



پترولوژی گرانیتوئیدهای الیگوسن قلعه یغمش در غرب استان یزد

بهاره فاضلی^۱، محمود خلیلی^{۱*}، روی بیورز^۲، مهین منصوری اصفهانی^۳ و زهرا لقمانی دستجردی^۴

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

(۲) بخش علوم زمین، دانشگاه متودیست جنوبی، دالاس، امریکا

(۳) دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(۴) گروه زمین‌شناسی، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۹، پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۵

چکیده

توده پلوتونیک منطقه قلعه یغمش در انتها الیه بخش غربی استان یزد و کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر قرار دارد و شامل دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت به سن الیگوسن می‌شود. عمده سنگ تشکیل‌دهنده منطقه، تونالیت است. ریولیت، ریوداسیت و نیز توف آندزیتی، ریوداسیتی و ریولیتی به سن ائوسن، گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌های این منطقه را تشکیل می‌دهد. پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، کوارتز، آمفیبول و بیوتیت، کانیهای اصلی، پیروکسن، زیرکن، آپاتیت، اسفن، تورمالین و کانیهای کدر از کانیهای فرعی و نیز کلریت، اپیدوت و کلسیت در شمار کانیهای ثانویه این توده نفوذی است. بر اساس داده‌های پتروگرافی، مینرال‌شیمی و ژئوشیمیایی، توده گرانیتوئیدی مورد بررسی از نوع I (گروه مگنتیت) با ترکیب کالک‌آلکان و مت‌آلومین است. محتوای بالای LILE (Ba, Sr, K, Cs) و ناهنجاری منفی عناصر گروه HFSE (Ti, Nb, Zr, Y) در این سنگها از جمله ویژگیهای ماگماتیسیم مرتبط با فرورانش است. بر این اساس، سنگهای گرانیتوئیدی قلعه یغمش دارای خاستگاه واحد بوده و در پهنه فرورانش و در ارتباط با کمانهای آتشفشانی کالک‌آلکان حاشیه فعال قاره‌ای به‌وجود آمده است. به احتمال زیاد، منشأ ماگمای توده مورد بررسی از ذوب‌بخشی آمفیبولیت‌های پوسته زیرین (و احتمالاً مواد رسوبی پوسته) است و تبلور تفریقی مذاب در سطوح بالاتر پوسته، تنوع سنگ‌شناسی این توده را سبب شده است. به‌نظر می‌رسد ماگمای بازیک حاصل از ذوب گوشته که در پوسته جایگزین شده، گرمای لازم برای ذوب پوسته را فراهم کرده است. شواهد صحرایی (وجود انکلاوهای میکروگرانولار مافیک با مرزهای مشخص) و یافته‌های پتروگرافی نظیر تشابه کانی‌شناسی انکلاو و سنگ میزبان، آپاتیت‌های سوزنی، حواشی تحلیل رفته کانیهای همچون آمفیبول و پلاژیوکلاز و فراوانی بیشتر بیوتیت و هورنبلند در انکلاو نسبت به سنگ میزبان می‌تواند بیانگر وقوع پدیده اختلاط ماگماهای اسیدی و بازیک در تشکیل این توده باشد. توده پلوتونیک قلعه یغمش با استفاده از نمودار SiO₂ در برابر P₂O₅ در محدوده دمایی کمتر از ۸۰۰°C تا کمی بیشتر از ۸۵۰°C متبلور شده است.

واژه‌های کلیدی: گرانیتوئید نوع I، قوس آتشفشانی، ائوسن- الیگوسن، قلعه یغمش، ارومیه- دختر

مقدمه

از مذابهای پوسته و گوشته) و یا آناتکسی سنگهای پیشین هستند (Atherton, 1993; Barbarin, 1999; Frost et al., 2001). کانی‌شناسی و شیمی گرانیتوئیدها می‌تواند در تعیین محیط زمین‌ساختی آنها مورد استفاده قرار گیرد (Maniar and Piccoli, 1989; Barbarin, 1999).

گرانیتوئیدها، عمده‌ترین سنگهای پوسته قاره‌ای و فراوانترین سنگهای درونی است (Clarke, 1992). این سنگها دارای ترکیب گسترده و منشأهای مختلف از جمله ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای، ذوب‌بخشی گوشته، اختلاط ماگمایی (ترکیبی

ایجاد توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی (Raymond, 2002) کالک‌آلکان (با ترکیب گابرو تا گرانیت) و ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی نوع I (Sepahi and Malvandi, 2008; Honarmand et al., 2013; Kananian et al., 2014)، در ارتباط با مناطق فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای هم‌زمان تا پس از برخورد شده است. توده گرانیتوئیدی مورد بررسی با ترکیب دیوریت تا گرانیت از جمله این توده‌هاست. از بررسی‌های علمی که بر روی این منطقه و مناطق مجاور آن صورت گرفته است، می‌توان به پژوهش‌های خدای، لقمانی دستجردی و فاضلی (Khoddami, 1998; Loqmani, 2010; Dastjerdi, 2001; Fazeli, 2010) اشاره کرد.

با توجه به بررسی لقمانی دستجردی (Loqmani, 2001) بر روی سنگ‌های منطقه قلعه یغمش و نتایج حاصل از آن در این پژوهش، تلاش شده است که بر اساس داده‌های جامع‌تر، پیشرفت تئوری‌های موجود و توجیهات علمی، پلوتونیک‌های منطقه از دیدگاه پتروگرافی، ویژگی‌های ژئوشیمیایی، تعیین نحوه شرایط تشکیل، دمای توده و نیز جایگاه تکتونوماگمایی مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه قلعه یغمش در غرب منطقه سرو بالا، در انتها الیه بخش غربی استان یزد و در شمال شرقی باتلاق گاو خونی واقع شده و متعلق به نوار ماگمایی ارومیه-دختر است. این منطقه را توده‌های پلوتونیک به سن الیگوسن با ترکیب دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت فراگرفته که به‌درون سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیت و ریوداسیت و سنگ‌های پیروکلاستیک از نوع توف آندزیتی، ریوداسیتی و ریولیتی متعلق به ائوسن نفوذ کرده است. با توجه به یکنواختی اندازه دانه‌های سنگ‌های مورد بررسی، به‌نظر می‌رسد که طی یک مرحله نفوذ و تنوع آنها حاصل از پدیده تفریق ماگمایی باشد. در بخش مرکزی منطقه سنگ‌های کنگلومرا با سن نئوژن رخنمون دارد. گسل‌های متعددی عمدتاً با روند شمال غرب-جنوب شرق در منطقه دیده می‌شود (شکل ۱) (Amidi, 1989).

این منطقه در نزدیکی گسل نائین-سورک واقع شده که عامل اصلی در تشکیل ساختار زمین‌شناسی منطقه سروبالاست (Amidi, 1989) و این ناحیه را نیز تحت تأثیر حرکات زمین‌ساختی قرار داده است. نبود هاله دگرگونی و نیز

اختلاط منابع بازالتی زیر ورقه‌ای با اجزای پوسته‌ای موجود در جایگاه‌های تشکیل این سنگ‌ها از ویژگی‌های شاخص سنگ‌های گرانیتی است (Selman Aydogan et al., 2008). تقسیم‌بندی، نحوه تشکیل و محیط‌های ژئودینامیکی توده‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است (Chappell and White, 1974; Pearce et al., 1984; Maniar and Piccoli, 1989; Atherton, 1993; Barbarin, 1999; Frost et al., 2001; Chappell et al., 2004).

نخستین بار چاپل و وایت (Chappell and White, 1974) بر اساس ویژگی‌های صحرایی، شیمیایی و کانی‌شناسی، گرانیت‌های شرق استرالیا را به دو گروه S (حاصل ذوب‌بخشی رسوبات) و I (حاصل ذوب‌بخشی سنگ منشأ آذرین) تقسیم کردند. چاپل و وایت (Chappell and White, 2001) ضمن تأیید طبقه‌بندی قبلی و بر اساس داده‌های جدید اشاره نموده‌اند که:

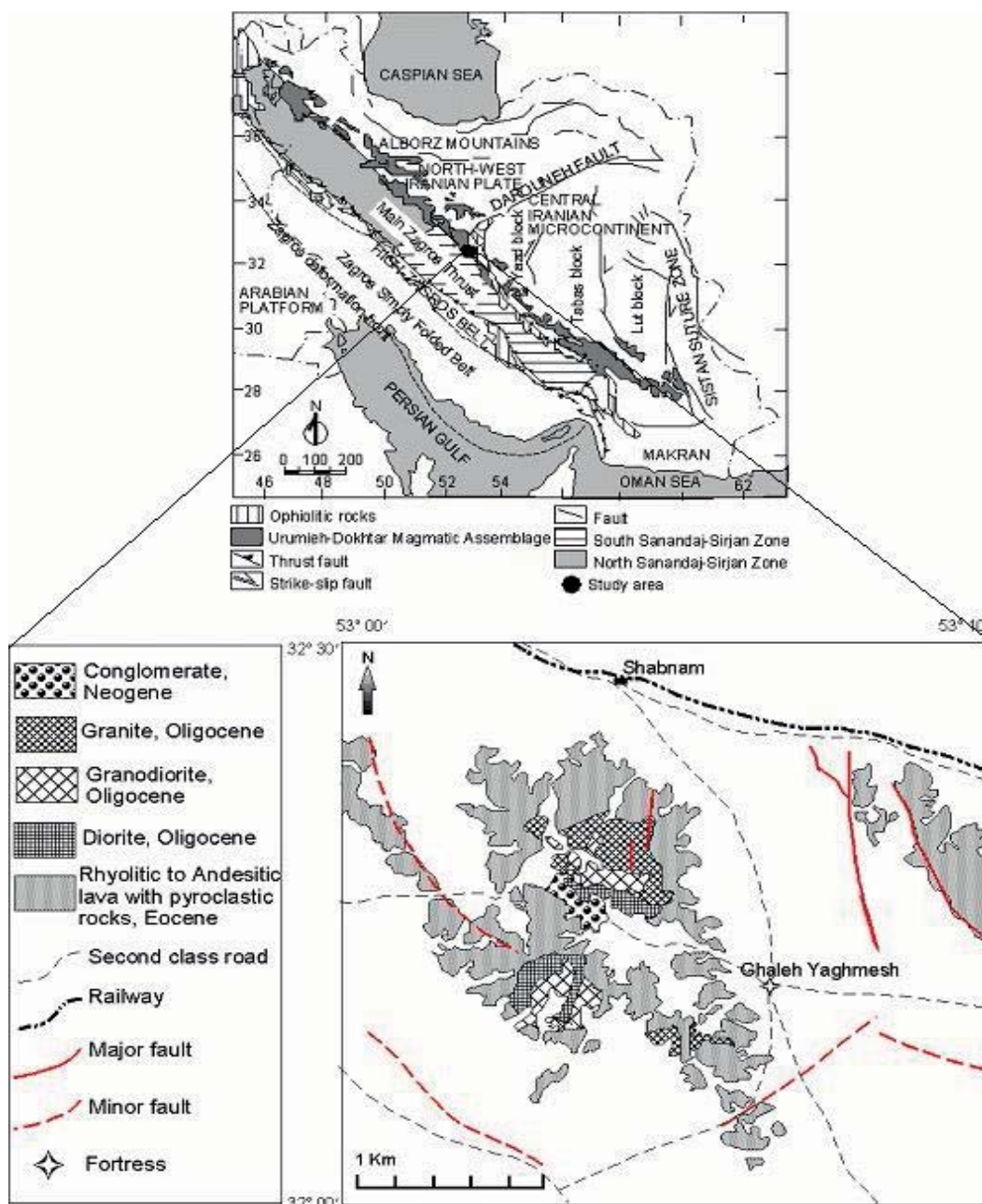
۱- در حالی که تشخیص ترکیبات گرانیت فلسیک تفریق نیافته در هر دو نوع مشکل است، ترکیبات تفریق یافته این‌گونه نیستند زیرا فراوانی برخی از عناصر نادر در این دو نوع با پیشرفت تفریق بلوری از هم متمایز می‌شود.

۲- طبقه‌بندی به S و I فقط به متفاوت بودن سنگ منشأ اشاره ندارد؛ بلکه به سنگ‌های منشأ با خاستگاه‌های اساساً متفاوت که شامل منشأ‌های زیرپوسته‌ای و فراپوسته‌ای می‌شود، اشاره دارد. فراست و همکاران (Frost et al., 2001) دو دسته گرانیت‌های آهن‌دار و منیزیم‌دار را معرفی کرده است. او گرانیت‌های آهن‌دار را در رده گرانیت‌های نوع S و گرانیت‌های منیزیم‌دار را از نوع گرانیت‌های کوردیلرن و معادل گرانیت‌های نوع I قرار داد. چاپل و همکاران (Chappell et al., 2004) گرانیت‌های نوع I را بر اساس نبود یا حضور زیرکن به ارث رسیده، به دو دسته گرانیت‌های I حرارت بالا و پایین تقسیم نمودند.

منطقه قلعه یغمش در بخش میانی نوار ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده و شامل توده‌های گرانیتوئیدی الیگوسن بوده که در سنگ‌های آتشفشانی با سن ائوسن نفوذ کرده است. این نوار حاصل فرورانش نفوتتیس به زیر پوسته ایران مرکزی است (Alavi, 1994). فعالیت‌های ماگمایی متعددی در طی دوره کرتاسه تا اواخر ترشیری در بخش‌های وسیعی از پهنه ساختاری ایران به‌ویژه در نوار آتشفشانی ارومیه-دختر، سبب

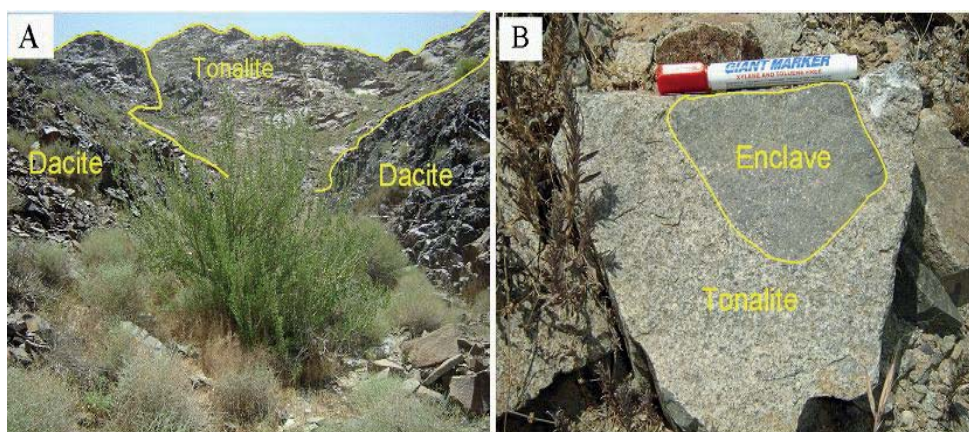
سانتی متر است که با رنگ خاکستری تیره تر و بافت ریز دانه تر از سنگهای در برگیرنده خود متمایز می شود. هیچ هاله واکنشی بین انکلاوها و سنگ در برگیرنده شان دیده نمی شود و از سنگ میزبان خود به سختی جدا می شوند (شکل ۲-ب).

خردشدگی برخی از کانپها در حاشیه های توده نفوذی، بیانگر شرایط زمین ساخت در بالا آوردن توده نفوذی در بین سنگهای آتشفشانی منطقه است (شکل ۲-ا). کوارتز دیوریت، تونالیت و گرانودیوریت های مورد بررسی، دارای انکلاوهایی با ترکیب تونالیت و کوارتز دیوریت، به شکل بیضوی و با ابعاد ۵-۱۲



شکل ۱. نقشه تقسیمات ساختاری (Ghasemi and Talbot, 2006) و زمین شناسی منطقه قلعه یغمش (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سرو بالا) (Amidi, 1989)

Fig. 1. Structural division (Ghasemi and Talbot, 2006) and Geological maps of Ghaleh Yaghmesh (adopted from the geological map 1: 100000 of Sarv-e-Bala) (Amidi, 1989)



شکل ۲. A: نفوذ تونالیت در میان داسیت‌ها در منطقه قلعه یغمش و B: حضور انکلاو میکروگرانولار مافیک در تونالیت‌های قلعه یغمش (به مرز شارپ آن با سنگ میزبان توجه شود)

Fig. 2. A: Intrusion of tonalite into the dacites in the Ghaleh Yaghmesh area, and B: the occurrence of mafic microgranular enclave into the Ghaleh Yaghmesh tonalites (note the sharp boundary with the host rock)

روش مطالعه

پس از بازدید صحرایی و نمونه‌برداری، تعداد ۵۰ مقطع نازک از نمونه‌ها تهیه شد که به‌وسیله میکروسکپ پلاریزان مدل OLYMPUS – BH2 به بررسی‌های پتروگرافی پرداخته شد. از بین نمونه‌های گرانیتوئیدی کمتر دگرسان‌شده، تعداد ۱۵ نمونه انتخاب و در دانشگاه متودیست جنوبی (دالاس - آمریکا) مورد آنالیز شیمیایی XRF قرار گرفت. برای تعیین ترکیب و محاسبه فرمول ساختمانی کانی آمفیبول، از سنگهای گرانودیوریتی مقطع نازک صیقلی تهیه شد و توسط دستگاه میکروپروپ Cameca SX50 در دانشگاه اکلاهما (نورمن - آمریکا) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. از نرم‌افزارهای GCDkit و Newpet برای ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی و ژئوتکتونیک و همچنین نمودارهای عنکبوتی و از نرم‌افزار Minpet 2.02 برای محاسبه فرمول ساختمانی آمفیبول و ترسیم نمودار آن استفاده شد.

پتروگرافی

سنگهای پلوتونیک

توده نفوذی منطقه قلعه یغمش شامل دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت است. این سنگها حاوی کانیهای اصلی پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، کوارتز، آمفیبول و بیوتیت است. کانیهای فرعی را پیروکسن، زیرکن، آپاتیت، اسفن، تورمالین و کانی کدر و کانیهای ثانویه را کلریت،

اپیدوت و کلسیت تشکیل می‌دهد. از بافتهای عمده این سنگها می‌توان به گرانولار، پورفیروئید، پوئی‌کلیتیک و گاهی آپلیتی، کاتاکلاستیک و ساروجی اشاره کرد. کانیهای تشکیل‌دهنده انواع سنگهای توده نفوذی عمدتاً مشابه بوده و تنها از نظر مقدار با یکدیگر تفاوت جزئی دارد. پلاژیوکلاز، به‌صورت شکل‌دار تا بی‌شکل، در اندازه‌های درشت تا متوسط، معمولاً دارای ماگل پلی‌سینتیک و منطقه‌بندی است. گردشگی و خوردگی شیمیایی حاشیه‌های برخی از بلورهای پلاژیوکلاز می‌تواند نتیجه وقوع پدیده اختلاط ماگمایی باشد (Shelley, 1993). در اثر آلتراسیون، پلاژیوکلاز گاه به سریسیت، کلسیت و اپیدوت تبدیل شده است. بلورهای ارتوکلاز معمولاً به‌صورت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و غالباً در اندازه‌های متوسط است. سطوح غبارآلود بعضی از آنها می‌تواند نتیجه تجزیه به مواد رسی باشد. کوارتز در نمونه‌های مورد بررسی اغلب بی‌شکل و ریزدانه است. برخی از کوارتزها دارای حاشیه‌های خورده شده هستند. در برخی از نمونه‌ها دو نوع کوارتز ریز و درشت‌بلور دیده می‌شود. پدیده ریزدانه شدن دانه‌های کوارتز می‌تواند نشانگر تأثیر استرس و ایجاد بافت کاتاکلاستیک و ساروجی باشد. آمفیبول، به‌صورت شکل‌دار تا بی‌شکل، غالباً متوسط و تعدادی نیز در ابعاد درشت دیده می‌شود. این کانی که با توجه به ویژگی نوری، هورنبلند بوده گاه به کلریت و اپیدوت تجزیه شده است. هورنبلند در تعدادی از نمونه‌ها حاصل اورالیتی‌شدن پیروکسن است. حاشیه‌های هورنبلند، گاهی

انکلاوهای میکروگرانولار مافیک

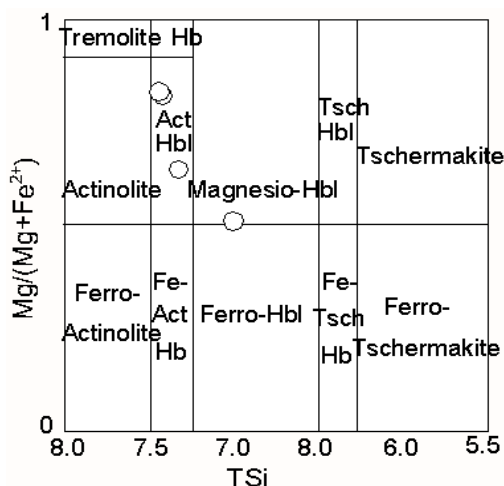
اغلب توده‌های نفوذی منطقه مورد بررسی دارای انکلاوهایی با ترکیب کوارتز دیوریت و تونالیت با بافت ریزدانه و به رنگ تیره است که می‌توان آنها را از نوع انکلاوهای میکروگرانولار مافیک^۱ در نظر گرفت (Cobbing, 2003). این نوع انکلاوها می‌تواند نشانگر تأثیر اختلاط ماگمایی باشد و عمدتاً از یک ماگمای مافیک راه یافته به درون یک ماگمای فلسیک متبلور شده است (Barbarin, 1990). ترکیب انکلاوها تقریباً با ترکیب سنگ میزبان خود مشابه اما فراوانی کانیهای فرومنیزین همچون آمفیبول و بیوتیت بیشتر است. در این انکلاوها فراوان‌ترین کانی پس از کوارتز و پلاژیوکلاز، هورنبلند و در برخی بیوتیت است.

خوردگی شیمیایی و نیز حاشیه واکنشی نشان می‌دهد که می‌تواند به سبب پدیده ذوب حاصل از اختلاط ماگما باشد. ترکیب آمفیبول‌های گرانودیوریت‌های مورد پژوهش، بر پایه داده‌های میکروپروب (جدول ۱) از نوع اکتینولیت هورنبلند و منیزیوهورنبلند است (شکل ۳). بیوتیت‌ها به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل و اغلب در اندازه متوسط یافت می‌شود که اغلب به کلریت تجزیه شده است. درون برخی از کوارتزدیوریت‌ها و تونالیت‌ها، تورمالین با بافت خورشیدی یافت می‌شود. در پاره‌ای از نمونه‌ها، آپاتیت‌های سوزنی که نشانگر سردشدگی سریع است، دیده می‌شود (Didier, 1991). همچنین برخی از نمونه‌ها تحت تأثیر محلولهای هیدروترمال غنی از Ca قرار گرفته و کانیهای کلسیت و اپیدوت را ایجاد کرده است.

جدول ۱. نتایج آنالیز میکروپروب آمفیبول‌های موجود در گرانودیوریت‌های قلعه یغمش

Table 1. Microprobe analysis results of amphiboles from the Ghaleh Yaghmesh granodiorites.

Sample	T4-2	T4-3	T4-4	T4-5
SiO ₂	46.94	50.50	50.65	49.41
TiO ₂	0.10	0.60	0.49	0.31
Al ₂ O ₃	7.19	1.55	1.24	4.23
FeO	20.09	10.02	10.05	15.61
MnO	0.52	0.41	0.40	0.48
MgO	9.46	13.30	13.59	11.86
ZnO	0.00	0.04	0.04	0.02
CaO	11.76	20.96	20.71	14.76
BaO	0.07	0.03	0.00	0.03
Na ₂ O	0.52	0.40	0.37	0.40
K ₂ O	0.73	0.00	0.00	0.40
F	0.02	0.00	0.04	0.09
Cl	0.78	0.00	0.00	0.44
O=F	-0.01	0.00	-0.02	-0.04
O=Cl	-0.18	0.00	0.00	-0.10
Total	97.94	97.81	97.56	97.89
Structural formula based on 23 Oxygens				
Si	7.151	7.441	7.480	7.376
Ti	0.012	0.067	0.055	0.035
Al ^{IV}	0.945	0.132	0.106	0.607
Al ^{VI}	0.327	0.146	0.116	0.138
Fe ²⁺	2.108	0.827	0.818	1.747
Fe ³⁺	0.417	0.448	0.461	0.207
Mn	0.067	0.052	0.050	0.060
Mg	2.147	2.922	2.993	2.627
Zn	0.002	0.004	0.004	0.002
Ca	1.919	3.310	3.276	2.358
Ba	0.001	0.000	0.000	0.001
Na	0.153	0.114	0.107	0.119
K	0.143	0.000	0.000	0.079
F	0.011	0.000	0.020	0.042
Cl	0.201	0.000	0.000	0.114
Cations	15.445	15.415	15.421	15.386
Name	Magnesio Hornblende	Actinolitic Hornblende	Actinolitic Hornblende	Actinolitic Hornblende



شکل ۳. ترکیب آمفیبول‌های گرانودیوریت‌های منطقه قلعه یغمش در نمودار آمفیبول‌ها برگرفته از لیک (Leake et al., 1997)

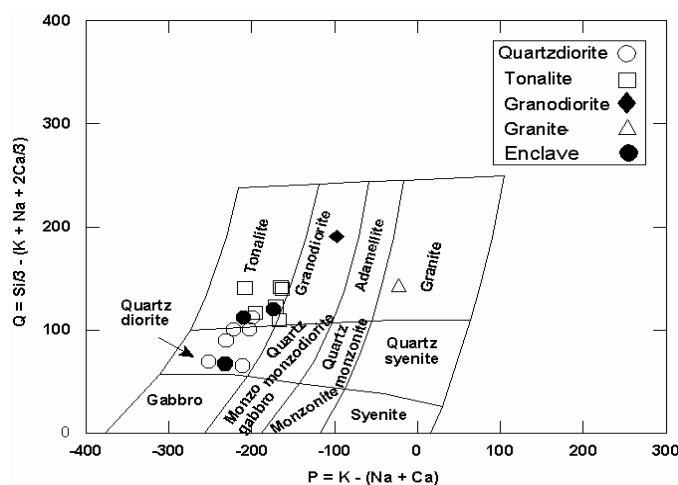
Fig. 3. The composition of amphiboles from the Ghaleh Yaghmesh granodiorites in amphibole's diagram (after Leake et al., 1997)

ژئوشیمی

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی سنگهای گرانیتوئیدی منطقه قلعه یغمش در جدول ۲ آورده شده است. نمونه‌های مورد بحث در نمودار P-Q در محدوده‌های کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت (شکل ۴) (Debon and Lefort, 1983) و در نمودار SiO_2 در برابر Na_2O+K_2O در میدانهای گابرو، دیوریت گابرویی، دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل ۵) (Middlemost, 1994). با توجه به مشاهدات پتروگرافی (تعیین زاویه خاموشی پلاژیوکلازها)، نمودار نخست، محدوده مناسبتر و دقیق‌تری از سنگهای منطقه قلعه یغمش را نشان می‌دهد.

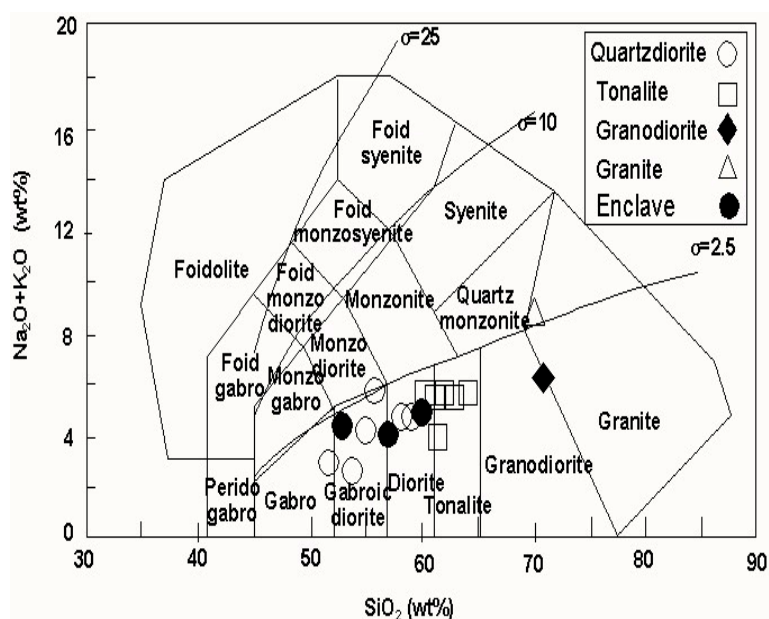
سنگهای ولکانیک و پیروکلاستیک

سنگهای ولکانیک منطقه قلعه یغمش شامل ریولیت، ریوداسیت و سنگهای پیروکلاستیک غالباً از نوع توف‌های آندزیتی، ریوداسیتی و ریولیتی است. این سنگها دارای بافت‌هایی از قبیل پورفیریتیک و هیالوپورفیریتیک است. کانیهای عمده این سنگها را کوارتز، سانیدین، پلاژیوکلاز و بیوتیت به همراه کانیهای کدر تشکیل می‌دهد. فنوکریست‌های کوارتز، خوردگی خلیجی نشان می‌دهد. اغلب این‌گونه سنگها تحت تأثیر محلول‌های غنی از Ca^{2+} قرار گرفته و کانیهایی مانند کلسیت، کلریت و اپیدوت را در زمینه سنگهای مورد نظر به‌وجود آورده است.



شکل ۴. موقعیت قرارگیری سنگهای نفوذی قلعه یغمش بر روی نمودار P-Q برگرفته از دبان و لفورت (Debon and Lefort, 1983)

Fig. 4. Classification of the Ghaleh Yaghmesh plutonic rocks in P-Q diagram (after Debon and Lefort, 1983)



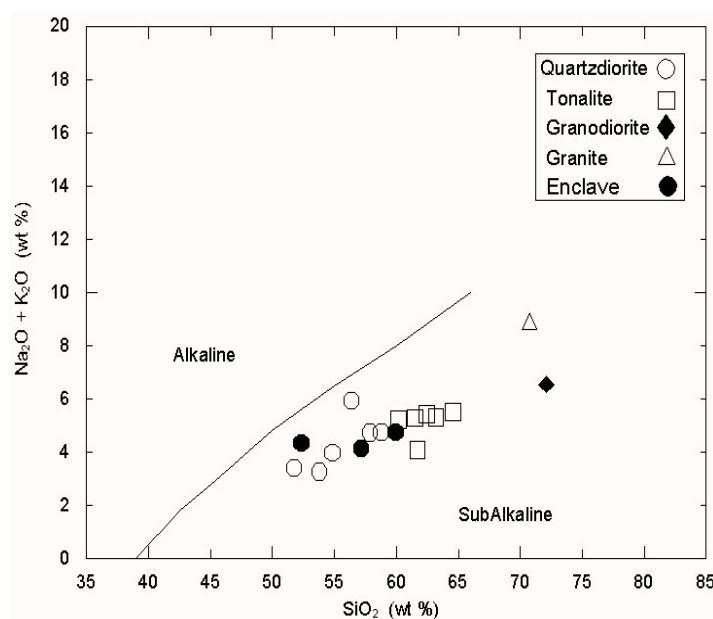
شکل ۵. نام‌گذاری گرانیتوئیدهای قلعه یغمش در نمودار تفکیک $SiO_2-Na_2O+K_2O$ برگرفته از میدلموست (Middlemost, 1994)

Fig. 5. Classification of the Ghaleh Yagmesh granitoids in $SiO_2-Na_2O+K_2O$ diagram (after Middlemost, 1994)

Piccoli, 1989) به طبیعت کالک‌آلکان و مت‌آلومینه ($A/CNK < 1$) سنگهای مورد پژوهش اشاره دارد. علت قرارگیری دو نمونه در محدوده پ‌آلومین احتمالاً ناشی از افزایش میزان Al در نتیجه تبلوربخشی و نیز پدیده دگرسانی است (Zen, 1986).

با استفاده از نمودار TAS نمونه‌های گرانیتوئیدی منطقه قلعه یغمش در محدوده ساب‌آلکان واقع می‌شوند (شکل ۶) (Irvine and Barager, 1971).

نمودارهای AFM (شکل ۷) (Irvine and Barager, 1971) و A/NK در برابر A/CNK (شکل ۸) (Maniar and



شکل ۶. گرانیتوئیدهای قلعه یغمش در نمودار TAS در محدوده ساب‌آلکان واقع می‌شود برگرفته از ایروین و باراگار (Irvine and Barager, 1971)

Fig. 6. The Ghaleh Yagmesh granitoids are located on the subalkaline field on TAS diagram (after Irvine and Barager, 1971)

جدول ۲. داده‌های آنالیز شیمیایی XRF از گرانیتوئیدهای قلعه یغمش (Gh02 و Gh04 برگرفته از لقمانی دستجردی (Loqmani Dastjerdi, 2001))

Table 2. Chemical analyses data (XRF) of the Ghaleh Yaghmesh granitoids (Gh02 and Gh04 from Loqmani Dastjerdi (Loqmani Dastjerdi, 2001))

Sample type	Quartzdiorite						
	Sample No	Gh22	Gh37	Gh14	Gh44	Gh34	Gh27
SiO ₂ (wt%)		51.35	53.36	54.48	55.95	57.48	58.45
TiO ₂		0.60	0.58	0.61	0.57	0.58	0.60
Al ₂ O ₃		19.99	19.14	20.13	18.88	19.41	18.47
Fe ₂ O ₃ *		7.37	7.98	6.69	6.92	6.31	6.55
Fe ₂ O ₃		2.07	2.24	2.53	2.61	2.37	2.47
FeO		4.87	5.22	3.78	3.92	3.58	3.71
MnO		0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12
MgO		7.30	6.82	5.78	4.89	4.03	4.25
CaO		9.41	8.23	7.74	6.25	6.85	6.31
Na ₂ O		2.89	2.67	3.28	4.17	3.35	3.54
K ₂ O		0.50	0.58	0.68	1.72	1.36	1.13
P ₂ O ₅		0.15	0.25	0.20	0.19	0.22	0.23
LOI		0.98	1.25	1.06	1.22	1.12	1.01
Total		100.26	100.48	100.42	100.50	100.48	100.29
Cr(ppm)		99	139	159	70	139	166
Ni		30	10	13	11	12	7
Co		35	29	27	26	24	21
Sc		21	17	10	13	9	12
V		181	193	159	143	156	138
Cu		71	61	19	61	24	34
Zn		63	95	96	62	98	57
Mo		9.00	14.00	21.00	9.00	17.00	19.00
Ag		18.0	9.0	8.3	8.0	18.0	20.0
Rb		9	10	8	51	32	24
Cs		143.00	153.00	147.00	130.00	164.00	148.00
Ba		417	464	486	797	597	547
Sr		373	564	429	403	419	407
Tl		9.00	7.39	9.20	21.00	7.14	6.86
Ga		20	25	19	25	14	14
Ta		2.32	2.36	2.06	1.99	1.94	1.95
Nb		7.0	7.0	8.6	7.6	7.8	7.1
Hf		8.95	9.01	7.77	7.50	7.29	6.14
Zr		33	32	47	58	61	78
Y		8	7	8	13	8	13
La		13.87	15.14	11.50	14.59	12.00	14.00
Ce		22.00	28.38	22.05	19.79	24.40	20.00
Pr		9.12	6.14	5.43	7.59	8.46	6.43
Nd		30.00	38.00	27.00	39.00	36.00	29.00
Er		9.00	8.65	41.00	36.00	45.00	7.46
Yb		23.00	9.00	16.00	16.00	31.00	8.00
Na ₂ O+K ₂ O		3.40	3.25	3.96	5.89	4.71	4.67
P= K- (Na+Ca)		-250.38	-220.67	-229.43	-209.50	-201.38	-202.76
Q= Si/3- (K+Na+2Ca/3)		69.07	99.76	89.94	65.01	100.47	111.02
A/CNK		0.89	0.96	1.00	0.94	1.00	0.98
A/NK		3.77	3.82	3.28	2.16	2.78	2.62
FeO*/(FeO*+MgO)		0.49	0.52	0.52	0.57	0.60	0.60
Y+Nb		15	14	16.6	20.6	15.8	20.1
Na ₂ O+K ₂ O+FeO+MgO+TiO ₂		0.27	0.26	0.31	0.63	0.58	0.55
(Na ₂ O+K ₂ O)/(FeO+MgO+TiO ₂)		16.16	15.87	14.13	15.27	12.90	13.23
(Na+K+2Ca)/(Al.Si)		0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05

ادامه جدول ۲. داده‌های آنالیز شیمیایی XRF از گرانیتوئیدهای قلعه یغمش (Gh02 و Gh04 برگرفته از لقمانی دستجردی (Loqhmani Dastjerdi, 2001)

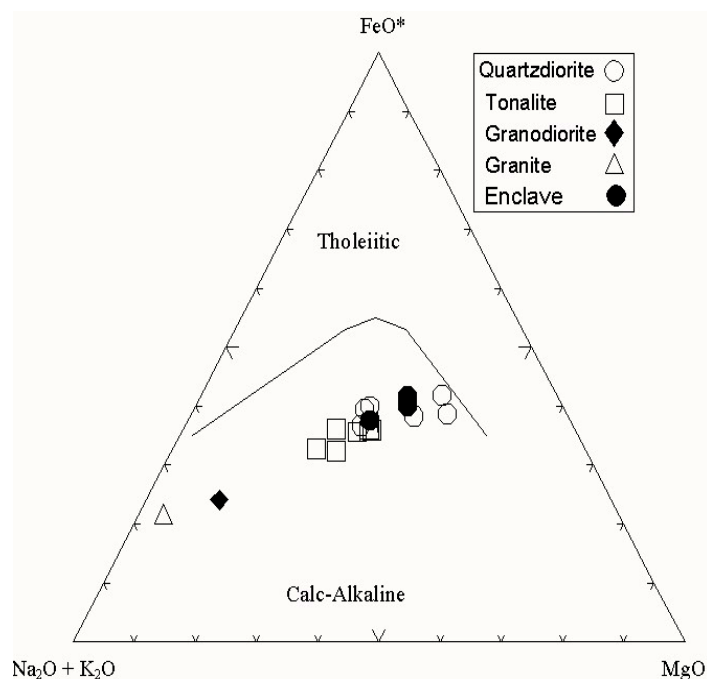
Table 2 (Continued). Chemical analyses data (XRF) of the Ghaleh Yaghmesh granitoids (Gh02 and Gh04 from Loqhmani Dastjerdi (Loqhmani Dastjerdi, 2001)

Sample type	Mafic Microgranular Enclave				Tonalite		
	Sample No	Gh32	Gh16	Gh24E	Gh46R	Gh42	Gh24R
SiO ₂ (wt%)		51.95	56.71	59.61	59.76	61.08	61.40
TiO ₂		0.71	0.59	0.46	0.60	0.54	0.47
Al ₂ O ₃		20.49	18.60	18.18	15.96	16.59	18.41
Fe ₂ O ₃ *		8.15	7.00	5.93	6.19	5.77	4.80
Fe ₂ O ₃		3.08	2.64	2.23	2.34	2.18	1.81
FeO		4.61	3.96	3.36	3.50	3.26	2.72
MnO		0.20	0.16	0.13	0.12	0.13	0.09
MgO		6.00	5.53	4.28	4.85	4.20	3.68
CaO		7.67	6.85	6.23	6.53	5.82	6.57
Na ₂ O		3.47	3.24	3.11	2.97	3.32	3.29
K ₂ O		0.86	0.83	1.65	2.27	1.93	0.77
P ₂ O ₅		0.23	0.19	0.18	0.33	0.26	0.25
LOI		1.18	1.21	0.93	0.72	0.58	1.04
Total		100.45	100.49	100.34	99.95	99.89	100.49
Cr(ppm)		94	185	172	241	283	249
Ni		15	20	17	13	20	18
Co		30	34	23	27	23	24
Sc		18	7	10	13	9	7
V		207	142	119	101	111	96
Cu		76	8	25	35	26	42
Zn		114	140	56	90	99	58
Mo		17.00	8.00	12.00	23.00	9.00	17.00
Ag		25.0	6.6	8.7	9.0	7.3	24.0
Rb		16	11	32	49	42	17
Cs		136.00	139.00	114.00	190.00	169.00	162.00
Ba		475	550	561	863	822	570
Sr		413	539	434	440	404	469
Tl		8.64	22.00	6.42	37.00	7.25	8.92
Ga		20	17	19	18	21	22
Ta		2.19	1.83	1.02	2.36	2.14	2.54
Nb		7.2	9.7	8.8	8.9	7.1	8.9
Hf		8.38	8.50	8.94	7.24	8.16	6.75
Zr		39	69	64	133	123	80
Y		9	10	11	20	20	7
La		12.10	16.82	16.11	13.34	14.09	17.02
Ce		19.09	21.00	18.00	13.81	18.29	26.00
Pr		8.68	7.92	7.64	6.59	8.67	31.00
Nd		57.00	35.00	41.00	47.00	43.00	41.00
Er		51.00	8.00	35.00	7.49	8.14	27.00
Yb		29.00	14.00	9.00	20.00	20.00	18.00
Na ₂ O+K ₂ O		4.33	4.07	4.76	5.24	5.25	4.06
P= K- (Na+Ca)		-230.55	-207.00	-176.42	-164.09	-169.94	-207.02
Q= Si/3- (K+Na+2Ca/3)		66.85	110.92	121.24	109.86	121.55	140.05
A/CNK		1.00	1.00	1.00	0.84	0.91	1.01
A/NK		3.09	2.98	2.63	2.17	2.20	2.95
FeO*/(FeO*+MgO)		0.56	0.60	0.57	0.55	0.56	0.55
Y+Nb		16.2	19.7	19.8	28.9	27.1	15.9
Na ₂ O+K ₂ O+FeO+MgO+TiO ₂		0.38	0.40	0.59	14.19	13.25	10.93
(Na ₂ O+K ₂ O)/(FeO+MgO+TiO ₂)		15.65	14.15	12.86	0.59	0.66	0.60
(Na+K+2Ca)/(Al.Si)		0.05	0.05	0.27	0.06	0.05	0.04

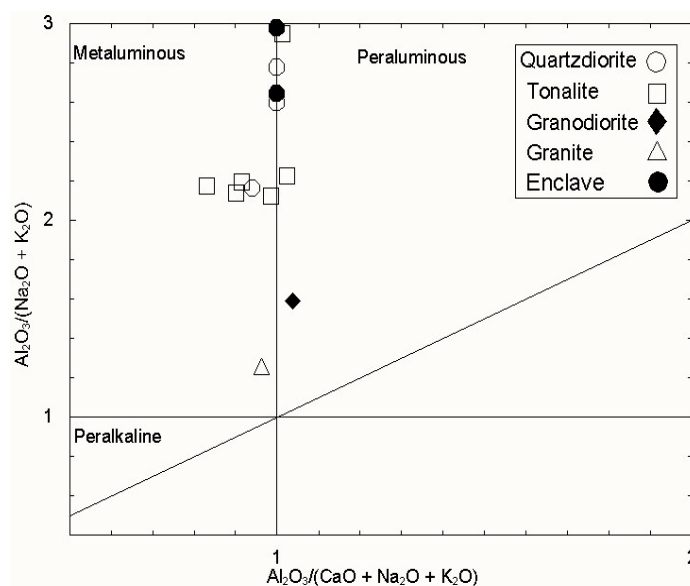
ادامه جدول ۲. داده‌های آنالیز شیمیایی XRF از گرانیتوئیدهای قلعه یغمش (Gh02 و Gh04 برگرفته از لقمانی دستجردی (Loqmani Dastjerdi, 2001))

Table 2 (Continued). Chemical analyses data (XRF) of the Ghaleh Yaghmesh granitoids (Gh02 and Gh04 from Loqmani Dastjerdi (Loqmani Dastjerdi, 2001))

Sample type	Tonalite			Granodiorite	Granite
	Gh40	Gh31R	Gh45	Gh04	Gh 02
Sample No					
SiO ₂ (wt%)	62.11	62.84	64.20	70.78	69.88
TiO ₂	0.46	0.46	0.43	0.34	0.53
Al ₂ O ₃	17.07	17.09	16.82	14.15	14.33
Fe ₂ O ₃ *	4.73	5.40	4.51	2.80	3.00
Fe ₂ O ₃	1.79	2.03	1.69	1.02	1.36
FeO	2.67	3.06	2.56	1.50	1.35
MnO	0.08	0.12	0.08	0.06	0.05
MgO	3.58	3.38	2.94	1.20	0.47
CaO	6.02	4.96	5.03	2.60	1.92
Na ₂ O	3.78	3.48	3.56	3.47	3.28
K ₂ O	1.63	1.80	1.91	2.95	5.53
P ₂ O ₅	0.25	0.19	0.20	0.08	0.08
LOI	1.01	1.00	0.89	1.20	0.53
Total	100.45	100.41	100.31	99.35	99.30
Cr(ppm)	223	229	286	10	15
Ni	15	14	13	5	14
Co	16	18	20	42	15
Sc	10	8	9	9	12
V	82	94	80	45	48
Cu	18	40	8	26	86
Zn	55	84	39	23	39
Mo	13.00	25.00	14.00	5.00	4.13
Ag	6.8	18.0	8.4	7.7	11.0
Rb	41	35	40	63	84
Cs	165.00	175.00	168.00	2.29	1.25
Ba	758	754	791	500	1188
Sr	392	408	339	298	200
Tl	8.25	7.19	6.63	8.86	7.58
Ga	16	19	19	12	11
Ta	2.09	1.97	2.14	2.27	3.19
Nb	7.9	8.4	8.9	16.4	20.5
Hf	8.34	8.05	9.43	4.59	6.39
Zr	121	125	108	151	251
Y	11	14	12	18	24
La	16.28	12.70	12.00	16.02	45.98
Ce	22.50	23.00	14.53	25.90	62.30
Pr	5.94	6.38	5.76	7.43	8.75
Nd	23.00	30.00	45.00	17.60	27.30
Er	32.00	37.00	33.00	9.23	7.65
Yb	16.00	21.00	15.00	9.30	8.01
Na ₂ O+K ₂ O	5.41	5.28	5.47	6.42	8.81
P= K- (Na+Ca)	-194.72	-162.53	-164.02	-95.70	-22.67
Q= Si/3- (K+Na+2Ca/3)	116.41	139.14	140.94	187.15	141.59
A/CNK	0.90	1.02	0.99	1.04	0.96
A/NK	2.14	2.23	2.12	1.59	2.26
FeO*/(FeO*+MgO)	0.55	0.60	0.60	0.68	0.85
Y+Nb	18.9	22.4	20.9	25.9	32.5
Na ₂ O+K ₂ O+FeO+MgO+TiO ₂	12.12	12.18	11.40	9.46	11.16
(Na ₂ O+K ₂ O)/(FeO+MgO+TiO ₂)	0.81	0.77	0.92	2.11	3.75
(Na+K+2Ca)/(Al.Si)	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03



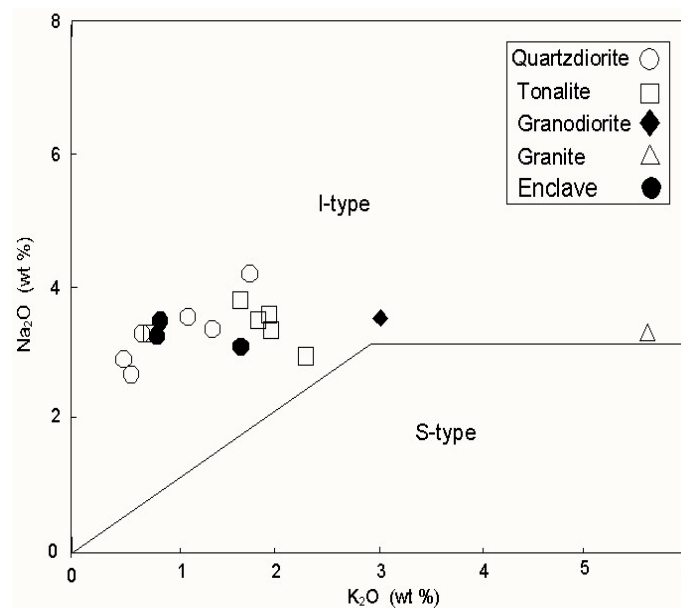
شکل ۷. نمودار AFM بیانگر روند کالک‌آلکالن برای پلوتونیک‌های قلعه یغمش است. برگرفته از ایروین و باراگر (Irvine and Barager, 1971)
Fig. 7. AFM diagram for the Ghaleh Yaghmesh plutonics show calc-alkaline trend (after Irvine and Barager, 1971)



شکل ۸. موقعیت نمونه‌های قلعه یغمش در نمودار شاند برگرفته از مانیار و پیکولی (Maniar and Piccoli, 1989)
Fig. 8. Location of the Ghaleh Yaghmesh samples on Shand's diagram (after Maniar and Piccoli, 1989)

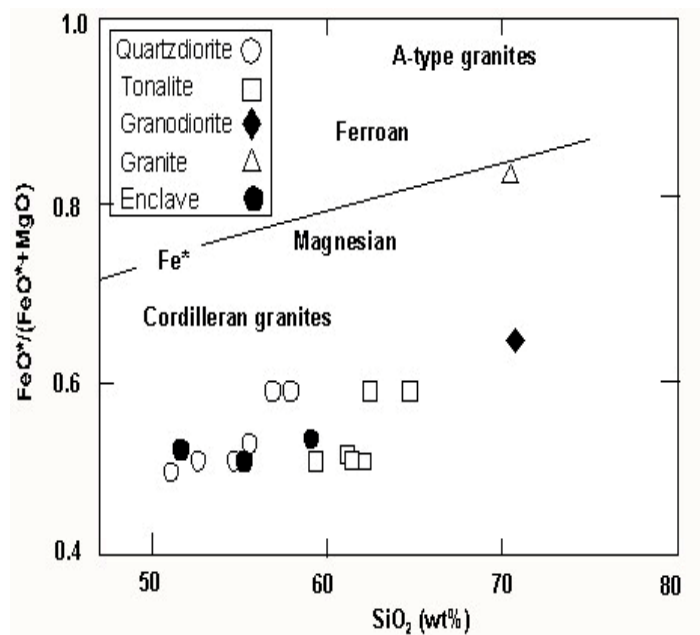
در نمودار K_2O در مقابل Na_2O کلیه نمونه‌ها در قلمرو گرانیتوئیدهای نوع I واقع می‌شوند (شکل ۹) (Chappell and White, 1992). نمودار SiO_2 در مقابل $FeO^{tot}/FeO^{tot}+MgO$ بیانگر قرارگیری نمونه‌ها در محدوده فرومنیزین و گرانیت‌های نوع کوردیلرن (معادل گرانیت نوع I) است (شکل ۱۰) (Frost et al., 2001).

در نمودار K_2O در مقابل Na_2O کلیه نمونه‌ها در قلمرو گرانیتوئیدهای نوع I واقع می‌شوند (شکل ۹) (Chappell and White, 1992). نمودار SiO_2 در مقابل $FeO^{tot}/FeO^{tot}+MgO$ بیانگر قرارگیری نمونه‌ها در محدوده فرومنیزین و گرانیت‌های نوع کوردیلرن (معادل گرانیت نوع I) است (شکل ۱۰) (Frost et al., 2001).



شکل ۹. سنگهای گرانیتوئیدی منطقه قلعه یغمش، طبیعت گرانیت‌های نوع I را نشان می‌دهد. برگرفته از چاپل و وایت (Chappell and White, 1992)

Fig. 9. Granitoid rocks from the Ghaleh Yaghmesh area display I-type nature (after Chappell and White, 1992)



شکل ۱۰. گرانیتوئیدهای قلعه یغمش در محدوده منیزین و گرانیت‌های نوع کوردیلرن قرار می‌گیرد. برگرفته از فراست و همکاران (Frost et al., 2001)

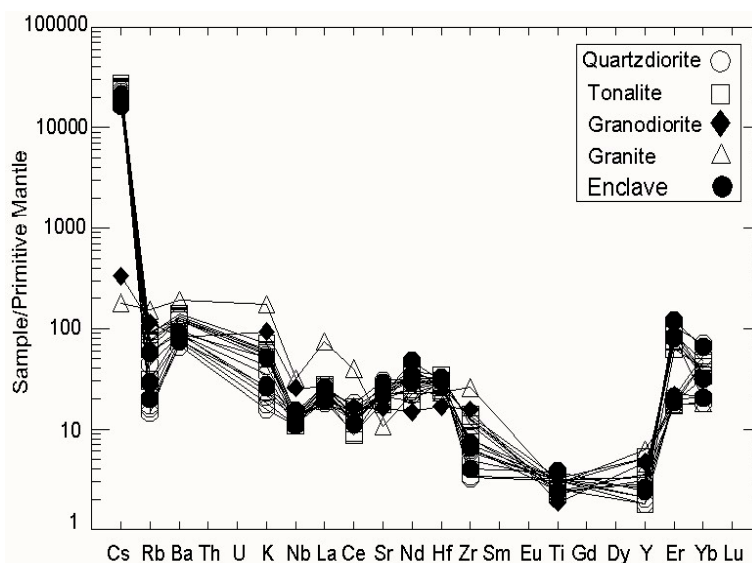
Fig. 10. The Ghaleh Yaghmesh granitoids are located in the Magnesian and Cordilleran granites field (after Frost et al., 2001)

LILE HFSE (Y, Zr, Nb, Ti) و غنی‌شدگی از عناصر Cs, K, Sr, Ba دیده می‌شود که از ویژگیهای ماگماتیسم مرتبط با مناطق فرورانش است (Rollinson, 1993;)

در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب که بر اساس داده‌های سان و مک دوناف (Sun and McDonough, 1989) نسبت به گوشته اولیه به‌هنجار شده‌اند (شکل ۱۱) تهی‌شدگی از عناصر

پلاژیوکلاز و عنصر Ti به علت وجود کانیهای تیتانیوم دار مانند اسفن و ایلمنیت است (Wilson, 1989). پایین بودن نسبی نسبت $(La/Yb)_N$ (۰/۳۹ تا ۵/۷۴) در همه نمونه ها بیانگر تشکیل ماگما در عمق کمتر از محدوده پایداری گارنت و یا کم بودن مقدار این کانی در ناحیه منشأ است (Cotton et al., 1995).

(Wilson, 1989). غلظت بالای LILE می تواند به دلیل دخالت صفحه فرورونده و آغشتگی ماگما با پوسته قاره ای باشد (Almeida et al., 2007) همچنین این غنی شدگی می تواند مربوط به درجه پایین ذوب بخشی و یک خاستگاه غنی از این عناصر باشد (Wilson, 1989). علت تهی شدگی عنصر Ce به علت تبلور تفریقی



شکل ۱۱. نمودار عنکبوتی بهنجار شده نمونه های قلعه یغمش نسبت به گوشته اولیه بر اساس داده های سان و مک دوناف (Sun and McDonough, 1989).

Fig. 11. Primitive mantle-normalized (based on data from Sun and McDonough, 1989) spider diagram for the Ghaleh Yaghmesh samples.

سنگهای پلوتونیک مورد بحث در قلمرو کمانهای آتشفشانی واقع می شوند. (شکل ۱۳).

بر اساس نمودار (Na_2O+K_2O) در مقابل $(FeO+MgO+TiO_2)$ ، ماگمای مادر توده نفوذی این منطقه از ذوب بخشی آمفیبولیت، احتمالاً همراه با کمی مواد رسوبی پوسته حاصل شده است (Patino Douce and Beard, 1996) (شکل ۱۴).

با توجه به نمودار ارائه شده توسط گرین و واتسون (Green and Watson, 1982)، سنگهای منطقه مورد بررسی در محدوده دمایی کمتر از $800^{\circ}C$ تا کمی بیشتر از $850^{\circ}C$ متبلور شده است (شکل ۱۵).

بحث و بررسی

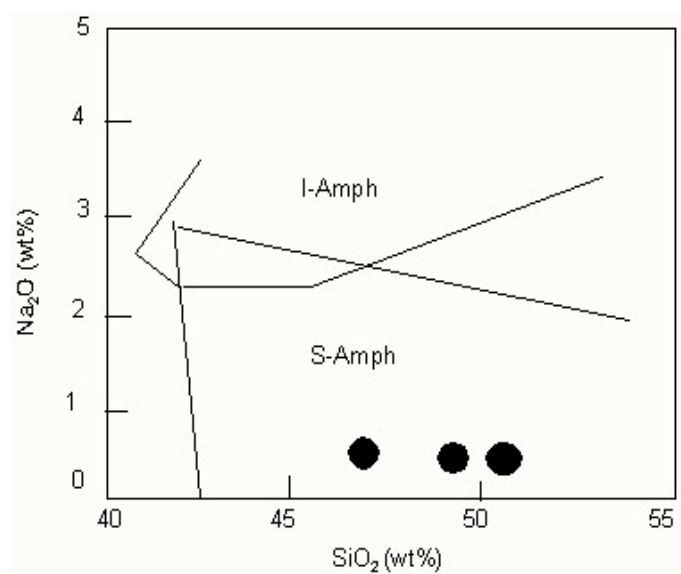
شواهد صحرایی، پتروگرافی، مینرال شیمی و ژئوشیمیایی سنگهای منطقه قلعه یغمش بیانگر تعلق این سنگها به محیط

نسبت $(Ce/Yb)_N$ پایین (۰/۵۴ تا ۷/۷۸) نشان می دهد که ماگما از قسمت های بالایی گوشته (عمق کم) یا میزان ذوب زیاد تشکیل شده است. در مقابل، نسبت بالای $(Ce/Yb)_N$ نمایانگر سرچشمه گرفتن ماگما از عمق زیاد (گستره پایداری گارنت) و میزان ذوب کم (فشار زیاد) است (Cotton et al., 1995). با استفاده از شیمی کانی آمفیبول و نمودار SiO_2 در برابر Na_2O ، می توان آمفیبول های وابسته به فرورانش (S-Amph) را از انواع میان صفحه ای (I-Amph) جدا کرد (Coltorti et al., 2007). بر این اساس، آمفیبول های گرانودیوریت در محدوده وابسته به فرورانش واقع می شود (شکل ۱۲).

نمودار $Y+Nb$ در مقابل Rb ارائه شده توسط پیرس و همکاران (Pearce et al., 1984) نشان می دهد که نمونه

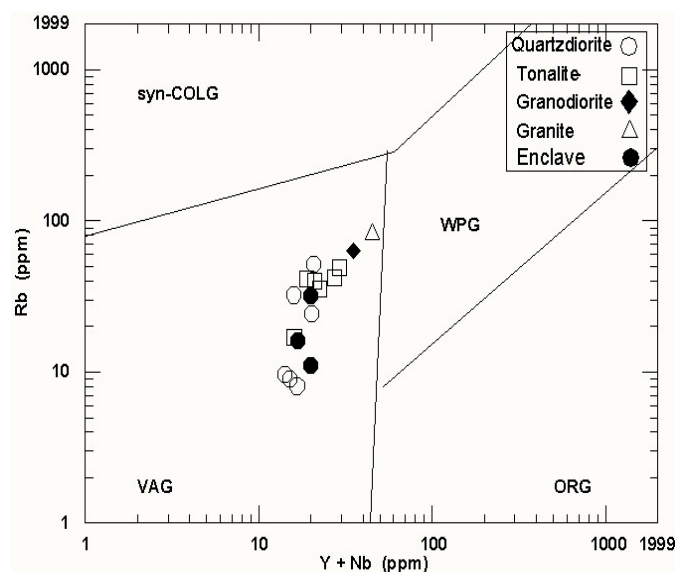
سیلیمانیت و کردیریت)، وجود کانیه‌های فرعی مانند زیرکن، آپاتیت و اسفن، حضور مگنتیت و ایلمنیت و وجود انکلاوهای میکروگرانولار مافیک، از جمله ویژگی‌های این نوع گرانیتوئیدها محسوب می‌شود (Barbarin, 1999).

وابسته به فرورانش است. بر اساس باربارین (Barbarin, 1999) گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان آمفیبول‌دار (ACG)، وابسته به محیط فرورانش، حاشیه‌های فعال قاره‌ای و دارای دو خاستگاه گوشته و پوسته است. همچنین وجود آمفیبول‌های کلسیک، نبود کانیه‌های آلومینوسیلیکات (مثل آندالوزیت،



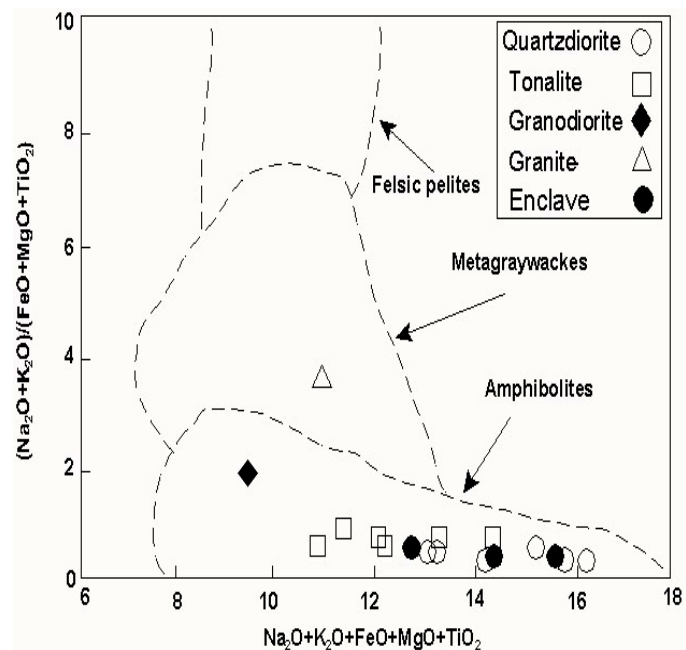
شکل ۱۲. قرارگیری آمفیبول‌های گرانودیوریت‌های قلعه یغمش در قلمرو وابسته به فرورانش برگرفته از کلتورتی و همکاران (Coltorti et al., 2007)

Fig. 12. Plot of amphiboles from the Ghaleh Yaghmesh granodiorites in subduction related area (after Coltorti et al., 2007)



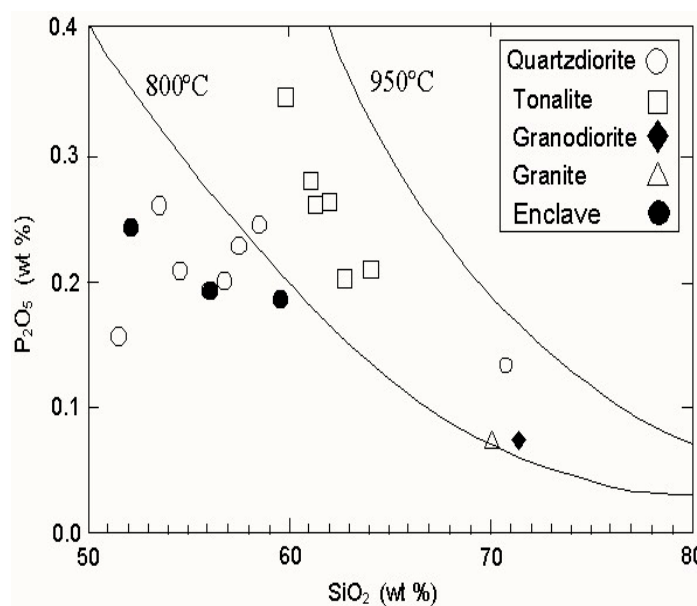
شکل ۱۳. گرانیتوئیدهای منطقه قلعه یغمش متعلق به منطقه کمان آتشفشانی است. برگرفته از پیرس و همکاران (Pearce et al., 1984)

Fig. 13. The Ghaleh Yaghmesh granitoids belong to volcanic arc granitoid (after Pearce et al., 1984)



شکل ۱۴. در متن شکل، آمفیبولیت، خاستگاه پلوتونیک‌های منطقه قلعه یغمش است برگرفته از پاتینو دوز و برد (Patino Douce and Beard, 1996)

Fig. 14. In Figure, source of the Ghaleh Yagmesh plutonic is amphibolite (after Patino Douce and Beard, 1996)



شکل ۱۵. تبلور گرانیتوئیدهای قلعه یغمش در محدوده دمایی کمتر از ۸۰۰°C تا کمی بیشتر از ۸۵۰°C صورت گرفته است. برگرفته از گرین و واتسون (Green and Watson, 1982)

Fig. 15. The Ghaleh Yagmesh granitoids have been crystallized at temperature ranging from 700 to 850 °C (after Green and Watson, 1982)

پوسته اقیانوسی، سیالات آزاد می‌شوند. این سیالات به سمت گوه گوشته‌ای حرکت می‌کند و ذوب آن و ایجاد ماگمای

سازوکار تشکیل توده گرانیتوئیدی قلعه یغمش را احتمالاً می‌توان بدین صورت در نظر گرفت که در حین فرورانش

اسید که در نتیجه پلاژیوکلاز حل شده است و در ادامه تبلور پلاژیوکلاز حاشیه بخشهای خورده شده را می‌پوشاند که می‌تواند علاوه بر ایجاد خوردگی، منطقه‌بندی شیمیایی نیز ایجاد کند (Shelley, 1993). دلایل یادشده نشانه نفوذ ماگمای بازیک به درون ماگمای اسید است.

نتیجه‌گیری

سنگهای نفوذی منطقه قلعه یغمش شامل طیفی از دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت و گرانیت همراه با انکلاوهایی از کوارتزدیوریت و تونالیت است که به‌درون سنگهای آتشفشانی با ترکیب ریولیت، ریوداسیت و نیز سنگهای پیروکلاستیک شامل توف آندزیتی، ریوداسیتی و ریولیتی نفوذ کرده است. سنگهای نفوذی شامل کانیه‌های اصلی و فرعی پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، کوارتز، آمفیبول، بیوتیت، پیروکسن، زیرکن، آپاتیت، اسفن، کانیه‌های کدر و نیز کانیه‌های ثانویه از نوع کلریت، اپیدوت و کلسیت است. کوارتز، سانیدین، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کدر، کانیه‌های سنگهای آتشفشانی را تشکیل می‌دهد. بر اساس شواهد صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی، سنگهای گرانیتوئیدی قلعه یغمش متعلق به دسته ماگمایی کالک‌آلکان، از نوع I و از نظر درجه اشباع از آلومینیوم (ASI) دارای طبیعت مت‌آلومین است. نمودارهای عنکبوتی بیانگر تهی‌شدگی از عناصر گروه HFSE (Nb, Ti), Zr و Y) و غنی‌شدگی از عناصر گروه LILE (K, Sr, Ba) و Cs) است که ویژگی ماگماتیسم مرتبط با پهنه‌های فرورانش است. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی محیط زمین‌ساختی تشکیل این سنگها، قوس آتشفشانی است. شواهد ژئوشیمیایی بیانگر آن است که توده گرانیتوئیدی قلعه یغمش، از ذوب آمفیبولیت‌های پوسته حاصل می‌گردد و گرمای لازم برای ذوب از ماگمای بازیک حاصل از گوشته تأمین شده که در پوسته جایگزین شده است. دمای تشکیل این توده بر اساس نمودار SiO₂ در برابر P₂O₅، کمتر از ۸۰۰°C تا کمی بیشتر از ۸۵۰°C تخمین زده می‌شود. بر این اساس، به احتمال بسیار زیاد پدیده اختلاط ماگماهای اسیدی و بازیک در تشکیل سنگهای مورد بررسی تأثیرگذار بوده است.

بازالتی باعث می‌شود. این مذاب اشباع از بخار، به گوشته کم‌عمق تر و داغ‌تر حرکت کرده و برای رسیدن به تعادل با محیط اطراف، دمایش افزایش یافته است. با گذشت زمان و در طول مسیر، مذاب در اثر واکنش با قسمت‌های بالای گوه گوشته‌ای از حالت اشباع از بخار فاصله گرفته و به‌سمت قسمت‌های بالایی پوسته راه پیدا کرده است (Gaetani and Grove, 2003). آرایش پوسته بالایی نقش مهمی در تشکیل این توده داشته و حرارت ناشی از ماگمای مافیک باعث ذوب‌بخشی پوسته و ایجاد ماگمای گرانیتی شده (Clemens et al., 2011) و در اثر تفریق ماگمایی طیفی از سنگها از دیوریت تا گرانیت را تشکیل داده است.

دیدیر و باربارین و گری و کمپ (Didier and Barbarin, 1991; Gray and Kemp, 2009) گرانیت‌های کالک‌آلکان مرتبط با کمانهای آتشفشانی را به‌عنوان گرانیت‌های هیبرید قوس قاره‌ای در نظر گرفته‌اند و دو مؤلفه پوسته‌ای و گوشته‌ای را در تشکیل آن دخیل می‌دانند. شواهد صحرایی، پتروگرافی و شیمیایی سنگهای گستره مورد بررسی که به اختصار در زیر آمده است، بر ویژگی‌های بالا دلالت دارد:

الف) طیف ترکیبی از سیلیس ۵۱/۳۵ تا ۷۰/۷۸ درصد؛

ب) وجود انکلاوه‌های تیره‌رنگ با مرزهای مشخص و نبود بافتهای دگرگونی یا رسوبی (Didier, 1991; Zorpi et al., 1989)؛

پ) کانی‌شناسی مشابه انکلاو و سنگ میزبان (Didier, 1991; Didier and Barbarin, 1991)؛

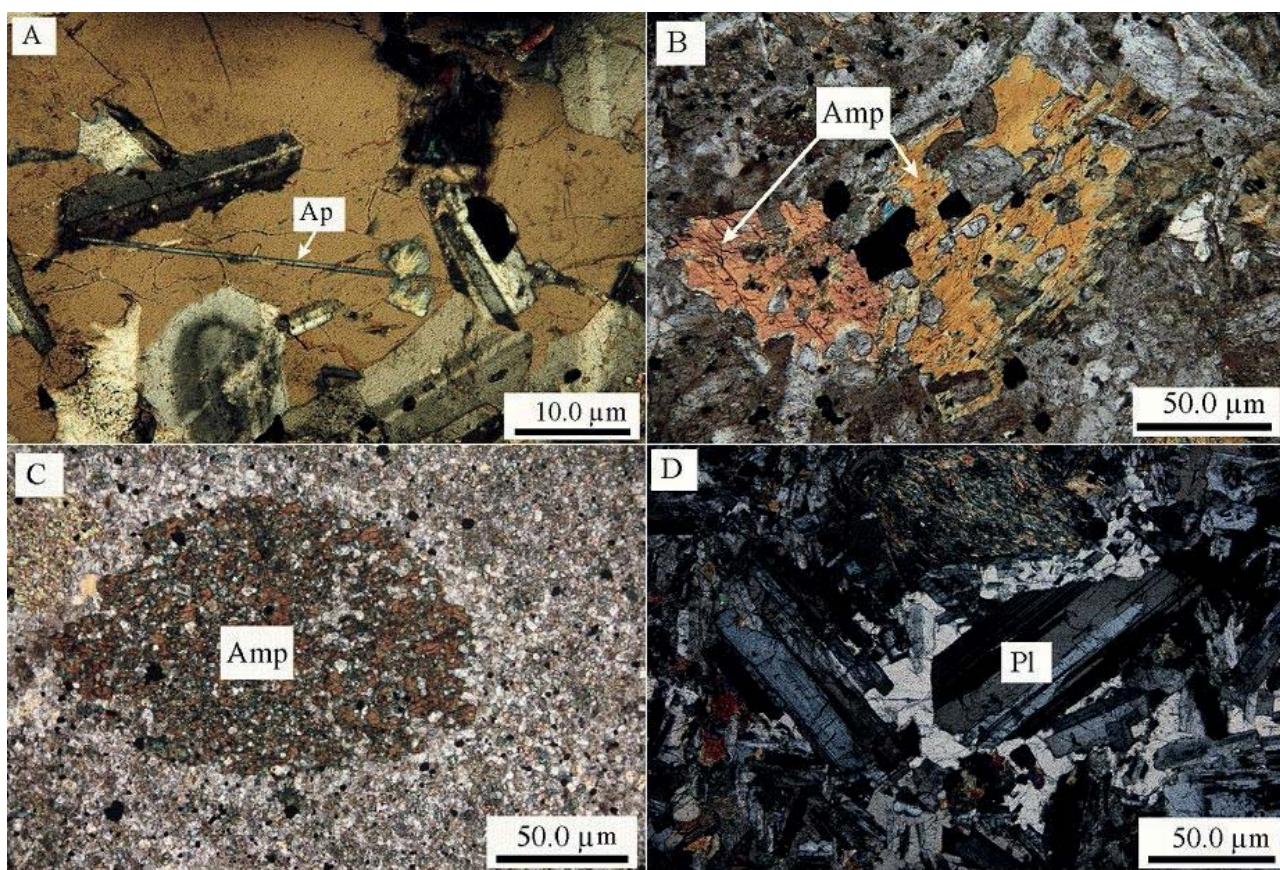
ت) وجود آپاتیت‌های سوزنی و طویل (Didier, 1991; Zorpi et al., 1989)، (شکل ۱۶-A)؛

ث) وفور بیوتیت و هورنبلند در انکلاو نسبت به سنگ میزبان که به‌دلیل مهاجرت بخارات بین ماگمایی است (Ellis and Thompson, 1986)؛

ج) وجود حاشیه خورده شده (شکل ۱۶-B) و حاشیه واکنشی (شکل ۱۶-C) برای آمفیبول‌های گرانودیوریت‌ها و کوارتزدیوریت‌ها (Shelley, 1993)؛

چ) گردش‌دهی حاشیه‌های پلاژیوکلازها در کوارتزدیوریت (Zorpi et al., 1989) (شکل ۱۶-D) و

ح) فرم خوردگی پلاژیوکلازهای سنگ در برگیرنده، به‌دلیل برخورد ماگمای مافیک با محتوای An% بالاتر به ماگمای



شکل ۱۶. شواهد پتروگرافی نمایانگر نقش اختلاط ماگمایی در تولید گرانیتوئیدهای منطقه قلعه یغمش A: آپاتیت‌های سوزنی‌شکل در کوارتز دیوریت، B: آمفیبول‌های کوارتز دیوریت با حاشیه‌های خورده شده، C: حاشیه واکنشی در اطراف آمفیبول در کوارتز دیوریت و D: تحلیل رفتگی در حاشیه کانی پلاژیوکلاز گرانودیوریت (Ap: آپاتیت، Amp: آمفیبول، Pl: پلاژیوکلاز (Whitney and Evans, 2010))

Fig. 16. A: petrographic evidences indicating that magma mixing was somehow involved in generation of granitoids from the Ghaleh Yaghmesh area A: accicular apatite in quartzdiorite, B: amphiboles from the quartzdiorite with corroded margins, C: reaction rims around amphibole in quartzdiorite, and D: corrosion in rim of plagioclase from granodiorite. (Ap: apatite, Amp: amphibole, Pl: plagioclase (Whitney and Evans, 2010))

شیمیایی XRF این پژوهش را عهده‌دار شده‌اند، سپاس‌گزاری می‌نمایند.

قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان به‌خاطر حمایت مالی و از بخش زمین‌شناسی دانشگاه متودیست جنوبی (SMU) (دالاس - آمریکا) که آنالیزهای

References

Alavi, M., 1994. Tectonics of Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretation. *Tectonophysics*, 229(3): 211–238.

Almeida, M.E., Macambira, M.J.B. and Oliveira, E.C., 2007. Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97–1.96

Ga) in central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research*, 155(1-2): 69-97.

Amidi, M., 1989. Geological map of Sarv-e-Bala, scale 1:100,000. Ministry of Mines and Metals and Geological Survey of Iran (in Persian).

Atherton, P.M., 1993. Granite magmatism. *Journal of the Geological Society*, 150(6): 1009-1023.

- Barbarin, B., 1990. Granitoids: main petrogenetic classification in relation to origin and tectonic setting. *Geological Journal*, 25(3-4): 227–238.
- Barbarin, B., 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46(3): 605–626.
- Chappell, B.W. and White, A.J., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8: 173–174.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 83(1-2): 1–26.
- Chappell, B.W. and White, A.J., 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48(4) 489–499.
- Chappell, B.W., White, A.J.R., Williams, I.S. and Wyborn, D., 2004. Low- and high-temperature granites. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 95(1-2): 125–140.
- Clarke, D.B., 1992. *Granitoid rocks*. Chapman and Hall, London, 283 pp.
- Clemens, J.D., Stevens G., and Farina, F., 2011. The enigmatic sources of I-type granites: The peritectic conexión. *Lithos*, 126(3): 174–181.
- Cobbing, J., 2003. *The geology and mapping of granite batholiths*. Springer, New York, 141 pp.
- Coltorti, M., Bondaiman, C., Faccini, B., Gregoire, M., Oreilly, S.Y. and Powell, W., 2007. Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle. *Lithos*, 99(1-2): 68–84.
- Cotton, J., Le Dez, A., Bau, M., Caroff, M., Maury, R.C., Dulski, P., Fourcade, S., Bohn, M. and Brousse, R., 1995. Origin of anomalous rare earth element and yttrium enrichments in subaerially exposed basalts, evidence from French Polynesia. *Chemical Geology*, 119(1-4): 115–138.
- Debon, F. and Lefort, P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Royal Society of Edinburgh Transactions*, 73(3): 135–149.
- Didier, J., 1991. The main types of enclaves in the Hercynian granitoids of the Massif Central, France. In: J. Didier and B. Barbarin (Editors), *Enclaves and Granite Petrology*. *Developments in Petrology*, V. 13. Elsevier, Amsterdam, pp. 47–61.
- Didier, J. and Barbarin, B., 1991. Enclaves and granite petrology. *Developments in Petrology*, V. 13. Elsevier, Amsterdam, 625 pp.
- Ellis, D.J. and Thompson, A.B., 1986. Subsolidus and partial melting reactions in the quartz-excess and water deficient conditions of peraluminous melts from mafic rocks. *Journal of Petrology*, 27(1): 91–121.
- Fazeli, B., 2010. *Petrology of Kuh-e-Siah volcanic rocks (North of Gavkhuni lagoon, South East of Isfahan)*. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 111 pp (in Persian).
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. and Frost, C.D., 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42(11): 2033–2048.
- Gaetani, G.A. and Grove, T.L., 2003. Experimental constraints on melt generation in the mantle wedge. In: J. Eiler (Editors), *Inside the subduction factory*. American Geophysical Union Geophysical Monograph, Washington, D.C., pp. 107–134.
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new tectonics cenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6): 683–693.
- Gray, C.M. and Kemp, A.I.S., 2009. The two-component model for the genesis of granitic rocks in southeastern Australia—Nature of the metasedimentary-derived and basaltic end members. *Lithos*, 111(3-4): 113–124.
- Green, T.H. and Watson, E.B., 1982. Crystallization of Apatite in Natural Magmas Under High Pressure, Hydrous Conditions, with Particular Reference to 'Orogenic' Rock Series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 79(1): 96–105.
- Honarmand, M., Rashidnejad-Omran, N., Corfu, F., Emami, M. H. and Nabatian, G., 2013. Geochronology and magmatic history of a calc-alkaline plutonic complex in the Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt, Central Iran: Zircon ages as evidence for two major plutonic episodes. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen*, 190(1): 67–77.
- Irvine, T.N. and Barager, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8(5): 523–548.
- Kanianan, A., Sarjoughian, F., Nadimi A., Ahmadian, J. and Ling, W., 2014. Geochemical characteristics of the Kuh-e Dom

- intrusion, Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Implications for source regions and magmatic evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 90: 137-148.
- Khoddami, M., 1998. Petrological study of volcanic rocks in the north of Gavkhuni lagoon. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 170 pp. (in Persian)
- Leake, B.E., Wolley, A.R., Arps, C.E. S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of Amphiboles, report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*, 35(1): 219–246.
- Loqhmami Dastjerdi, Z., 2001. Petrography and petrology of Ghaleh Yaghmesh granitoids in the West of Yazd. M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, 170 pp. (in Persian)
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*. 101(5): 635-643.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 37(3-4): 215-224.
- Patino Douce, A.E. and Beard, J.S., 1996. Effects of P, fO₂ and Mg/Fe ratio on dehydration melting of model metagreywackes. *Journal of Petrology*, 37(5): 999-1024.
- Pearce, J.A., Harris, N.B. and Tindle A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.
- Raymond, L.A., 2002. *Petrology: The study of igneous sedimentary and metamorphic rocks*, McGraw-Hill, Boston, 720 pp.
- Rollinson, H.,R., 1993. *Using geological data, evolution, presentation, interpretation*. Longman, Scientific and Technical, London, 352 pp.
- Selman Aydogan, M., Hakan, C., Mustafa, B. and Omer, A., 2008. Geochemical and mantle-like isotopic (Nd, Sr) composition of the Baklan Granite from the Muratdağı Region (Banaz, Uşak), western Turkey: Implications for input of juvenile magmas in the source domains of western Anatolia Eocene–Miocene granites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33(3-4): 155-176.
- Sepahi, A.A. and Malvandi, F., 2008. Petrology of the Bouein Zahra-Naein Plutonic Complexes, Urumieh-Dokhtar Belt, Iran: With Special Reference to Granitoids of the Saveh Plutonic Complex. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen. Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 185(1): 99–115.
- Shelley, D., 1993. *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman and Hall, London, 630 pp.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, *Magmatism in Ocean Basins. Journal of Geological Society of London Specific Publication*, 42(1): 313-345.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.
- Wilson, M., 1989. *Igneous petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 466 pp.
- Zen, E., 1986. Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: Some mineralogic and petrographic constraints. *Journal of Petrology*, 27(5):1095-1117.
- Zorpi, M.J., Coulon, C., Orisini, J.B. and Concirta, C., 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. *Tectonophysics*, 157(4): 315-326.



Petrology of Oligocene Ghaleh Yaghmesh granitoids in the west of Yazd province

Bahareh Fazeli¹, Mahmoud Khalili^{1*}, Roy Beavers², Mahin Mansouri Esfahani³ and Zahra Loghmani Dastjerdi⁴

1) Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2) Department of Earth Sciences, Southern Methodist University, Dallas, USA

3) Faculty of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4) Department of Geology, Dolat abad Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Submitted: Jan. 09, 2015

Accepted: Oct. 07, 2015

Keywords: *I-type granitoid, Volcanic arc, Eocene-Oligocene, Ghaleh Yaghmesh, Urumieh-Dokhtar*

Introduction

The generation and evolution of granitic magmas has been a hot debated subject among petrologists. The diversity of their origin has led different authors to propose that these rocks are not simple in their origin and might be generated in more ways than one. In the past several decades, many petrologists used a variety characteristics to subdivide the granitoid rocks. Such proposals have of course been forward by Chappell and White (1974) for the granitoids of Eastern Australia. They divided these granitoids into two distinct types (I-and S-type granitic rocks), which they interpreted as being derived from igneous and sedimentary source rocks, respectively. The Ghaleh Yaghmesh plutonic massif is located in the most western part of Yazd and it forms a part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt. The belt is response to subduction of Neo-Tethyan oceanic crust beneath central Iran (Alavi, 1994). During Cretaceous-Late Tertiary, numerous granitoid bodies were exposed in this belt, many of which have been studied by a number of workers (e.g. Sepahi and Malvandi, 2008; Honarmand et al., 2013; Kananian et al., 2014).

The massif composed of diorite, quartzdiorite, tonalite, granodiorite and granite (Oligocene) intruded into the Eocene volcanic and pyroclastic rocks including rhyolite, rhyodacite, andesitic, rhyodacitic and rhyolitic tuff. The main purpose of the present paper is to describe the petrography, and whole rock geochemistry of the Ghaleh

Yaghmesh granitoids as well as discussing their petrogenetic and tectonic significance in the light of the regional geological framework of the study area.

Materials and methods

After field studies and sampling, fifty thin sections were prepared for petrographic study. Twenty-one fresh samples were selected for XRF chemical analysis performed at the Southern Methodist University (Dallas - USA). Thin polished sections of granodiorite rocks were prepared for composition determining and structure formula calculation of amphibole minerals by Cameca SX50 microprobe device at the Oklahomacity University (Norman - USA).

Results

The studied plutonic rocks are dominated by plagioclase, orthoclase, quartz, amphibole (magnesian hornblende and actinolite hornblende), biotite, and pyroxene. Zircon, apatite, sphene, tourmaline and opaque minerals as the common accessory and chlorite, epidote and calcite are the secondary minerals. On the base of petrographic observation as well as mineral-chemistry and geochemical data, the granitoid massif is classified as I-type (magnetite series), calc – alkaline and metaluminous composition. The rocks under discussion are characterized by the high level of LILE (Ba, Sr, K and Cs) and the negative anomaly of HFS elements (Ti, Nb, Zr and Y) indicating the subduction related

*Corresponding authors Email: m.khalili@sci.ui.ac.ir

magmatism. The Ghaleh Yaghmesh granitoids are cogenetic and possibly developed in subduction zone related to active continental margin calc – alkaline volcanic arcs. Mixing process of acidic and basic magmas is likely involved in generation of the rocks being studied.

Discussion

The parent magma probably formed by partial melting of amphibolites with some sedimentary materials. Fractional crystallization of melt in the higher levels of crust gave rise to various rock types. Mantle – derived basaltic magmas emplaced into the lower crust most likely provide heat for partial melting (Clemens et al., 2011). Field evidences such as the presence of mafic microgranular enclaves having sharp boundaries with the host rocks (Zorpi et al., 1989; Didier, 1991), petrographic observations (similar mineralogy of MME and the host rock (Didier, 1991; Didier and Barbarin, 1991), the occurrence of accicular apatite (Zorpi et al., 1989; Didier, 1991), the corroded margin of amphibole and plagioclase (Zorpi et al., 1989; Shelley, 1993) and the abundance of biotite and hornblende in MME compared to the host rock (Ellis and Thompson, 1986)) and geochemical criteria (range of silica from 51.35 to 70.78) indicate that magma mixing process was likely responsible for the formation of the rocks being studied.

Acknowledgements

The authors would like to thank the University of Isfahan for the financial support. We also thank the Southern Methodist University (SMU) (Dallas - USA) for the XRF chemical analysis undertaken for this project.

References

- Alavi, M., 1994. Tectonics of Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretation. *Tectonophysics*, 229(3): 211–238.
- Chappell, B.W. and White, A.J., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8: 173-174.
- Clemens, J.D., Stevens G., and Farina, F., 2011. The enigmatic sources of I-type granites: The peritectic conexión. *Lithos*, 126(3): 174–181.
- Didier, J., 1991. The main types of enclaves in the Hercynian granitoids of the Massif Central, France. In: J. Didier and B. Barbarin (Editors), *Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology*, V. 13. Elsevier, Amsterdam, pp. 47–61.
- Didier, J. and Barbarin, B., 1991. Enclaves and granite petrology. *Developments in Petrology*, V. 13. Elsevier, Amsterdam, 625 pp.
- Ellis, D.J. and Thompson, A.B., 1986. Subsidius and partial melting reactions in the quartz-excess and water deficient conditions of peraluminous melts from mafic rocks. *Journal of Petrology*, 27(1): 91-121.
- Honarmand, M., Rashidnejad-Omran, N., Corfu , F., Emami, M. H. and Nabatian, G., 2013. Geochronology and magmatic history of a calc-alkaline plutonic complex in the Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt, Central Iran: Zircon ages as evidence for two major plutonic episodes. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen*, 190(1): 67–77.
- Kanianian, A., Sarjoughian, F., Nadimi A., Ahmadian, J. and Ling, W., 2014. Geochemical characteristics of the Kuh-e Dom intrusion, Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Implications for source regions and magmatic evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 90: 137-148.
- Sepahi, A.A. and Malvandi, F., 2008. Petrology of the Bouein Zahra-Naein Plutonic Complexes, Urumieh-Dokhtar Belt, Iran: With Special Reference to Granitoids of the Saveh Plutonic Complex. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen. Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 185(1): 99–115.
- Shelley, D., 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, London, 630 pp.
- Zorpi, M.J., Coulon, C., Orisini, J.B. and Concirta, C., 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. *Tectonophysics*, 157(4): 315-326.