

Insights from Zircon Morphology and Geochemical Signatures of Ghaleh-Dezh granitic pluton, Azna

N. Shabanian B.¹, A. Davoudian D.², M. khalili¹, M. Khodami³

1- Department of Geology, Isfahan University, Isfahan, Iran

2- Department of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3- Department of Geology, Islamic Azad University (Mahalat Unit)

Email: nahid.shabanian@gmail.com

(Received: 19/8/2008, in revised form: 15/2/2009)

Abstract: Zircon is a tetragonal crystal and records different episode(s) of geology in external morphology and internal textures. Factors affecting the shape of the zircon crystals are the composition, possibly the temperature of the crystallization and water content in magma. The zircon typology of the Ghaleh-Dezh granite mostly introduces the fields P5 in classification of Pupin (1990), therefore, show mantle source for the granite. The dominant morphology of the zircon grains reveals a strong dominance of {100} prisms and {101} pyramids over {110} prisms and {211} pyramids. The dominant morphology shows high alkalinity, the temperature of crystallization about 850 °C and dry alkalic nature for the granite. Absent of hydrozircon overgrowth indicate dry magma. Also, the Zr saturation temperature based on zircon solubility reflects a mean temperature of 835 °C. All of information is corresponded by petrography and geochemical evidences and also with a-type granitic magma that has mantle and crust sources.

Keywords: *zircon morphology, A-type granite, alkalinity, Azna*



بررسی ریخت‌شناسی زیرکن و سرشتی‌های ژئوشیمیایی پلوتون گرانیتی قلعه‌دژ، ازنّا

ناهید شبانیان بروجنی^۱، علیرضا داوودیان دهکردی^۲، محمود خلیلی^۱، مهنّاز خدّامی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

۲- گروه منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات

پست الکترونیکی: nahid.shabanian@gmail.com

(دریافت مقاله: ۸۷/۵/۲۹، نسخه نهایی: ۸۷/۱۱/۲۷)

چکیده: بلور زیرکن در سیستم چارگوشی متبلور می‌شود و ثبت‌کننده رویدادهای مختلف زمین‌شناسی در ساختار خارجی و بافت درونی خود است. رشد و تبلور زیرکن تابعی از دمای تبلور، ترکیب و محتوی آب ماگما است. گونه‌شناسی بلورهای زیرکن گرانیت قلعه‌دژ غالباً در گستره P5 رده بندی پوپین (۱۹۹۰) قرار می‌گیرند که دال بر خاستگاه گوشته‌ای بودن آن است. ریخت‌شناسی غالب دانه‌های زیرکن برتری منشورهای {100} بر {110} و هرم‌های {101} بر {211} را آشکار می‌سازد. این ریخت‌شناسی غالب، بالا بودن میزان قلیائیت، دمای تبلور ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و ماهیت خشک یک ماگمای قلیایی را برای این گرانیت‌ها نشان می‌دهد. عدم وجود برهم‌رشدی هیدروزیترکن نشانگر ماگمای خشک است. همچنین دماسنجی اشباع از زیرکن نیز میانگین دمای در حدود ۸۳۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. تمامی نتایج بالا با شواهد ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی قابل تایید است و با ماگمای گرانیتی نوع A با خاستگاه گوشته‌ای و پوسته‌ای همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌شناسی زیرکن، گرانیت نوع A، قلیائیت، ازنّا.

مقدمه

زیرکن به عنوان یک کانی فرعی در دامنه وسیعی از سنگ‌ها به ویژه سنگ‌های آذرین فلسیک عمومیت دارد [۱، ۲]. زیرکن به علت پیدایش بی‌همتای آن در گستره‌ای از سنگ‌های پوسته تا زینولیت‌های گوشته، سنگ‌های ماه، متئوریت‌ها و تاکتیت‌ها، به عنوان یک کانی شاخص محسوب می‌شود. این کانی از نظر شیمیایی مقاوم و دیرگداز بوده و می‌تواند طی فرآیندهای هوازدگی و حمل و نقل علاوه بر دگرگونی در دمای بالا و آناتکسی، مقاوم و پایدار باشد [۳].

بلورهای زیرکن از نظر شکل خارجی و بافت درونی نیز به شدت تغییرپذیرند. این ویژگی‌ها بیانگر تاریخچه زمین‌شناسی این کانی به ویژه رویدادهای تبلور ماگمایی یا دگرگونی و تبلور مجدد است. از طرف دیگر ویژگی‌های یاد شده بازتابی از فشار

تحمیل شده بر کانی از سوی نیروهای خارجی و انبساط درونی که به صورت متامیکتی شدن^۱ و دگرسانی شیمیایی بروز می‌کند. بررسی زیرکن اطلاعاتی از خاستگاه ماگمایی، دگرگونی و ته‌نشستی را در اختیار می‌گذارد [۴].

کانی زیرکن در سیستم چارگوشی متبلور می‌شود و رشد آن عموماً به صورت بلورهای منشوری دوطرفه با نسبت طول‌شدگی (طول به پهنای) یک به پنج است که نشانگر سرعت تبلور است. عوامل تاثیر گذار دیگر بر شکل بلور زیرکن ترکیب و احتمالاً دمای متوسط تبلور است.

بلورهای زیرکن را براساس تکوین و رشد نسبی فرم‌های منشوری {100} نسبت به {101} و شکل‌های هرمی {211}

1-Metamictization

تشکیل و در پایان تبلور با تشکیل هیدروزیمرکن غنی از عناصر کمیاب (U, Th, Y) ادامه می‌یابد [۴، ۵]
 واورا (۱۹۹۰) (Vavra, 1990) و بنیسک و فینگر (۱۹۹۸) (Vavra, 1990) [۷، ۸] نشان داده‌اند که ریخت‌شناسی خصوصاً نوع منشور غالب، به شدت به ابر اشباع بودن مذاب از $ZrSiO_4$ و غلظت برخی از عناصر کمیاب مثل اورانیوم بستگی دارد.

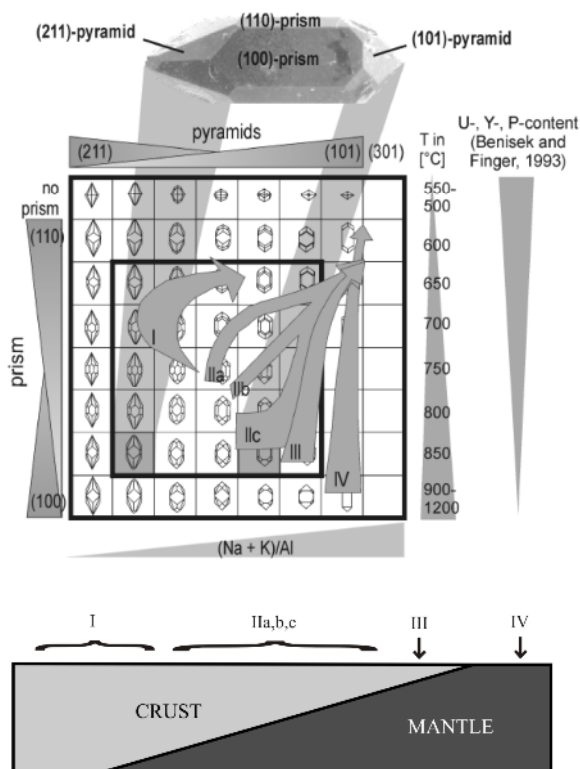
استفاده از ریخت‌شناسی و شکل زیرکن برای تشخیص گرانیت‌های موقعیت‌های مختلف زمین ساختی و دما متفاوت تبلور توسط پوپین (۱۹۸۰) [۵] معرفی شده است (شکل ۱).
 به طوری‌که با بررسی شکل زیرکن‌های سنگ‌های گرانیتی می‌توان آنها را به سه گروه اصلی رده‌بندی کرد:
 - گرانیت‌هایی با خاستگاه پوسته‌ای یا غالباً پوسته‌ای (گرانیت‌های آلومینیوس).
 - گرانیت‌های دورگه با خاستگاه پوسته‌ای و گوشته‌ای (گرانیت‌های سری آهکی-قلیایی و نیمه قلیایی).
 - گرانیت‌هایی با خاستگاه گوشته‌ای یا غالباً گوشته‌ای (گرانیت‌های تولیتی و قلیایی).

نسبت به {101} رده‌بندی می‌کنند [۵]. رشد نسبی شکل‌های منشوری را به دمای تبلور و رشد نسبی شکل‌های هرمی را به سرشتی‌های شیمیایی نسبت می‌دهند. زیرکن ماگمایی بسته به ماهیت ماگما تمایل به داشتن شکل بلوری مشخص دارد (برای مثال: [۵-۸]). بطوری‌که:

- اگر زیرکن از یک محیط هیپرالکالین (Hyperaluminous) یا هیپوالکالین (Hypoalkaline) متبلور شوند تمایل به تشکیل سطوح هرمی {211} دارد.

- و اگر از یک محیط هیپرالکالین یا هیپوالومینیوس (Hypoaluminous) متبلور شوند تمایل به تشکیل سطوح هرمی {101} دارد. بنابراین نسبت $Al/Alkaline$ روی شکل غالب هرم‌های زیرکن تاثیر می‌گذارد. از آنجایی که تغییر دما بر روی شکل منشور زیرکن تاثیر می‌گذارد بنابراین از آن می‌توان به عنوان یک زمین دماسنج استفاده کرد.

آب نیز نقش مهمی در تبلور زیرکن دارد به طوری که در ماگماهای فقیر از آب، زیرکن طی یک دوره ماگمایی اولیه متبلور می‌شود و در ماگماهای غنی از آب زیرکن از آغاز تبلور



شکل ۱ ریخت‌شناسی زیرکن بستگی به $(Na + K)/Al$ و دمای تشکیل [۲] و یا میزان Y , U و P [۸] دارد. روندها به ترتیب نشان‌دهنده: (I) گرانیتوئیدهای آناتکسی غنی از Al , c , b , a (II) گرانیتوئیدهای آهکی-قلیایی (III) گرانیتوئیدهای نیمه قلیایی غنی از پتاسیم (IV) گرانیتوئیدهای قلیایی [۵، ۲۰، ۲۱].

ساختی سنندج - سیرجان واقع شده است و در فاصله ۱۵ کیلومتری راندگی اصلی زاگرس قرار دارد.

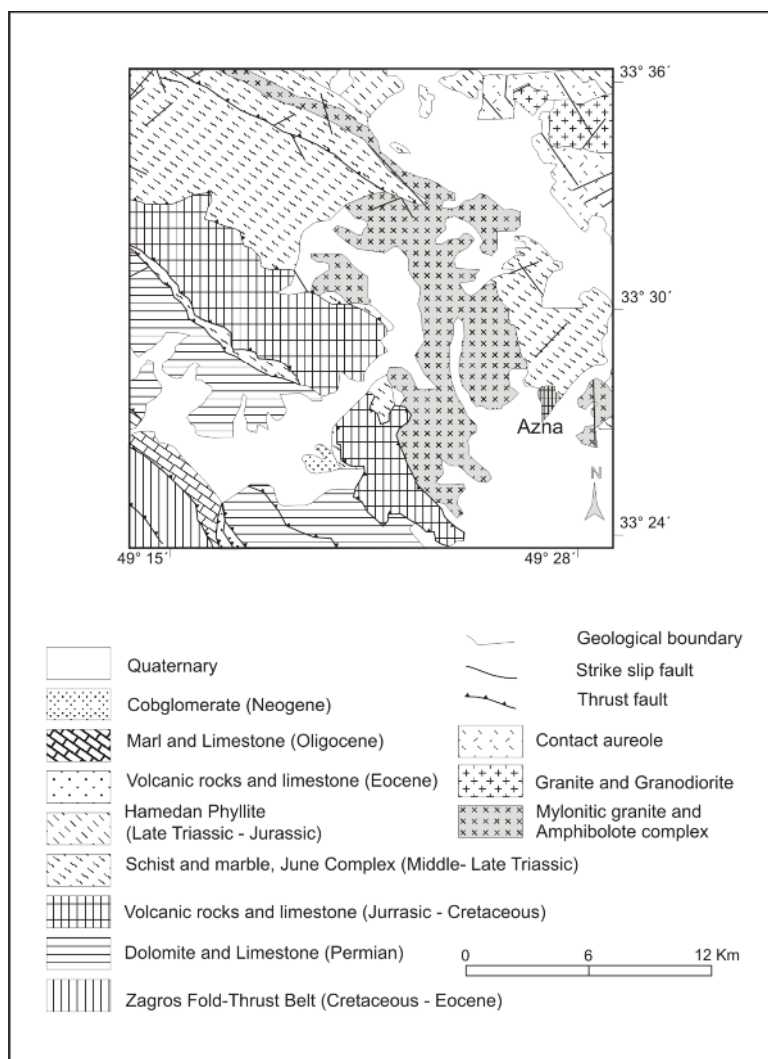
پلوتون قلعه دژ فاقد آثار دگرگونی مجاورتی است که یکی از شواهد مربوط به توده‌های نفوذی همزمان با زمین ساختی است [۱۰] و با سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای همچون شیست، آمفیبولیت، کوارتزیت و مرمرها در برگرفته شده‌اند (شکل ۲). این پلوتون تحت تاثیر یک رژیم دگرشکلی دینامیکی تشکیل شده است. عناصر ساختاری L و LS در این توده نفوذی به خوبی دیده می‌شود و آثار برش راست‌گرد در این پلوتون قابل تشخیص است [۱۱]. تاکنون از نظر سنگ‌شناسی این توده بررسی نشده بود و تنها از نظر ساختاری مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۱، ۱۲].

زیرکن‌هایی که در گستره‌های I قرار می‌گیرند دارای میانبار کم هستند، در حالیکه دانه‌های زیرکن که در گستره‌های دیگر قرار می‌گیرند حاوی میانبار هستند. (شکل ۱).

هدف از این کار پژوهشی بررسی چگونگی بالا بودن عنصر زیرکونیوم در آنالیز شیمیایی نمونه‌های این توده نفوذی و نیز فراوانی بالای کانی زیرکن در مقاطع میکروسکوپی، استفاده از ریخت‌شناسی بلورهای زیرکن برای دستیابی به سرشتی‌های ژئوشیمیایی این توده نفوذی است.

زمین‌شناسی منطقه

پلوتون قلعه دژ در ۱۰ کیلومتری شمال باختری شهر ازنا در گستره نقشه چارگوش ۲۵۰۰۰:۱ زمین‌شناسی خرم آباد واقع می‌شود [۹]. از لحاظ ساختار زمین‌شناسی، در پهنه زمین



شکل ۲ نقشه ساده شده منطقه ازنا (اصلاح شده از مجمل و همکاران ۲۰۰۳) [۱۱].

کانی‌شناسی و ژئوشیمی

پلوتون قلعه دژ از لحاظ کانی‌شناسی شامل کوارتز، پرتیت، پلاژیوکلاز، بیوتیت، تورمالین، اپیدوت‌ماگمایی، زیرکن و آلانیت است.

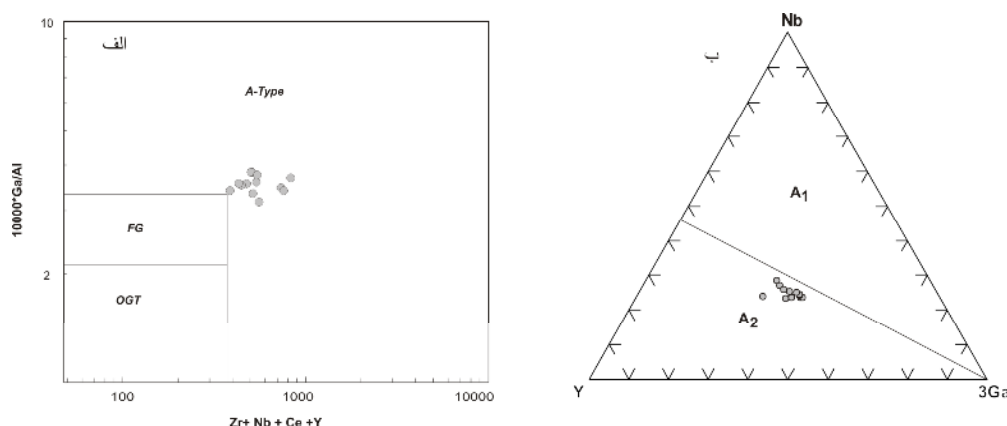
در بررسی ژئوشیمیایی پلوتون میزان K_2O , Na_2O , SiO_2 بالا، و میزان CaO , MgO و P_2O_5 نسبتاً پایین است. همچنین عناصر کمیابی مثل Rb , Zr , Y , Nb , $LREE$ و Ga غنی‌شدگی نشان می‌دهند در حالی که میزان عناصر Eu , Sr , Sc , V , Ni و Cr نسبتاً پایین است. نابهنجاری منفی Eu به همراه نسبت‌های بالای Zr/Ni , Ga/Al , K/Rb , Rb/Sr و Y/Sc و مقدار بالای $Zr + Nb + Y + Ce$ در این سنگ‌ها ثبت شده است. این سنگ‌ها دارای ماهیت متآلومینیوس تا کمی پراآلومینیوس و قلیایی تا قلیایی-آهکی هستند [۱۳].

بر اساس نمودار $10000 * Ga/Al$ برحسب Zr , Ce , Nb و Y نمونه‌های پلوتون قلعه دژ در گستره گرانیت‌های نوع A قرار می‌گیرند. در نمودارهای تفکیکی محیط‌های زمین‌ساختی، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های درون صفحه‌ای واقع می‌شوند. براساس نمودار سه‌تایی $Y - Nb - 3Ga$ ، این سنگ‌های گرانیتی در گستره $A2$ قرار می‌گیرند [۱۳] (شکل ۳). بررسی‌های ایزوتوپی نیز حاکی از یک خاستگاه غالب گوشته‌ای و یک بخش پوسته‌ای برای گرانیت قلعه‌دژ است [۱۴].

روش جداسازی زیرکن

جدایش زیرکن از نمونه گرانیتی قلعه‌دژ به روش معمول به

صورت زیر انجام شده است: نخست حدود ۵ کیلوگرم نمونه گرانیت بدون رگه و آثار تجزیه را انتخاب و سپس در آسیای فکی خرد و پس از الک کردن آن بخشی از نمونه با اندازه‌های بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون را پس از شستشو با آب و خشک کردن انتخاب کرده و با استفاده از مغناطیس‌سنج دانشگاه سالزبورگ برای عمل جدایش کانی‌های آهن‌دار از کل این ذرات صورت گرفت، سپس کانی‌های سنگین را با ریختن بخش روشن و نامغناطیس در مذاب‌های سنگین (برموفرم) جدا کردیم و پس از شستشو با استن و آب مقطر و خشک کردن در آون در پایان با استفاده از میکروسکوپ، دانه‌های زیرکن را از کانی‌های سنگین روشن دیگر جدا کردیم. این مرحله با توجه به ریز بودن دانه‌های زیرکن بایستی به دقت و با صرف وقت زیاد صورت می‌گرفت و تا حد ممکن دانه‌های زیرکن سالم و بدون میانبار انتخاب شدند. سپس دانه‌های زیرکن جمع‌آوری شده را با استفاده از چسب اپوکسی دو جزیی و تثبیت آن روی لام، با استفاده از یک میکروسکوپ عبوری با بزرگنمایی عدسی شیئی $20\times$ و $40\times$ بررسی کردیم. همچنین برای بررسی دقیق ریخت‌شناسی دانه‌های زیرکن با میکروسکوپ الکترونی روبشی تعداد ۱۴ دانه زیرکن روی صفحه مخصوصی چسبانده و با کربن پوشاندیم. بررسی روی دانه‌های شکسته نشده انجام گرفت و نیز مختصات $I.A$ و $I.T$ (ضریب آلکالینیتی و ضریب گرمایی)، طول و عرض دانه‌ها و نیز منطقه‌بندی و نفوذی تعیین شدند.

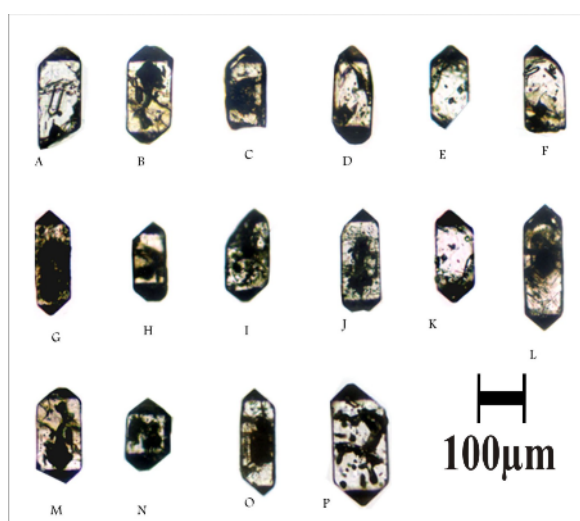


شکل ۳ در نمودار $10000*Ga/Al$ نسبت به $Y + Zr + Ce + Nb$ نمونه‌های پلوتون قلعه دژ در گستره گرانیت‌های A-Type قرار می‌گیرند. براساس نمودار سه‌تایی $Y - Nb - 3Ga$ این سنگ‌های گرانیتی در گستره A2 قرار می‌گیرند.

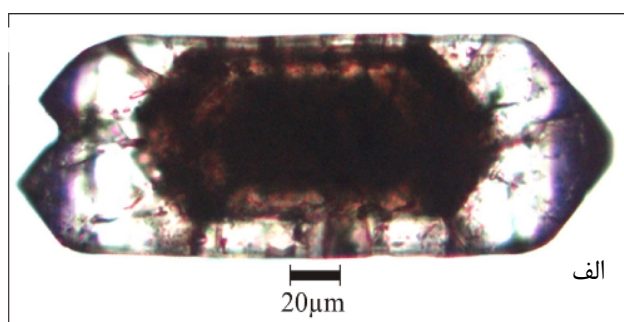
زیرکن در گستره P5 و به میزان کمتر در گستره‌های S24 و S25 رده‌بندی ریخت‌شناسی زیرکن (پوپین، ۱۹۸۰، [۵]) قرار می‌گیرند (شکل ۴، ۵ و ۶). رنگ دانه‌های زیرکن سبز تیره تا سرخ متمایل به قهوه‌ای و بیرنگ، شفاف- نیمه شفاف است.

بررسی ریخت‌شناسی زیرکن‌های توده گرانیتی قلعه‌دژ

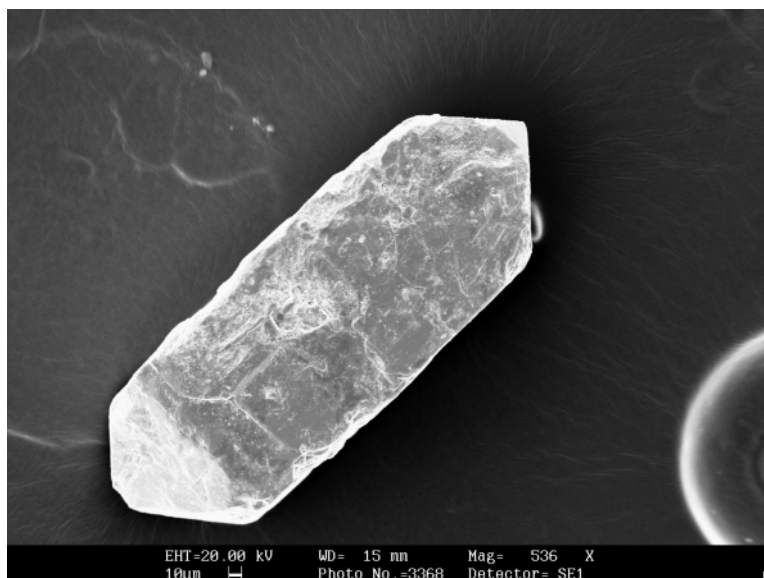
در راستای این بررسی‌ها، نخست در حدود ۳۳۰ نمونه از دانه‌های زیرکن جدا شدند و از بین آنها صد دانه سالم و بدون آثارگردشگی را جدا کردیم. در بررسی انجام شده روی این صد دانه زیرکن جدا شده از گرانیت قلعه‌دژ، بیشتر دانه‌های



شکل ۴ بلورهای زیرکن از سنگ‌های گرانیتی قلعه‌دژ (A:P5، حاوی میانبار آپاتیت)، (B:P5، با میانبار مذاب و شکستگی)، (C:P5 دارای ماکل و منطقه‌بندی)، (D:S24، با میانبار مذاب)، (E:P5، دارای میانبار)، (F:S25، با میانبار آپاتیت کانی‌های دیگر)، (G:P5، حاوی میانبار مذاب)، (H:S25، دارای میانبار مذاب)، (I:S25، محتوی میانبار مذاب)، (J:S24، با میانبار مذاب)، (K:S25، حاوی میانبار و شکستگی)، (L:P5، دارای منطقه‌بندی و متمکیت)، (M:S25 محتوی میانبار مذاب و شکستگی)، (N:S24، با میانبار مذاب)، (O:S25، منطقه‌بندی، متمکیت، دارای میانبار مذاب و شکستگی)، (P:P5، حاوی میانبار مذاب و شکستگی).



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ عبوری از الف) یک دانه زیرکن دارای منطقه‌بندی مشخص، ماکل، آثار متممیکت شدن و میانبار آپاتیت ب) یک دانه زیرکن دارای میانبارهای مذاب (MI) و آپاتیت (Ap).



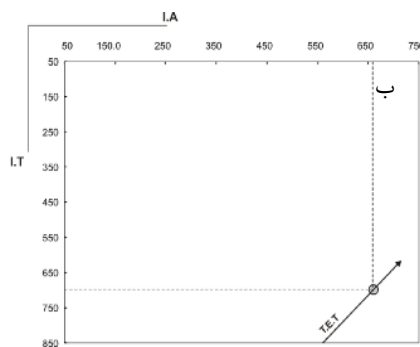
شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از دانه‌ی زیرکن وابسته به پلوتون قلعه‌دژ.

پهنا ۲/۲۷-۱/۴۶ بوده است. شاخص I.A و I.T به ترتیب ۶۶۰/۵ و ۷۰۰ است و دارای یک روند تحول گونه‌شناختی^۲ (T.E.T) برابر با ۴۵/۱ درجه است که از نقطه میانی (I.A, I.T) با شیب ST/SA (انحراف استاندارد شاخص T / T انحراف استاندارد شاخص A) ترسیم می‌شود که برابر با تانژانت زاویه بین محور T.E.T و محور I.A است (شکل ۷) و در روند گرانیت‌های قلیایی قرار می‌گیرد (شکل ۱). با توجه به رده‌بندی پوپین (۱۹۸۰) [۵] شکل دانه‌های زیرکن این گرانیت‌ها نشان

دانه‌های زیرکن دارای منطقه‌بندی هم مرکز ترکیبی به موازات سطوح منشوری بوده (شکل L ۴ و ۵) که بیانگر جدایش بلورین و ماهیت ماگمایی زیرکن است [۱۵]، به طوریکه رنگ بخش مرکزی آن تیره بوده است که حاصل تمرکز مواد رادیواکتیو در مرکز آن است و گاهی در بخش میانی آثار تخریب حاصل واپاشی مواد اورانیوم‌دار (متممیکت) به صورت شکستگی به چشم می‌خورد (شکل ۵ و ۴L). دانه‌های زیرکن حاوی میان‌بارهایی از آپاتیت (شکل A ۴ و ۵) و مذاب (شکل D, G ۴ و ۵) هستند. طول بلورهای زیرکن ۳۶۰ - ۱۷۶ میکرومتر و پهنای آنها ۶۴-۱۷۶ میکرون‌متر و نسبت طول به

محسوب می‌شود، ولی این تمرکز تا حدودی به محتوی حلال نیز بستگی دارد [۱۸، ۱۹] بنابراین محتوای Zr مذاب و ترکیب کانی‌های زیرکن می‌توانند به عنوان زمین دماسنجی‌های شیمیایی مستقل برای برآورد دمای ماگما مورد استفاده قرار گیرد. برای استفاده از این روش بایستی شرایط زیر وجود داشته باشند [۱۷]:

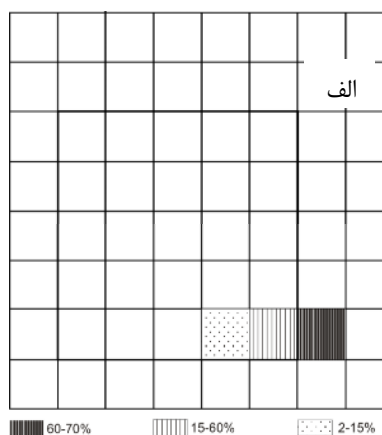
- ماهیت ماگما بایستی متآلومینوس باشد
- جمعیت زیرکن بایستی حاوی گزنوکریست یا به ارث برده باشد.
- دانه‌های زیرکن بایستی در کل سنگ توزیع همگن و یکنواختی داشته باشند.
- نمودارهای دو تایی شاخص تفریق بر حسب عنصر کمیاب بایستی همبستگی منفی داشته باشند.



دهنده یک خاستگاه گوشته‌ایی برای آن است و بر اساس شکل بلور زیرکن (به عنوان زمین دماسنج) دمای تشکیل بلورهای زیرکن در حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین نبود هم رشدی هیدروزیرکن نیز موید یک ماگمای خشک است. وجود بیوتیت هیچ منافاتی با ماگمای خشک ندارد. زیرا بیوتیت کانی اولیه فرایند جدایش نیست [۱۶]. در طول جدایش میزان آب موجود در ماگما افزوده می‌شود و در انتهای تبلور میزان آب کافی در ماگما برای تبلور بیوتیت وجود دارد [۱۶] و از طرف دیگر ماگما حاوی فلوئور است که می‌تواند همراه با آب وارد ساختار بیوتیت شود.

زمین دماسنجی بر مبنای دمای اشباع زیرکن

تمرکز و غلظت Zr در گرانیت‌ها بیشتر به وسیله حلالیت زیرکن در مذاب گرانیتی کنترل می‌شود. برای یک ترکیب معین مذاب، حلالیت زیرکن بیشتر به عنوان تابعی از دما



شکل ۲ الف) توزیع فراوانی ریختی زیرکن ب) نقطه میانگین (I.A, I.T) در نمودار (I.A, I.T) و روند تکامل ریخت‌شناسی محاسبه شده (T.E.T.)

Ln D Zr, zircon/melt: نسبت غلظت عنصر زیرکونیم در کانی زیرکن به غلظت زیرکون در مذاب است و 496,000 ppm نیز برابر با غلظت زیرکونیم بر حسب مقدار در میلیون در مذاب است. T بر حسب دمای کلون محاسبه می‌شود.

با توجه به ماهیت گرانیت، قلعه‌دژ از متآلومینوس تا کمی پراآلومینوس تشکیل شده [۱۳] و فاقد گزنوکریست و زیرکن به ارث برده است و از طرفی دانه‌های زیرکن دارای توزیع همگن هستند و در نمودار دوتایی سیلیس بر حسب زیرکونیم همبستگی منفی مشاهده می‌شود (شکل ۸)، می‌توانیم از روش محاسبه دما بر مبنای دمای اشباع زیرکن برای تعیین دمای

روش محاسبه دما بر مبنای دمای اشباع زیرکن^۳

واتسون و هریسون (۱۹۸۹) [۱۹] رابطه بین حلالیت زیرکن، دما و ترکیب مذاب را به صورت زیر اثبات کردند:

$$\ln D_{Zr, \text{ zircon/melt}} = \{-3.80 - [0.85(M - 1)]\} + 12900/T [K]$$

$$T_{Zr} = 12,900 / [2.95 - 1 - 0.85M + \ln (496,000 / Zr_{\text{melt}})]$$

M یک فاکتور ترکیبی است که بستگی به حلالیت زیرکن نسبت به SiO₂ و پراآلومینومی بودن مذاب (کسر کاتیونی) دارد و به طریقه زیر محاسبه می‌شود:

$$M = (Na + K + 2.Ca) / (Al.Si)$$

۲- رشد منشورهای غالب {100} در بلورهای زیرکن، بالا بودن شاخص گرمایی و کاهش عناصر U, P, Y را ضمن تبلور زیرکن نشان می‌دهند.

۳- رشد غالب هرم‌های زیرکن {101} بالا بودن آلکالینیتی را نشان می‌دهند که با شیمی سنگ همخوانی دارد.

۴- ریخت‌شناسی دانه‌های زیرکن بیانگر خاستگاه گوشته‌ایی بودن آنهاست.

۵- دمای تبلور این توده نفوذی بر اساس ریخت‌شناسی دانه‌های زیرکن حدود ۸۵۰ و بر مبنای دماسنجی اشباع زیرکن بین ۸۱۰ تا ۸۸۰ درجه سانتی‌گراد است.

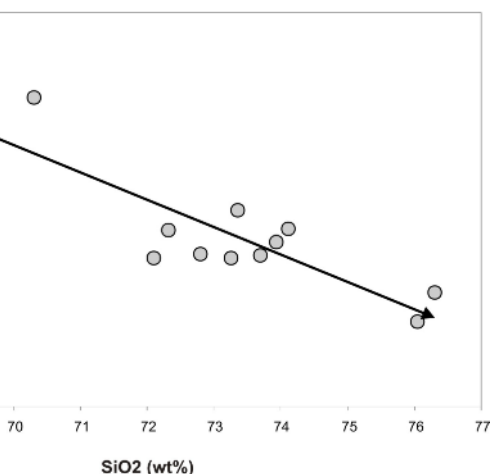
۶- با توجه به اینکه در مقاطع میکروسکوپی، پرتیت فراوان همراه با کانی بیوتیت (آنیت) مشاهده می‌شود و اینکه از لحاظ ژئوشیمیایی این گرانیت‌ها به A-type گرانیت‌ها وابسته‌اند، وجود یک بخش گوشته‌ایی در خاستگاه و ماگمایی خشک را برای این پلوتون تایید می‌کنند.

تبلور کانی زیرکن در گرانیت قلعه‌دژ استفاده کرد (جدول ۱) [۲۲].

برای این منظور می‌توان هم از روش محاسبه و هم از روش ترسیم نمونه‌های آنالیز شده به روش ICP-MS و ICP-AES روی نمودار استفاده کرد. چنانکه در شکل ۹ دیده می‌شود، دمای تبلور زیرکن در این توده گرانیتوئیدی بین ۸۱۰ تا حدود ۸۸۰ درجه سانتیگراد متغیر است که نشان دهنده یک دمای تبلور متوسط در حدود ۸۳۵ °C خواهد بود. بنابراین معلوم می‌شود که این دما با دمای به دست آمده بر مبنای ریخت‌شناسی زیرکن [۵] یعنی ۸۵۰ درجه سانتیگراد دارای همخوانی نزدیکی دارد.

برداشت

۱- نبود برهم رشدی هیدروزیرکن موید یک ماگمای خشک است.

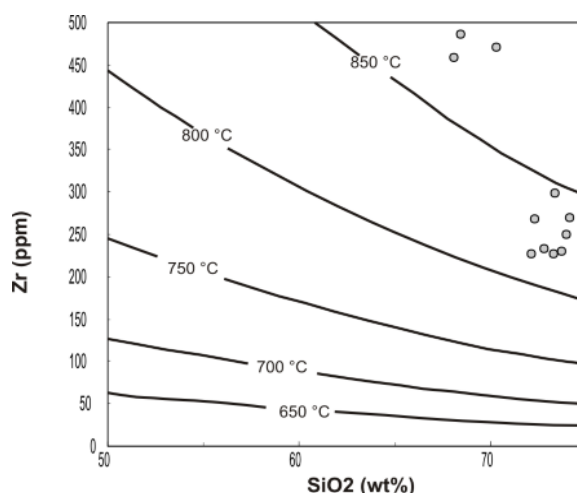


شکل ۸ نمایش همبستگی منفی بین SiO_2 و Zr.

جدول ۱ نتایج آزمایش IGP-MS/ES روی سنگ‌های گرانیتی قلعه‌دژ و نتایج محاسبات در دمای اشباع زیرکن و تعیین دمای تبلور زیرکن.

ELEMENT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Zr	Zr Saturation		
UNITS	%	%	%	%	%	ppm	M	Zr.sat	TZr.sat.C
N2-6	۷۳٫۶۹	۱۲٫۹۴	۰٫۹۵	۳٫۵	۵٫۳۵	۲۳۰٫۸	۱٫۴۷	۱۱۱٫۲	۸۱۲٫۹
N1-4	۶۸٫۰۷	۱۴٫۹۹	۲٫۴۶	۳٫۶۵	۵٫۲۵	۴۵۸٫۴	۱٫۶۷	۱۳۱٫۴	۸۶۲٫۵
N2-11	۶۸٫۴۴	۱۴٫۸	۲٫۴	۳٫۷۳	۵٫۱۹	۴۸۷	۱٫۶۸	۱۳۲٫۴	۸۶۷٫۹
Na2-11	۷۲٫۱	۱۲٫۹	۰٫۶۷	۳٫۴۳	۵٫۳۷	۲۲۶٫۴	۱٫۴۲	۱۰۶٫۴	۸۱۵٫۲
N3-8	۷۲٫۸	۱۳٫۴۷	۰٫۷۶	۳٫۵۶	۵٫۳۷	۲۳۲٫۷	۱٫۴۱	۱۰۵٫۱	۸۱۸٫۹
N4-2	۷۳٫۹۳	۱۳٫۷۵	۰٫۷۷	۵٫۸۱	۲٫۸۸	۲۴۹٫۹	۱٫۳۷	۱۰۱٫۹	۸۲۸٫۳
N2-4	۷۲٫۳۱	۱۳٫۶	۰٫۸۷	۳٫۸۸	۴٫۸	۲۶۸٫۵	۱٫۴۱	۱۰۵٫۸	۸۳۱٫۶
N4-3	۷۰٫۳	۱۳٫۸۱	۱٫۱۵	۳٫۶۸	۵٫۳۱	۴۷۰٫۴	۱٫۵۱	۱۱۵٫۲	۸۷۸٫۵
N1-2	۷۳٫۳۵	۱۳٫۳۹	۰٫۷۹	۳٫۳۶	۵٫۵۸	۲۹۹٫۱	۱٫۴	۱۰۴٫۷	۸۴۲٫۹

Na-2	۷۳٫۶۹	۱۲٫۹۴	۰٫۹۵	۳٫۵	۵٫۳۵	۲۳۰٫۸	۱٫۴۷	۱۱۱٫۲	۸۱۲٫۹
Na-3	۷۳٫۲۶	۱۳٫۱۶	۰٫۹۴	۳٫۵۶	۵٫۴۹	۲۲۷	۱٫۴۸	۱۱۲٫۱	۸۱۰٫۷



شکل ۹ در نمودار Zr برحسب SiO_2 دمای تشکیل در گستره ۸۲۰ تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد.

مراجع

- [8] Benisek A., Finger F., "Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: A microprobe study", Contributions to Mineralogy and Petrology 114 (1993) 441–451.
- [9] Soheili M., "Geological quadrangle map of the Khorramabad area, No: D 7. 1: 250 000", Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (1992).
- [10] Barr D., Roberts A. M., Highton A. J., Parson L. M., Harris, A. L. 1985 "Structural setting and geochronological significance of the West Highland Granitic Gneiss, a deformed early granite within the Proterozoic, Moine rocks of NW Scotland", Journal of the Geological Society, London (1985) 142, 663–75.
- [11] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran", Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397–412.
- [۱۲] شاکری آ. ۱۳۸۶، "تحلیل ساختاری منطقه دگرگونی غرب ازنا با تاکید بر مطالعات ریزساختاری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۹۰ صفحه.
- [13] Shabanian N., Khalili M., Davoudian, A.R., "Petrography and geochemistry of mylonitic granite of Ghaleh-Dezh, NW Azna, Sanandaj-Sirjan zone, Iran", Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen (2009), 185/3, 233–248.
- [14] Shabanian N., Davoudian A.R., Khalili M., "Petrogenesis of post-collisional granitoid of Ghaleh-Dezh NW Azna, Sanandaj-Sirjan zone, [1] Heaman L.M., Bowins R., Crocket J., "The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies" Geochimica et Cosmochimica Acta 54 (1990) 1597–1607.
- [2] Hoskin P.W.O., Schaltegger U., "The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis", In: Hanchar J.M. and Hoskin, P.W.O. (eds) Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 53 (2003) 27–62.
- [3] Belousova E.A., Walters S., Griffin W.L., O'Reilly S. Y. and Fisher N. I., "Zircon trace-element compositions as indicators of source rock type", Contributions to Mineralogy and Petrology 143 (2002) 602–622.
- [4] Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.W.O., Kinny P., "Atlas of zircon textures. In: Zircon", (edited by J.M. Hanchar and P.W.O Hoskin), Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Mineralogical Society of America 53 (2003) 468–500.
- [5] Pupin J.P., "Zircon and granite petrology" Contributions to Mineralogy and Petrology 73 (1980) 207–220.
- [6] Speer J. A., "Zircon" Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy 5 (1980) 67–112.
- [7] Vavra, G., "On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: A cathodoluminescence study" Contributions to Mineralogy and Petrology 106 (1990) 90–99.

Iran: Nd-Sr isotope evidence", Abstract Volume 6th Swiss Geoscience Meeting (2008) 103-104.

[15] Vry J., Compston W., Cartwright I., "*Shrimp II dating of zircons and monazites: reassessing the timing of high-grade metamorphism and fluid flow in the Reynolds Range, northern Arunta Block*", Australian Journal of metamorphic Geology 14 (1996) 335-350.

[16] King P.L., White A.J.R., Chappell B.W., Allen C.M., "*Characterization and Origin of Aluminous A-type Granites from the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia*", Journal of Petrology (1997) 371-391.

[17] Janousek V., "*Saturnin, R. Language script for application of accessory-mineral saturation models in igneous geochemistry*", Geological Carpathica 57 (2006) 131-142.

[18] King P. L., Chappell B. W., Allen C. M., White A. J. R., "*Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite*", Australian Journal of Earth Sciences 48 (2001) 501-514.

[19] Watson E.B., Harrison T.M., "*Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types*", Earth and Planetary Science Letters 64 (1983) 295-304.

[20] Rottura A., Bargossi G. M., Caironi V., D'Amico C., and Maccarone, E., "*Petrology and geochemistry of late Hercynian granites from the Western Central System of the Iberian Massif*", European Journal of Mineralogy 1 (1989) 667-683 .

[21] Gehmlich M., Drost K., "*Cadomian and Early Paleozoic Magmatic Events: Insights from Zircon Morphology and Geochemical Signatures of I- and S-Type Granitoids (Saxo-Thuringia/Bohemian Massif/Central Europe)*", International Geology Review 47 (2005) 1287-1297.

[22] Davoudian A. R., Hamedani A., Shabanian N., Mackizadeh M. A., "*Petrological and geochemical constraints on the evolution of the Cheshmeh-Sefid granitoid complex of Golpayegan in the Sanandaj-Sirjan zone, Iran*", Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen 184/2 (2007) 117-129.