



## بررسی پتروگرافی و پترولوژی سنگهای آتشفشانی کواترنر قزل قلعه واقع در شمال شرق قروه

علیرضا باجلان\* و مرتضی شریفی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱، پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۳

### چکیده

استراتوولکان کواترنر قزل قلعه واقع در شمال شرق شهرستان قروه جزو آتشفشانهای بازالتی خطی محور قروه- بیجار- تکاب به شمار می‌رود که در نوار دگرگونی سنندج- سیرجان قرار دارد. این سنگها شامل الیوین بازالت، بازالت، تفریت و آلکالی بازالت و اغلب از نوع آلکان هستند. سنگهای فوق دارای بافتهای پورفیری با خمیره میکرولیتی، بافت حفره‌دار و گاهی گلوپورفیری، ویتروفیری و بادامکی می‌باشند. کانیهای اصلی شامل الیوین، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و کانیهای فرعی شامل اپاک، آپاتیت، زیرکن و کانی ثانویه حاصل از تجزیه بازالت‌ها کلسیت است. همچنین ایدنگزیت توسط هیدراسیون و اکسیداسیون الیوین تشکیل شده است. خاموشی موجی اکثر کانیها نشان‌دهنده دگرشکل‌های گوشته‌ای است. داده‌های ژئوشیمیایی این سنگها بیانگر ترکیب نوع آلکان پتاسیم بالای ماگمای سازنده این سنگها است. نمودارهای عنکبوتی حاکی از غنی‌شدگی از عناصر LREE و LILE و تهی‌شدگی از عناصر HREE به همراه نبود ناهنجاری منفی Eu و حضور ناهنجاری مثبت عناصر Sr و Pb نشان‌دهنده ماهیت آلکان ماگما و سرچشمه گرفتن آن از یک منبع گوشته غنی‌شده زیر لیتوسفر قاره‌ای است. این سنگها در نمودارهای پتروژنتیک و تعیین محیط تکتونوماگمایی، در جایگاه بازالت‌های درون‌صفحه‌ای قرار می‌گیرند و از ذوب‌بخشی تقریباً ۱ تا ۵ درصد یک منبع گوشته‌ای گارنت لرزولیتی غنی‌شده به وجود آمده‌اند. شواهد میکروسکوپی از جمله بافتهای غیرتعادلی در کانیها (حالت زونه، انحلال و ماکل) بر آرایش ماگمایی توده ولکانیکی دلالت دارد.

واژه‌های کلیدی: آلکالی بازالت، قروه- تکاب، کواترنری، قزل قلعه، ایدنگزیت، سنندج- سیرجان.

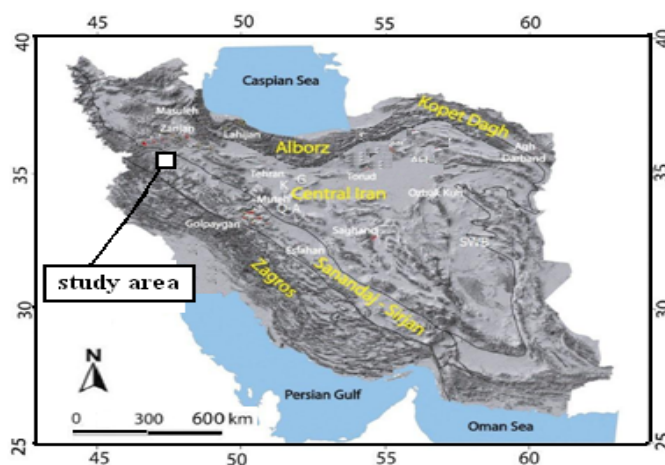
### مقدمه

(Moein Vaziri, 1997). منطقه قزل قلعه در شمال شرق شهرستان قروه و در صد کیلومتری جنوب سنندج واقع است (شکل ۱). با توجه به قرارگیری مخروط آتشفشان قزل قلعه بر روی رسوبات تخریبی پلیوسن (از جنس ماسه سنگ و سیلتستون با سیمان آهکی) و تراورتن‌های کواترنر، سن آنها کواترنر در نظر گرفته می‌شود (Moein Vaziri, 1999). مخروط کم ارتفاع عمدتاً از اسکوری، خاکستر، بمب‌های آتشفشانی و نهشته‌های لاپیلی همراه با گدازه‌های بازالتی ساخته شده است نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه که با نرم‌افزار ER MAPPER ترسیم شده، در شکل ۲ ارائه شده است. در این منطقه سنگهای مورد بررسی را در اندازه‌های مختلف خرد کرده و به عنوان پوکه معدنی استفاده

در شرق و شمال شرق سنندج در محور قروه- بیجار- تکاب یک سری آتشفشانی در امتداد شمال غرب- جنوب شرق با ترکیب بازالتی به سن کواترنر قرار گرفته است (Moein Vaziri and Aminsobhani, 1985). جزو پهنه سنندج- سیرجان است و بین طولهای جغرافیایی ۳۵° ۵۲' تا ۴۷° ۵۷' شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۵° ۲۶' تا ۳۵° ۳۰' شمالی محدود می‌شود (شکل ۱). در این منطقه مراکز آتشفشانی دیگر چون آتشفشانهای قره طوره، ندری، طهمورث، قزلچه‌کند، مهدی خان و ایلانلو برون‌زد دارند. این سنگها دارای ترکیب عمده الیوین بازالت، تفریت، بازالت و آلکالی بازالت بوده، در نورم حاوی الیوین و نقلین هستند

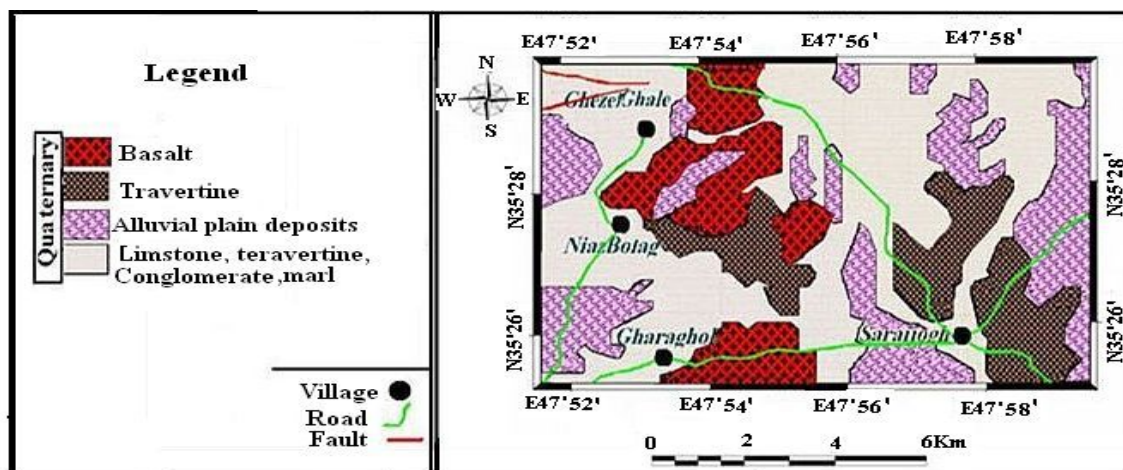
درویش‌زاده و شه‌بازی (Darvishzadeh and Shahbazi, 1999) بر روی آتشفشانهای محور فوق اشاره کرد. بنابراین ارزیابی ماهیت ماگماتیسم کواترنر در این ناحیه و تعیین سایر ویژگیهای سنگ‌شناسی مانند بررسی سنگ منشأ و تعیین نوع ماگما، درجه ذوب‌بخشی و تعیین محیط تکتونیکی سنگهای قزل قلعه ارزش ویژه‌ای می‌یابند که در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

می‌کنند. از نظر پترولوژی و ژئوشیمیایی مطالعات زیادی در محدوده مورد بررسی انجام نشده و تحقیقات انجام شده بیشتر جنبه کلی دارد که بر روی بعضی از آتشفشانهای کواترنری محور قروه- تکاب صورت پذیرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مقالات معین وزیری و امین سبحانی (Moein Vaziri and Aminsobhani, 1985)، معین وزیری (Moein Vaziri, 1999)، ملکوتیان (Malakutiyani, 2005)



شکل ۱. موقعیت منطقه قزل قلعه بر روی نقشه ایران بر اساس (Hosayni, 2004)

Fig. 1. Location map of the Ghezel Ghaleh area after Hosayni (2004)



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه قزل قلعه بر اساس داده‌های رقومی ماهواره‌ای

Fig. 2. Simplified geological map of the Ghezel Ghaleh area based on satellite data.

#### روش مطالعه

بررسیهای صحرایی آغاز شد. در بررسیهای صحرایی از منطقه تعداد ۴۰ نمونه برداشته شد که به منظور مطالعات پتروگرافی و آزمایشگاهی، از نمونه‌های برداشت شده ۳۰ مقطع نازک و سیقلی تهیه شد. تعداد ۷ نمونه از سنگهای سالم و هموزن را

پس از انجام پژوهشهای کتابخانه‌ای، پیشینه مطالعاتی منطقه، نقشه زمین‌شناسی منطقه، و عکسهای ماهواره‌ای جهت انتخاب مسیرها و ایستگاههای مناسب برای نمونه‌برداری،

که خصوصیات مجموعه سنگهای منطقه را در بر می‌گرفت و دارای حداقل هوازگی و رگه‌های ثانویه بودند، جهت انجام آنالیز سنگ کل و XRD انتخاب شدند. کلیه عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی توسط دستگاه ICP-MS در کشور استرالیا آزمایشگاه Lab Weft مورد سنجش قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. داده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی سنگهای منطقه قزل قلعه  
Table 1. Chemical analytical data for the rocks in the Ghezel Ghaleh area

Sample	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
	N 35° 29 03 E 47° 54 28	N 35° 27 11 E 47° 53 28	N 35° 27 23 E 47° 55 17	N 35° 27 17 E 47° 55 18	N 35° 27 30 E 47° 53 08	N 35° 27 56 E 47° 53 53	N 35° 27 38 E 47° 52 55
	Basanite	Basanite	Tephrite	Tephrite	Basanite	Tephrite	Tephrite
SiO <sub>2</sub>	43.41	41.59	44.45	46.15	41.96	43.39	45.00
TiO <sub>2</sub>	2.40	2.70	2.64	2.52	2.69	2.47	2.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.83	13.36	13.5	12.76	13.23	13.21	13.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	9.39	10.44	9.58	9.58	10.12	9.49	9.44
MnO	0.10	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
MgO	10.94	10.01	9.75	8.74	10.1	10.73	11.04
CaO	11.56	12.21	11.92	12.4	12.41	11.00	11.5
Na <sub>2</sub> O	3.95	4.56	3.79	3.84	4.35	3.99	3.44
K <sub>2</sub> O	2.94	2.96	2.66	2.60	2.83	3.20	2.95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.74	0.63	0.63	0.67	0.63	0.76	0.77
LOI	1.84	1.42	0.97	0.63	1.57	1.66	0.09
Total	100	100	100	100	100	100	100
Cr	346	252	244	253	285	380	383
Ni	251	162	156	139	160	244	245
Co	50.8	55.7	54.7	52.7	52.8	50.0	48.9
V	162	222	227	213	219	169	168
Cu	79.5	108.2	134.1	183.8	116.3	71.2	80.1
Pb	22.1	19.3	18.1	20.6	21.6	22	22.6
Zn	180	174	163	166	170	181	186
Sn	4.7	8.2	15.8	23.3	8	3.3	3.1
W	0.8	1.2	1.1	1.1	1.1	0.9	0.4
Mo	5.0	5.0	4.3	4.4	4.7	5.1	1.3
Rb	28.8	48.1	33.6	34.3	34.4	26.6	6.3
Cs	1.1	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
Ba	1490	1200	1190	1230	1260	1440	1590
Sr	3560	2420	2150	2190	2240	3090	3260
Ga	18.3	19.2	19.6	19.1	18.8	18.8	18.8
Ta	2.26	2.53	2.41	2.48	2.34	2.62	2.56
Nb	43.3	47.3	48	48.5	46.9	49.1	47.9
Hf	6.6	5.76	5.77	5.74	5.65	6.88	6.87
Zr	246	223	221	220	218	249	252
Y	26.8	28	28	27.2	27.9	28.5	28.8
Th	13.7	18.2	17.7	18	17.1	14.8	14.8
U	2.78	3.54	3.30	3.49	3.33	3.06	2.94
La	139	123	119	120	117	137	137
Ce	267	221	217	218	211	258	259
Pr	32.0	25.5	24.5	24.8	24.0	30.3	30.9
Nd	119	92.6	89.2	89.0	88.6	113.0	115.0
Sm	16.6	13.1	12.8	12.6	12.8	16.0	16.2
Eu	4.23	3.51	3.22	3.3	3.3	4.13	4.26
Gd	19.2	17.3	16.4	17.1	16.4	19.1	19.8
Tb	1.45	1.3	1.26	1.25	1.26	1.47	1.49
Dy	6.47	6.12	5.92	5.95	5.83	6.59	6.69
Ho	1.00	1.05	1.01	1.01	1.00	1.06	1.07
Er	2.34	2.60	2.51	2.49	2.47	2.50	2.45

ادامه جدول ۱. داده‌های مربوط به آنالیز شیمیایی سنگهای منطقه قزل قلعه

**Table 1 (Continued).** Chemical analytical data for the rocks in the Ghezel Ghaleh area

Sample	M1 Basanite	M2 Basanite	M3 Tephrite	M54 Tephrite	M5 Basanite	M6 Tephrite	M7 Tephrite
Tm	0.33	0.4	0.37	0.37	0.37	0.34	0.35
Yb	2.07	2.41	2.25	2.31	2.22	2.19	2.18
Lu	0.32	0.41	0.36	0.4	0.36	0.34	0.35
Sc	17	20	21	18	20	17	17
S	1510	1180	1480	2020	1170	2090	318
Ag	0.79	0.93	0.93	0.95	0.95	0.88	0.87
As	2.7	2.8	2.9	1.8	2.9	2.6	8
Be	2.8	2.7	2.7	2.8	2.6	2.9	2.8
Bi	< 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	< 0.1	< 0.1
Cd	0.24	0.26	0.21	0.24	0.22	0.24	0.25
Tl	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	< 0.1
Sb	1.6	0.8	2.6	2.6	1.5	1.0	0.8
Se	0.31	0.34	0.39	0.30	0.26	0.20	0.31
Ge	0.77	0.67	0.76	0.69	0.76	0.82	0.92
In	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09
P	7360	6320	6290	6710	6310	7620	7680
Li	9.6	10.4	10.4	10.7	10.3	14.2	15.6
Te	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Re	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

### بحث و بررسی

#### زمین‌شناسی منطقه

منطقه قروه- تکاب در پهنه سنندج- سیرجان قرار گرفته است. زیر بنای این زون یک پی دگرگونی است متعلق به پرکامبرین، که در پاره‌های نقاط به صورت هورست بالا آمده است. بعد از کوهزایی سیمیرین پیشین، فعالیت‌های آتشفشانی آندزیتی در زون سنندج- سیرجان صورت گرفته است (Vaziri, 1999). در اواخر ژوراسیک فاز کوهزایی سیمیرین پسین، باعث چین‌خوردگی رسوبات ژوراسیک شده است. در کرتاسه تحتانی دوباره دریا در زون سنندج- سیرجان پیش‌روی نموده و رسوبات کرتاسه تحتانی و فوقانی را به طور دگرشیب بر روی رسوبات چین‌خورده ژوراسیک قرار داده است (Nabavi, 1977). مراکز آتشفشانی مذکور بین استانهای آذربایجان غربی و کردستان واقع شده و در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران در پهنه سنندج- سیرجان واقع شده و با فاصله صد کیلومتری از تراس اصلی زاگرس در امتداد خطی با جهت شمال غربی- جنوب شرقی قرار گرفته‌اند (Moein Vaziri, 1999). این آتشفشان (قزل قلعه) به

صورت تپه ماهوری با ارتفاع نسبتاً کم از جنس اسکوری بوده که گدازه‌ها به علت روان‌روی زیاد توانسته‌اند کیلومترها بر روی دشتهای جریان یابند و دارای فرسایش پوست پیزی نیز هستند. در آتشفشان قزل قلعه گدازه‌ها بر روی رسوبات تخریبی شیمیایی کواترنری ریخته شده‌اند. از نکات درخور توجه، وجود بمب‌های دوکی بازالتی با قطر بیش از ۲ متر است. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی همه متعلق به کواترنر بوده که به ترتیب شامل مارن و کنگلومرا، آهک، تراورتن و آکالی بازالت می‌باشند. واحدهای آتشفشانی منطقه اغلب از نوع آکالی بازالت بوده و بر روی رسوبات تراورتن قرار گرفته، دارای سن کواترنر هستند و بخش اعظم رخنمونهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند و در نورم حاوی الیوین و نفلین هستند (شکل ۳).

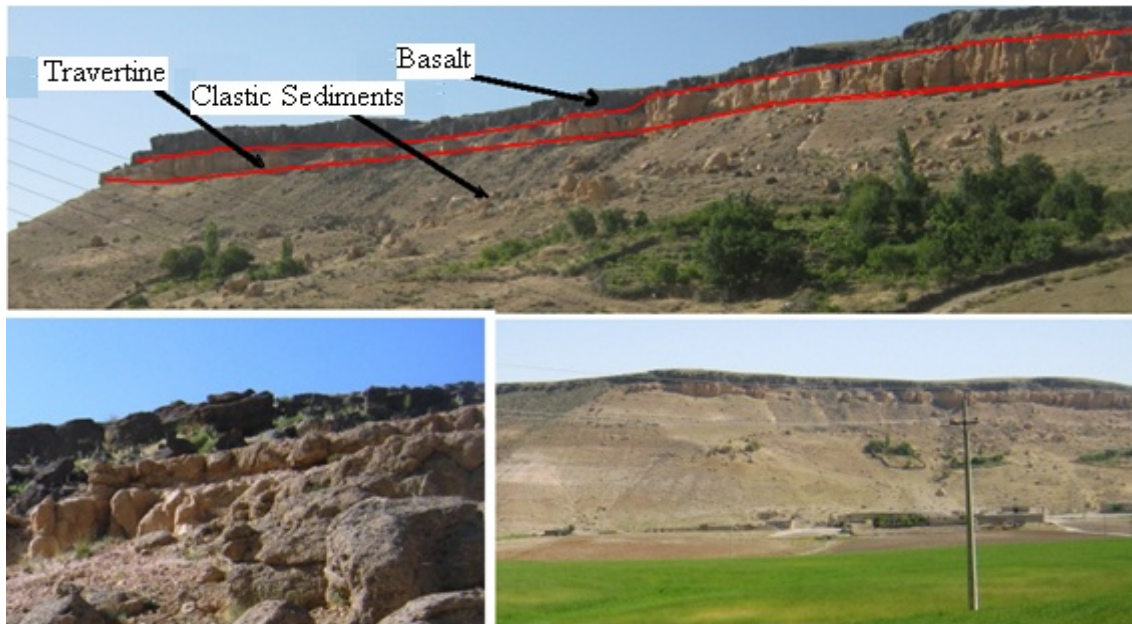
#### پتروگرافی

در مطالعات پتروگرافی علاوه بر نام‌گذاری مدال اولیه، توصیف کانی‌شناسی و بافتی مقاطع نازک، به تحلیل روابط کانیها و شناسایی رخدادها مؤثر بر تشکیل بافتها، ارتباط کانیها، حاشیه‌های واکشی، بیگانه سنگها و دیگر خصوصیات قابل



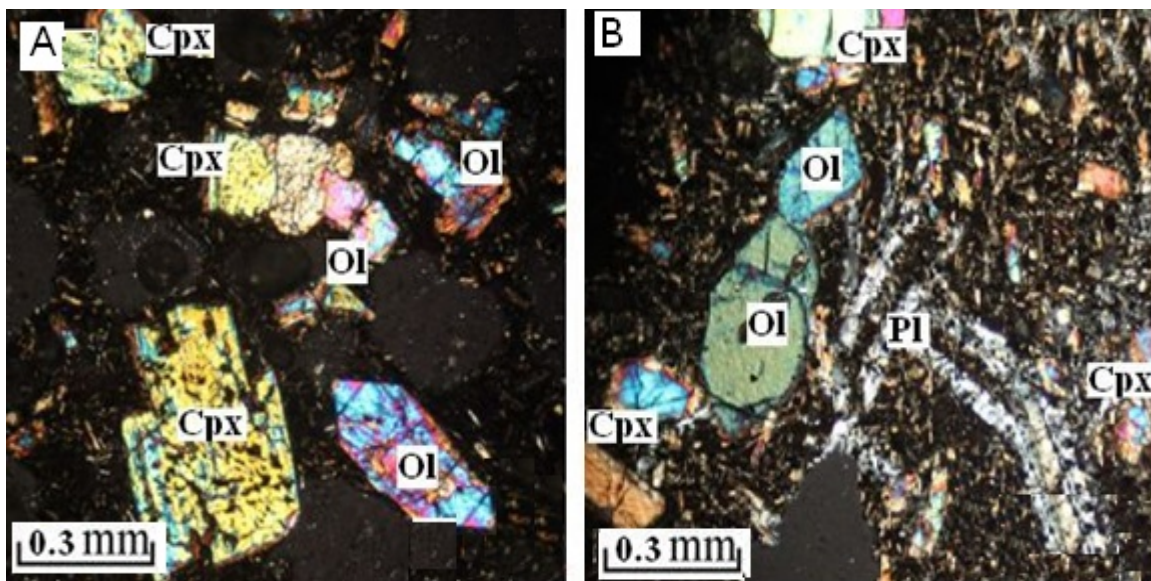
بازالت، آلكالی بازالت، تفریت و بازانیت هستند. از نظر پتروگرافی کانیهای تشکیل‌دهنده این سنگها شامل الیون، پیروکسن از نوع دیوپسید، پلاژیوکلاز و کانیهای تیره (هماتیت و ماگنتیت) می‌باشند که در خمیره شیشه‌ای یا میکرولیتی قرار دارند (شکل ۴-A و B).

توجه پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه هدف از این پژوهش شناخت سنگهای ولکانیک منطقه است، سعی شده تا با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و خصوصیات بافتی و کانی‌شناسی به این هدف برسیم. براساس مطالعات صحرایی و پتروگرافی مجموعه سنگهای مورد مطالعه در محدوده الیون



شکل ۳. تصاویر صحرایی منطقه قزل قلعه و بازالت‌های مورد بررسی دید رو به شمال و شمال شرقی

Fig. 3. Field photographs from Ghezel Ghaleh and the studied basalts, View to the north and northeast



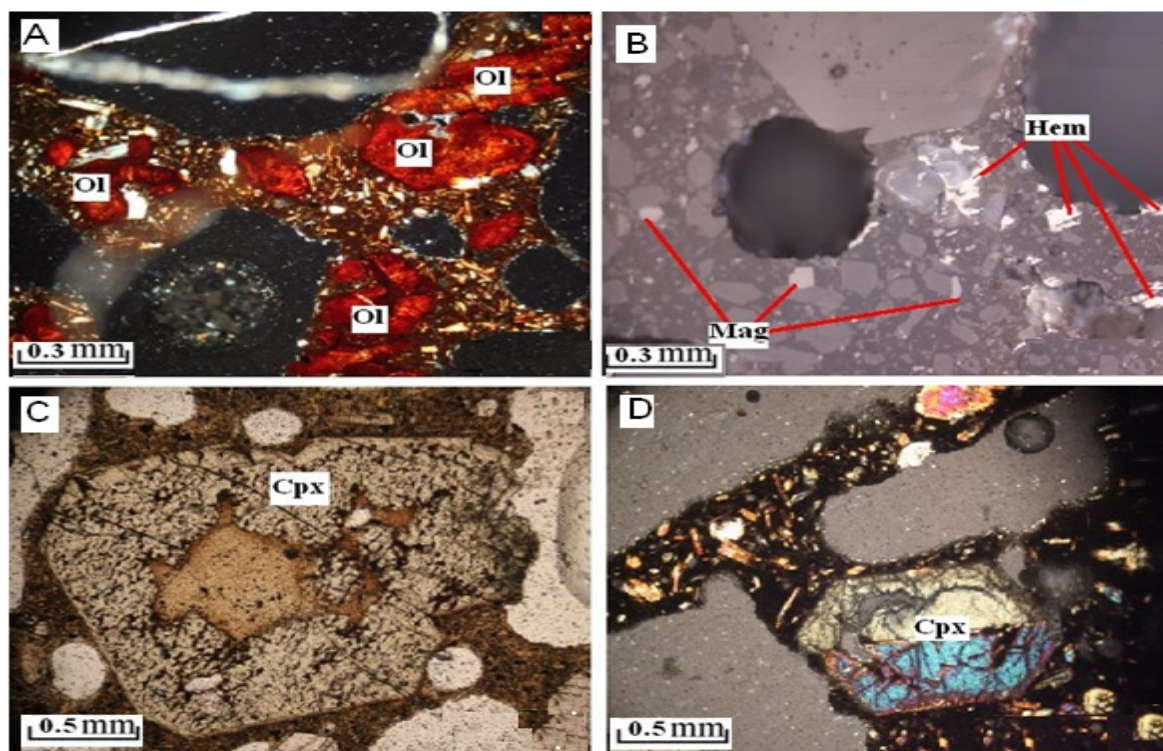
شکل ۴. A و B: کانیهای الیون و پیروکسن به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار که به صورت فنوکریست در زمینه میکرولیت دیده می‌شوند (XPI)

علایم اختصاری کانیها بر اساس کرتز (Krets, 1983)، (الیون Ol - کلینوپیروکسن Cpx - پلاژیوکلاز Pl)

Fig. 4. A and B: Minerals olivine and pyroxene are euhedral and subhedral phenocrysts as seen in Microlite (XPI) Abbreviations after Krets (1983), (Ol= Olivine, Cpx= Clinopyroxene, Pl= Plagioclase)

منطقه‌ای، قطاعی یا ساعت شنی هستند. منطقه‌بندی قطاعی یا بخشی که به صورت ساعت شنی در کانی دیده می‌شود، نشانه تفاوت در میزان رشد و میزان انتشار کاتیون‌ها در شبکه بلور است (شکل ۵-D) (نسبت رشد سریعتر از انتشار سازندهای شیمیایی است) (Shelley, 1993). مکانهای قرارگیری کاتیون‌ها با توجه به پیوندهای بین اتم‌ها به طور ترجیحی کاتیون‌های متفاوتی را جذب می‌کند که به‌خصوص در شرایط غیرتعادلی که نرخ انتشار برای سازنده ویژه‌ای در بلور کند است این منطقه‌بندی ایجاد می‌شود (شکل ۵-C). گاه زونینگ ناقص در بلورهای کلینوپیروکسن در صورت همراه بودن با سایر شواهد بافتهای غیرتعادلی به عنوان نشانه‌ای از اختلاط ماگمایی در نظر گرفته می‌شود (Marsh, 1998).

کانیهای کدر (هماتیت و ماگنتیت) (شکل ۵-B) و ایدنگزیت نیز کانیهای فرعی و ثانویه موجود در آنها هستند گاهی شدت ایدنگزیتی شدن به خاطر تبلور الیوین در حرارت‌های بالا و قرار گرفتن در شرایط جوی و فشار کم، به اندازه ای است که فقط قالب این کانی باقی می‌ماند و هیچ‌گونه آثاری از کانی اولیه را نمی‌توان مشاهده کرد (شکل ۵-A). ایدنگزیت محصول متداول و فراگیر آلتراسیون ماگمای دمای بالا بوده، یک شبه کانی قرمز رنگ و دارای اکسید آهن سه ظرفیتی است که در اثر اکسیداسیون در حرارت بالا از الیوین گدازه‌ها ایجاد می‌شود و از نظر شیمیایی تشکیل آن مربوط به ورود آهن، آب، خروج منیزیم و اکسیداسیون آهن سه ظرفیتی است (Shelley, 1993). کلینوپیروکسن‌ها غالباً دارای بافت



شکل ۵. A: بلورهای الیوین ایدنگزیتی شده (XPL)، B: کانیهای کدر (هماتیت و ماگنتیت)، C: بلورهای شکل‌دار پیروکسن که از مرکز تجزیه شده و به وسیله شیشه پر شده است (PPL)، D: بافت ساعت شنی (قطاعی) در کلینوپیروکسن‌های موجود در تفریت و بازائیت‌های قزل قلعه (XPL)

**Fig. 5.** A: Iddingsited olivine crystals (XPL), B: opaque minerals (hematite and magnetite), C: shaped crystals of pyroxene which decomposes Center and Filled with glass (PPL), D: radial texture in clinopyroxene in tephrite and basanite of Ghezal Ghaleh area (XPL).

#### بافت

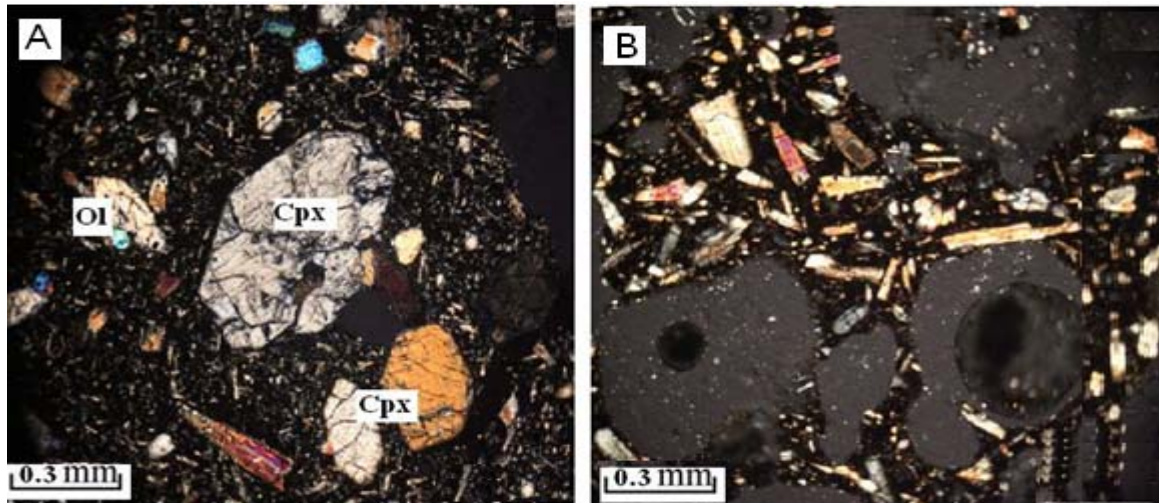
فرعی بافت هیالو میکرولیتیک، میکرولیتیک، میکرولیتیک پورفیری، ویتروفیری، بادامکی، گلومروپورفیری و بافت غربالی قابل تشخیص است. در (شکل ۶-B) بافت میکرولیتیک و در

از نظر مشخصات میکروسکوپی در بازالت‌ها و الیوین بازالت‌ها بافت اصلی پورفیری بوده و در برخی از نمونه‌ها نیز به صورت



تشکیل دهنده باشند. همچنین وجود حفره‌ها می‌تواند بازگوکننده نوع فوران و ماهیت احتمالی ماگما باشد (Shelley, 1993; Moein Vaziri and Ahmadi, 1991).

(شکل ۶- A) بافت پورفیری میکرولیتیک در تفریت‌ها و بازانیت‌های قزل قلعه نشان داده شده است. هرکدام از بافت‌های موجود به همراه شکل کانیها می‌توانند بیانگر شرایط ماگمای



شکل ۶. A: بافت میکرولیتیک پورفیری در تفریت‌ها و بازانیت‌های قزل قلعه، B: بافت میکرولیتیک (XPL).

**Fig. 6.** A: Microlitic porphyritic texture in tephrite and basanite of Ghezal Ghaleh area (XPL), B: Microlitic texture (XPL).

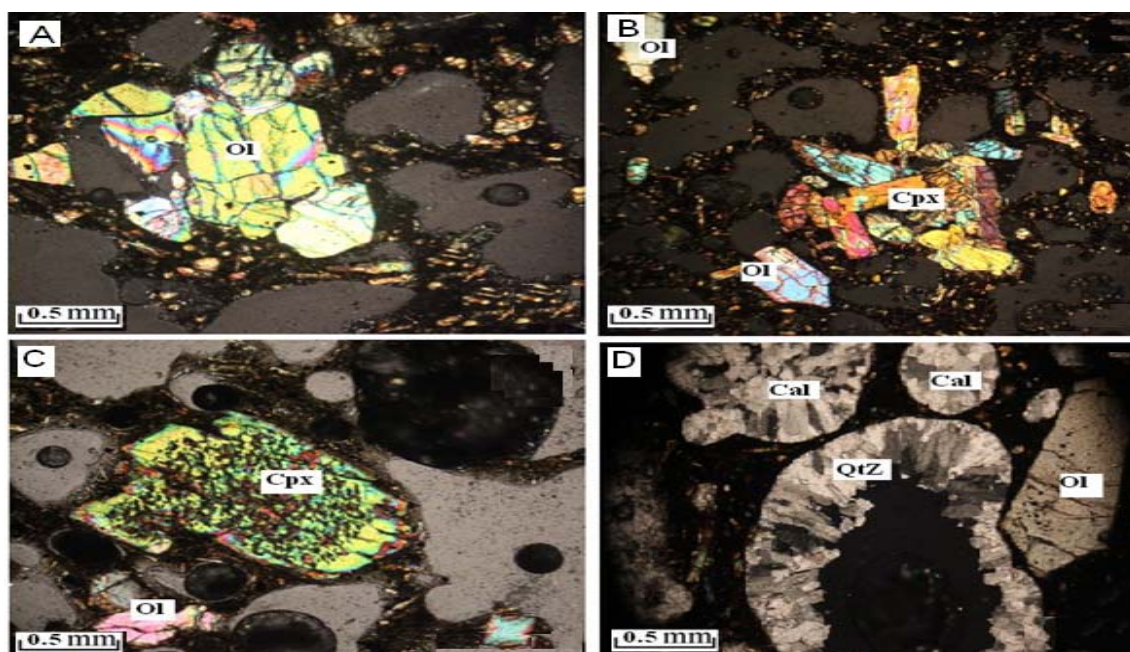
ماگمایی (نوع ماگما) با استفاده از داده‌های عناصر اصلی و یا نتایج محاسبات نرم نمودارهای مربوطه رسم می‌شوند. در این تحقیق از نمودار  $SiO_2$  در برابر  $Na_2O+K_2O$  (نمودار تاس) (Irvine and Baragar, 1971) و نمودار کاتیونی R2 و R1 (De La Roche et al., 1980) جهت تعیین سری ماگمایی استفاده شده است. نمودار تاس اولین بار توسط ایروین و باراگار در سال ۱۹۷۱ ارائه شده و بر اساس مقادیر سیلیس و آلکالی‌ها نمونه‌ها را به دو سری ماگمایی آلکالن و ساب‌آلکالن تقسیم کرده که در این نمودار سنگهای آتشفشانی منطقه قزل قلعه در محدوده آلکالن واقع شده‌اند (شکل ۸). نمودار کاتیونی R2 و R1 توسط دلاروش و همکاران (De La Roche et al., 1980) بر حسب مقادیر کاتیونی عناصر اصلی جهت تفکیک سری آلکالن از ساب‌آلکالن به کار رفته است در این نمودار مقدار R1 که بر روی محور Xها نشان داده می‌شود، عبارت است از:

$R1 = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$  که بر روی محور Yها نشان داده می‌شود عبارت است از:  
 $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$   
 نیز در سری آلکالن واقع می‌شوند (شکل ۹).

بافت گلومروپورفیریک نمایانگر بالا آمدن سریع ماگما بوده و درحین بالا آمدن، فنوکریست‌ها به هم چسبیده‌اند (شکل ۷- B و A) تجمع بلورهای الیوین کنار هم بافت گلومروپورفیریک را تشکیل می‌دهند (Nelson and Montana, 1992). از دیگر بافت‌های موجود در این سنگها بافت حفره‌ای، بادامکی و غربالی است (شکل ۷- C و D). با توجه به این‌که سنگهای منطقه قزل قلعه از نوع تفریت و بازانیت هستند باید حاوی فلدسپاتوئید (لوئیسیت و نفلین) باشند (Shelley, 1993) ولی در بررسی مقاطع میکروسکوپی مربوط به این سنگها فلدسپاتوئید به صورت فنوکریست دیده نشده است در حالی‌که در نرم مربوط به این سنگها مقادیر قابل توجهی لوئیسیت و نفلین وجود دارد، بنابراین کانیهای لوئیسیت و نفلین به صورت خمیره در این سنگها وجود دارد و به همین دلیل در عکسهای مربوط به مقاطع میکروسکوپی به صورت فنوکریست دیده نمی‌شوند.

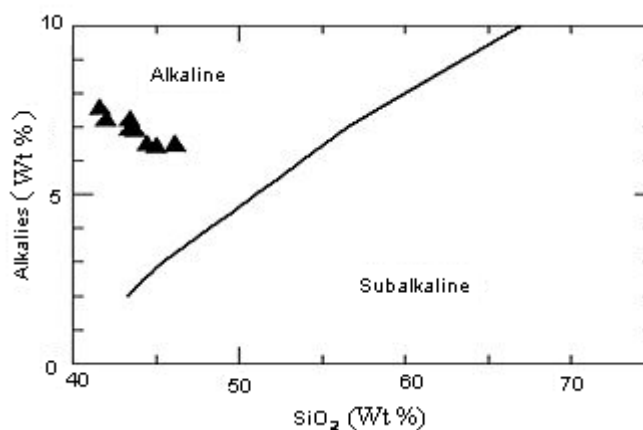
#### ژئوشیمی و پتروژنز

نمودارهای تعیین سری ماگمایی: مطالعه و بررسی سری‌های ماگمایی در شناخت محیط‌های تکتونیکی و ژئودینامیکی از اهمیت خاصی برخوردار است. برای نشان دادن سری‌های



شکل ۷. A: بافت گلومروپورفیری در الیوین (XPL)، B: بافت گلومروپورفیری پیروکسن (XPL)، C: بافت غربالی در پیروکسن (XPL)، D: بافت بادامکی (XPL).

**Fig. 7.** A: Glomeroporphyritic texture in olivine (XPL), B: Glomeroporphyritic texture in pyroxene (XPL), C: ethmoid texture in pyroxene (XPL), D: amygdaloidal texture (XPL).



شکل ۸. نمودار تاس (TAS)، (Irvine and Baragar, 1971) سنگهای آتشفشانی منطقه قزل قلعه در محدوده آکالن واقع شده‌اند.

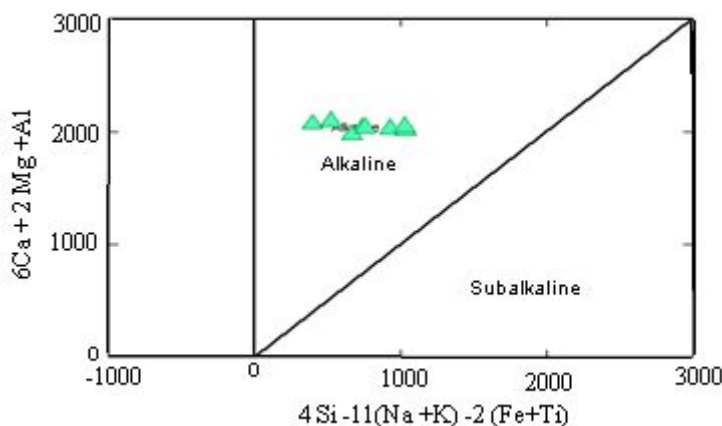
**Fig. 8.** Diagram of TAS (Total Alkalies versus Silica) (Irvine and Baragar, 1971), Volcanic rocks of Ghezel Ghaleh area Located in the alkaline range

#### رده‌بندی سنگهای آتشفشانی

برای طبقه‌بندی شیمیایی سنگها، تشخیص نوع ماگما، همبستگی ژئوشیمیایی به گروه‌های سنگی و تعیین محیط تکتونیکی از نتایج تجزیه‌های شیمیایی سنگها در نمودارهای مختلف استفاده می‌گردد.

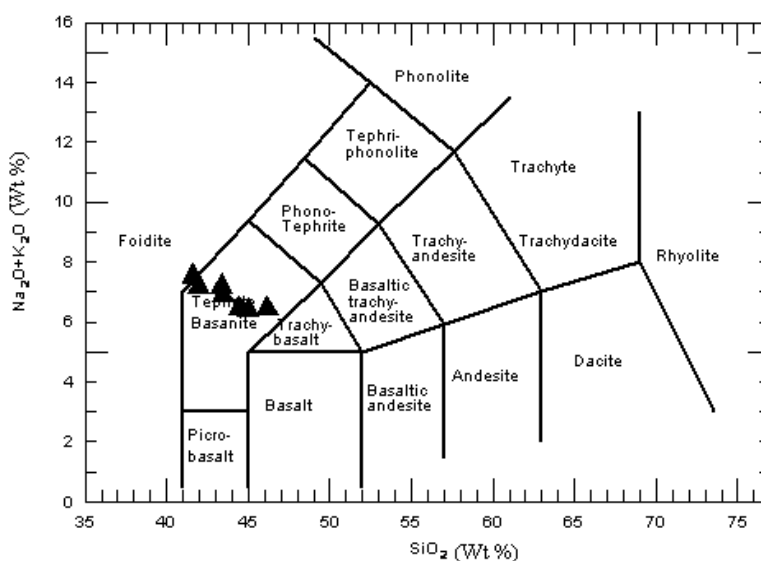
در تقسیم‌بندی سنگهای آتشفشانی منطقه قزل قلعه از نمودار مجموع  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  یعنی اکسید عناصر اصلی سنگ استفاده شده است (Cox et al., 1979; LeBas et al., 1986)، که نمونه‌های مورد بررسی در این نمودار در محدوده تفریت، بازالت و آکالی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰).





شکل ۹. نمودار کاتیونی R1- R2 بر گرفته از (De La Roche et al., 1980) نمونه‌های مورد بررسی در این نمودار در سری آلكالین واقع می‌شوند.

**Fig. 9.** Cationic R1-R2 diagram after De La Roche et al. (1980). Samples examined in this diagram are located in the alkaline range.

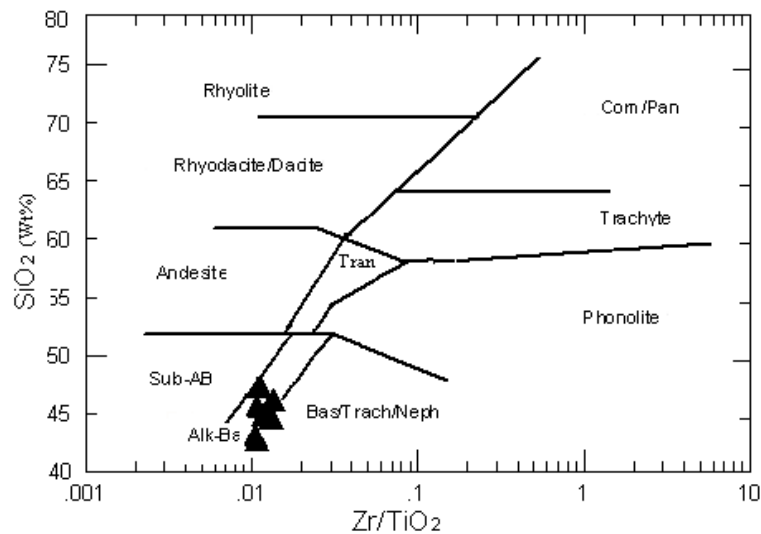


شکل ۱۰. تقسیم‌بندی سنگهای آتشفشانی بر اساس مجموع آلكالی‌ها در مقابل سیلیس بر گرفته از (LeBas et al., 1986) نمونه‌ها در محدوده تفریت، بازانیت و آلكالی بازالت قرار می‌گیرند.

**Fig. 10.** The classification of volcanic rocks based on the total alkali versus silica after LeBas et al. (1986). The samples are in the range of tephrite, basanite and alkali basalt.

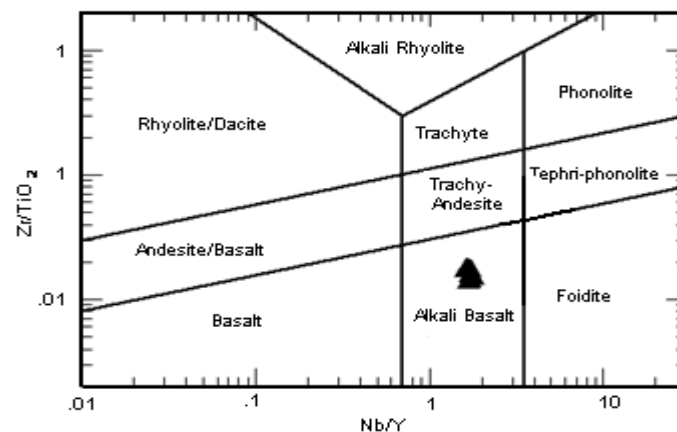
از نمودارهای ارائه شده توسط وینچستر و فلویید (Winchester and Floyd, 1977) بر اساس نسبت عناصر Zr و Ti و پیرس (Pearce, 1996) بر اساس عناصر Zr، TiO<sub>2</sub> و Nb استفاده شده است. نمونه‌های مورد آنالیز در این نمودارها در محدوده آلكالی بازالت قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

به دلیل تحرک قابل توجه عناصر آلكالی طی حوادث زمین‌شناسی پس از انجماد سنگ، بر اساس فراوانی و توزیع برخی عناصر کمیاب و فرعی مثل SC, Ca, CE, Nb, Y, Zr, Ti در سنگهای آتشفشانی نمودارهایی جهت رده‌بندی این سنگها تهیه شده است که برای استفاده در سنگهای دگرسان و دگرگون شده قابل اعتمادتر هستند. در این تحقیق



شکل ۱۱. نمودار  $Zr/TiO_2$  در مقابل  $SiO_2$  بر اساس (Winchester and Floyd, 1977) نمونه‌ها در محدوده آکالی بازالت قرار می‌گیرند.

**Fig. 11.**  $Zr/TiO_2$  versus  $SiO_2$  diagram after Winchester and Floyd (1977). Samples are placed within the alkali basalt.

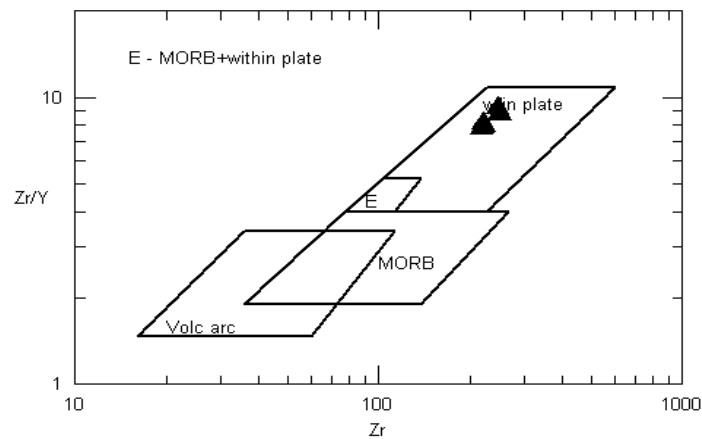


شکل ۱۲. نمودار  $Zr/TiO_2$  در مقابل  $Nb/Y$  بر اساس (Pearce, 1996) نمونه‌های قزل قلعه، در محدوده آکالی بازالت واقع می‌شوند.

**Fig. 12.**  $Zr/TiO_2$  versus  $Nb/Y$  diagram of Pearce (1996). The samples of Ghezal Ghaleh are in the range of alkali basalt.

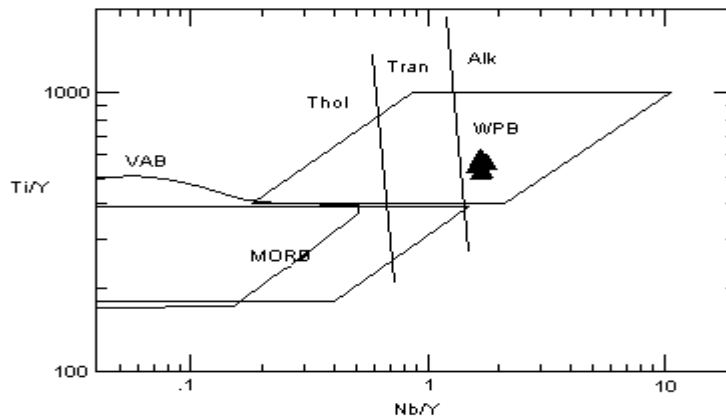
پوسته قاره‌ای سازگار می‌باشند، هر چه مقادیر  $Y$  بیشتر باشد احتمال آرایش توسط سنگهای پوسته قاره‌ای وجود دارد. به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد محیط تکتونیکی سنگهای مورد مطالعه از نمودار  $Zr/Y - Zr$  ارائه شده توسط پیرس و نوری (Pearce and Norry, 1979) و نمودار  $Nb/Y$  در برابر  $Ti/Y$  پیرس و کن، (Pearce and Cann, 1973) در سال ۱۹۸۲ استفاده شده است همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، سنگهای قزل قلعه در محدوده آکالی بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

نمودارهای تعیین جایگاه تکتونیکی: هر یک از محیط‌های زمین‌شناسی، مجموعه سنگهای خاص خود را دارند و توزیع سنگها با جایگاه زمین‌ساختی تغییر می‌کند. امروزه معلوم شده که هر سنگ آذرین را می‌توان به یک محیط زمین‌شناسی خاص با رژیم گرمایی و الگوی تکتونوماگمایی معین، ارتباط داد و تشخیص دقیق محیط تکتونیکی منطقه نیازمند اطلاعات دقیق ایزوتوپی و ژئوشیمیایی است.  $Zr$  و  $Y$  دو عنصری هستند که دو رفتار متفاوت در بازالت‌ها و سنگهای پوسته دارند. به طوری که در بازالت‌ها ناسازگار و در ترکیب سنگهای



شکل ۱۳. نمودار  $Zr/Y - Zr$  برگرفته از (Pearce and Norry, 1979) سنگهای قزل قلعه در محدوده درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند.

**Fig. 13.** Zr/Y-Zr diagram of Pearce and Norry (1979). Rocks of Ghezal Ghaleh area are located in within plate basalts.



شکل ۱۴. نمودار  $Nb/Y$  در برابر  $Ti/Y$  (Pearce and Cann, 1973) بر اساس نمودار فوق تغیرتها و بازائیت‌های منطقه قزل قلعه در محدوده آلکالی بازالت‌های درون صفحه‌ای واقع می‌شوند.

**Fig. 14.** Nb/Y versus Ti/Y Diagram (Pearce and Cann, 1973). Based on the above diagram, the Ghezal Ghaleh tephrite, and basanite are located in within plate alkali basalts.

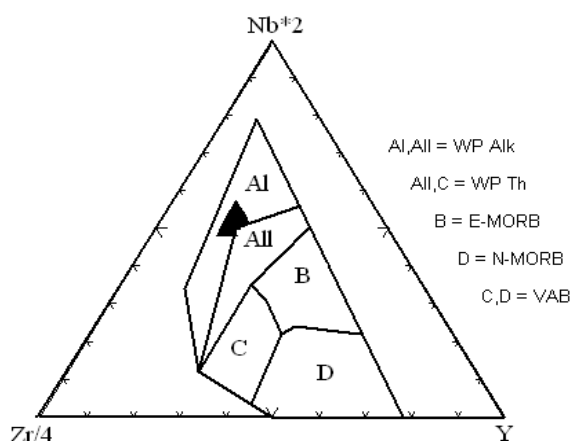
استفاده شده است، از مقایسه ترکیب اندازه‌ها با ترکیب مذابهای منشأ گرفته از ذوب لرزونیت‌های اسپینل یا گارنت‌دار، می‌توان به درجه ذوب‌بخشی و ماهیت گوشته منشأ آنها پی برد. نمونه‌های مورد بررسی در نمودار منطبق با حدود ۱ تا ۵ درصد ذوب‌بخشی گارنت لرزولیت قرار می‌گیرند. در این نمودار برای به دست آوردن درجه ذوب‌بخشی سنگ منشأ نمونه‌های مورد بررسی از تغییرات عناصر نادر خاکی استفاده شده است (Aldanmaz et al., 2006). نمونه‌های مربوط به سنگهای مورد بررسی در این نمودار منطبق با حدود ۱ تا ۵ درصد ذوب‌بخشی گارنت لرزولیت قرار می‌گیرند (شکل ۱۶).

از دیگر نمودارهای استفاده شده برای سنگهای منطقه قزل قلعه نمودار  $Zr/4 - Y - Nb * 2$  است که توسط (Meschede, 1986) ارائه شده است. نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار در محدوده آلکالی بازالت‌های داخل صفحه (AI) قرار می‌گیرند (شکل ۱۵).

**تعیین درجه ذوب‌بخشی با استفاده از نمودار La در مقابل Sm/Yb**

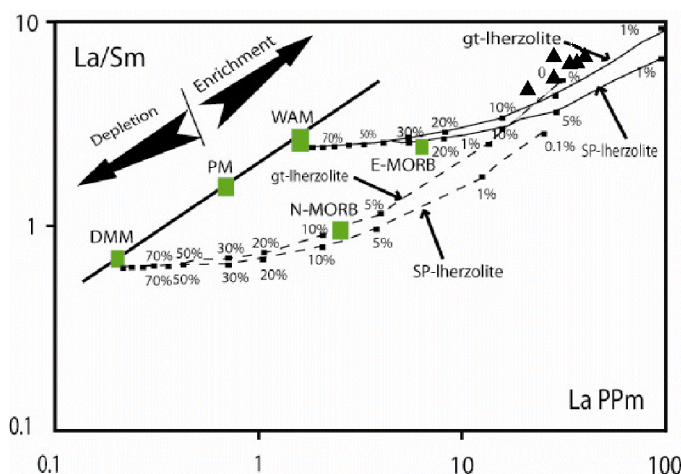
برای تعیین خاستگاه سنگهای منطقه از نمودار ذوب آلدونماز و همکاران (Aldanmaz et al., 2006) که بر اساس تغییرات عناصر نادر خاکی (La در مقابل Sm/Yb) به کار رفته،





شکل ۱۵. نمودار  $Zr/4 - Y - Nb*2$  برگرفته از (Meschede, 1986) نمونه‌های قزل قلعه در محدوده آکالی بازالت‌های داخل صفحه قرار می‌گیرند.

**Fig. 15.**  $Zr/4 - Y - Nb*2$  diagram of Meschede (1986). Samples of Ghezel Ghaleh area are located in within plate alkali basalts.



شکل ۱۶. بر اساس نمودار  $La$  در مقابل  $Sm/Yb$  برگرفته از (Aldanmaz et al., 2006)، درجه ذوب‌بخشی نمونه‌های تفریت و بازالت قزل قلعه منطبق با حدود ۱ تا ۵ درصد گارنت لرزولیت هستند.

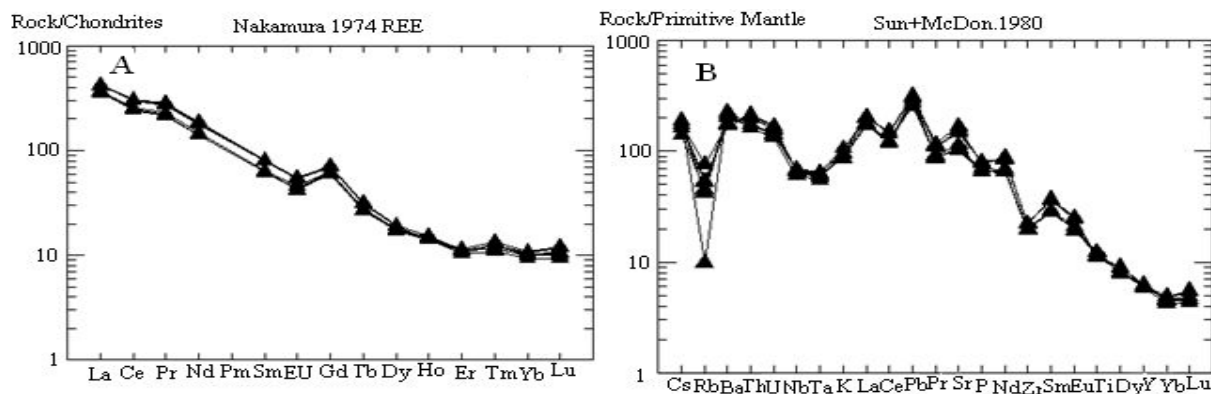
**Fig. 16.** Based on  $La$  versus  $Sm/Yb$  diagram of Aldanmaz et al. (2006), tephrite and basanite samples of Ghezel Ghaleh area are produced by 1-5% partial melting of garnet-Iherzolite.

بررسی نمودارهای به‌هنجارسازی عناصر نادر خاکی سنگهای منطقه نسبت به کندریت و گوشته اولیه جهت تفسیر نمودارهای عنکبوتی، عناصر نادر خاکی تفریت‌ها و بازالت‌های منطقه قزل قلعه را با کندریت نرمالیز کرده و سپس فرآیندهایی مانند تبلوربخشی ماگما، ذوب‌بخشی ماگما و آرایش ماگمایی را بررسی نموده‌ایم. شیب نمودارها و گودیها در هر نمودار فرآیندی را نشان می‌دهد که کمک زیادی به شناسایی تحولات ماگمایی می‌کند. از روی نمودارهای عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت می‌توان تا حدودی سری‌های

ماگمایی را مشخص نمود. نظر به این‌که الگوهای عناصر نادر خاکی سنگهای منطقه که نسبت به کندریت نرمالیز شده دارای سیر نزولی و شیب زیاد هستند بر این اساس نمونه‌ها روندی مشابه با سری آلکان را نشان می‌دهند (Hanson, 1980). همان‌طور که در (شکل ۱۷-A و B) نشان داده شده است، نمونه‌های سنگی مورد مطالعه نسبت به کندریت بر اساس ناکامورا (Nakamura, 1974) و نسبت به گوشته اولیه سان و مکدوناف، (Sun and McDonough, 1989) نرمالیز شده‌اند. همه این نمونه‌ها غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی

تفریتهای و بازانیتها) غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی در مایعات باقی‌مانده به علت درجات کم ذوب‌بخشی (۱ تا ۵ درصد) منبع گوشته غنی شده (گارنت لرزولیت) می‌باشد (شکل ۱۷- A). بررسی نمودارهای به‌هنجارسازی عناصر نادر خاکی سنگهای مورد بررسی نسبت به گوشته اولیه نشان می‌دهد که در این نمونه‌ها تهی‌شدگی از عناصر Nb, Rb, Ti, Zr و نیز غنی‌شدگی از عناصر Cs, Ba, Pb, Gd, La, Sm مشاهده می‌شود (شکل ۱۷- B). مقادیر بالای عناصر ناسازگار و عناصر آلکالین در این گدازه‌ها، در ارتباط با درصد ذوب بخشی پایین در منشأ گوشته‌ای است. اما تهی‌شدگی از عناصر Ta و Nb و Ti در گدازه‌های الیوین بازالتی را می‌توان از یک سو به مشارکت گوشته لیتوسفری متاسوماتیزه شده در ذوب‌بخشی ارتباط داد و از سوی دیگر به آلودگیهای پوسته‌ای ناشی از هضم زئوکریست‌ها مربوط دانست (Rollinson, 1993).

سبک و تهی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین را نشان می‌دهند. در این نمودار الگوی عناصر کمیاب منطقه تقریباً به صورت موازی هستند. نظر به این‌که الگوهای موازی نشان‌دهنده منشأ واحد و تبلور تفریقی در سنگها می‌باشند (S'ghedi, 2004)، تفریتهای و بازانیتها در منطقه قزل قلعه دارای منشأ واحد بوده و در اثر تبلور تفریقی ایجاد شده‌اند. به اعتقاد رولینسون (Rollinson, 1993) عناصر نادر خاکی سبک، نسبت به فازهای تبلور یافته اولیه، نظیر الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز، ناسازگار هستند. در نتیجه، در خلال تبلور و تفریق این فازها در ماگما عناصر نادر خاکی به طور فزاینده‌ای در مایعات باقی‌مانده تحول یافته، متمرکز می‌شوند. هیرشمن (Hirschman, 1998) غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سبک را به دو عامل درجات کم ذوب‌بخشی منبع گوشته غنی‌شده (کمتر از ۱۵ درصد) و آرایش ماگما توسط مواد پوسته‌ای نسبت داده است. در سنگهای این منطقه



شکل ۱۷. نمودارهای به‌هنجارسازی عناصر نادر خاکی سنگهای مورد بررسی در برابر کندریت A: (Nakamura, 1974)، و گوشته اولیه B: (Sun and McDonough, 1989).

**Fig. 17.** REE chondrite-normalized diagrams for rocks of the study area, after A: (Nakamura, 1974), and Primitive mantle B: (Sun and McDonough, 1989).

نمی‌شود و در خمیره آنها وجود دارد). با استفاده از مطالعه بازالتها به طبیعت ذوب‌بخشی، چگونگی صعود، ماهیت ولکانیسم و محیط ژئوتکتونیکی احتمالی پی برده شده است. ۱- بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی درصد ذوب‌بخشی منبع گوشته غنی‌شده کمتر از ۵ درصد می‌باشد. نظر به این‌که نمودارهای به‌هنجارسازی عناصر مختلف نسبت به کندریت و گوشته اولیه، نشان‌دهنده غنی‌شدگی سنگهای منطقه از عناصری نظیر Cs, Ba, Pb, Gd, La, Sm و تهی‌شدگی از

#### نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات میکروسکپی و داده‌های ژئوشیمیایی سنگهای منطقه مورد مطالعه از انواع آلکالی بازالت، بازانیت و تفریت می‌باشند که دارای کانیهای الیوین، پیروکسن، فلدسپار و کانی اپاک و کانیهای ثانویه مثل ایدنگزیت، کلسیت با بافت پورفیری، پورفیری میکرولیتی، گلومروپورفیری، غربالی و بادامکی با خمیره میکرولیتی و میکرولیتی شیشه‌ای هستند (فلدسپاتونید به صورت فنوکریست در این سنگها دیده

نسبت به کندریت سیر نزولی و شیب زیاد دارند، بنابراین روندی مشابه با سری آلکان را نشان می‌دهند.  
۴- در نمودارهای تشخیص جایگاه‌های تکتونیکی، این بازالت‌ها در موقعیت آلکالی بازالت‌های داخل صفحه قرار گرفته‌اند.

#### قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

عناصری مانند Ti, Nb, Rb, Zr است، بنابراین تهی‌شدگی از عناصر نادر (HFSE) و غنی‌شدگی از عناصر عناصر (LILE) در منطقه قزل قلعه به درجات کم ذوب‌بخشی منبع گوشته غنی‌شده (گارنت لرزولیت) نسبت داده می‌شود.  
۲- با توجه به بافت، ماهیت آلکان سنگ‌های قزل قلعه و نیز مورفولوژی آتشفشان‌های منطقه سرعت صعود ماگما در منطقه بالا بوده است.

۳- با توجه به داده‌ها و نمودارهای ژئوشیمیایی تفریت‌ها و بازائیت‌های قزل قلعه ماهیت آلکان دارند. همچنین نظر به این‌که الگوهای عناصر نادر خاکی سنگ‌های نرمالیز شده منطقه

#### References

- Aldanmaz, E., Koprubasi, N.O., Gurer, F., Kaymakci, N. and Gournaud, A., 2006. geochemical constraints on the Cenozoic, OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: implications for mantle sources and melting processes. *Lithos*, 86 (1-2): 50-76.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J. (translated by Amini S.), 1979. *The interpretation of igneous rocks*. George Allen and Unwin, Oxford University Press, London, 464 pp.
- Darvishzadeh, A. and Shahbazi, H., 1999. Classification of genetic enclave strato-volcano of Qezeljah Kand, north east Qorveh, west of Iran. *Journal of Petrology*, 6(88): 45-59 (in Persian).
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grand claude, P. and Marchel, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major elements, its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29(1-4): 183-210.
- Hanson, G.N., 1980. Rare Earth Elements in Petrogenetic Studies of Igneous System. *Earth and Planetary Science Letters*, 8: 371-406.
- Hirschman, M., 1998. Origin of the transgressive granophyres in the layered series of the Skaergaard intrusion, East Greenland. In: D.J. Geist and C.M. White (Editors). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 52(1-3): 185-207.
- Hosayni, M., 2004. Geological map of Ghorveh, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 5(8): 448-523.
- Krets, R., 1983. symbols for rocks – formatting minerals. *American Mineralogist*, 68: 227-279.
- LeBas, M.J., LeMaitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3): 745-750.
- Malakutiyan, S., 2005. Petrography and petro genesis of the plyo- quaternary- volcanic rocks in axis Qorveh –Tkab. Ph.D. thesis, University of Islamic, Azad Science and research, Iran, 140 pp.
- Marsh, B.D., 1998. On the interpretation of crystal size distribution in magmatic systems. *Journal of Petrology*, 39(4): 553-599.
- Meschede, M., 1986. A method of discrimination between types of Mid-Ocean- Ridge basalt and continental tholeiites With the Nb- Zr- Y diagram. *Chemical Geology*, 56(3-4): 207-218.
- Moein Vaziri, H., 1997. The history of magmatism in Iran. Tehran University Press, Tehran, 440 pp. (in Persian)
- Moein Vaziri, H., 1999. Petrography and geochemistry of ultramafic young zenolite basalt of Iran, examples of the peninsula Saray Bijar-Qorveh area, Damavand and Hasanali Rhine castles. The Second Conference Geological Survey of Iran, Tehran, Report 78, 23 pp. (in Persian)
- Moein Vaziri, H. and Ahmadi, A., 1991. Petrography and petrology of igneous rocks. Tehran University Press, Tehran, 539 pp. (in Persian)



- Moein Vaziri, H. and Aminsobhani, A., 1985. Study of young volcanic region being involved in Qorveh-Takab. Tehran University Press, Tehran, 350 pp. (in Persian)
- Nabavi, M.H., 1977. The geological history of Iran. Geological Survey and Mineral exploration of Iran, Tehran University Press, Tehran, 109 pp. (in Persian)
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta, Journal of Petrology*, 38(5): 757–775.
- Nelson, S.T. and Montana, A., 1992. Sieve texture plagioclase in volcanic rocks produce by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77: 1242–1249.
- Pearce, J.A., 1996. Trace element characteristic of lava from destructive plate boundaries. In: R.S. Thorpe (Editor), *Andesites*. John Wiley and Sons, Chichester, New York, pp. 525–548.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basaltic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2): 290–300.
- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variation in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(1): 33–47.
- Rollinson, H., 1993. *Rising geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman John Wiley and Sons, New York, 352 pp.
- S'ghedi, I., Downes, H., Vaselli, O., Szakacs, A., Balogh, K. and Pecskey, Z., 2004. Postcollisional Tertiary-Quaternary mafic alkali magmatism in the Carpathian-Pannonia region: a review *Tectonophysics. Chemical Geology*, 393(1-4): 43–62.
- Shelley, D. (Translated by Mohamadzadeh, F.), 1993. *Igneous and metamorphic rocks under the microscope, classification, textures, microstructures and mineral preferred-orientations*. Chapman and Hall, Unwin, London, 445 pp.
- 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*. 42. Geological Society Special Publication, London, pp. 313–335.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325–342.