلی آتشفشانی سنوزوئیک در سه گروه تقسیم شدند. سپس با طراحی یک نمودار جریان‌ی، اقدام به تعیین سری ماگمایی هر کدام از نمونه‌ها شد تا وضعیت سری

ماگمایی هر گروه مشخص شود. سپس تحلیل‌های پتروژنتیکی داده در جدول ۱ ارائه شده است. روی نمونه‌ها صورت گرفت. داده‌های ژئوشیمیایی این پایگاه

**جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها برحسب درصد وزنی و سایر عناصر برحسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: (Ah (Ahmadvand, 2009), (Am (Amoozad-khalili, 2009), (As (Asadi et al., 2009), (Fa (Fardfeshani, 2011), (Ja (Jabbari, 2014), (Kh (Khodami, 2009), (Mor (Moradizadeh, 2012), (Mov (Movahedian Atar, 2008), (Om (Omrani et al., 2008), (Ta (Tamizi, 2013), (Sa (Sayari, 2015)

**Table 1.** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

**Whole rock analyses related to first volcanic pulse (Eocene)**

Sample	SA7	BK14	BK15	BK18	BK2	ZF30	ZF40	ZF41	ZF43	ZF44	ZF46
Ref.	Ah	Am	Am	Am	Am	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa
SiO <sub>2</sub>	51.6	64.79	61.53	70.42	67.67	67.87	71.99	65.4	71.36	73.28	71.54
TiO <sub>2</sub>	1.3	0.59	0.55	0.31	0.37	0.49	0.1	0.53	0.22	0.22	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.98	16.81	16.24	14.51	13.16	16.19	15.02	16.82	15.54	13.72	15.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10.60	4.77	4.43	3.35	2.50	3.75	2.93	6.32	2.94	2.59	2.58
MnO	0.108	0.07	0.08	0.04	0.06						
MgO	2.77	1.17	0.49	1	0.79	0.79	0.68	1.14	0.74	0.32	0.62
CaO	6.76	3	2.58	1.7	3.18	2.19	1.24	3.93	1.82	1.71	1.68
Na <sub>2</sub> O	3.98	4.89	2.79	4.14	0.96	4.24	4.12	4.41	3.19	0.84	3.51
K <sub>2</sub> O	3.79	3.75	8.33	3.65	7.88	3.91	3.55	1.24	3.59	6.51	4.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.352	0.27	0.13	0.08	0.06	0.12	0.06	0.17	0.06	0.03	0.07
Co	24.9	3.9	1.6	4.4	2.9						
V	291										
Pb	35	14	12	19	7						
Rb	163.07	100.02	281.97	95.75	187.73	99.36	113.61	32.13	113.74	112.59	131.18
Ba	1210.1	1024.6	2792.7	1057.2	996.4	1062.8	1039.7	402.6	1017.2	799.6	1213.9
Sr	470.19	399.88	86.77	322.93	63.91	336.4	242.82	297.62	236.1	89.49	213.1
Ta	0.69	1.25	1.58	0.81	1.82	0.69	0.71	0.56	0.87	0.7	0.88
Nb	8.71	19.27	21.65	9.36	23.88	10.24	8.48	8.56	10.98	7.42	11.63
Hf	3.94	8.11	11.17	4.14	10.58	5.16	3.75	4.62	4.5	3.39	5.67
Zr	152.5	398.5	454.7	170.7	405.2	215.7	151.4	190.2	185.4	1316	230.5
Y	33.67	24.13	43.21	16.77	43.48	31.69	15.37	39.66	16.68	16.21	23.07
Th	5.56	11.15	25.72	12.82	31.4	10.41	11.26	3.55	16.14	12.77	17.34
U	1.49	2.98	7.15	2.71	8.78	2.54	2.63	1	3.2	2.55	4.36
La	21.05	33.48	25.73	25.99	45.69	28.75	24.99	20.56	32.5	19.85	34.51
Ce	47.02	61.35	53.63	46.1	86.89	56.95	43.52	43.79	57.41	38.52	64.1
Pr	5.952	6.987	6.89	4.636	9.52	6.62	4.55	5.53	5.81	3.93	6.81
Nd	24.89	25.8	29.61	15.61	34.49	25.31	15.24	23.52	19.54	13.74	23.64
Sm	5.78	4.85	7.88	2.88	7.1	5.32	2.7	5.69	3.29	2.6	4.21
Eu	1.54	1.37	1.76	0.67	0.9	1.33	0.7	1.62	0.74	0.62	0.87
Gd	5.72	3.87	7.5	2.49	6.38	5.04	2.43	6.18	2.69	2.41	3.57
Tb	0.929	0.624	1.229	0.396	1.092	0.86	0.388	1.06	0.44	0.4	0.6
Dy	5.79	3.92	7.7	2.53	7.25	5.33	2.4	6.82	2.73	2.59	3.72
Ho	1.25	0.84	1.55	0.58	1.55	1.13	0.53	1.45	0.57	0.54	0.79
Er	3.41	2.5	4.48	1.65	4.37	3.23	1.57	4.25	1.72	1.7	2.36
Tm	0.5	0.4	0.66	0.26	0.67	0.5	0.25	0.62	0.28	0.27	0.38
Yb	3.32	2.83	4.37	1.84	4.27	3.38	1.76	4.18	1.89	1.91	2.65
Lu	0.511	0.487	0.711	0.322	0.68	0.534	0.276	0.639	0.299	0.302	0.416

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to first volcanic pulse (Eocene)											
Sample	ZF47	1.11	1.8	2.101	2.5	4.003	4.006	4.007	4.008	10	2TN 13
Ref.	Fa	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
SiO <sub>2</sub>	65.42	52.7	56.4	50.6	52.5	57.2	52.8	55	79.1	72.1	69.3
TiO <sub>2</sub>	0.81	0.78	0.82	1.23	1.2	0.61	1.58	0.71	0.52	0.29	0.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.17	15.45	13.2	16.85	18.35	16.5	15.25	16.75	7.79	12.6	14.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6.58	7.78	7.89	10	7.98	5.86	11.4	6.93	3.35	2.26	4.42
MnO		0.14	0.15	0.14	0.29	0.09	0.15	0.12	0.08	0.07	0.08
MgO	1.6	4.34	0.97	4.26	3.17	3.17	3.15	3.74	1.26	0.66	0.93
CaO	2.43	10.45	9.86	8.53	4.73	7.46	7.86	7.65	1.85	3.78	2.35
Na <sub>2</sub> O	4.4	3.43	4.14	2.59	5.25	2.78	2.73	3.06	0.31	2.1	4.72
K <sub>2</sub> O	3.31	0.76	0.91	1.22	1.08	1.37	0.6	1.16	1.67	2.05	1.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.13	0.16	0.27	0.22	0.19	0.28	0.21	0.1	0.07	0.16
Cr		70	50	70	10	110	60	140	170	30	40
Ni		28	8	18	5	33	22	55	28	0	7
Co		21.5	13.7	25.4	18.9	16.6	28.1	21.2	5.1	2.4	3.9
Cu		13	22	39	5	45	177	0	21	6	0
Pb		0	6	15	8	19	10	23	249	22	7
Zn		76	48	101	114	68	119	148	690	37	53
Rb	70.69	17.5	17.3	35.6	23.8	25.2	15.8	22.8	65.7	67	46.5
Cs		0.35	0.65	1.38	4.89	1.65	1.39	0.61	3.88	21.4	1.95
Ba	1711.7	208	545	500	533	575	269	513	176.5	672	802
Sr	204.71	339	372	439	564	528	350	513	29.6	200	293
Ta	0.82	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.8	0.7	0.8
Nb	13.74	4	4.6	5.5	7.5	6	7.8	5.7	10.3	8.5	13.4
Hf	5.78	1.8	2.1	2.8	3.8	3.2	4.5	3.1	12.3	4.6	6.3
Zr	232.7	59	75	97	130	117	146	111	470	168	219
Y	38.5	16.3	18.7	26.8	27.1	14.9	36.2	15.4	18.3	20.4	38.7
Th	10.83	1.97	2.38	2.98	4.36	6.47	4.08	4.68	7.65	8.65	8.45
U	2.74	0.63	0.53	0.79	1.19	2.03	1.27	1.49	1.99	2.5	2.07
La	35.38	7.8	9.9	16.2	18.6	21.1	18.2	17.8	31.2	19	30.4
Ce	72.05	16.1	21.3	34.5	37.7	40.7	38.4	35.1	65.6	39.5	62.8
Pr	8.61	2.17	2.72	4.45	4.67	4.78	5.14	4.24	7.63	4.1	7.55
Nd	33.83	9.5	12	18.8	19.6	17.8	22.7	16.5	28.2	15.8	30
Sm	7.13	2.32	2.99	4.81	4.58	3.5	5.82	3.61	5.42	3.37	6.64
Eu	1.65	0.86	0.92	1.46	1.25	0.98	1.58	1.09	1.17	0.72	1.61
Gd	6.69	2.54	3.17	4.74	4.63	3.06	5.7	3.22	4.25	3.21	6.46
Tb	1.11	0.45	0.53	0.81	0.79	0.46	1.04	0.5	0.61	0.54	1.11
Dy	6.72	2.83	3.18	4.94	4.91	2.71	6.55	2.84	3.33	3.36	6.76
Ho	1.41	0.61	0.71	1	1.02	0.52	1.33	0.53	0.64	0.68	1.43
Er	3.9	1.77	2.01	2.98	3.02	1.56	3.96	1.63	2.01	2.17	4.21
Tm	0.59	0.26	0.25	0.41	0.43	0.21	0.54	0.23	0.29	0.31	0.7
Yb	3.92	1.73	1.97	2.62	2.86	1.47	3.63	1.52	1.9	2.47	4.28
Lu	0.589	0.26	0.3	0.4	0.43	0.23	0.53	0.21	0.31	0.37	0.62

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to first volcanic pulse (Eocene)											
Sample	B.56	B58-2	PF 01	QQ 02	A12	A19	A3	A33	A37	A39	A7
Ref.	Ja	Ja	Ja	Ja	Mor	Mor	Mor	Mor	Mor	Mor	Mor
SiO <sub>2</sub>	50.1	49.6	72.5	66.1	59.6	57.6	66	69.2	57.7	68.3	61.3
TiO <sub>2</sub>	1.08	1.09	0.17	0.41	0.52	0.57	0.49	0.4	0.56	0.68	0.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.45	17.8	12.8	15.5	17.4	15.6	15.5	14.5	15.9	14.6	16.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.55	10.2	1.91	2.63	6.73	6.47	2.99	4.04	6.89	4.24	5.85
MnO	0.16	0.21	0.07	0.04	0.13	0.1	0.05	0.1	0.17	0.11	0.14
MgO	3.92	5.26	0.45	1.25	2.67	2.5	1.96	1.16	2.98	1.14	3.01
CaO	10	8.21	1.34	3.34	5.29	5.9	5.78	1.66	3.6	1.57	2
Na <sub>2</sub> O	3.12	3.83	3.37	4.23	4.6	3.2	4.5	5.3	4.5	5.5	5
K <sub>2</sub> O	0.81	0.51	4.11	2.36	0.86	0.99	0.15	1.72	1.9	2.57	0.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.17	0.05	0.15	0.11	0.15	0.09	0.08	0.1	0.2	0.09
Cr	60	50	70	40	68	68	68	68	68	68	68
Ni	20	25	7	7	8	19	10	6	7	8	6
Co	22.9	30.2	2.3	5.4	12.8	13.7	6.3	5.9	15.6	3.5	11.9
Cu	16	13	5	23	169	146	30	9	7	156	37
Pb	6	8	14	13							
Zn	98	107	46	58	40	48	36	56	109	74	96
Rb	13.9	14.9	97.6	64.9	21.7	21.8	3.9	36.9	72.3	69.7	19.6
Cs	0.47	1.36	2.49	1.82	0.5	0.5	0.6	1.7	2.4	1.5	1.1
Ba	487	239	709	957	350	340	160	1300	290	880	120
Sr	439	473	78.5	5.5	450	600	740	520	230	220	450
Ta	0.4	0.2	1.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
Nb	7.1	3.7	10.2	6.2	4	4	6	7	4	9	5
Hf	2.8	2.1	3.1	3.5	2	2	3	4	2	4	2
Zr	96	66	93	127	70	100	130	130	80	170	100
Y	24.1	21.7	23.5	5.7	20	10	20	20	20	30	20
Th	2.06	0.97	10.3	6.11	2.5	3.7	5.3	7.2	2.3	7.1	5.2
U	0.65	0.29	3.22	2.15	0.79	0.79	1.36	2.08	0.73	2.17	1.44
La	12	8.2	19.2	26.2	9.5	14.4	11.3	18.9	10.1	19.2	15.5
Ce	26	18.4	35.3	47.7	19.7	28.9	26.5	40.7	20.7	41.3	31.9
Pr	3.58	2.6	3.76	5.05	2.39	3.53	3.3	4.77	2.62	5.06	3.76
Nd	15.5	12.3	12.9	18.2	10.1	13.5	13.4	17.9	10.9	21.2	15
Sm	3.93	3.32	2.82	2.89	2.4	2.5	2.7	3.8	2.6	4.7	3.6
Eu	1.27	1.14	0.35	0.74	0.84	0.8	0.81	0.77	0.83	1.21	0.93
Gd	3.94	3.57	2.84	2.21	2.82	2.47	2.8	3.84	2.93	5.44	3.71
Tb	0.72	0.64	0.54	0.25	0.47	0.42	0.47	0.65	0.5	0.9	0.66
Dy	4.41	3.97	3.54	1.14	2.85	2.53	3.03	4.31	3.17	5.63	4.13
Ho	0.87	0.82	0.77	0.2	0.59	0.49	0.66	0.92	0.66	1.25	0.88
Er	2.59	2.43	2.46	0.53	1.88	1.4	1.92	2.73	1.88	3.48	2.57
Tm	0.37	0.32	0.38	0.07	0.28	0.22	0.3	0.45	0.27	0.54	0.38
Yb	2.48	2.24	2.7	0.46	1.7	1.5	2	2.9	1.8	3.5	2.4
Lu	0.35	0.33	0.43	0.07	0.24	0.2	0.3	0.46	0.27	0.53	0.34

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to first volcanic pulse (Eocene)											
Sample Ref.	571-10 Mov	571-12 Mov	571-15 Mov	571-2 Mov	571-21 Mov	571-28 Mov	571-5 Mov	571-6 Mov	571-7 Mov	571-9 Mov	Q.10 Om
SiO <sub>2</sub>	54.88	55.61	52.65	54.02	56.21	52.31	55.94	52.69	52.71	52.12	48.58
TiO <sub>2</sub>	0.76	0.71	0.81	1.07	0.66	0.79	0.86	0.81	0.80	0.90	1.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.79	16.24	16.98	16.55	15.33	16.4	15.77	17.33	16.33	16.47	17.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.31	7.12	7.95	10.19	6.92	7.82	7.61	9.32	7.43	7.79	9.79703
MnO	0.16	0.14	0.170	0.19	0.14	0.13	0.14	0.17	0.13	0.11	0.13
MgO	4.56	6.25	6.21	5.15	5.13	6.26	4.54	6.17	6.33	5.84	3.79
CaO	7.78	6.97	8.07	5.48	6.59	7.51	6.83	10.13	7.28	8.1	10.19
Na <sub>2</sub> O	2.69	3.06	2.31	3.8	2.87	2.63	3.28	2.27	2.75	2.85	3.39
K <sub>2</sub> O	0.67	0.74	1.39	0.08	0.57	1.18	0.72	0.47	1.01	1.09	1.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.18	0.14	0.28	0.17	0.25	0.21	0.15	0.24	0.25	0.67
Cr	85	103	97	56	98	114	84	107	149	176	114
Ni	3	42	11	3	30	46	10	11	83	87	36
Co	36	26	29	32	23	30	23	35	30	32	23
Cu	45	111	115	78	45	49	44	51	23	44	30
Pb	8	8	5	5	8	6	2	5	5	5	16
Zn	109	113	70	104	72	80	70	38	72	73	113
Rb	20.07	13.14	48.09	1.96	20.08	23.69	20.3	21.07	18.31	16.29	28.68
Cs	1.96	2.78	0.64	0.97	0.72	1.96	0.5	2.94	0.67	1.37	0.09
Ba	276.6	384.6	284.3	115.8	411.5	475.6	256.5	77.7	351.2	303.6	545
Sr	339.54	425.33	455.51	464.76	456.2	448.4	368.02	331.43	403.99	474.93	636
Ta	0.31	0.5	0.35	0.38	0.48	0.57	0.56	0.27	0.9	0.77	1.7
Nb	4.34	7.57	4.99	6.4	7.11	9.78	8.73	3.21	13.49	13.04	27.84
Hf	2	3	1	1	3	3	3	1	2	2	3.23
Zr	69.1	72.4	82	93.3	101.6	97.5	96.5	12.2	85.8	95.9	126
Y	22.89	20.52	22.97	37.78	22.18	22.13	26.95	19.85	21.19	23.49	30
Th	2.54	1.33	2.58	0.88	2.13	1.34	1.78	1.27	1.55	1.31	3.94
U	0.8	0.41	0.82	0.29	0.66	0.41	0.63	0.3	0.54	0.44	2.04
La	9.04	15.73	10.45	14.72	16.9	17.67	13.71	7.09	15.98	15.38	29.89
Ce	19.41	31.64	22.75	32.71	33.24	36.51	29.88	15.65	32.23	31.8	56.44
Pr	2.557	3.818	2.908	4.38	4.007	4.47	3.849	2.112	3.87	3.882	6.79
Nd	11.5	15.69	12.79	20.3	16.22	18.2	16.04	9.68	16.03	16.56	27.6
Sm	3.07	3.47	3.23	5.22	3.6	3.97	3.93	2.61	3.67	3.75	6.02
Eu	1.01	1.14	0.98	1.72	1.12	1.26	1.21	0.9	1.16	1.26	1.9
Gd											5.54
Tb											0.8
Dy	4.33	3.89	4.25	6.66	4.08	4.26	4.99	3.69	4	4.29	5.02
Ho											1.12
Er											2.71
Tm											0.41
Yb	2.37	1.89	2.33	3.49	2.27	2.16	2.65	1.98	2.11	2.23	2.67
Lu	0.361	0.304	0.354	0.562	0.349	0.341	0.379	0.305	0.306	0.33	0.42

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to first volcanic pulse (Eocene)											
Sample Ref.	Q.12 Om	Q.13 Om	Q.20 Om	A1 Ta	A11 Ta	A12 Ta	A15 Ta	A2 Ta	A5 Ta	A7 Ta	B13 Ta
SiO <sub>2</sub>	69.73	73.7	58.84	73.3	67	68.8	73.6	68.7	66.7	56.8	68.7
TiO <sub>2</sub>	0.5	0.19	0.66	0.17	0.58	0.43	0.29	0.18	0.51	0.84	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.85	12.54	14.93	11.8	14.7	13.9	13.6	13.4	15.4	16.5	16.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.37	1.80	6.51	2.07	3.95	3.59	2.58	2.12	3.85	7.41	0.74
MnO	0.03	0.04	0.23	0.06	0.08	0.08	0.03	0.07	0.09	0.13	0.01
MgO	0.59	0.3	4.59	0.24	0.84	0.85	0.22	0.32	0.74	2.62	0.08
CaO	3.58	1.29	2.91	1.82	1.82	1.62	1	1.25	1.45	3.64	0.53
Na <sub>2</sub> O	2.37	1.72	4.24	3.5	4.7	4.1	7.2	4.2	5.7	4.7	5.5
K <sub>2</sub> O	3.53	5.78	2.89	4.09	3.56	3.95	0.24	3.15	3.32	3.45	5.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.04	0.12	0.03	0.17	0.1	0.07	0.03	0.14	0.25	0.04
Cr	0	0	42	68.43	68.43	68.43	68.43	68.43	68.43	68.43	68.43
Ni	2	0	13	9	7	12	11	9	6	25	7
Co	3	1	16	1.6	2.7	4.7	2.6	1.3	2.7	18.4	0.5
Cu	4	2	2	19	10	92	23	51	11	78	9
Pb	8.26	5.96	14.28								
Zn	24	13	144	30	69	97	34	45	75	81	18
Rb	91.81	155.95	94.26	112	94.3	96.8	2.8	119	95.3	102	130
Cs	2.57	4.23	2.08	1.5	0.8	0.8	0.3	2.6	1	4.2	0.8
Ba	657	643	532	650	760	880	100	700	980	930	850
Sr	176	54	125	120	240	160	210	110	310	500	250
Ta	1.09	1.7	0.54	0.9	1	1.2	1	1	1	0.5	1.4
Nb	12.58	15.84	6.72	12	16	16	13	13	13	8	18
Hf	7.93	4.11	4.13	4	5	5	4	4	5	3	6
Zr	256	120	168	160	210	240	180	180	220	140	260
Y	43	18	21	10	30	40	20	20	20	30	20
Th	12.98	18.26	6.12	9.4	7.6	10.9	9.2	10.9	10	4.4	13.1
U	3.53	3.46	1.61	2.31	2.31	3.57	2.4	2.62	2.54	1.05	3.79
La	23.42	36.46	16.32	22.6	27.1	39.5	23	27.1	28.2	18.7	43.1
Ce	49.23	59.23	32.62	41.7	53.9	73.3	43.5	47.7	55.9	39.1	83.5
Pr	6.09	5.86	3.87	4.45	6.43	8.17	4.72	5.2	6.22	4.78	8.79
Nd	25.42	19.67	15.35	14.7	24.5	29.3	16	17.3	22.6	19.1	29.7
Sm	6.01	3.32	3.41	2.8	5.2	5.2	2.9	3.2	4.2	4.4	5
Eu	1.24	0.52	1.05	0.41	1.25	0.99	0.61	0.49	1.05	1.18	0.93
Gd	6.02	2.79	3.12	2.44	5.08	5.12	2.64	2.8	4.31	4.73	4.03
Tb	1	0.43	0.51	0.44	0.84	0.85	0.47	0.46	0.72	0.8	0.6
Dy	6.86	2.73	3.27	2.48	4.96	5.32	2.73	2.85	4.32	5.1	3.26
Ho	1.57	0.67	0.72	0.55	1.04	1.18	0.57	0.61	0.96	1.08	0.66
Er	4.06	1.87	2.01	1.72	3.09	3.82	1.86	1.77	2.88	2.9	1.98
Tm	0.63	0.32	0.31	0.28	0.49	0.61	0.32	0.3	0.43	0.4	0.33
Yb	4.21	2.46	2.06	1.9	3.3	4.3	2.2	2.3	3.2	2.9	2.6
Lu	0.67	0.39	0.35	0.31	0.51	0.63	0.34	0.32	0.48	0.43	0.35

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Ahmadvand, 2009), As (Ahmadvand, 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian, 2012), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Ahmadvand, 2009), As (Ahmadvand, 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian, 2012), Om (Omran et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to second volcanic pulse (Oligocene-Pliocene)												
Sample	51	56	57	63	71	73	77	79a	83	SA17	SA18	SA22
Ref.	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Ah	Ah	Ah
SiO <sub>2</sub>	69.11	68.74	70.07	68.96	73.65	68.90	76.95	77.76	76.48	55.91	47.33	50.17
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.38	0.40	0.45	0.23	0.26	0.15	0.14	0.21	0.86	0.80	1.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.83	13.97	12.95	13.00	13.04	13.70	11.89	12.55	13.51	17.01	13.19	16.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.89	2.87	2.95	2.67	2.40	2.37	1.05	0.62	0.80	8.78	10.97	8.92
MnO	0.05	0.06	0.03	0.04	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.11	0.16	0.13
MgO	0.48	0.61	0.15	0.32	0.39	0.39	0.17	0.09	0.18	3.98	12.11	6.90
CaO	2.27	2.39	1.96	2.87	0.70	3.14	0.36	0.51	0.16	6.80	9.63	10.33
Na <sub>2</sub> O	4.18	4.21	4.45	5.70	3.26	5.40	2.33	1.37	1.16	3.40	2.55	3.62
K <sub>2</sub> O	4.92	4.76	4.81	3.52	4.77	3.95	5.65	5.99	5.61	1.95	1.64	1.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.08	0.10	0.08	0.06	0.07	0.02	0.02	0.02	0.30	0.33	0.66
Cr	3	3	3	3	4	3	2	3	3			
Ni	6.72	7	6	8	7	9	6	6	5			
Co	5.236	5.6	4.3	4.9	4.3	6.2	0.7	1	1.1	24.8	52.1	31.8
Cu	14.684	14.6	14.9	21.6	22.9	16.4	19.7	22.8	37.2			
Pb	10.888	11	10.6	22.5	29.8	14.9	3.5	4.2	10.4	10	7	6
Zn	95.868	97.8	90.9	74.7	100	75	53.7	65.6	71.2			
Rb	194.68	200	181	91.7	187	111	195	202	182	45.65	29.82	20.54
Cs	6.44	5.6	8.6	2.9	6.7	1.1	1.8	2.5	7.4			
Ba	1262.4	1240	1320	785	1160	941	828	996	1110	435	432.5	452.6
Sr	117.64	121	109	207	174	163	138	36.7	23.1	430.61	534.1	896.66
Ta	0.7496	0.73	0.8	0.82	0.61	0.6	1.53	1.2	1.78	0.84	0.57	1.06
Nb	10.464	10.1	11.4	11.5	7.2	7.5	14.4	12.3	16.9	11.86	6.4	15.62
Hf	1.994	1.84	2.39	4.65	2.06	1.31	4.46	3.16	3.93	3.19	3.17	3.97
Zr	46.2	42	57	112	49	36	104	81	94	138.2	131.9	184.7
Y	30.328	31	28.6	25.2	17.6	13.1	15.3	11.6	23.5	22.93	22.79	23.96
Th	9.7512	9.74	9.78	9.32	11.1	7.74	17.5	12	17.4	4.55	5.08	6.22
U										1.18	1.17	1.43
La	24.384	24.3	24.6	18.8	24.4	16.4	16.7	25.9	36.2	22	24.94	47.06
Ce	17.2	45.8	45.7	36.5	41.6	28.2	32.1	47.9	59.5	43.77	56.61	99.95
Pr	5.5976	5.62	5.54	4.56	4.31	2.46	3.37	4.62	6.86	5.146	6.905	11.905
Nd	20.488	20.6	20.2	17.4	14.2	8.06	10.8	14.6	22.2	20.73	29.04	47.12
Sm	4.258	4.37	3.97	3.75	2.53	1.52	1.87	2.44	3.81	4.27	6.44	8.25
Eu	1.4192	1.45	1.34	1.02	0.87	0.6	0.49	0.62	0.87	1.28	1.72	2.39
Gd	4.946	4.96	4.91	3.9	3.9	2.69	2.67	3.66	5.32	3.98	5.46	5.96
Tb	0.812	0.84	0.74	0.71	0.47	0.3	0.33	0.35	0.64	0.629	0.784	0.813
Dy	4.8528	5.06	4.32	4.1	2.76	1.88	2.13	1.97	3.61	3.92	4.3	4.58
Ho	1.018	1.06	0.91	0.87	0.58	0.42	0.51	0.4	0.78	0.84	0.81	0.9
Er	3.1096	3.23	2.8	2.66	1.79	1.3	1.82	1.35	2.45	2.31	2.01	2.27
Tm	0.4904	0.51	0.44	0.43	0.29	0.22	0.33	0.25	0.42	0.34	0.27	0.32
Yb	3.2844	3.43	2.91	2.79	2	1.59	2.44	1.79	2.91	2.16	1.64	2.01
Lu	0.4788	0.49	0.45	0.44	0.3	0.25	0.4	0.3	0.48	0.357	0.251	0.307





**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to third volcanic pulse (Plio-Quaternary)											
Sample	ZF33	ZF34	ZF42	4.05	4.06	4.07	QM 03	AR2	CN3	CN4	CN5
Ref.	Fa	Fa	Fa	Ja	Ja	Ja	Ja	Kh	Kh	Kh	Kh
SiO <sub>2</sub>	64.74	67.4	66.8	62	71.2	62.5	69.2	59.01	64.54	61.55	59.26
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.34	0.43	0.56	0.25	0.54	0.25	0.59	0.43	0.51	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.68	16.24	16.95	16.3	15.05	16.45	15.05	17.07	14.95	16.2	16.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.19	3.62	3.5	4.61	1.79	4.52	1.75	8.21	4.26	5.81	6.23
MnO				0.04	0.03	0.06	0.03	0.09	0.15	0.09	0.18
MgO	2.01	1.43	1.62	1.67	0.65	1.93	0.67	2.5	0.8	2.4	2.06
CaO	4.84	3.81	3.62	5.36	2.85	5.69	3.74	6.11	4.27	4.95	4.61
Na <sub>2</sub> O	3.39	3.88	4.03	4.02	4.29	4.16	4.23	3.6	3.4	3.81	4.27
K <sub>2</sub> O	2.06	2.91	2.16	2.33	2.42	2.33	2.39	1.49	2.61	2.69	2.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.213	0.196	0.25	0.07	0.24	0.08	0.22	0.17	0.21	0.2
Cr				40	40	80	30	34	7	34	21
Ni				11	6	19	17	21	7	12	11
Co				9.6	3.1	11.6	3.1	17.4	6	14	12
Cu				22	5	27	12				
Pb				22	15	24	16	43	33	40	180
Zn				83	33	74	91	131	166	104	412
Rb	51.4	82.45	78.95	66.1	83.3	56.1	81.5	37.5	78	83	80
Cs				3.42	2.56	1.94	3.11	3.1	3	1.3	1.2
Ba	885.3	815.8	856.3	1430	762	1610	761	470.8	1201	1284	1056
Sr	695.08	542.04	535.7	712	370	755	366	559	484	934	720
Ta	0.41	0.53	0.58	0.9	0.4	0.9	0.4	0.4	1.9	0.9	0.6
Nb	5.46	8.13	8.39	11.7	4.7	12.4	4.6	3.9	9.5	9	7
Hf	2.75	2.87	3.94	3.8	3.5	4.1	3.4	2.6	4.4	4.4	3.6
Zr	109.9	169.7	174.6	135	127	146	127	94	168	162	140
Y	9.86	7.58	8.55	10.4	5.4	9.9	5.7	13	11.6	16	13.8
Th	10.02	11.38	11.37	29.3	8.21	29.3	8.25	3.4	23	20	15
U	2.79	3.95	3.86	10.8	2.96	10	2.97	1.2	7.5	7	4.5
La	27.07	25.01	25.93	48	22.7	53.1	23	15	43	45	34
Ce	48	47.46	49.95	82	40.8	91	40.5	28	77	80	63
Pr	5.31	5.38	5.72	8.71	4.26	9.47	4.23	3.22	6.2	8	6.6
Nd	18.79	19.37	20.76	29.9	14.3	32.9	14.2	12.5	25.7	29.1	24.4
Sm	3.21	3.3	3.62	4.73	2.39	5.04	2.44	2.7	3.5	4.3	4.2
Eu	0.9	0.9	0.97	1.21	0.62	1.23	0.61	0.83	0.93	1.27	1.1
Gd	2.45	2.33	2.61	3.78	1.89	3.89	1.98	2.5	2.2	3	2.9
Tb	0.34	0.3	0.34	0.45	0.22	0.45	0.23	0.41	0.34	0.48	0.43
Dy	1.85	1.5	1.74	2.19	1.09	2.07	1.12	2.01	1.92	2.73	2.62
Ho	0.35	0.26	0.3	0.38	0.19	0.35	0.19	0.43	0.37	0.56	0.49
Er	0.95	0.68	0.76	1.03	0.52	1.02	0.55	1.15	1.09	1.46	1.22
Tm	0.14	0.09	0.1	0.15	0.07	0.13	0.07	0.2	0.15	0.23	0.2
Yb	0.94	0.57	0.67	0.93	0.44	0.81	0.46	1.14	1.15	1.42	1.31
Lu	0.137	0.08	0.097	0.13	0.07	0.12	0.07	0.16	0.19	0.25	0.22

**ادامه جدول ۱.** آنالیز شیمیایی سنگ کل پایگاه داده مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اکسیدها بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب ppm ارائه شده‌اند. اختصارها عبارتند از: Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015)

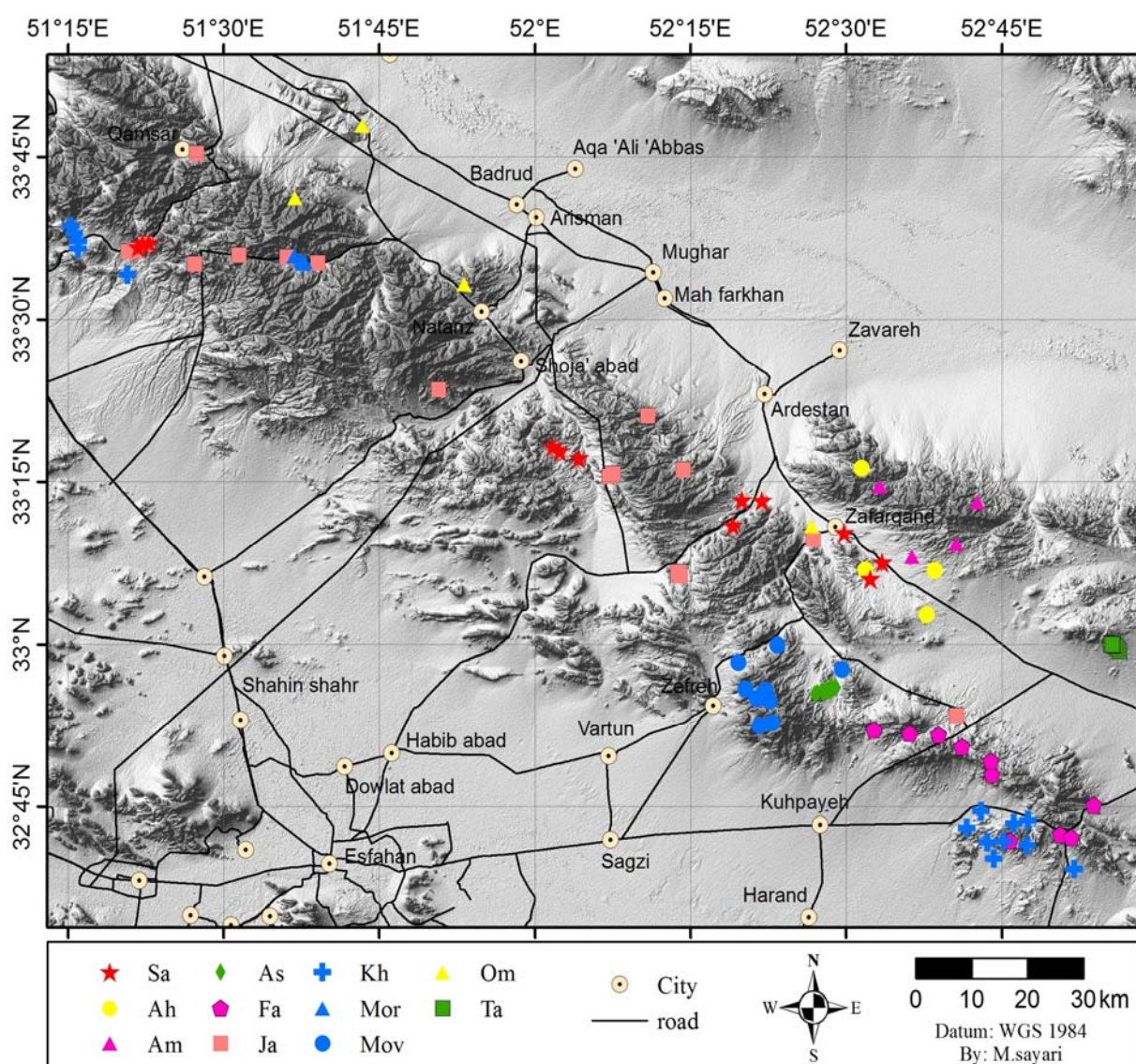
**Table 1 (Continued).** Whole rock analyses of studied geodatabase from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Oxides in wt.%, and other elements in ppm are reported. Abbreviations are Ah (Ahmadvand, 2009), Am (Amoozad-khalili, 2009), As (Asadi et al., 2009), Fa (Fardfeshani, 2011), Ja (Jabbari, 2014), Kh (Khodami, 2009), Mor (Moradizadeh, 2012), Mov (Movahedian Atar, 2008), Om (Omrani et al., 2008), Ta (Tamizi, 2013), Sa (Sayari, 2015).

Whole rock analyses related to third volcanic pulse (Plio-Quaternary)										
Sample Ref.	CN6 Kh	DH4 Kh	DH7 Kh	EM1 Kh	JS13 Kh	MAG Kh	OG4 Kh	RS2 Kh	SK1 Kh	T04 Kh
SiO <sub>2</sub>	66.38	64.56	65.06	67.56	57.83	65.28	61.51	65.32	54.78	55.72
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.49	0.45	0.37	0.56	0.49	0.53	0.44	0.74	0.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.57	15.77	15.4	15.24	17.43	15.78	15.57	15.9	16.6	18.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.71	5.41	3.89	3.73	7.49	4.16	6.49	3.59	10.16	8.6
MnO	0.03	0.06	0.04	0.05	0.11	0.05	0.11	0.03	0.13	0.12
MgO	0.64	1.36	1	1.13	2.71	1.62	2.26	1.55	3.28	3.58
CaO	3.51	4.23	5.21	3.54	6.07	4.12	4.97	3.9	7.84	7.65
Na <sub>2</sub> O	3.36	4.07	4.1	4.05	3.35	4.09	3.49	4.13	3.36	2.84
K <sub>2</sub> O	2.97	2.26	2.31	2.45	2.56	2.44	1.71	2.62	1.1	1.73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.21	0.21	0.14	0.27	0.22	0.18	0.25	0.35	0.23
Cr	14	27	20.5	20	20.5	27.3	20.5	20.5	96	34
Ni	10	18	9.8	9	13	18	8.1	11	30	16
Co	5	10.4	8.7	7	17.5	9	13.4	8.3	23	20
Pb	20	75	33	29	224	33	64	12	46	56
Zn	106	198	150	160	322	248	257	86	256	304
Rb	84	59.1	65.6	81	68.7	64	45	82.8	33.3	47.5
Cs	2.5	2.1	1.7	2	3	2	1	3.2	0.8	0.8
Ba	1110	950	770.2	870	655.7	752.7	457.2	772	482.7	518
Sr	494	597	554	513	1039	551	341	145	614	968
Ta	1	0.6	0.8	0.5	0.8	1.8	0.5	0.5	0.9	0.5
Nb	9.6	7.3	6.8	6	6.8	7.1	4	7.7	7.6	5.3
Hf	4.8	3.7	3.5	3.8	3.4	3.7	3.1	4	3.1	2.9
Zr	174	134	129	137	107	124	92	144.7	122	105
Y	9.7	6.9	8	7.4	19.5	7.5	23.1	8.4	25.1	14.1
Th	27	9.6	9.1	12	8.3	12.6	3.3	10.9	3.2	4.5
U	7.6	3.3	3.9	3.3	2	3.6	0.8	4.2	0.9	1.4
La	46	27	26	27	19	25	15	26	22	14
Ce	82	51	48	51	40	48	31	48	44	30
Pr	8	5.47	5.14	5	4.68	4.86	3.9	5.48	5.37	3.5
Nd	25.8	20.7	18.2	19.8	18.7	19.9	15.5	19.7	21.4	15.3
Sm	3.3	3.1	3	3	3.8	3.1	3.6	3.3	4.6	3.2
Eu	0.78	0.91	0.82	0.77	1.05	0.8	0.95	0.89	1.34	0.94
Gd	1.9	1.99	2	2	3.5	1.9	3.6	2.4	4.2	2.7
Tb	0.31	0.26	0.3	0.26	0.5	0.31	0.59	0.34	0.7	0.45
Dy	1.81	1.23	1.57	1.25	3.15	1.35	3.85	1.64	4.04	2.46
Ho	0.31	0.19	0.28	0.24	0.63	0.25	0.76	0.26	0.82	0.47
Er	0.93	0.53	0.72	0.58	1.73	0.74	2.46	0.63	2.44	1.36
Tm	0.16	0.09	0.11	0.11	0.26	0.09	0.35	0.12	0.35	0.24
Yb	1.12	0.5	0.66	0.64	1.76	0.61	2.47	0.61	2.3	1.21
Lu	0.14	0.08	0.09	0.1	0.28	0.1	0.4	0.1	0.35	0.2

### بحث و بررسی

موقعیت مکانی پایگاه داده‌های ژئوشیمی در شکل ۱ نشان داده شده است. متأسفانه داده‌های سن مطلق و دقیق چندانی از سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در دست نیست و این سنگ‌ها اغلب بر اساس سن نسبی در نقشه‌های زمین‌شناسی ارائه شده‌اند. در جدول ۲، نام و مختصات محل نمونه‌ها، نام نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوطه، سن و فاز آتشفشانی آنها به همراه

منبع ارائه شده است. برای سهولت در پردازش اطلاعات، کلیه داده‌ها صرف نظر از موقعیت مکانی آنها، در سه گروه ائوسن، الیگوسن-پلیوسن و پلیوسن-کواترنر تقسیم‌بندی شدند. این دسته‌بندی مطابق با فازهای اصلی ولکانیسم سنوزوئیک ارومیه-دختر و ایالت ماگمایی شمال زمین‌درز زاگرس-بیتلیس انتخاب شده است.



شکل ۱. توزیع مکانی پایگاه داده ژئوشیمی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اختصار منابع مطابق با جدول ۱ است.

**Fig. 1.** Spatial distribution of the studied geochemistry database from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Abbreviations of references are the same as Table 1.

**جدول ۲.** اطلاعات پایگاه داده ژئوشیمی مورد استفاده در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اختصار منابع مطابق با جدول ۱ است.

**Table 2.** Information of the studied geochemistry database from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Abbreviations of references are the same as Table 1.

Sample name	Reference	Coordinate				Geology map 1:100000	Age (in geology map)	group
		Geographic		UTM (Zone 39N)				
		N	E	X	Y			
10	Sa	33.6086	51.3626	533638	3718819	Kashan	Pliocene	3
17	Sa	33.61412	51.37014	534336	3719433	Kashan	Pliocene	3
20	Sa	33.61542	51.38024	535272	3719580	Kashan	Pliocene	3
51	Sa	33.1811	52.31836	622908	3672138	Ardestan	Oligocene	2
56	Sa	33.22026	52.33279	624198	3676497	Ardestan	Oligocene	2
57	Sa	33.21959	52.36483	627185	3676461	Ardestan	Oligocene	2
63	Sa	33.16967	52.49679	639562	3671095	Shahrab	Miocene	2
71	Sa	33.09893	52.53855	643571	3663308	Shahrab	Miocene	2
73	Sa	33.12379	52.55789	645335	3666090	Shahrab	Miocene	2
77	Sa	33.28431	52.07061	599692	3683318	Ardestan	Oligocene	2
79a	Sa	33.29487	52.04034	596862	3684460	Ardestan	Oligocene	2
83	Sa	33.30172	52.02889	595788	3685209	Ardestan	Oligocene	2
SA17	Ah	33.11244	52.64284	653281	3664953	Shahrab	Oligocene	2
SA18	Ah	33.11338	52.53124	642866	3664899	Shahrab	Oligocene	2
SA22	Ah	33.04442	52.62979	652180	3657392	Shahrab	Oligocene	2
SA7	Ah	33.27074	52.52519	642047	3682339	Shahrab	Eocene	1
BK14	Am	33.15369	52.67738	656430	3669578	Shahrab	Eocene	1
BK15	Am	33.24268	52.55418	644793	3679268	Shahrab	Eocene	1
BK18	Am	33.13409	52.60611	649817	3667301	Shahrab	Eocene	1
BK2	Am	33.21859	52.71084	659434	3676825	Shahrab	Eocene	1
KAF-022	As	32.9333	52.4836	638702	3644869	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAF-042	As	32.93286	52.47511	637909	3644809	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAF-047	As	32.934	52.47713	638096	3644938	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAF-143	As	32.92917	52.47377	637790	3644398	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAF-188	As	32.92535	52.45397	635944	3643949	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAF-206	As	32.92365	52.44997	635573	3643755	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAI-020	As	32.93433	52.48352	638693	3644983	Kuhpayeh	Pliocene	3
KAI-021	As	32.93402	52.48332	638675	3644948	Kuhpayeh	Pliocene	3
ZF30	Fa	32.86228	52.60218	649909	3637157	Kajan	Eocene	1
ZF33	Fa	32.69753	52.76353	665313	3619131	Kajan	Pliocene	3
ZF34	Fa	32.70721	52.84436	672872	3620333	Kajan	Pliocene	3
ZF40	Fa	32.85996	52.64907	654301	3636968	Kajan	Eocene	1
ZF41	Fa	32.86763	52.54525	644574	3637671	Kajan	Eocene	1
ZF42	Fa	32.70287	52.86195	674529	3619880	Kajan	Pliocene	3
ZF43	Fa	32.79918	52.7344	662397	3630356	Kajan	Eocene	1
ZF44	Fa	32.75193	52.8982	677830	3625380	Kajan	Eocene	1
ZF46	Fa	32.84202	52.6867	657854	3635034	Kajan	Eocene	1
ZF47	Fa	32.82002	52.73267	662196	3632664	Kajan	Eocene	1
1.11	Ja	33.11028	52.22986	614749	3664185	Ardestan	Eocene	1
1.8	Ja	33.10478	52.23328	615075	3663579	Ardestan	Eocene	1
10	Ja	32.89071	52.67709	656869	3640418	Kajan	Eocene	1
2.101	Ja	33.25797	52.11922	604250	3680445	Ardestan	Eocene	1
2.5	Ja	33.262	52.12581	604859	3680898	Ardestan	Eocene	1
2TN 13	Ja	33.39106	51.84536	578621	3694960	Tarq	Eocene	1

ادامه جدول ۲. اطلاعات پایگاه داده ژئوشیمی مورد استفاده در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اختصار منابع مطابق با جدول ۱ است.

**Table 2 (Continued).** Information of the studied geochemistry database from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Abbreviations of references are the same as Table 1.

Sample name	Reference	Coordinate				Geology map 1:100000	Age (in geology map)	group
		Geographic		UTM (Zone 39N)				
		N	E	X	Y			
4.003	Ja	33.58425	51.45358	542091	3716152	Kashan	Eocene	1
4.006	Ja	33.59828	51.52444	548658	3717739	Natanz	Eocene	1
4.007	Ja	33.59547	51.60164	555822	3717466	Natanz	Eocene	1
4.008	Ja	33.58597	51.65167	560471	3716441	Natanz	Eocene	1
4.05	Ja	33.60378	51.3465	532146	3718279	Kashan	Pliocene	3
4.06	Ja	33.60569	51.35931	533334	3718495	Kashan	Pliocene	3
4.07	Ja	33.60603	51.35928	533331	3718532	Kashan	Pliocene	3
B.56	Ja	33.26792	52.23817	615317	3681672	Ardestan	Eocene	1
B58-2	Ja	33.35036	52.18136	609923	3690752	Ardestan	Eocene	1
PF 01	Ja	33.16147	52.44761	634989	3670121	Ardestan	Eocene	1
QM 03	Ja	33.61483	51.37375	534670	3719513	Kashan	Pliocene	3
QQ 02	Ja	33.75578	51.45647	542275	3735171	Kashan	Eocene	1
AR2	Kh	32.74288	52.71723	660890	3624087	Kajan	Pliocene	3
CN3	Kh	33.64221	51.25527	523672	3722515	Kashan	Pliocene	3
CN4	Kh	33.60699	51.26653	524726	3718612	Kashan	Pliocene	3
CN5	Kh	33.6313	51.26063	524172	3721307	Kashan	Pliocene	3
CN6	Kh	33.61914	51.26707	524773	3719960	Kashan	Pliocene	3
DH4	Kh	32.7242	52.76966	665838	3622097	Kajan	Pliocene	3
DH7	Kh	32.72865	52.79238	667959	3622627	Kajan	Pliocene	3
EM1	Kh	33.568	51.34563	532079	3714312	Kashan	Pliocene	3
JS13	Kh	32.69511	52.72657	661852	3618806	Kajan	Pliocene	3
MAG	Kh	32.66985	52.73782	662952	3616022	Kajan	Pliocene	3
OG4	Kh	32.65397	52.8668	675080	3614467	Kajan	Pliocene	3
RS2	Kh	32.69702	52.75289	664316	3619058	Kajan	Pliocene	3
SK1	Kh	32.6909	52.79071	667873	3618438	Kajan	Pliocene	3
T04	Kh	32.71762	52.69367	658727	3621251	Kajan	Pliocene	3
A12	Mor	33.58967	51.62564	558053	3716836	Natanz	Eocene	1
A19	Mor	33.58767	51.63053	558508	3716617	Natanz	Eocene	1
A3	Mor	33.58514	51.62783	558260	3716335	Natanz	Eocene	1
A33	Mor	33.59594	51.61325	556899	3717525	Natanz	Eocene	1
A37	Mor	33.59667	51.61417	556984	3717606	Natanz	Eocene	1
A39	Mor	33.59753	51.61383	556953	3717701	Natanz	Eocene	1
A7	Mor	33.58842	51.62667	558149	3716698	Natanz	Eocene	1
571-10	Mov	32.87949	52.38186	629268	3638773	Kuhpayeh	Eocene	1
571-12	Mov	32.8752	52.36145	627364	3638273	Kuhpayeh	Eocene	1
571-15	Mov	32.96115	52.49355	639589	3647970	Kuhpayeh	Eocene	1
571-2	Mov	32.93168	52.33874	625161	3644508	Kuhpayeh	Eocene	1
571-21	Mov	32.99825	52.39031	629885	3651951	Kuhpayeh	Eocene	1
571-28	Mov	32.97217	52.3275	624053	3648984	Kuhpayeh	Eocene	1
571-5	Mov	32.91671	52.35742	626928	3642871	Kuhpayeh	Eocene	1
571-6	Mov	32.92474	52.36729	627839	3643773	Kuhpayeh	Eocene	1
571-7	Mov	32.92965	52.37122	628200	3644322	Kuhpayeh	Eocene	1
571-9	Mov	32.91298	52.37763	628824	3642482	Kuhpayeh	Eocene	1
Q.10	Om	33.798	51.723	566926	3739994	Natanz	Eocene	1

ادامه جدول ۲. اطلاعات پایگاه داده ژئوشیمی مورد استفاده در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. اختصار منابع مطابق با جدول ۱ است.

**Table 2 (Continued).** Information of the studied geochemistry database from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Abbreviations of references are the same as Table 1.

Sample name	Refrence	Coordinate				Geology map 1:100000	Age (in geology map)	group
		Geographic		UTM (Zone 39N)				
		N	E	X	Y			
Q.12	Om	33.686	51.615	557002	3727511	Natanz	Eocene	1
Q.13	Om	33.554	51.887	582339	3713058	Natanz	Eocene	1
Q.20	Om	33.181	52.445	634715	3672283	Ardestan	Eocene	1
A1	Ta	32.98981	52.93919	681186	3651827	Kajan	Eocene	1
A11	Ta	32.99917	52.92761	680085	3652845	Kajan	Eocene	1
A12	Ta	32.99994	52.92539	679876	3652927	Kajan	Eocene	1
A15	Ta	32.99917	52.92769	680093	3652845	Kajan	Eocene	1
A2	Ta	32.99319	52.93646	680924	3652198	Kajan	Eocene	1
A5	Ta	32.99733	52.93303	680595	3652651	Kajan	Eocene	1
A7	Ta	32.99872	52.92933	680247	3652798	Kajan	Eocene	1
B13	Ta	32.99917	52.92769	680093	3652845	Kajan	Eocene	1

نمودار جریان‌ی که در شکل ۲ نشان داده شده است، رده‌بندی شدند و سری ماگمایی آنها تعیین شد.

برای نام‌گذاری سریع نمونه‌ها از نمودار TAS (Le Maitre et al., 2002) که در شکل ۵ نشان داده شده، استفاده شده است.

خروجی نمودار جریان‌ی (شکل ۲) یعنی نتایج تعیین سری ماگمایی و نام نمونه‌ها در قالب جدول ۳ و نتایج آماری آن در جدول ۴ آمده است. نقشه پراکنده‌گی نمونه‌های پایگاه داده مورد بررسی پس از تفکیک سری ماگمایی در شکل ۶ نشان داده شده است.

چنان‌که در جدول ۴ نیز مشخص است، در کل، هیچ‌یک از نمونه‌های مورد بررسی، ویژگی‌های سری ماگمایی آلکالن و تولیتی را نشان نمی‌دهند. از گروه اول (فاز اول آتشفشانی، ائوسن) حدود ۷۱ درصد نمونه‌ها کالک آلکالن و ۲۹ درصد شوشونیتی هستند. از گروه دوم (فاز دوم آتشفشانی، الیگوسن-پلیوسن) حدود ۶۷ درصد ماهیت شوشونیتی داشته و ۳۳ درصد کالک آلکالن هستند. از گروه ۳ (فاز سوم ولکانیسم، پلیوسن-کواترنر) به‌غیر از نمونه‌های CN4، JS13 (Khodami, 2009) که ماهیت شوشونیتی دارند و نمونه‌های OG4 و SK1 (Khodami, 2009) که ماهیت کالک آلکالن دارند، همگی ماهیت آداکیتی نشان می‌دهند. این ارقام در نمودار ستونی شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

برای مدیریت پردازش داده‌ها و برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌ها، یک نمودار جریان‌ی طراحی شد. در طراحی این نمودار جریان‌ی که در شکل ۲ نشان داده شده، از ۳ نشانگر برای تعیین هر سری ماگمایی استفاده شده است تا پاسخ مناسب و صریح در هر گزینش گرفته شود. به این ترتیب که اگر نمونه‌ای دست‌کم دو شرط از سه شرط احراز را داشته باشد، در آن سری ماگمایی قرار می‌گیرد. چنان‌که در شکل ۲ نیز مشخص است این نشانگرها عبارتند از: نمودارهای TAS (شکل ۳-A) و AFM (شکل ۳-B) (Irvine and Baragar, 1971)، Th/Yb در مقابل Ta/Yb (شکل ۳-C) و Ce/Yb در مقابل Ta/Yb (شکل ۳-D) (Pearce, 1982; Müller et al, 1992)، نمودار (La/Yb)<sub>N</sub> در مقابل Yb<sub>N</sub> (شکل ۴-A) (Martin, 1986)؛ Sr/Y در مقابل Y (شکل ۴-B) (Martin, 1999)، همچنین نسبت K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O، مقادیر Y، P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>، TiO<sub>2</sub> و Yb.

در این نمودار جریان‌ی (شکل ۲)، ترتیب گزینش‌ها نیز به گونه‌ای لحاظ شده است که عدم توانایی برخی نمودارها در شناسایی سری‌های ماگمایی خللی در نتیجه ایجاد نکند، به‌عنوان مثال تفکیک آداکیت‌ها قبل از تفکیک نمونه‌های شوشونیتی و کالک آلکالن صورت می‌گیرد. کلیه نمونه‌ها بر اساس این

**جدول ۳.** نتایج تعیین ماهیت ماگمایی (بر اساس نمودار جریان‌ی شکل ۲) و نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر (بر اساس نمودار TAS شکل ۵). CA: کالک آلکان، Sh: شوشونیتی، Ad: آداکیت. منابع مطابق با جدول ۱ آورده شده‌اند.

**Table 3.** Results of determining magmatic series (based on flowchart of Fig. 2) and nomenclature of the studied volcanic rocks from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. (based on TAS diagram of Fig. 5). Ca: Calc-alkaline, Sh: Shoshonitic, Ad: Adakite. Ref.: References (Ref.) are similar to Table 1.

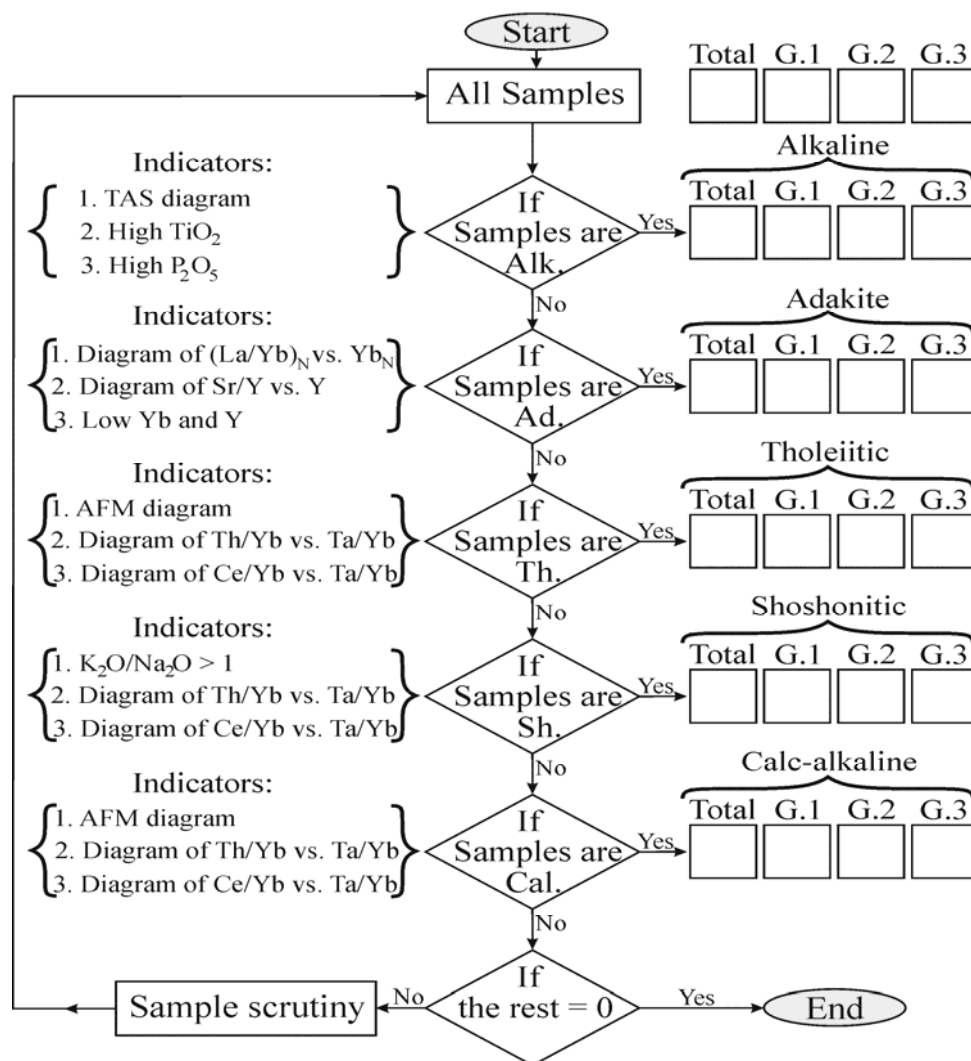
Ref.	Sample Name	group	Rock name (TAS)	Series	Ref.	Sample Name	group	Rock name (TAS)	Series
Sa	10	3	Rhyolite	Ad	Kh	QQ 02	1	Dacite	Sh
Sa	17	3	Rhyolite	Ad	Kh	AR2	3	Andesite	Ad
Sa	20	3	Rhyolite	Ad	Kh	CN3	3	Dacite	Ad
Sa	51	2	Rhyolite	Sh	Kh	CN4	3	Andesite	Sh
Sa	56	2	Rhyolite	CA	Kh	CN5	3	Trachyandesite, latite	Ad
Sa	57	2	Rhyolite	Sh	Kh	CN6	3	Dacite	Ad
Sa	63	2	Peralkaline rhyolite	CA	Kh	DH4	3	Dacite	Ad
Sa	71	2	Rhyolite	Sh	Kh	DH7	3	Dacite	Ad
Sa	73	2	Peralkaline rhyolite	CA	Kh	EM1	3	Dacite	Ad
Sa	77	2	Rhyolite	Sh	Kh	JS13	3	Andesite	Sh
Sa	79a	2	Rhyolite	Sh	Kh	MAG	3	Dacite	Ad
Sa	83	2	Rhyolite	Sh	Kh	OG4	3	Dacite	CA
Ah	SA17	2	Basaltic andesite	CA	Kh	RS2	3	Dacite	Ad
Ah	SA18	2	Alkali basalt	Sh	Mor	SK1	3	Basaltic andesite	CA
Ah	SA22	2	Alkali basalt	Sh	Mor	T04	3	Basaltic andesite	Ad
Ah	SA7	1	Basaltic trachyandesite	CA	Mor	A12	1	Andesite	CA
Am	BK14	1	Trachyte	Sh	Mor	A19	1	Andesite	CA
Am	BK15	1	Trachyte	Sh	Mor	A3	1	Dacite	CA
Am	BK18	1	Rhyolite	Sh	Mor	A33	1	Rhyolite	CA
Am	BK2	1	Rhyolite	Sh	Mor	A37	1	Trachyandesite,	CA
As	KAF-022	3	Dacite	Ad	Mov	A39	1	Rhyolite	CA
As	KAF-042	3	Dacite	Ad	Mov	A7	1	Dacite	CA
As	KAF-047	3	Dacite	Ad	Mov	571-10	1	Basaltic andesite	CA
As	KAF-143	3	Dacite	Ad	Mov	571-12	1	Andesite	CA
As	KAF-188	3	Dacite	Ad	Mov	571-15	1	Basaltic andesite	CA
As	KAF-206	3	Dacite	Ad	Mov	571-2	1	Basaltic andesite	CA
As	KAI-020	3	Trachydacite	Ad	Mov	571-21	1	Andesite	CA
As	KAI-021	3	Rhyolite	Ad	Mov	571-28	1	Basaltic andesite	CA
Fa	ZF30	1	Trachydacite	CA	Mov	571-5	1	Andesite	CA
Fa	ZF33	3	Dacite	Ad	Mov	571-6	1	Basaltic andesite	CA
Fa	ZF34	3	Dacite	Ad	Om	571-7	1	Basaltic andesite	CA
Fa	ZF40	1	Rhyolite	Sh	Om	571-9	1	Basaltic andesite	CA
Fa	ZF41	1	Dacite	CA	Om	Q.10	1	Potassic trachybasalt	CA
Fa	ZF42	3	Dacite	Ad	Om	Q.12	1	Dacite	Sh
Fa	ZF43	1	Rhyolite	Sh	Ta	Q.13	1	Rhyolite	Sh
Fa	ZF44	1	Rhyolite	Sh	Ta	Q.20	1	Trachyandesite, latite	CA
Ja	4.007	1	Andesite	CA	Fa	ZF46	1	Rhyolite	Sh
Ja	4.008	1	Rhyolite	Sh	Fa	ZF47	1	Trachydacite	CA
Ja	4.05	3	Dacite	Ad	Ja	1.11	1	Basaltic andesite	CA
Ja	4.06	3	Rhyolite	Ad	Ja	1.8	1	Andesite	CA
Ja	4.07	3	Dacite	Ad	Ja	2.101	1	Basaltic andesite	CA
Ja	10	1	Rhyolite	CA	Ja	2.5	1	Basaltic trachyandesite,	CA
Ja	2TN 13	1	Rhyolite	CA	Ja	4.003	1	Andesite	Sh
Ja	B.56	1	Subalkali basalt	CA	Ja	4.006	1	Basaltic andesite	CA
Ja	B58-2	1	Subalkali basalt	CA	Ta	A1	1	Rhyolite	Sh
Ja	PF 01	1	Rhyolite	Sh	Ta	A11	1	Trachydacite	CA
Kh	QM 03	3	Rhyolite	Ad	Ta	A12	1	Rhyolite	CA



ادامه جدول ۳. نتایج تعیین ماهیت ماگمایی (بر اساس نمودار جریانگی شکل ۲) و نام گذاری سنگ های آتشفشانی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر (بر اساس نمودار TAS شکل ۵). CA: کالک آلکالن، Sh: شوشونیتی، Ad: آداکیت. منابع مطابق با جدول ۱ آورده شده اند.

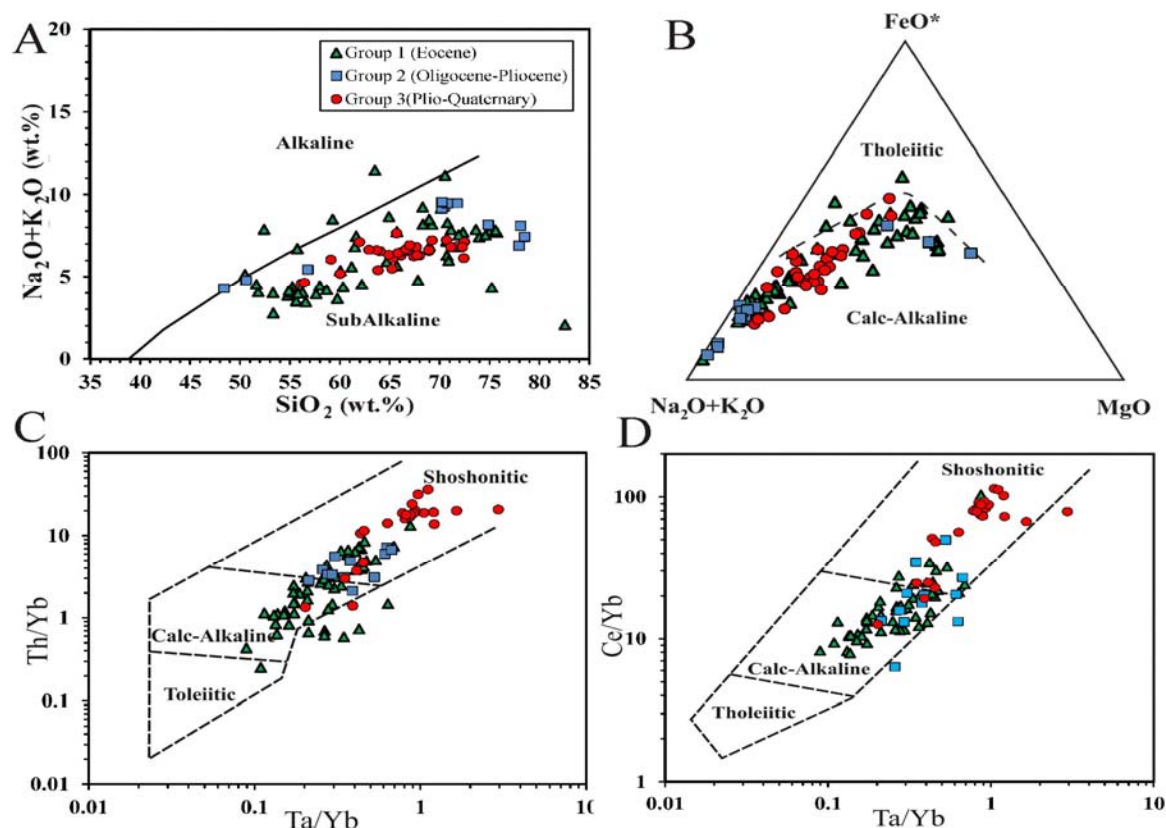
**Table 3 (Continued).** Results of determining magmatic series (based on flowchart of Fig. 2) and nomenclature of the studied volcanic rocks from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. (based on TAS diagram of Fig. 5). Ca: Calc-alkaline, Sh: Shoshonitic, Ad: Adakite. Ref.: References (Ref.) are similar to Table 1.

Ref.	Sample Name	group	Rock name (TAS)	Series	Ref.	Sample Name	group	Rock name (TAS)	Series
Ta	A15	1	Rhyolite	CA	Ja	A7	1	Trachyandesite, latite	CA
Ta	A2	1	Rhyolite	CA	Ja	B13	1	Rhyolite	Sh
Ta	A5	1	Trachyte	CA					



شکل ۲. نمودار جریانگی طراحی و استفاده شده برای تعیین سری ماگمایی نمونه های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر، G: گروه، Alk.: آلکالن، Cal.: کالک آلکالن، Ad: آداکیت، Sh: شوشونیتی، Th: تولیتی

**Fig. 2.** Flowchart used for determining magmatic series of studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, G: Group, Alk.: Alkaline, Cal.: Calc-alkaline, Ad.: Adakite, Sh.: Shoshonitic, Th: Tholeiitic



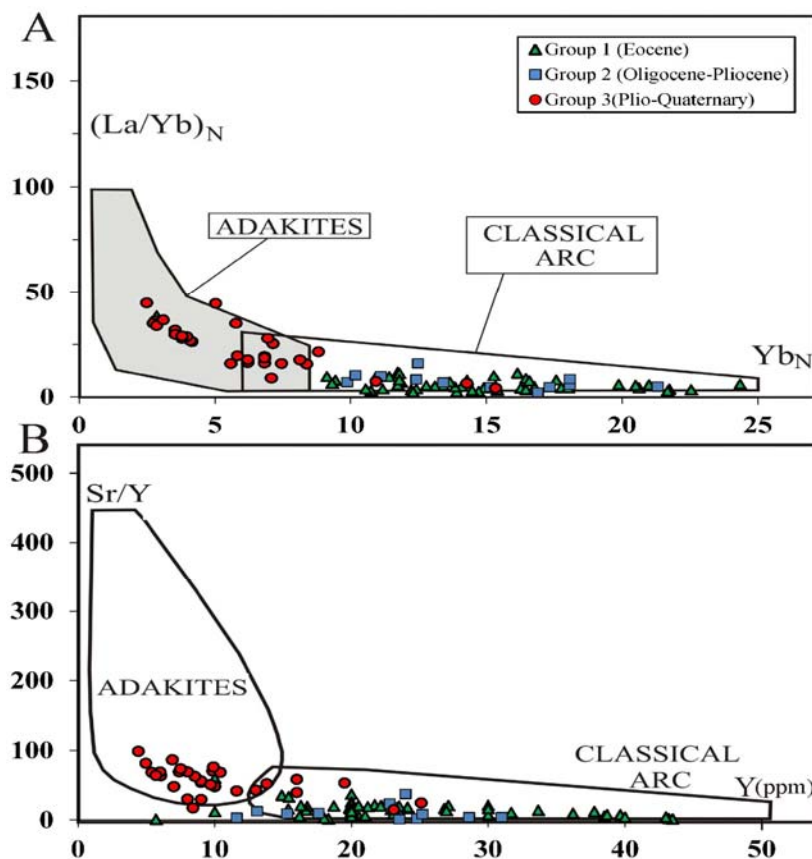
شکل ۳. A: نمودار مجموع آلکالی در مقابل سیلیس (TAS) (Irvine and Baragar, 1971) برای تشخیص سری ماگمایی آلکالن، B: نمودار مثلثی Ta/Yb در مقابل Th/Yb برای تفکیک سری های ماگمایی ساب آلکالن تولیتی و کالک آلکالن، C: نمودار Ta/Yb در مقابل Ce/Yb برای تفکیک سری های شوشونیتی، کالک آلکالن و تولیتی و D: نمودار Ta/Yb در مقابل Ce/Yb برای تفکیک سری های شوشونیتی، کالک آلکالن و تولیتی، برای نمونه های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر

**Fig. 3.** A: Total alkali versus SiO<sub>2</sub> diagram (TAS) (Irvine and Baragar, 1971) for identifying alkaline series, B: Triangular diagram of AFM (Irvine and Baragar, 1971) for discriminating between shoshonitic and calc-alkaline series, C: Th/Yb versus Ta/Yb diagram (Pearce, 1982; Müller et al., 1992) for discriminating between shoshonitic, calc-alkaline and toleitic series, and D: Ce/Yb versus Ta/Yb diagram (Pearce, 1982; Müller et al., 1992) for discriminating between shoshonitic, calc-alkaline and toleitic series, for studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc

**جدول ۴.** نتایج آماری تعیین سری ماگمایی نمونه های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر، بر اساس نمودار جریان نمایش داده شده در شکل ۲

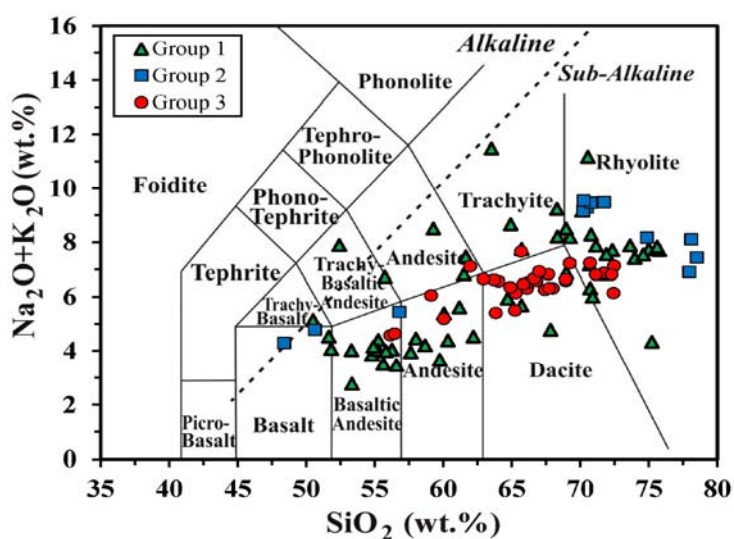
**Table 4.** Statistical result of determining magmatic series of samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. based on flowchart shown in Fig. 2

	Adakite		Shoshonitic		Calc-alkaline		Toleitic		Alkaline		Total
	N.	%	N.	%	N.	%	N.	%	N.	%	
<b>Group 1</b>	0	0.0	16	29	39	71	0	0	0	0	55
<b>Group 2</b>	0	0.0	8	67	4	33	0	0	0	0	12
<b>Group 3</b>	39	88	2	6	2	6	0	0	0	0	32



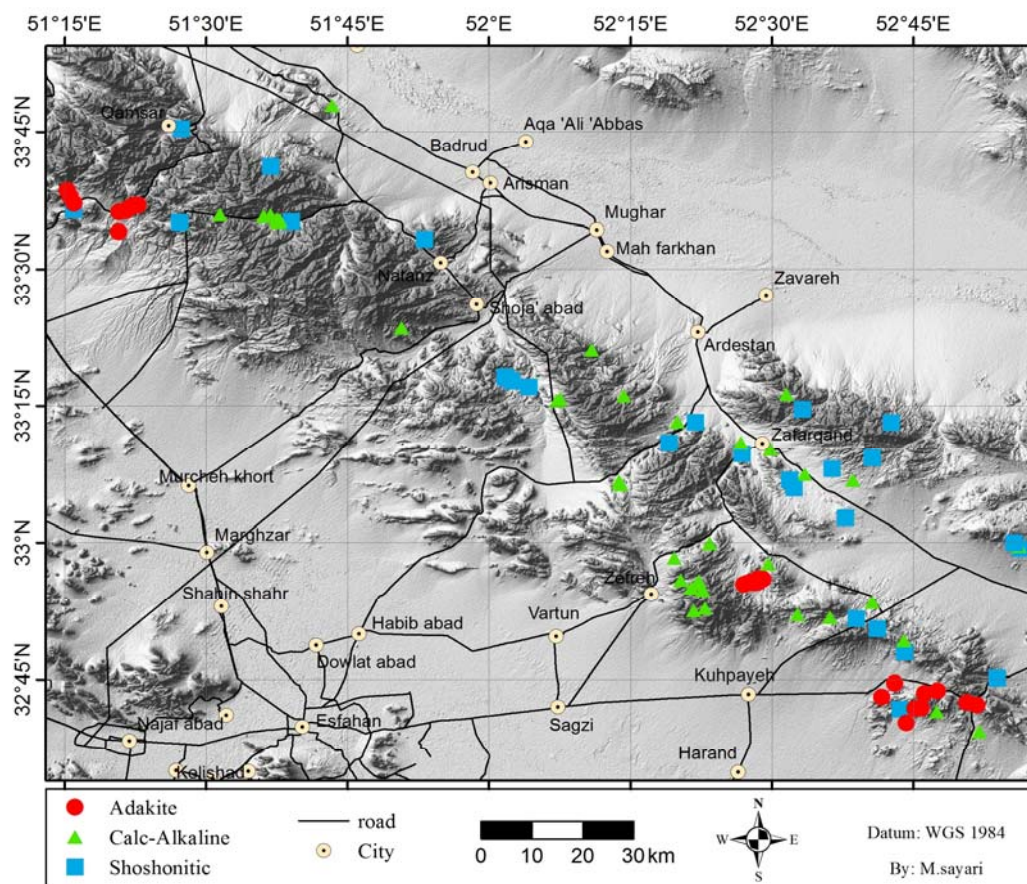
شکل ۴. A: نمودار  $(La/Yb)_N$  در مقابل  $Yb_N$  (Martin, 1986, 1999) و B: نمودار  $Sr/Y$  در مقابل  $Y$  (Drummond and Defant, 1990)، برای نمونه‌های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر.

Fig. 4. A:  $(La/Yb)_N$  versus  $Yb_N$  diagram (Martin, 1986, 1999), and B:  $Sr/Y$  versus  $Y$  diagram (Drummond and Defant, 1990), for studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc.



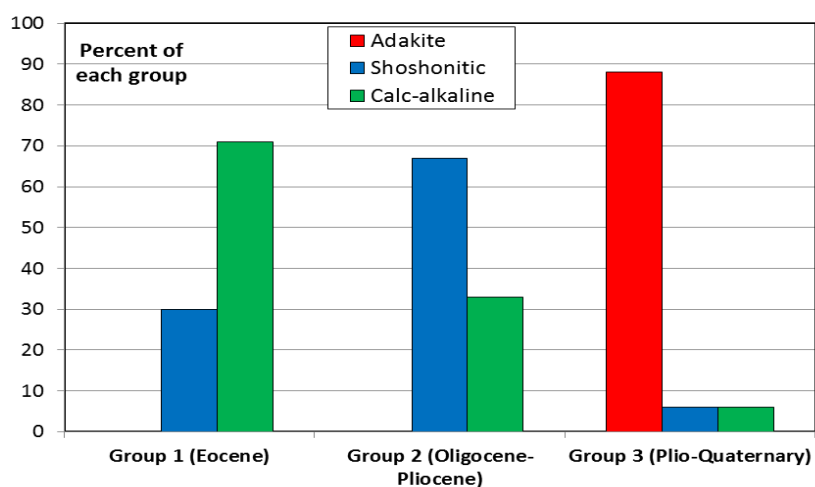
شکل ۵. نمودار TAS (Le Maitre et al., 2002) برای نام گذاری سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر

Fig. 5. TAS diagram (Le Maitre et al., 2002) for nomenclature of the studied volcanic rocks from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc.



شکل ۶. توزیع مکانی پایگاه داده ژئوشیمی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر و به تفکیک سری ماگمایی

Fig. 6. Spatial distribution of the studied geochemistry database from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, showing magmatic series



شکل ۷. نمودار ستونی که فراوانی (درصد) هر یک از سری‌های ماگمایی نمونه‌های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر در هر گروه را نشان می‌دهد.

Fig. 7. Column diagram showing the frequency (percentage) of each magmatic series for studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc in each group.

### پتروژنز نمونه‌های کالک آلکالن

سری ماگمایی کالک آلکالن با مقادیر نسبتاً بالای کلسیم و سدیم، همچنین محتوای بالای آب و فوگاسیته اکسیژن مشخص می‌شوند. این سری ماگمایی شاخص مناطق فرورانش نوع قاره‌ای محسوب می‌شود و نتیجه تبلور تفریقی بازالت‌های آبدار است (Kennedy, 1955). در مناطق فرورانش نوع قاره‌ای، ماگماهای کالک آلکالن از ذوب‌بخشی گوه گوشته‌ای بالای صفحه فرورونده در حضور آب، حاصل می‌شوند. تصور می‌شود که ماگماهای بازالتی آبدار حاصل از ذوب‌بخشی گوه گوشته، با تبلور فازهای اکسید آهن زوددهنگام و تفریق سیلیکات‌ها تکامل می‌یابند. این فرایند سبب غنی‌شدگی آلکالی‌ها و تهی‌شدگی از آهن می‌شود که روند تفریق در سری کالک آلکالن را به نمایش می‌گذارد. در صورتی که ماگماهای بازالتی خشک در آغاز مراحل تبلور خود، قادر به تبلور فازهای اکسید آهن نیستند و به جای تهی‌شدگی از آهن، از آن غنی می‌شوند، بدین ترتیب روند تفریق در سری‌های تولییتی رقم می‌خورد (Sisson and Grove, 1993). ممکن است بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در سری کالک آلکالن ناشی از فراوانی آب ماگمایی محلول باشد که خود موجب تشکیل اکسیدهای آهن در مراحل آغازین تبلور ماگما می‌شود. نهشته‌شدن و جدایش این فازها از مذاب، روند تفریق کالک آلکالن را برای ماگما رقم می‌زند (Osborn, 1959). همین ویژگی، اساس تفکیک سری ماگمایی تولییتی و کالک آلکالن در نمودار AFM است.

به‌منظور تعیین درصد ذوب‌بخشی سنگ منشأ برای تولید نمونه‌های کالک آلکالن مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر می‌توان از نمودارهای La/Sm در مقابل La و Sm/Yb در مقابل La/Sm (Aldanmaz et al., 2000) که برای بررسی درجه ذوب‌بخشی گارنت لرزولیت و اسپینل لرزولیت طراحی شده است، استفاده کرد. این نمودارها در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده‌اند.

بر اساس نمودار شکل ۸ (نمودار La/Sm در مقابل La) نمونه‌های کالک آلکالن از ذوب‌بخشی ۳ تا ۲۰ درصد با میانگین حدود ۱۵ درصد ذوب‌بخشی سنگ منشأ اسپینل-گارنت لرزولیت حاصل شده‌اند. بر اساس نمودار شکل ۹ (نمودار Sm/Yb در مقابل La/Sm) مقدار ذوب‌بخشی نمونه‌های کالک آلکالن ۴ تا ۲۰ درصد با میانگین حدود ۱۵ درصد برآورد می‌شود. در شکل ۹ نمونه‌ها در هر دو محدوده گارنت لرزولیت و اسپینل-لرزولیت قرار دارند و از گوشته غنی‌شده مشتق شده‌اند.

### پتروژنز نمونه‌های شوشونیتی

اصطلاح شوشونیت نخستین بار توسط ایدینگز (Iddings, 1895) برای بازالت‌های پتاسیک ارتوکلاز دار در پارک یلوستون به کار برده شد. بعد از آن این اصطلاح برای بازالت‌ها و آندزیت‌های پتاسیک به کار رفت. سنگ‌های مجموعه‌های شوشونیتی از بازیک به اسیدی با نام‌های آبساروکی، باناکیت، شوشونیت و توسکانیت شناخته می‌شوند. نمونه‌های آبساروکی نشان‌دهنده ترکیب مذاب اولیه هستند (Hesse and Grove, 2003).

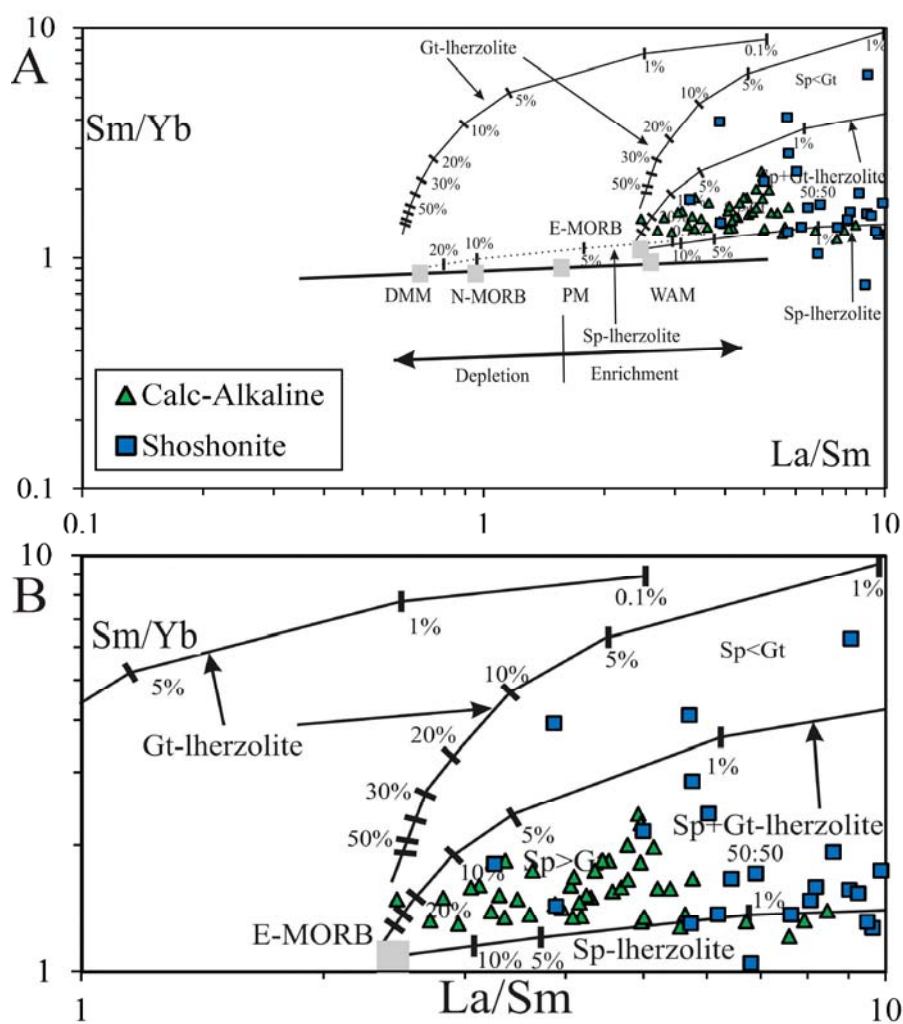
در ایالت ماگمایی شمال زمین‌درز زاگرس-بیتلیس که کمان ماگمایی ارومیه-دختر را نیز شامل می‌شود، ماگماتیسیم پتاسیک شوشونیتی هم در محیط زمین‌ساختی کمان قاره‌ای (Amidi, 1977) و هم در محیط پس از برخورد قاره‌ای (Dilek et al., 2010) گزارش شده است. توالی‌های نفوذی-آتشفشانی شوشونیتی سنوزوئیک در کمان ارومیه-دختر مشابه محصولات ماگماتیسیمی هستند که در جنوب شرقی آنتالیا (شرق ترکیه) و ناحیه زاگرس رخ داده است که خود نتیجه شکست<sup>۱</sup> صفحه فرورونده در مرحله پس از برخورد قاره‌ای است (Dilek et al., 2010). شکست صفحه فرورونده که با تکامل یک دریچه استوسفری<sup>۲</sup> همراه بوده، سبب سهولت ذوب‌بخشی صفحه فرورونده متاسوماتیز شده، شده است (Agard et al., 2005; )

1. Break off

2. Asthenospheric window

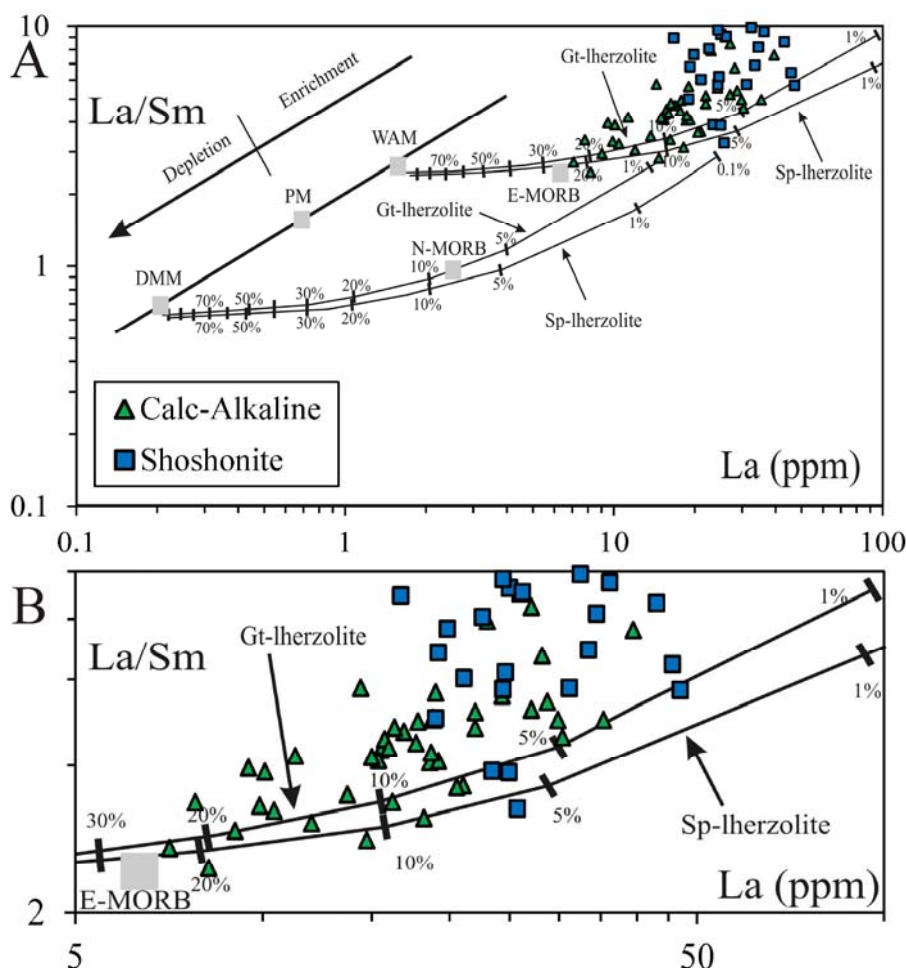
اول در پهنه مورد بررسی، مربوط به محیط کمان قاره‌ای هستند در حالی که سنگ‌های شوشونیتی فاز دوم مربوط به محیط پس از برخورد قاره‌ای هستند.

Ghasemi and Talbot, 2006; Dilek and Sandvol, 2009). بر اساس این مدل زمین‌ساختی، شکست صفحه فرورونده سبب تشکیل ماگماتیسزم شوشونیتی در بخش پس خشکی (هیتزلند) زون برخورد بر روی صفحه بالایی شده است. سیاری (2015) نشان‌داد که سنگ‌های شوشونیتی فاز



شکل ۸. A: نمودار Sm/Yb در مقابل La/Sm (Aldanmaz et al., 2000) برای نمونه‌های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. منحنی‌های درجه ذوب بخشی گارنت-لرزلیت (Walter, 1998) و اسپینل-لرزلیت (Kinzler, 1997). DMM: Depleted MORB Mantle (McKenzie and O'Nions, 1991, 1995)، N-MORB: Normal Morb، PM: Primitive Mantle، E-MORB: Enriched Mantle (Sun and McDonough, 1989)، WAM: West Anatolian Mantle (Aldanmaz et al., 2000). The heavy line represents the mantle array, and B: diagram shown in part A with a closer domain ضخیم مشخص شده است و B: نمودار بخش A با بازه تغییرات محدودتر

**Fig. 8.** A: Sm/Yb versus La/Sm diagram (Aldanmaz et al., 2000) for studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Partial melting curves of garnet-lherzolite (Walter, 1998) and spinel-lherzolite (Kinzler, 1997). DMM: Depleted MORB Mantle (McKenzie and O'Nions, 1991, 1995), N-MORB: Normal Morb, PM: Primitive Mantle, E-MORB: Enriched Mantle (Sun and McDonough, 1989), WAM: West Anatolian Mantle (Aldanmaz et al., 2000). The heavy line represents the mantle array, and B: diagram shown in part A with a closer domain



**شکل ۹. A:** نمودار La/Sm در مقابل La (Aldanmaz et al., 2000) برای نمونه‌های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر. منحنی‌های درجه ذوب بخشی گارنت-لرزولیت (Walter, 1998) و اسپینل-لرزولیت (Kinzler, 1997)، DMM: گوشته تهی شده (McKenzie and O'Nions, 1991, 1995)، N-MORB: مورب نرمال، PM: گوشته اولیه، E-MORB: مورب غنی شده (Sun and McDonough, 1989) و WAM: گوشته غرب آناتولی به‌عنوان گوشته غنی شده (Aldanmaz et al., 2000). روند گوشته‌ای با خط ضخیم مشخص شده است و B: نمودار بخش A با بازه تغییرات محدودتر

**Fig. 9. A:** La/Sm versus La diagram (Aldanmaz et al., 2000) for studied samples from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. Partial melting curves of garnet-lherzolite (Walter, 1998) and spinel-lherzolite (Kinzler, 1997). DMM: Depleted MORB Mantle (McKenzie and O'Nions, 1991, 1995), N-MORB: Normal Morb, PM: Primitive Mantle, E-MORB: Enriched Mantle (Sun and McDonough, 1989), WAM: West Anatolian Mantle (Aldanmaz et al., 2000). The heavy line represents the mantle array, and B: diagram shown in part A with a closer domain

گوشته در نزدیکی اسلب فرورونده سرد، حاصل شود (Taylor et al., 1994)؛ درحالی‌که غنی شدگی و متاسوماتیسم می‌تواند حاصل تأثیر سیالات غنی از LILE و یا مذاب‌های آلكالی دما پایین برخاسته از اسلب اقیانوسی فرورونده باشد (Saunders et al., 1980; Pearce, 1983; Bailey et al., )

مین (Meen, 1987) سنگ‌های آتشفشانی پتاسیک را حاصل ذوب بخشی درجه کم لرزولیت متاسوماتیز شده گوشته بالایی که از LILE و LREE غنی شده در شرایط آبدار و در شرایطی که جریان گرمایی محیط چندان زیاد نیست، در نظر گرفت. در محیط‌های کمانی، ذوب بخشی ممکن است با تغییر ژئوترم

(1989; Sun and McDonough, 1989).

به‌منظور تعیین درصد ذوب‌بخشی سنگ منشأ برای تولید نمونه‌های شوشونیتی مورد بررسی، مانند نمونه‌های کالک آلکالن که مورد بحث قرار گرفت، می‌توان از نمودارهای La/Sm در مقابل La و Sm/Yb در مقابل La/Sm (Aldanmaz et al., 2000) که برای بررسی درجه ذوب‌بخشی گارنت لرزولیت و اسپینل لرزولیت طراحی شده است، استفاده کرد. این نمودارها در شکل‌های ۸ و ۹ نشان‌داده شده‌اند. شکل B-۸ در واقع بزرگ‌نمایی بخشی از نمودار شکل A-۸ است که نمونه‌ها در آن قرار می‌گیرند. به همین ترتیب، شکل B-۹، بزرگ‌نمایی بخشی از نمودار شکل A-۹ است که نمونه‌ها در آن قرار می‌گیرند.

بر اساس نمودارهای شکل‌های ۸ و ۹، ذوب‌بخشی حدود ۱ تا ۶ درصد و میانگین ۳ درصد با منشأ اسپینل-گارنت لرزولیت برآورد می‌شود. باید توجه داشت که در هنگام استفاده از چنین نمودارهایی باید سعی شود از بازیک‌ترین نمونه‌ها استفاده شود تا برآورد متأثر از تفریق نشود. به‌هر حال، از آنجایی که روند تغییرات عناصر نادر در یک سری ماگمایی مشخص تا حدود زیادی ثابت باقی می‌ماند و از طرف دیگر نسبت‌ها اغلب ثابت باقی می‌مانند، می‌توان از نمونه‌های اسیدی‌تر هم استفاده کرد. در هر صورت، زمانی که از نمونه‌های اسیدی استفاده می‌شود می‌توان اعداد حاصل را به‌عنوان حداقل درجه ذوب‌بخشی تفسیر کرد. بر اساس نمودارهای شکل‌های ۸ و ۹ ناحیه منشأ گوشته غنی شده بوده است.

### پتروژنز آداکیت‌ها

پتروژنز آداکیت‌ها، یکی از داغ‌ترین مباحث پترولوژی در دو دهه اخیر بوده است. در ابتدا سنگ‌های آداکیتی را حاصل ذوب پوسته اقیانوسی فرورونده در فرورانش تصور کردند (Kay, 1978; Defant and Drummond, 1990). پژوهشگران مختلفی در کارهای پژوهشی متعدد این فرضیه را مورد تأیید قرار دادند (Yogodzinski et al., 1995; Stern and Kilian, 1996; Martin, 1999; Defant and

(Kepezhinskas, 2001).

عمده رخدادهای آداکیتی در حاشیه اقیانوس آرام قرار دارند و به‌عبارت دقیق‌تر آنها اغلب جایی هستند که لیتوسفر اقیانوسی جوان است (کمتر ۲۰ میلیون سال) و صفحه فرورونده در عمق ۷۰ تا ۹۰ کیلومتری زیر کمان ولکانیک قرار گرفته است.

ذوب اسلب قدیمی نیز تحت شرایطی ممکن است موجب تشکیل ماگمای آداکیتی شود. این شرایط عبارتند از: (۱) شروع فرورانش، (۲) فرورانش سریع و (۳) انتهای فرورانش (Maury et al., 1996).

برخی از پژوهشگران بر این اعتقاد هستند که سنگ‌هایی با ترکیب آداکیتی حاصل ذوب‌بخشی پوسته زیرین است (Kay et al., 1999; Wang et al., 2007, 2008). کی و همکاران (Kay et al., 1999) مدلی را برای تشکیل این نوع سنگ‌ها مطرح کردند که در آن پوسته ضخیم شده به‌دلیل کوتاه‌شدگی و دلامیناسیون گوشته، نقش اصلی را ایفا می‌کند. آنها عقیده داشتند که دلامیناسیون سریع لیتوسفر و جایگزینی توسط آستونسفر داغ سبب ذوب‌بخشی و تولید مذاب‌های بازالتی می‌شود. این مذاب‌ها پوسته قاره‌ای زیرین ضخیم‌شده را ذوب کرده و مذاب‌های TTG تولید می‌کنند و اکلوزیت را در پوسته زیرین برجای می‌گذارند. این نظریه مورد پذیرش پژوهشگران دیگر نیست (Martin, 1999; Martin et al., 2005; Moyen and Martin, 2012).

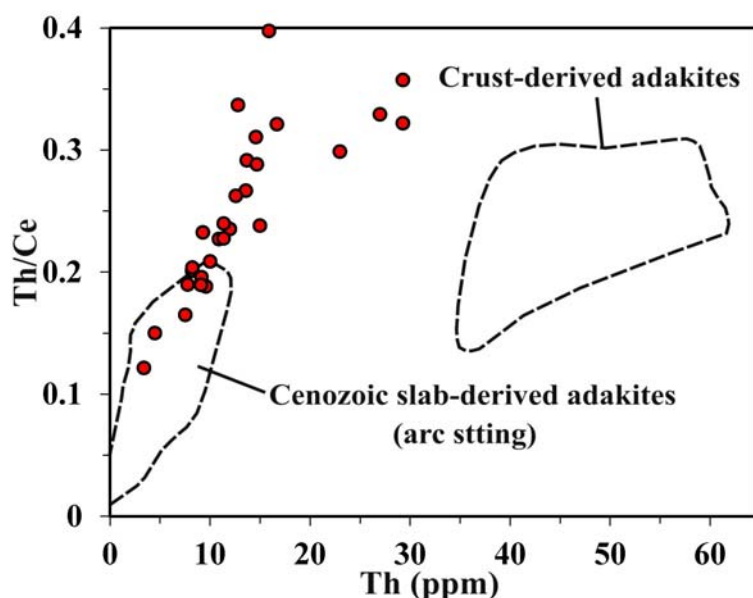
کاندی (Condie, 2005) بیان کرد که داده‌های ژئوشیمیایی می‌توانند به شناخت محیط زمین‌ساختی کمک کنند؛ ولی به تنهایی قادر به شناسایی محیط زمین‌ساختی نیستند. بدین مفهوم که هر مدلی که برای منشأ سنگ‌های آداکیتی معرفی می‌شود باید با ویژگی‌ها و واقعیت‌های تکنوفیزیکی حاکم در منطقه سازگاری داشته باشد و بتواند آنها را توجیه کند.

سیاری و شریفی (Sayari and Sharifi, 2018) نشان‌دادند که در کمان ماگمایی ارومیه-دختر ارتباط مشخصی بین موقعیت رخنمون‌های آداکیتی و آنومالی مثبت در ضخامت لیتوسفر وجود دارد. آنها نشان دادند آداکیت‌ها در بخش میانی کمان



و U (Wang et al., 2005; Wang et al., 2007) مشخص می‌شوند. این نوع سنگ‌های آداکیتی دارای مقادیر فوق‌العاده زیاد Sr هستند (تا ۲۰۰۰ ppm). این مقدار معمولاً برای آداکیت‌های HSA کمتر است. برای تفکیک این نوع سنگ‌ها و سنگ‌های آداکیتی به‌دست آمده از ذوب‌بخشی اسلب فرورونده می‌توان از نمودار Th/Ce در مقابل Th (Wang et al., 2008) استفاده کرد. این نمودار در شکل ۱۰ نشان داده شده است. شکل ۱۰ نه تنها نظریه ذوب‌بخشی پوسته زیرین را برای نمونه‌های مورد بررسی رد می‌کند؛ بلکه نظریه ذوب‌بخشی اسلب فرورونده را تقویت می‌کند.

ماگمایی ارومیه-دختر در جایی واقع شده‌اند که عمق مرز لیتوسفر و آستوسفر بیش از ۲۱۲ کیلومتر است. مدل ذوب‌بخشی پوسته مافیک زیرین قادر نیست ارتباط بین آنومالی‌های مشاهده شده در ضخامت لیتوسفر و عمق LAB (مرز لیتوسفر - آستوسفر) را توجیه کند (Sayari and Sharifi, 2018). علاوه بر آن ترکیب شیمیایی آداکیت‌های مورد بررسی ویژگی‌های سنگ‌های آداکیتی (یا شبه آداکیتی) که حاصل از ذوب‌بخشی پوسته هستند را نشان نمی‌دهند. آداکیت‌های منتج از ذوب‌بخشی پوسته زیرین غنی‌تر از  $K_2O$  ( $K_2O > Na_2O$ ) هستند و با مقادیر مشخص بالای عناصر ناسازگاری چون Th, Ba, Rb



شکل ۱۰. نمودار Th/Ce در مقابل Th، محدوده آداکیت‌های حاصل از پوسته و پوسته اقیانوسی فرورونده (Wang et al., 2008) و موقعیت نمونه‌های آداکیتی مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر

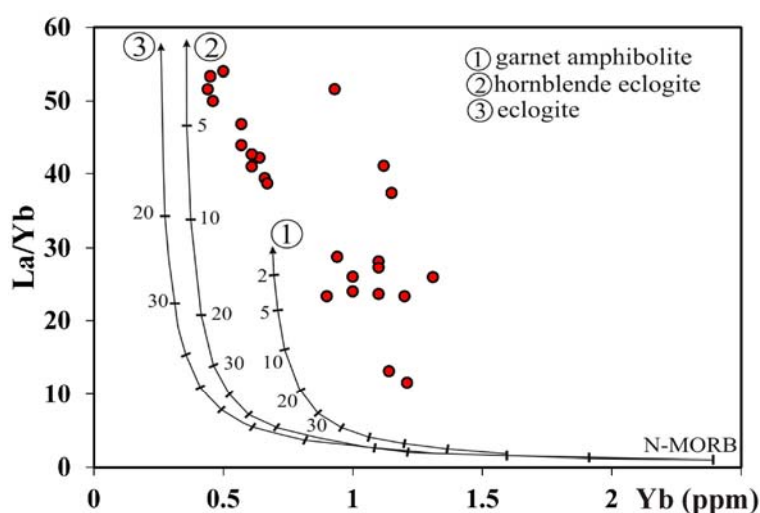
**Fig. 10.** Th/Ce versus Th diagram, domains of crust-derived adakites and slab-derived adakites (Wang et al., 2008), and situation of the studied adakites from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc

منبع انرژی حرارتی اضافه نیاز هست که اسلب فرورانده شده را به اندازه کافی گرم کند تا بتواند دچار ذوب‌بخشی شده و ماگماتیسم آداکیتی پس از برخورد را رقم بزند. این منبع حرارتی توسط دلامیناسیون گوشته به‌صورت محلی فراهم شده است. در واقع محل‌های رخمون آداکیت‌ها در کمان ماگمایی

اما یک نقطه مجهول در انجام ذوب‌بخشی اسلب فرورونده وجود دارد. پوسته اقیانوسی فرورانده شده به اندازه کافی گرم نبوده تا بتواند قبل از دیهدراته شدن دچار ذوب‌بخشی شود، همچنین ماگماتیسم کواترنر از نوع پس از برخورد است. به عقیده سیاری و شریفی (Sayari and Sharifi, 2018)، یک

که ذوب‌بخشی حدود ۲ تا ۲۰ درصد با میانگین ۱۰ درصد نشان می‌دهند. این نمونه‌ها اغلب در منطقه کجان و کهننگ واقع شده‌اند که مطابق با آنومالی مشاهده شده در ساختار پوسته و گوشته در شمال شهر کوهپایه (Sayari, 2015) است. گروه دوم که نزدیکی بیشتری با سنگ منشأ هورنبلند اکلوزیت دارند، ذوب‌بخشی ۲ تا ۸ درصد با میانگین ۶ درصد نشان می‌دهند. این نمونه‌ها اغلب در منطقه جوشقان-قهرود واقع شده‌اند که مطابق با آنومالی مشاهده شده در ساختار پوسته و گوشته در شرق شهر میمه (Sayari, 2015) است.

ارومیه- دختر نشان‌دهنده محل‌های شروع وقوع دلامیناسیون در گوشته است (Sayari and Sharifi, 2018). برای تعیین درصد ذوب‌بخشی نمونه‌های آداکیتی نمودارهای مختلفی پیشنهاد شده است که در تمام آنها سنگ مادرهای گارنت‌دار با یا بدون آمفیبول شامل آمفیبولیت‌های گارنت‌دار و اکلوزیت مورد بررسی قرار می‌گیرند. در اینجا برای بررسی ذوب‌بخشی نمونه‌های آداکیتی مورد بررسی (آداکیت‌های فاز سوم ولکانیسم یا گروه ۳) از نمودار شکل ۱۱ (Bourdon et al., 2002) استفاده شده است. بر این اساس دو گروه متمایز قابل تشخیص هستند. گروه اول با سنگ منشأ گارنت آمفیبولیت



شکل ۱۱. نمودار  $La/Yb$  در مقابل  $Yb$  و منحنی‌های ذوب‌بخشی گارنت آمفیبولیت (۱)، هورنبلند اکلوزیت (۲) و اکلوزیت (۳) (Bourdon et al., 2002) و موقعیت آداکیت‌های مورد بررسی در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر

**Fig. 11.** La/Yb versus Yb diagram, partial melting curves of garnet amphibolite (1), hornblende eclogite (2) and eclogite (3) (Bourdon et al., 2002), and situation of the studied adakites from central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc

آداکیتی متحول شده است. منشأ هر دو ماگماتیسم کالک‌آلکالن و شوشونیتی، ذوب‌بخشی در گوه گوشته است؛ در حالی که ماگماتیسم آداکیتی حاصل ذوب پوسته اقیانوسی فرورانده شده است. یعنی منشأ فاز سوم ماگماتیسم متحول شده است. نظر به اینکه فعالیت‌های آتشفشانی پلیو کوآتر در کمان آتشفشانی ارومیه- دختر از نوع پس از برخورد است، با در نظر گرفتن شرایط زمین‌ساختی و داشته‌های موجود می‌توان چنین استنباط کرد که

### نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل آماری پایگاه داده ژئوشیمی مورد بررسی، در بخش میانی (شمال شرق اصفهان) کمان ماگمایی ارومیه- دختر (به طول حدود ۲۰۰ کیلومتر)، سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک در سه گروه کالک‌آلکالن، شوشونیتی و آداکیتی قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که آتشفشانی سنوزوئیک از ائوسن تا کوآترنری از کالک‌آلکالن به سمت شوشونیتی و بعد از آن به

درصد با منشأ اسپینل-گارنت لرزولیت حاصل شده‌اند. آداکیت-های منطقه کجان و کهننگ از ذوب‌بخشی حدود ۱۰ درصد گارنت آمفیبولیت حاصل شده‌اند و آداکیت‌های منطقه جوشقان-قهرود از ذوب‌بخشی حدود ۶ درصد هورنبلند اکلوزیت حاصل شده‌اند.

### قدردانی

از مدیریت محترم شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان و همچنین از زحمات خانم مهندس فاطمه درویش‌زاده قدردانی می‌شود.

پوسته اقیانوسی فرورانده‌شده متروک در گوشته دچار ذوب‌بخشی شده است. تغییر کانون ذوب‌بخشی از گوه گوشته به اسلب قدیمی به‌جای مانده در گوشته، نشان می‌دهد که شرایط تکتونوفیزیکی حاکم بر تکاپوی آتشفشانی در زمان پلیوکواترنر کاملاً تغییر کرده است. انرژی حرارتی لازم برای ذوب‌بخشی اسلب قدیمی نیز به‌صورت محلی (در محل‌های وقوع ماگماتیسم آداکیتی) بر اثر شروع دلامیناسیون گوشته‌ای فراهم شده است (Sayari and Sharifi, 2018).

برآوردها نشان می‌دهد نمونه‌های کالک‌آلکالن حاصل ذوب‌بخشی حدود ۱۵ درصد از سنگ منشأ اسپینل-گارنت لرزولیت هستند. نمونه‌های شوشونیتی از ذوب‌بخشی حدود ۳

### References

- Aftabi, A. and Atapour, H., 2000. Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran. *Episodes*, 23(2): 119–125. Retrieved June 11, 2021 from [https://www.researchgate.net/publication/279896057\\_Regional\\_aspects\\_of\\_shoshonitic\\_volcanism\\_in\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/279896057_Regional_aspects_of_shoshonitic_volcanism_in_Iran)
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94(3): 401–419. [https://doi.org/10.1016/s1631-0713\(02\)01717-0](https://doi.org/10.1016/s1631-0713(02)01717-0)
- Ahmadvand, A., 2009. Geochemistry and petrology of the basic volcanic rocks from southwest Shahrab (Ardestan). M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 69 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://parseh.modares.ac.ir/thesis/2031658>
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1–2): 67–95. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(00)00182-7)
- Allen, M., Jackson, J. and Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23(2): 1–16. <https://doi.org/10.1029/2003tc001530>
- Amidi, S.M., 1977. Etude géologique de la région de Natanz-Surk (Iran, Central). Ph.D. thesis, University of Grénoble, France, 316 pp.
- Amidi, S.M., Emami, M.H. and Michel, R., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Central Iran and its geodynamic situation. *Geologische Rundschau*, 73(3): 917–932. <https://doi.org/10.1007/bf01820882>
- Amoozad-khalili, D., 2009. Geochemistry and petrology of the intermediate-felsic volcanic rocks from southwest Shahrab (Ardestan). M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 59 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from [https://parseh.modares.ac.ir/thesis.php?id=2031736&sid=1&slc\\_lang=en](https://parseh.modares.ac.ir/thesis.php?id=2031736&sid=1&slc_lang=en)
- Asadi, H.H., Heydari, E., Fathianpour, N. and Atar, D., 2009. Detailed Exploration at Central Kahang Copper Deposit. Isfahan Province Industry Mine and Trade Organization, Isfahan, 195 pp.

- Bailey, J.C., Frolova, T.I. and Burikova, I.A., 1989. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-arc basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 102(3): 265–280. <https://doi.org/10.1007/bf00373720>
- Bourdon, E., Eissen, J.P., Gutscher, M.A., Monzier, M., Samaniego, P., Robin, C., Bollinger, C. and Cotton, J., 2002. Slab melting and slab melt metasomatism in the Northern Andean Volcanic Zone: adakites and high-Mg andesites from Pichincha volcano (Ecuador). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 173(2): 195–206. <https://doi.org/10.2113/173.3.195>
- Condie, K.C., 2005. TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*, 80(1–4): 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.11.001>
- Defant, M.J. and Drummond, M.S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347 (6294): 662–665. <https://doi.org/10.1038/347662a0>
- Defant, M.J. and Kepezhinskas, P., 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas. *EOS*, 82(6): 65–69. <https://doi.org/10.1029/01eo00038>
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F. and Sengo, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone. In: M.P. Coward and A.C. Ries (Editors), *Collision Zone Tectonics*. Geological Society of London Special Publication, London, pp. 3–36. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1986.019.01.01>
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, 52(4–6): 536–578. <https://doi.org/10.1080/00206810903360422>
- Dilek, Y. and Sandvol, E., 2009. Seismic Structure, Crustal Architecture and Tectonic Evolution of the Anatolian-African Plate Boundary and the Cenozoic Orogenic Belts in the Eastern Mediterranean Region. *Geological Society of London Special Publication*, 327(1): 127–160. <https://doi.org/10.1144/sp327.8>
- Drummond, M.S. and Defant, M.J., 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archaean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research*, 95(B13): 21503–21521. <https://doi.org/10.1029/jb095ib13p21503>
- Fardfeshani, Z., 2011. The Origin and evolution of felsic Tertiary volcanism west of Nain. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 69 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://parseh.modares.ac.ir/thesis/2032119>
- Ghadami, G., Moradian, A. and Mortazavi, M., 2008. Post-collisional Plio–Pleistocene adakitic volcanism in Central Iranian volcanic belt: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19(3): 223–235. Retrieved June 11, 2021 from [https://journals.ut.ac.ir/pdf\\_31896\\_3d5550b30b2590c75543469f305410a2.html](https://journals.ut.ac.ir/pdf_31896_3d5550b30b2590c75543469f305410a2.html)
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6): 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003>
- Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of Cenozoic active continental margin of Central Iran (Sharebabak area), Kerman province. Ph.D. Thesis, University of California, Los Angeles, USA, 204 pp. Retrieved June 11, 2021 from <https://www.worldcat.org/title/metallogenic-and-tectonomagmatic-events-in-the-se-sector-of-the-cenozoic-active-continental-margin-of-central-iran-shahr-e-babak-area-kerman-province/oclc/29813932>
- Hesse, M. and Grove, T.L., 2003. Absarokites from the western Mexican Volcanic Belt: constraints on mantle wedge conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 146(1): 10–27. <https://doi.org/10.1007/s00410-003-0489-3>
- Iddings, J.P., 1895. Absarokite-shoshonite-banakite series. *The Journal of Geology*, 3(8): 935–959. <https://doi.org/10.1086/607398>
- Irvine, T.N. and Barager, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth*

- Sciences, 8(5): 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Jabbari, A., 2014. Petrology of volcanic and sub-volcanic rocks in Zefreh-Kashan axis. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 182 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from [https://centlibrary.sbu.ac.ir/faces/search/bibliographic/biblioFullView.jspx?\\_afPfm=kcv4wkm2w](https://centlibrary.sbu.ac.ir/faces/search/bibliographic/biblioFullView.jspx?_afPfm=kcv4wkm2w)
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1): 185–264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.1984.tb01931.x>
- Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3–4): 433–447. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.11.008>
- Kay, R.W., 1978. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific ocean crust. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 4(1–2): 117–132. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(78\)90032-x](https://doi.org/10.1016/0377-0273(78)90032-x)
- Kay, S.M., Mpodozis, C. and Coira, A.B., 1999. Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the central Andes (22° to 33° S latitude). In: B.J. Skinner (Editor), *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Society of Economic Geologists, Special Publication 7, Littleton, pp. 27–59. <https://doi.org/10.5382/sp.07.02>
- Kennedy, G.C., 1955. Some aspects of the role of water in the rock melts. In: A. Poldervaart (Editor), *Crust of the Earth: A symposium*. Geological Society of America, Special Publication 62, Boulder, pp. 489–503. <https://doi.org/10.1130/spe62-p489>
- Khodami, M., 2009. Petrology of Plio-Quaternary volcanic rocks in south-east and north-west of Isfahan. Ph.D. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 174 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=6027&Field=0&DTC=3>
- Kinzler, R.J., 1997. Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: application to mid-ocean ridge basalt petrogenesis. *Journal of Geophysical Research*, 102(B1): 853–874. <https://doi.org/10.1029/96jb00988>
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. and Le Bas, M.J., 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 236 pp. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511535581>
- Martin, H., 1986. Effect of steeper Archean geothermal gradient on geochemistry of subduction-zone magmas. *Geology*, 14(9): 753–756. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14<753:eosagg>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14<753:eosagg>2.0.co;2)
- Martin, H., 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46(3): 411–429. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(98\)00076-0](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00076-0)
- Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F. and Champion, D., 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79(1–2): 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.048>
- Maury, R.C., Sajona, F., Pubellier, M., Bellon, H. and Defant, M., 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: l'exemple de Mindanao (Philippines). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167(5): 579–595. Retrieved June 11, 2021 from <https://pubs.geoscienceworld.org/sgf/bsgf/article-abstract/167/5/579/122854/Fusion-de-la-croûte-océanique-dans-les-zones-de?redirectedFrom=fulltext>
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, G., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Ndariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N. and Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105(B3): 5695–5719. <https://doi.org/10.1029/1996jb900351>

- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D. and Tealeb, A., 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*, 155(1): 126–138. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2003.02023.x>
- McKenzie, D.P. and O'Nions, R.K., 1991. Partial melt distribution from inversion of rare earth element concentrations. *Journal of Petrology*, 32(5): 1021–1091. <https://doi.org/10.1093/petrology/32.5.1021>
- McKenzie, D.P. and O'Nions, R.K., 1995. The source regions of Ocean Island Basalts. *Journal of Petrology*, 36(1): 133–159. <https://doi.org/10.1093/petrology/36.1.133>
- Meen, J.K., 1987. Formation of shoshonites from calc-alkaline basalt magmas: geochemical and experimental constraints from the type locality. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97(3): 333–351. <https://doi.org/10.1007/bf00371997>
- Moradizadeh, N., 2012. Study of volcanic rocks of Barzrood (NE of Isfahan) with emphasis on ore deposit. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 100 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/dl/search/default.aspx?Term=9557&Field=0&DTC=3>
- Movahedian Atar, F., 2008. Petrology and Geology of Tertiary Volcanic Rocks from North Kuhpaye (NE of Esfahan). M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 102 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://parseh.modares.ac.ir/thesis/2031676>
- Moyen, J.F. and Martin, H., 2012. Forty years of TTG research. *Lithos*, 148(1): 312–336. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.06.010>
- Müller, D., Rock, N.M.S. and Groves, D.I., 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46(4): 259–289. <https://doi.org/10.1007/bf01173568>
- Omrani, J., Agard, P., Witechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3–4): 380–398. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>
- Osborn, E., 1959. Role of oxygen pressure in the crystallization and differentiation of basaltic magma. *American Journal of Science*, 257(9): 609–647. <https://doi.org/10.2475/ajs.257.9.609>
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: R.S. Thorpe (Editor), *Andesites*. Wiley, New York, pp. 525–548. Retrieved June 11, 2021 from [https://www.researchgate.net/publication/304749002\\_Trace\\_Element\\_Characteristics\\_of\\_Lavas\\_from\\_Destructive\\_Plate\\_Boundaries](https://www.researchgate.net/publication/304749002_Trace_Element_Characteristics_of_Lavas_from_Destructive_Plate_Boundaries)
- Pearce, J.A., 1983. Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active Continental margins. In: C.J. Hawkesworth and M.J. Norry (Editors), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230–249. Retrieved June 11, 2021 from [https://www.researchgate.net/publication/247434731\\_Role\\_of\\_the\\_sub-continental\\_lithosphere\\_in\\_magma\\_genesis\\_at\\_active\\_continental\\_margin](https://www.researchgate.net/publication/247434731_Role_of_the_sub-continental_lithosphere_in_magma_genesis_at_active_continental_margin)
- Sayari, M., 2015. Petrogenesis and evolution of Oligocene-Pliocene volcanism in the central part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (NE of Isfahan). Ph.D. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 195 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/dl/search/default.aspx?Term=12518&Field=0&dte=3>
- Sayari, M., Sharifi, M., 2016. Application of clinopyroxene chemistry to interpret the physical conditions of ascending magma, a case study of Eocene volcanic rocks in the Ghohrud area (North of Isfahan). *Journal of Economic Geology*, 8(1): 61–78. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.V8I1.38857>
- Sayari, M., Sharifi, M., 2018. Anomalies in the depth of the asthenospheric mantle: key to the enigma of adakites in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 195(3): 227–245. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0093>
- Sayari, M., Sharifi, M., Ahmadian, J., 2014. Determining magmatic series and oxygen fugacity of volcanic rocks in the east of Kamu, north of Isfahan, based on biotite chemistry. *Journal of Economic Geology*, 6(1): 149–161. (in Persian with English abstract)

- <https://doi.org/10.22067/ECONG.V6I1.21362>  
Saunders, A.D., Tarney, J. and Weaver, S.D., 1980. Transverse geochemical variations across the Antarctic peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 46(3): 344–360. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(80\)90050-3](https://doi.org/10.1016/0012-821x(80)90050-3)
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors.), *magmatism in ocean basins*. Geological Society of London Publications, Special Publication 42, London, pp. 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Sisson, T.W. and Grove, T.L., 1993. Experimental investigations of the role of H<sub>2</sub>O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113(2): 143–166. <https://doi.org/10.1007/bf00283225>
- Stern, C.R. and Kilian, R., 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123(3): 263–281. <https://doi.org/10.1007/s004100050155>
- Tamizi, N., 2013. Petrography of volcanic rocks in the north of Aliabad mining area (NW of Nain) with emphasis on recent perlite and bentonite exploration works. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 95 pp. (in Persian with English abstract)
- Taylor, W.R., Rock, N.M.S., Groves, D.I., Perring, C.S. and Golding, S.D., 1994. Geochemistry of Archean shoshonitic lamprophyres from the Yilgarn block, Western Australia: Au abundance and association with gold mineralization. *Applied Geochemistry*, 9(2): 197–222. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0883-2927(94)90007-8)
- Walter, M.J., 1998. Melting of garnet peridotite and the origin of komatiite and depleted lithosphere. *Journal of Petrology*, 39(1): 29–60. <https://doi.org/10.1093/ptro/39.1.29>
- Wang, Q., McDermott, F., Xu, J.F., Bellon, H. and Zhu, Y.T., 2005. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting. *Geology*, 33(6): 465–468. <https://doi.org/10.1130/g21522.1>
- Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Jian, P., Zhao, Z.H., Li, C.F., Xu, W., Ma, J.L. and He, B., 2007. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie complex, central China: implications for partial melting and delamination of thickened lower crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(10): 2609–2636. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.03.008>
- Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Wan, Y., Li, C.H., Zi, F., Jiang, Z., Qiu, H., Chu, Zh., Zhao, Z.H. and Dong, Y.H., 2008. Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155(4): 473–490. <https://doi.org/10.1007/s00410-007-0253-1>
- Yogodzinski, G.M., Kay, R.W., Volynets, O.N., Koloskov, A.V. and Kay, S.M., 1995. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: implications for slab melting and processes in the mantle wedge. *Geological Society of America Bulletin*, 107(5): 505–519. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107<0505:maitwa>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107<0505:maitwa>2.3.co;2)

**COPYRIGHTS**

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

**How to cite this article**

Sayari, M. and Sharifi, M., 2021. Evolution of the volcanic mechanism in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. *Journal of Economic Geology*, 13(1): 113–144. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i1.85642>





## Evolution of the volcanic mechanism in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc

Mohammad Sayari<sup>1\*</sup> and Mortaza Sharifi<sup>2</sup>

1) Department of Water Resources Basic Studies, Regional Water Company of Isfahan, Isfahan, Iran

2) Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Submitted: Feb. 16, 2020

Accepted: May 16, 2020

**Keywords:** *Volcanism, Cenozoic, Partial melting, Adakite, Urumieh-Dokhtar*

### Introduction

Cenozoic volcanic activities in the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (UDMA) have occurred in three main pulses of Eocene, upper Oligocene-Pliocene, and Plio-Quaternary (Dilek et al., 2010, Sayari, 2015). Magmatic activities in the UDMA until a few years ago were marked with calc-alkaline and occasionally shoshonitic signatures. Recent studies have reported post-collisional adakites in some parts of the UDMA (e.g., Ghadami et al., 2008; Omrani et al., 2008; Sayari, 2015; Sayari and Sharifi, 2018). Since magmatic genesis of calc-alkaline, shoshonitic, and especially adakites are absolutely different, variation in the volcanism nature of Iran is a key to recognition of geodynamic evolution of Iran. This study tries to analyze the volcanic evolution in the central part of the UDMA by systematically processing of geochemical database for three main Cenozoic volcanic pulses.

### Materials and methods

Whole rock reliable ICP-MS analysis data from scientific texts having exact location coordinates were gathered to form a geochemical geodatabase which includes 99 samples. This database spatially covers around 200 km in the central part of the UDMA from 51°15'E and 33°47'N (north of Isfahan) to 52°57'E and 32°35'N (east of Isfahan).

### Results

Analysis of the geochemical geodatabase indicates that none of the samples belong to

alkaline and tholeiitic magmatic series. About 71 percent of group 1 (volcanic pulse of Eocene) are calc-alkaline, and the remaining 29 percent are shoshonitic. About 67 percent of group 2 (volcanic pulse of Oligocene-Miocene) are shoshonitic, and the remaining 33 percent are calc-alkaline. About 88 percent of group 3 (volcanic pulse of Plio-Quaternary) are adakite, and the remaining nearly 12 percent are both calc-alkaline/shoshonitic (samples CN4, JS13, OG4 and SK1 of Khodami, 2009). Adakitic samples are situated in two areas in Joshaghan-Ghohrud and Kajan-Kahang. Sayari and Sharifi (2018) showed that there is a correlation between UDMA adakites and positive lithospheric thickness anomalies. They showed that adakites in the central part of UDMA are restricted to 4 regions exactly where lithosphere and crust are anomalously thicker than the surrounding. In the areas where adakites lie, lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) is situated deeper than 212 km (Sayari and Sharifi, 2018). The geochemical aspect of the studied adakites which are all related to the third volcanic pulse of UDMA shows that they have been derived from the subducted slab. They do not have adakite-like or crust-derived adakites characteristics.

### Discussion

The results indicate that volcanic activities from Eocene to Quaternary have evolved from calc-alkaline to shoshonitic signatures and then turned into adakitic nature. Calc-alkaline and shoshonitic magmatism resulted from partial melting of the

\*Corresponding authors Email: m.sayari@gmail.com

mantle wedge, while adakitic magmatism resulted from partial melting of the subducted slab. This means that the origin of the third volcanic pulse has shifted from mantle wedge to slab. According to the La/Sm versus La diagram (Aldanmaz, 2000) calc-alkaline samples have been derived from about 15% partial melting of the spinel-garnet lherzolite, and the shoshonitic samples have resulted from about 3% partial melting of the spinel-garnet lherzolite. Based on La/Yb versus Yb diagram (Bourdon et al., 2002), adakites from Kajan-Kahang have been derived from about 10% partial melting of the garnet amphibolite. Moreover, the Adakites from Joshaghan-Ghohrud have resulted from about 6% partial melting of the hornblende eclogite.

#### Acknowledgment

The authors would like to thank the management of the Regional Water Company of Isfahan, Graduate School of the University of Isfahan, and Ms. Fatemeh Darvishzadeh.T

#### References

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. and Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1–2): 67–95. [https://doi.org/10.1016/s0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/s0377-0273(00)00182-7)
- Bourdon, E., Eissen, J.P., Gutscher, M.A., Monzier, M., Samaniego, P., Robin, C., Bollinger, C. and Cotton, J., 2002. Slab melting and slab melt metasomatism in the Northern Andean Volcanic Zone: adakites and high-Mg andesites from Pichincha volcano (Ecuador). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 173(2): 195–206. <https://doi.org/10.2113/173.3.195>
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, 52(4–6): 536–578.
- Ghadami, G., Moradian, A. and Mortazavi, M., 2008. Post-collisional Plio–Pleistocene adakitic volcanism in Central Iranian volcanic belt: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19(3): 223–235. Retrieved June 11, 2021 from [https://journals.ut.ac.ir/pdf\\_31896\\_3d5550b30b2590c75543469f305410a2.html](https://journals.ut.ac.ir/pdf_31896_3d5550b30b2590c75543469f305410a2.html)
- Khodami, M., 2009. Petrology of Plio-Quaternary volcanic rocks in south-east and north-west of Isfahan. Ph.D. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 174 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=6027&Field=0&DTC=3>
- Omrani, J., Agard, P., Witechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3–4): 380–398. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>
- Sayari, M., 2015. Petrogenesis and evolution of Oligocene-Pliocene volcanism in the central part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (NE of Isfahan). Ph.D. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 195 pp. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2021 from <https://lib.ui.ac.ir/dl/search/default.aspx?Term=12518&Field=0&dte=3>
- Sayari, M., Sharifi, M., 2018. Anomalies in the depth of the asthenospheric mantle: key to the enigma of adakites in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 195(3): 227–245. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0093>