

سنگ‌زایی گرانیتوئیدهای پتاسیک مجموعه نفوذی کال کافی

(شمال خاوری انارک) با استفاده از شاخصهای کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

نوشته: جمشید احمدیان*، محمد هاشم امامی**، محمدرضا قربانی* و مامورو موراتا***

* دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ ** سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران؛

*** بخش علوم زمین، دانشگاه ناروتو- ژاپن

Mineralogical-Geochemical characteristics of Potassic Granitoid in regard with other Granitoid in Kal-e Kafi complex (NE. Anarak)

By: J. Ahmadian*, M. H. Emami**, M. R. Ghorbani* & M. Murata***

* Faculty of Basis Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran; ** Geological Survey of Iran, Tehran, Iran;

*** Department of Geosciences, Naruto University of Education.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۵/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۱۱/۱۷

چکیده

مجموعه گرانیتوئیدی کال کافی (شمال خاوری انارک) در زون ساختاری ایران مرکزی موسوم به بلوک یزد قرار دارند. این مجموعه، متشکل از طیف ترکیبی گسترده‌ای از گابرو تا گرانیت قلیایی با سن ائوسن میانی است. بررسی‌های سنگ‌نگاری، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی نشانگر آن است که گرانیتوئیدهای پتاسیک به‌عنوان یکی از اعضای این مجموعه، ویژگی‌های متمایزی را از خود نشان می‌دهند. از نظر ژئوشیمیایی گرانیتوئیدهای پتاسیک با مقادیر بالاتر پتاسیم و مقادیر پائین‌تر سدیم، کلسیم، تیتانیم، باریوم، استرانسیم و عناصر خاکی کمیاب از دیگر واحدهای کال کافی قابل تفکیک است. همچنین گرانیتوئیدهای پتاسیک دارای ویژگی آهنی هستند، حال آن که دیگر واحدهای نفوذی مجموعه کال کافی از ماهیت متیژی می برخوردارند. فراوانی پایین عناصر خاکی کمیاب در گرانیتوئیدهای پتاسیم بالا حاکی از آن است که این سنگها نمی‌توانند توسط فرایند تفریق ماگمایی بادیگر واحدها مرتبط باشند. این امر می‌تواند نشانگر نقش متفاوت فرایندهای سنگ‌زایی در شکل‌گیری آنها باشد. گرانیتوئیدهای پتاسیک احتمالاً از ذوب بخشی سنگهای پوسته‌ای به‌وجود آمده‌اند.

کلیدواژه‌ها: گرانیتوئید پتاسیک، کال کافی، تفریق ماگمایی، ذوب بخشی، الگوی عناصر خاکی کمیاب، ایران

Abstract

Kal-e Kafi granitoid complex is a part of Central Iranian structural zone called Yazd block. This complex is composed of a wide spectrum of plutonic rocks ranging from gabbro to alkali granite with age range of Upper Eocene-Lower Oligocene. Potassic granitoid shows geochemical and mineralogical characteristics distinct from other plutonic rocks in the complex. The potassic granitoids are peralkaline and ferroan while other plutonic rocks in the complex are alkaline to calc-alkaline and magnesian. With respect to REE abundances and patterns, the potassic rocks of the complex are different from other Kal-e Kafi granitoids. Low REE abundances of the potassic granitoids indicate that the rocks could not be related to other plutonic bodies through magmatic differentiation. This would probably demonstrate that different petrogenetic processes were involved in petrogenesis of the potassic granitoids. The potassic granitoids are likely to be the consequence of crustal partial melting.

Key words: Potassic Granitoid, Kal-e kafi, Magmatic Differentiation, Partial Melting, REE Pattern

۱- مقدمه

بخشی (Eggins & Hensen, 1987) و دیگری حاکی از نقش اساسی

ذوب بخشی (Bullen and Clyne, 1990) است. ویژگی پتاسیم بالا

در سنگها معمولاً به‌عنوان نشانه‌ای از دخالت مذابهای پوسته‌ای تلقی شده

به‌طور کلی در خصوص تکوین سنگهای ماگمایی اسیدی بویژه

گرانیتوئیدها دو دیدگاه وجود دارد که یکی مبتنی بر نقش اصلی تبلور

ز سمت خاور به گدازه‌های بازی تا اسیدی آندزی بازالت- آندزیت- تراکیت و داسیت و توفهای همراه آنها محدود می‌شود (شکل ۲). گدازه‌ها و توفهای مذکور به ائوسن زیرین- میانی نسبت داده شده‌اند. مجموعه پلوتونیک کال کافی از شمال باختری به مجموعه دگرگونی انارک محدود می‌شود. این مجموعه در رخساره شیبست سبز دگرگون شده و مطالعات زمین گاهشماری توسط (Mohafez & Reyre 1972) با روش Rb-Sr سنی در حدود ۸۴۵ میلیون سال (پروتروزویک پسین) و با استفاده از روش K-Ar سنهای 13 ± 203 و $190-183$ میلیون سال (تریاس) را نشان داده است. آثار فسیلی مشاهده شده در مرمر لاک (یکی از بخشهای چهارگانه مجموعه دگرگونی انارک) سن کامبرین پیشین را برای این واحد نشان می‌دهد. باباخانی و همکاران (۱۳۷۸) سن مجموعه دگرگونی انارک را پروتروزویک پسین- کامبرین پیشین در نظر گرفته‌اند. گرانیتویدهای پتاسیک مورد مطالعه بخشی از واحد مونزونیت- سینیت هستند (شکل ۲). این گرانیتویدها سرشار از فلدسپار قلیایی بوده و با رنگ صورتی خود از سنگهای پیرامون متمایز می‌شوند. انواع پگماتیتهای این گرانیتویدها به صورت دایکهای با پهنای حدود ۳۰ سانتی‌متر در راستای گسلهای امتداد لغز (چپگرد) ناحیه جایگزین شده‌اند.

۳- سنگ‌نگاری گرانیتویدهای پتاسیک

گرانیتویدهای پتاسیک از نظر سنگ‌شناسی در محدوده گرانیت قلیایی تا کوارتزسینیت قلیایی و سینیت قلیایی تغییر می‌کنند. این گرانیتویدها دانه متوسط تا پگماتیتهای بوده و بافت‌هایی نظیر میکروگرافیک، میکروپرتیت و پوی کلیتیک در آنها رایج است. حضور بافت میکروپرتیت، نشانه تبلور سنگ تحت فشار بخار آب پایین (کمتر از ۲ کیلو بار) در سیستم دوتایی آلپیت - ارتوکلاز است. از سوی دیگر، بافت میکروگرافیک محصول تبلور همزمان کوارتز - فلدسپار قلیایی از مایعی با ترکیب مشابه نقطه یونکتیک (یا کوتکتیک) است. از نظر کانی‌شناختی، گرانیتویدهای پتاسیک شامل کوارتز، فلدسپار قلیایی (با ترکیب Or:86.6 تا Or:94.1) و پلاژیوکلاز با ترکیب آلپیت (در هسته An:7 و به سمت حاشیه تا An:0.5 در تغییر است). کانیهای مافیک شامل بیوتیت (مطابق با رده‌بندی 1960 Foster, 1960 Mg-Biotite) و آمفیبول (مطابق با Leake et al., 1997 - Magnesianhornblende) است. در عین حال مقادیر ناچیزی از بلورهای کلینوپروکسن (دیوپسید) در سینیت‌های قلیایی قابل رؤیت است. کانیهای فرعی گرانیتویدهای پتاسیک شامل زیرکن، اسفن و مگنتیت است. در شکل ۳ گرانیتویدهای پتاسیک از نظر کانی‌شناسی با دیگر گرانیتویدهای کال کافی مقایسه شده و تمایز گرانیتویدهای مذکور از دیگر واحدهای نفوذی، به‌خوبی در این نمودار

است (Pitcher, 1997). از سوی دیگر، درجات بالای تفریق ماگمایی نیز می‌تواند عامل افزایش چشمگیر پتاسیم در ماگما باشد. مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه کال کافی توسط (Adib 1972)، تکنواکسپورت (Aistov et al., 1981 و Yakoveko et al., 1984)، سازمان انرژی اتمی (۱۳۶۵)، باباخانی و همکاران (۱۳۷۸) و امینی و سهیلی (۱۳۷۹) به‌طور عمده بر پتانسیلهای معدنی ناحیه معطوف بوده و سنگ‌زایی گرانیتوید کال کافی مورد توجه قرار نگرفته است. سنگهای گرانیتویدی پر سیلیس (محتوی ۶۲ تا ۷۴/۵ درصد وزنی SiO_2) منطقه کال کافی از نظر ترکیب شیمیایی عناصر اصلی و فرعی در دو گروه متمایز جای می‌گیرند. به‌رغم جایگزین گرانیتویدهای مذکور در یک مجموعه زمین‌شناسی، ترکیب متفاوت آنها گویای پدیده‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناختی متفاوتی است که در شکل‌گیری آنها دخالت داشته است. احمدیان و همکاران (۱۳۸۳) براساس ژئوشیمی عناصر اصلی، به بررسی تمایز بین گرانیتویدهای پتاسیک از سایر گرانیتویدهای موجود در مجموعه کال کافی پرداخته‌اند. در این مقاله با استفاده از طیف گسترده‌ای از عناصر فرعی شامل خاکهای کیمیا سنگ کل و تجزیه شیمیایی کانیهای موجود در این سنگها به بررسی جزئیات این پدیده می‌پردازیم.

۲- زمین‌شناسی منطقه

توده گرانیتویدی کال کافی در ۶۰ کیلومتری شمال خاوری انارک واقع شده و از نظر ساختاری، جزئی از زون ایران مرکزی (Stocklin, 1968) است. (Alavi 1991) در پهنه‌بندی دقیق ایران مرکزی، منطقه مذکور را بخشی از بلوک یزد می‌داند (شکل ۱) و تکنواکسپورت (Aistov et al., 1981; Yakovenko et al., 1984) در مطالعات ناحیه‌ای خود، کال کافی را جزئی از ماسیف انارک - خور محسوب کرده‌اند. گرانیتویدهای مورد مطالعه، بخشی از مجموعه پلوتونیک کال کافی است که طیف ترکیبی وسیعی از گابرو- مونزوگابرو تا گرانیت قلیایی را در برمی‌گیرد. شواهد صحرایی حاکی از آن است که قدیمی‌ترین واحد، بخش گابرو- مونزوگابرو و جوان‌ترین واحد، بخش گرانیتی است. در برداشتهای صحرایی نمونه‌های روشنی از قطع واحدهای قدیمی‌تر توسط واحدهای جوان‌تر مشاهده شده است. همچنین براساس مطالعات سن سنجی تکنواکسپورت (Aistov et al., 1981) با استفاده از روش K-Ar سنی در حدود $60 \text{ My} - 53$ (معادل با ائوسن میانی) برای این توده به‌دست آمده است که ۶۰ میلیون سال مربوط به بخش مونزوگابرو و ۵۳ میلیون سال به بخش کوارتز سینیت و گرانیتهاست. مجموعه پلوتونیک کال کافی

تغییرات سیلیس در گرانیتویدهای پتاسیک بین ۶۴ تا ۷۲ درصد وزنی است (جدول ۱). این گرانیتویدها با داشتن K_2O بالا از یک سو و مقادیر پایین FeO ، TiO_2 ، CaO ، Na_2O ، Al_2O_3 از سوی دیگر، از دیگر واحدهای پلوتونیک کال کافی متمایز هستند (شکل ۵).

همچنین فراوانی عناصر فرعی و کمیاب در گرانیتویدهای پتاسیم بالا به گونه‌ای است که آنها را از دیگر نمونه‌ها مجزا می‌سازد. با توجه به شکل ۶ گرانیتویدهای پتاسیک نسبت به دیگر انواع، کمترین مقدار Sr و Ba را دارند. فراوانی پایین Sr و Ba در گرانیتویدهای پتاسیم بالا در ارتباط با دو عامل می‌تواند باشد:

۱- پدید آمدن گرانیتویدهای پتاسیک از ماگمایی فلسیک که به شدت متحمل تبلور بخشی پلاژیوکلاز شده است.

۲- حضور پلاژیوکلاز به‌عنوان یک فاز به‌جای مانده (Residual) در سنگ منشأ و عدم شرکت این کانی در فرایند ذوب.

با استفاده از نمودار شاخص آگپایتی در برابر سیلیس (Liegeois et al., 1988)، ملاحظه می‌شود که نمونه‌های پتاسیم بالا (با اندیس آگپایتی بزرگ‌تر از ۱) در محدوده پر آلکالن قرار گرفته‌اند. در شرایطی که دیگر گرانیتویدهای کال کافی (با اندیس آگپایتی ۰/۸۷-۱) در محدوده قلیایی و بخشی از آنها (با اندیس آگپایتی کوچک‌تر از ۰/۸۷) در قلمرو کلسیمی - قلیایی قرار دارند (شکل ۷a). در مرحله بعد، با استفاده از رده‌بندی پیشنهادی (Frost et al., 2001)، ملاحظه می‌شود که گرانیتویدهای پتاسیک در محدوده آهنی قرار گرفته‌اند، حال آنکه دیگر واحدهای نفوذی کال کافی به‌طور عمده در محدوده منیزیمی واقع شده‌اند (شکل ۷b).

الگوهای به‌نمایش درآمده بر روی نمودار بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب برای دو نمونه از گرانیتویدهای پتاسیک به لحاظ شکل الگوها و فراوانی عناصر خاکی کمیاب، بسیار متفاوت از دیگر گرانیتویدهای مجموعه کال کافی است (شکل ۸). این پدیده شاهد دیگری بر نقش فرایندهای سنگ‌زایی متفاوت در تکوین این سنگها است. اول آنکه نسبت $(La/Yb)_{CN}$ (در گرانیتویدهای پتاسیک بین ۶-۸ بوده، حال آنکه این نسبت در دیگر واحدهای نفوذی بین ۱۸-۹ است. در ضمن بر خلاف انتظار، گرانیتویدهای پتاسیک به‌رغم این که به ظاهر از بالاترین درجه تفریق را در بین گرانیتویدهای مجموعه کال کافی دارند. (محتوی بالاترین میزان سیلیس بین ۶۴ تا ۷۲ درصد وزنی SiO_2)، دارای کمترین میزان فراوانی عناصر خاکی کمیاب است (شکل ۸). این نکته مبین آن است که گرانیتویدهای پتاسیک نمی‌توانند حاصل فرایند تفریق ماگمایی باشند که سایر واحدهای نفوذی منطقه را پدید آورده است و به نظر می‌رسد آنها محصول فرایند مستقلی باشند که احتمالاً ذوب بخشی

مشخص است. حضور همزمان اسفن + مگنتیت + کوارتز همراه با کلینوپروکسن یا آمفیبول در گرانیتویدهای پتاسیک، حاکی از بالا بودن فوگاسیته اکسیژن ماگمای سازنده آنها است (Wones, 1989). مطالعات میکروپروب رخساره‌های پگماتی، کانیهای کمیابی همچون روتیل نیوبیم‌دار (Niobian Rutile) با فرمول شیمیایی $(Ta)O_2$ و $(Ti \text{ و } Nb \text{ و } Fe^{2+})O_2$ و پاریزیت با فرمول $(Ce \text{ و } La)_2Ca(CO_3)_3F_2$ را نشان داده است.

۴- شیمی کانیها

گرانیتویدهای پتاسیک، علاوه بر آنکه از نظر ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی از دیگر واحدهای گرانیتویدی ناحیه متمایز هستند (به بخش ۵ نگاه کنید)، از جنبه ترکیب شیمیایی کانیها نیز از خصوصیات ویژه‌ای برخوردارند. فلدسپار قلیایی موجود در گرانیتویدهای پتاسیک نسبت به دیگر واحدهای نفوذی، به نحو مشخصی از مؤلفه ارتوکلاز غنی بوده و در عین حال بلورهای پلاژیوکلاز موجود در آنها از عضو آلایت بسیار غنی است (شکل ۴a). عکس این موضوع برای آمفیبولهای ناحیه مورد مطالعه مشاهده شده است. آمفیبول موجود در گرانیتویدهای پتاسیک از کمترین میزان عناصر قلیایی (Na+K) در مقایسه با آمفیبول موجود در دیگر واحدها برخوردار است. همچنین بیوتیت موجود در گرانیتویدهای پتاسیک ترکیب شیمیایی متمایزی را ارائه کرده و بیشترین میزان FeO و کمترین مقدار MgO را دارد. این نکته می‌تواند بازتاب از ماهیت آهنی (مطابق با تقسیم‌بندی Frost et al., 2001) واحدهای پتاسیک باشد (شکل ۴b).

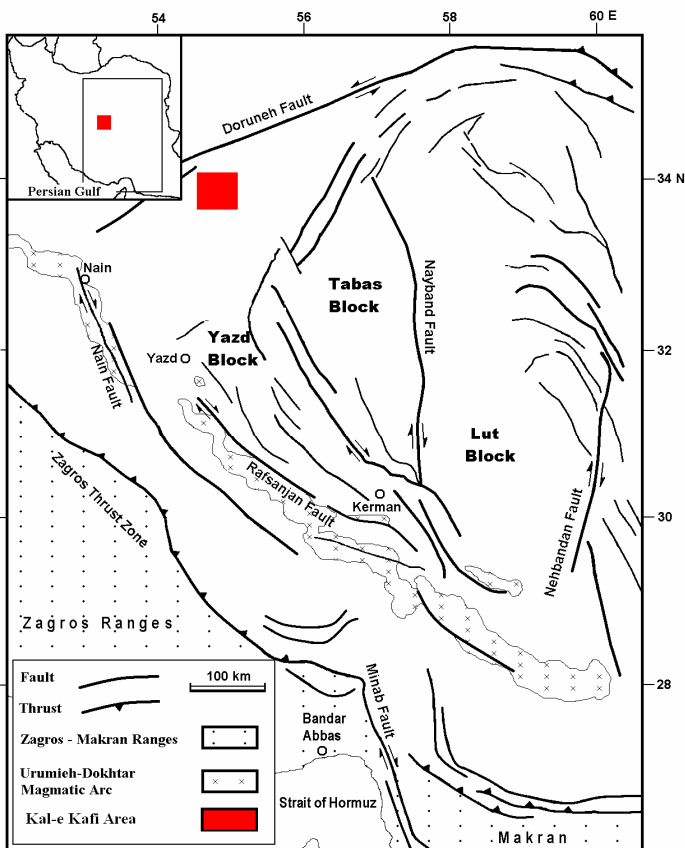
۵- ژئوشیمی و بحث

در بررسیهای انجام شده به منظور مطالعات سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی گرانیتوید کال کافی، ۷۵ نمونه از توده نفوذی، دایکها، سنگهای آتشفشانی مجاور با توده و زونهای دگرسانی برداشت شد. سنجش عناصر اصلی در نمونه‌های مذکور با روش XRF در دانشگاه Naruto ژاپن و عناصر فرعی و جزئی توسط ICP-MS و INAA در Actlabs کانادا صورت گرفته است. بررسیهای اولیه برای شناسایی فاز کانیهای موجود در نمونه‌های مورد مطالعه توسط دستگاه SEM مدل Camscan در بخش علوم زمین دانشگاه لیدز انجام شد و در مرحله بعد سنجش عناصر اصلی و فرعی کانیها به وسیله میکروپروب Cameca-sx-50 صورت پذیرفت. همچنین سنجش عناصر جزئی و خاکی کمیاب در کانیهای فرعی زیرکن، اسفن، آپاتیت، روتیل نیوبیم‌دار و پاریزیت توسط دستگاه LA-ICP-MS مدل Perkin-Elmer در دانشگاه لیدز انجام گرفته است.

هستند. با توجه به این که وابستگی نزدیکی بین گرانیتویدهای آهنی و محیطهای کشتی وجود دارد و همچنین زونهای فرورانش به عنوان محیط مناسبی برای تشکیل گرانیتویدهای منیزیمی مطرح هستند (Frost et al., 2001)، می توان گفت تمایزهای کانی شناسی - ژئوشیمیایی گرانیتویدهای پتاسیک از دیگر اعضای نفوذی مجموعه کال کافی می تواند برخاسته از محیط زمین ساختی متفاوت آنها باشد. به یقین اظهار نظر دقیق در مورد محیط تشکیل این مجموعه نفوذی پس از بررسی نسبتهای ایزوتوپی میسر خواهد بود.

تشکر و قدر دانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که در تأمین هزینه های تجزیه شیمیایی عناصر فرعی و خاکی کمیاب در کانادا مساعدت نموده اند، سپاسگزار می شود. لازم می دانیم از پرفسور Bruce Yardley در بخش علوم زمین دانشگاه لیدز انگلستان به دلیل فراهم نمودن امکان تجزیه های میکروپروب و LA-ICP-MS تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از پرفسور F.Meyer در مؤسسه کانی شناسی دانشگاه آخن به واسطه فراهم نمودن امکان تجزیه شیمیایی بخشی از نمونه ها، سپاسگزار می گردیم.



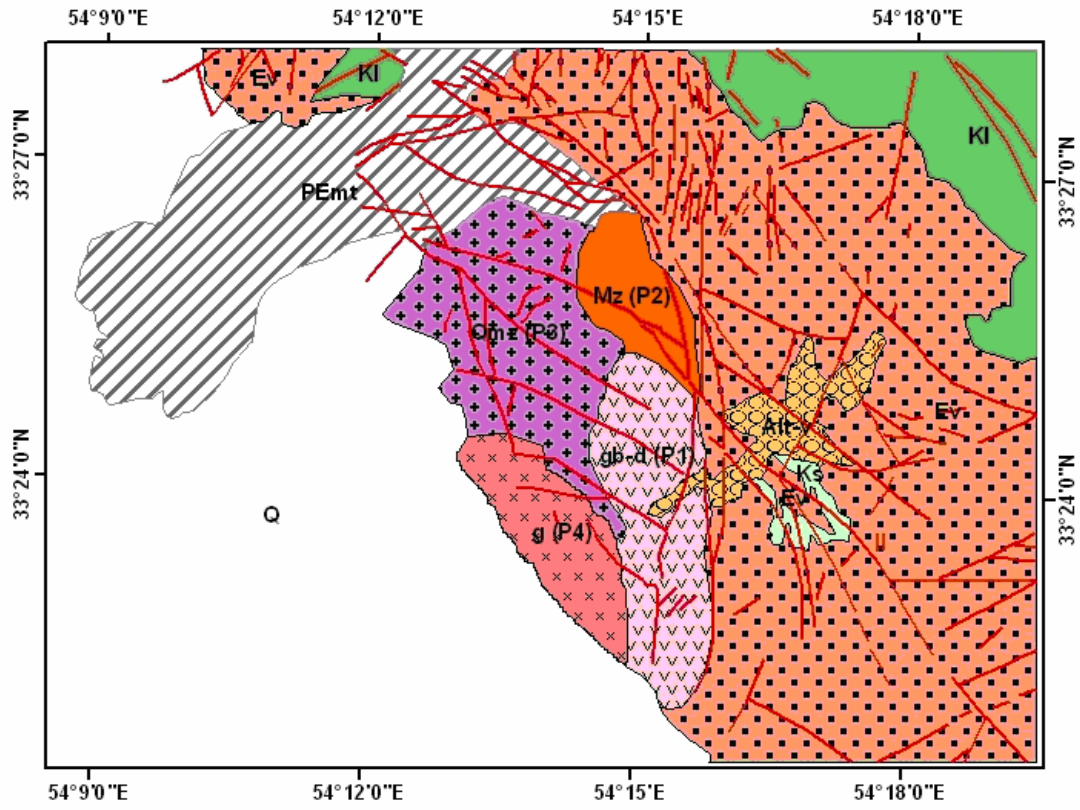
شکل ۱- موقعیت ناحیه مورد مطالعه در نقشه ساختاری ایران (Alavi, 1991)

سنگهای پوسته ای باشد. الگوی عناصر خاکی در یک نمونه از گرانیتویدهای پتاسیم بالا (نمونه ۱۸۸a) شکل مقعری را نشان می دهند که حاکی از تهی شدگی این نمونه از MREE نسبت به HREE است. این امر نشانگر نقش مهم آمفیبول در طی فرایند تفریق ماگمایی است. برخی از محققان ایجاد تقعر در الگوی عناصر کمیاب را به تبلور بخشی تیتانیت و آپاتیت نیز مرتبط دانسته اند (Thuy et al., 2004, Wu et al., 2003 و Hoskin, 2000).

۶- نتیجه گیری

مجموعه سنگهای پلوتونیک کال کافی واقع در شمال خاوری انارک، یکی از پدیده های ماگمایی وابسته به کوهزایی پیرنئین است که در زون ساختاری ایران مرکزی دیده می شود. این مجموعه از نظر سنگ شناسی طیف گسترده ای از سنگهای بازی (شامل گابرو و مونزوگابرو) تا واحدهای حدواسط (مانند دیوریت) و در نهایت اسیدی (همچون گرانیت قلیایی) را در بر می گیرد. از نظر ژئوشیمیایی، گرانیتویدهای مذکور متآلو مینوس بوده و دارای سرشت شوشونیتی تا کلسیمی - قلیایی پتاسیم بالاست. بررسیهای سنگ نگاری، ژئوشیمیایی و کانی شناسی مبین آن است که گرانیتویدهای پتاسیک به عنوان یکی از اعضای این مجموعه ویژگیهای متمایزی را از خود نشان می دهند. از نظر ژئوشیمیایی گرانیتویدهای پتاسیک با مقادیر بالاتر پتاسیم و مقادیر پایین تر سدیم، کلسیم، تیتانیم، باریم، استرانسیم و عناصر خاکی کمیاب از دیگر واحدهای کال کافی قابل تفکیک است.

فراوانی پایین عناصر خاکی کمیاب در گرانیتویدهای پتاسیک سبب شده است که فرایندی به جز تفریق (احتمالاً ذوب بخشی) را در تشکیل آنها مؤثر بدانیم. از سوی دیگر، گرانیتویدهای پتاسیک بر اساس تقسیم بندی (Frost et al., 2001) از نوع گرانیتویدهای آهنی محسوب می شوند، حال آن که دیگر واحدهای نفوذی کال کافی منیزیمی



راهنما

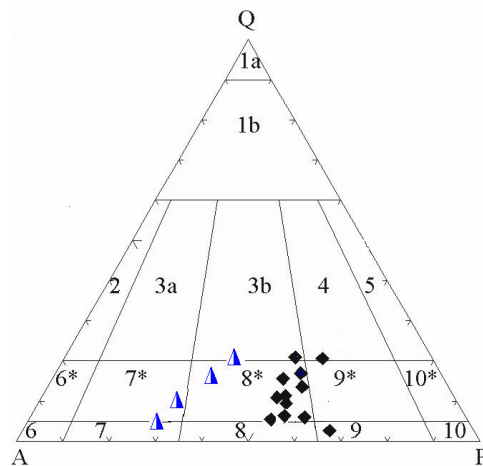
- گسل
- رسوبک کوانتزنی، گراول، ماسه و خرده سنگ، Q
- ××× گرانیت، میکروگرانیت - ائوسن فوقانی، g (P4)
- ⊕⊕⊕ کوارتز مونزونیت، کوارتز سبیت - ائوسن فوقانی، Qmz (P3)
- مونزونیت و سبیت - ائوسن فوقانی، Mz (P2)
- ▽▽▽ مونزودوریت، مونوگلیرو - ائوسن فوقانی، gb-d (P1)
- سنگهای آشفته‌شالی و آذر آواری - ائوسن زیرین - میانی، Ev
- ⊞⊞⊞ سنگهای آشفته‌شالی دگرسان شده - ائوسن زیرین - میانی، Alt-v
- ساند هفت نومان: آهک رودسیت دار - کزداسه فوقانی، KI
- ساند شاه کوه: آهک اورینولین دار - کزداسه پایین، KS
- ▨ سنگهای دگرگونه انارک: پروتروئیک فوقانی - پلاتوئیک زیرین، PEmt



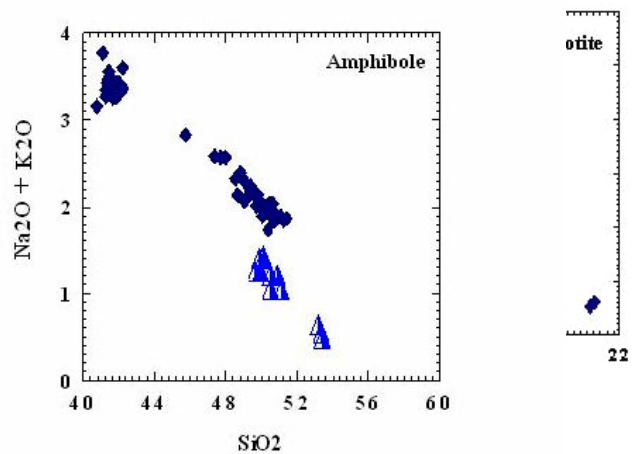
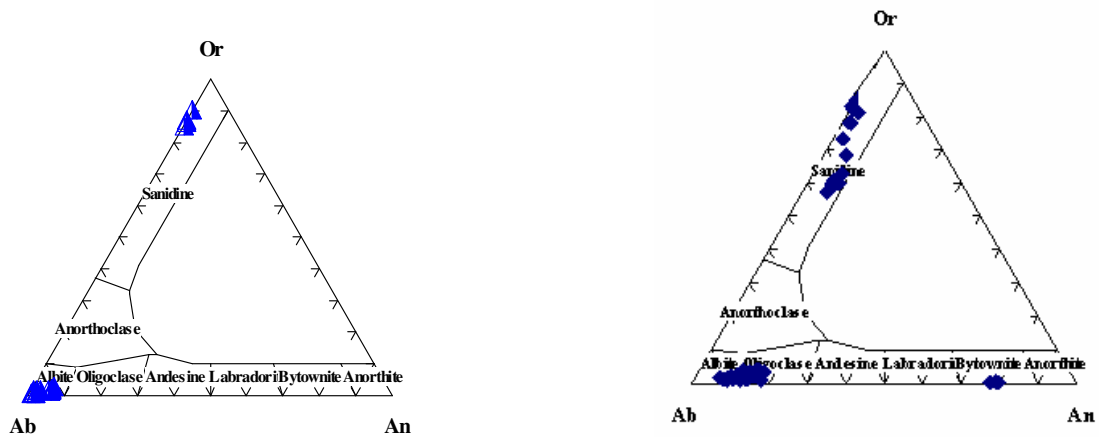
1:100,000



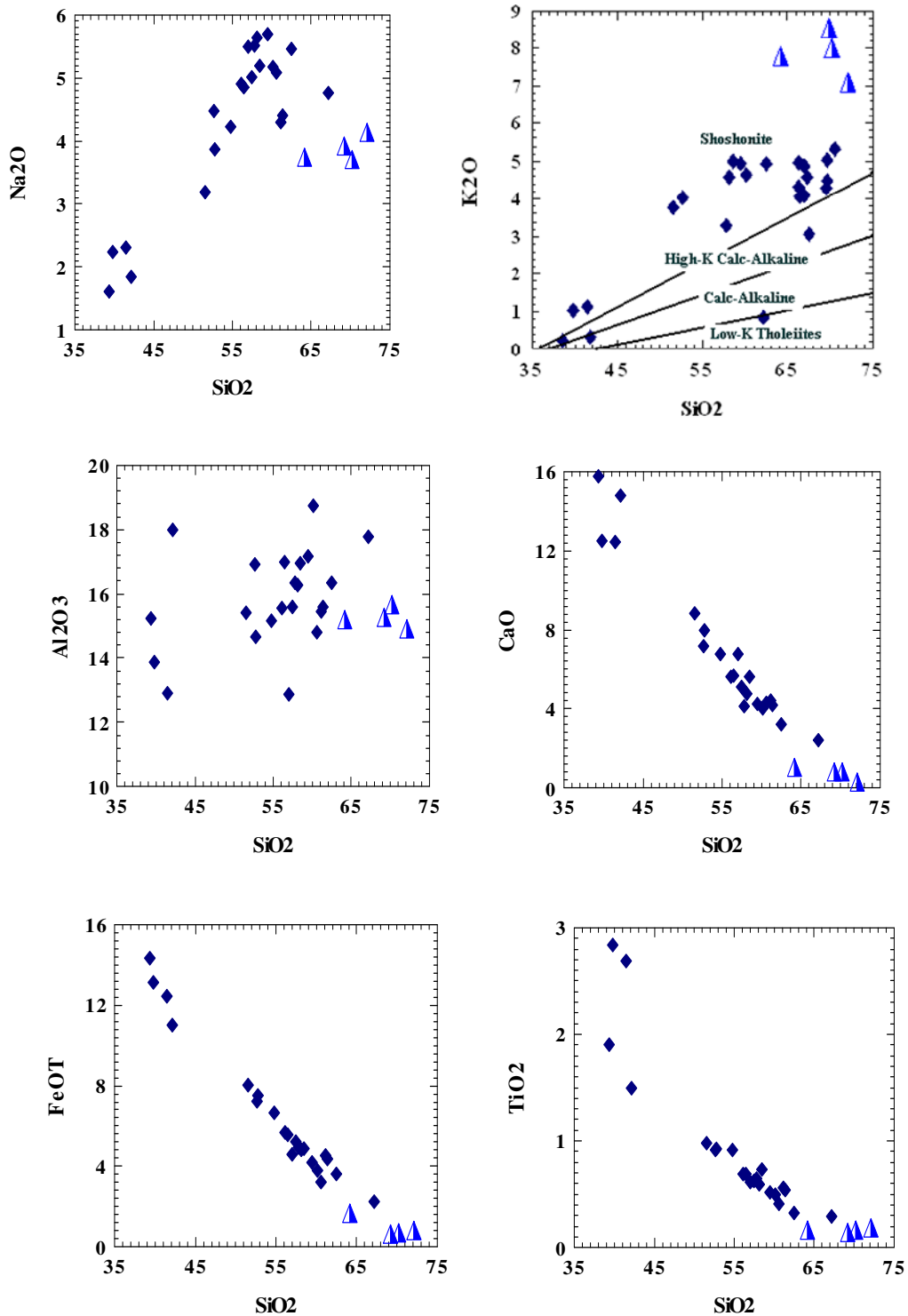
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه کال کافی (احمدیان-۱۳۸۳)



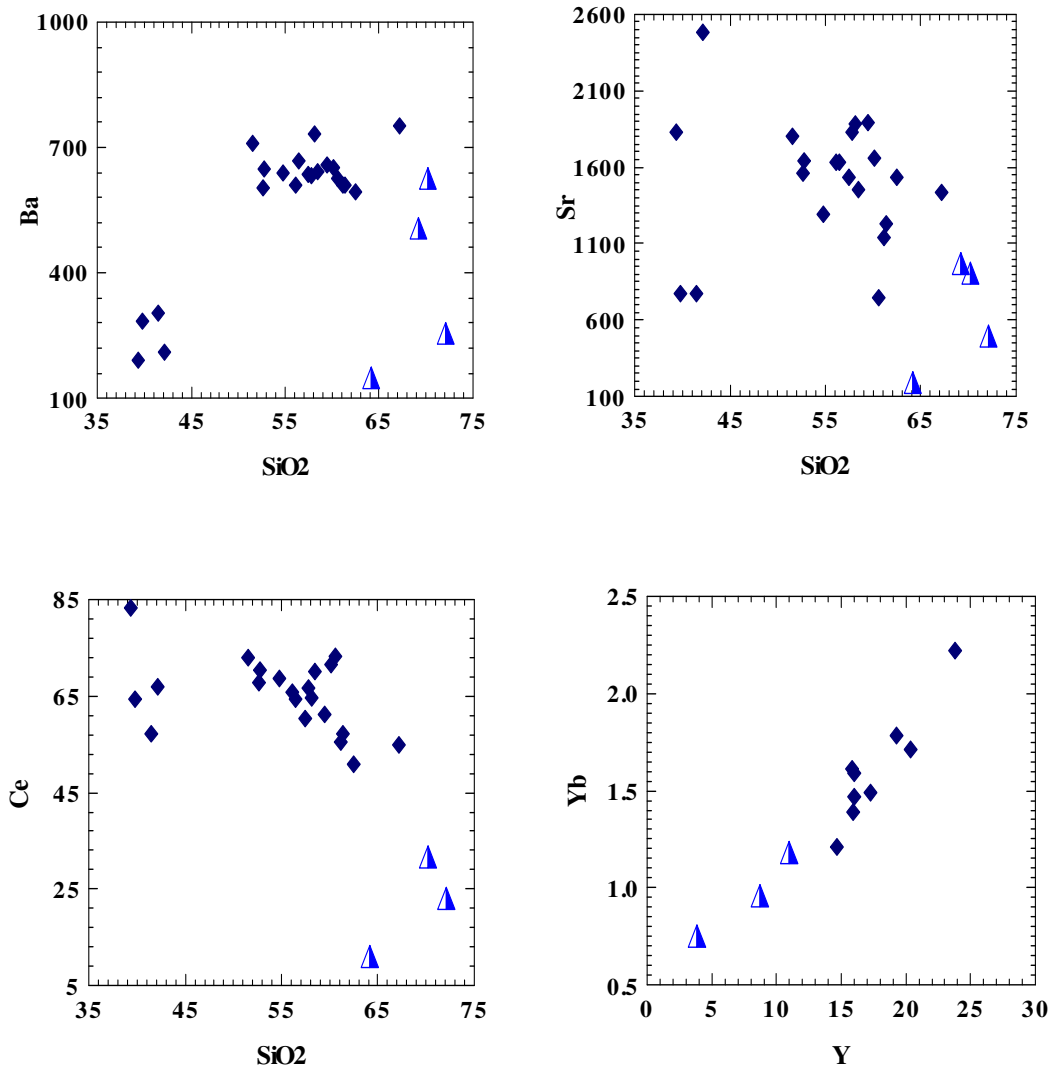
شکل ۳- مقایسه کانی شناسی مودال گرانیتویدهای پتاسیک (نماد \blacktriangle) و دیگر گرانیتویدهای مجموعه کال کافی (نماد \blacklozenge)



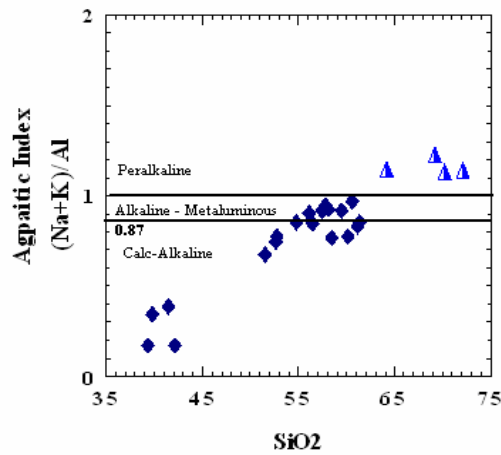
شکل ۴- مقایسه ویژگی‌های کانی شناسی گرانیتویدهای پتاسیک (\blacktriangle) با دیگر واحدهای گرانیتویدی در مجموعه کال کافی (\blacklozenge)



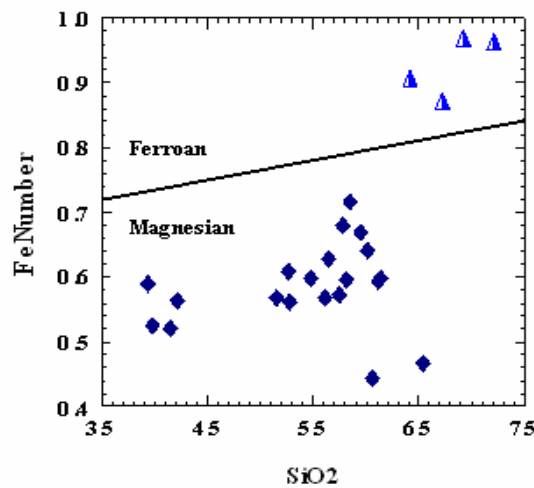
شکل ۵- نمودارهای هارکر عناصر اصلی در مجموعه گرانیتویدی کال کافی نمادها مانند شکل ۴ است.



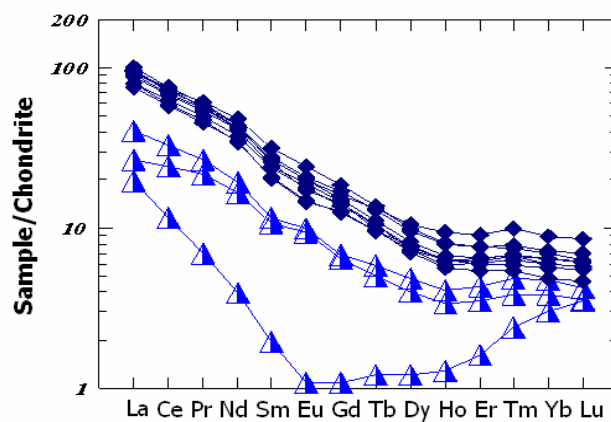
شکل ۶- نمودارهای تغییرات عناصر فرعی و خاکی کمیاب در مجموعه گرانیتویدی کال کافی



شکل ۷a - نمودار ژئوشیمیایی شاخص آکپایتی که تمایز گرانیتویدهای پتاسیک از دیگر گرانیتویدها در مجموعه کال کافی را نمایش می‌دهد (Liegeois et al., 1998)



شکل ۷b - نمودار ژئوشیمیایی تمایز گرانیتویدهای پتاسیک آهنی از دیگر گرانیتویدهای مجموعه کال کافی که ماهیت منیزی دارند (Frost et al., 2001)



شکل ۸ - مقایسه الگوی عناصر خاکی کمیاب در گرانیتویدهای پتاسیک و دیگر گرانیتویدهای مجموعه کال کافی

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی گرانیتویدهای پتاسیک منطقه کال کافی

Sample	187b	188a	190a	190ag	Sample	187b	188a	190a	190ag
SiO ₂	72.12	64.22	70.2	69.23	Y	8.7	3.8	11	*
TiO ₂	0.19	0.16	0.16	0.14	Th	9.08	15.9	40.7	19.6
Al ₂ O ₃	14.9	18.2	15.68	15.28	U	3.45	42.4	9.64	15
Fe ₂ O ₃	0.48	1.08	0.42	0.4	Co	4	2	*	94.4
FeO	0.36	0.69	0.31	0.28	V	31	7	11	13.1
FeOT	0.79	1.66	0.69	0.64	Cu	55	11	11	20.9
MnO	0.01	0.02	0.02	0.01	Pb	96	20	9	21.9
MgO	0.03	0.17	0.27	0.02	Zn	106	*	*	13.5
CaO	0.3	1.02	0.81	0.82	Bi	0.7	6.7	2.5	2.2
Na ₂ O	4.14	5.65	3.7	3.93	AsI	0.993	0.925	0.969	0.893
K ₂ O	7.1	7.76	8.01	8.45	La	9.78	7.19	14.8	16.1
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.04	0.03	Ce	23.2	11.2	31.8	*
L.O.I	0.31	0.92	0.34	0.56	Pr	2.95	0.96	3.64	7.8
Total	99.91	99.81	99.92	99.11	Nd	11.9	2.78	13.8	17.6
K ₂ O/Na ₂ O	1.71	2.07	2.16	2.15	Sm	2.47	0.45	2.69	*
Na ₂ O+K ₂ O	11.24	11.51	11.71	12.38	Eu	0.813	0.094	0.862	*
Ba	256	149	625	505.2	Gd	1.96	0.33	2.09	*
Rb	87	190	118	123.3	Tb	0.29	0.07	0.34	*
Sr	495	187	908	973.7	Dy	1.53	0.46	1.83	*
Cs	1.1	14.1	3.2	*	Ho	0.29	0.11	0.35	*
Ga	20	29	18	20.7	Er	0.88	0.4	1.08	*
Tl	0.38	0.83	0.27	7	Tm	0.138	0.086	0.174	*
Ta	1.21	9.81	1.16	6.7	Yb	0.96	0.75	1.18	*
Nb	7.4	33.3	10.7	10.7	Lu	0.136	0.134	0.161	*
Hf	9.8	4.8	3.4	4.2	(La/Yb) _{CN}	6.8	6.39	8.37	*
Zr	435	42	93	91.5	Eu/Eu*	1.14	0.75	1.12	*

کتابنگاری

احمدیان، ج.، امامی، م. ه.، قربانی، م. ر.، لطفی، م.، ۱۳۸۳- معرفی گرانیتویدهای پتاسیک در مجموعه ولکانو - پلوتونیک کال کافی (شمال خاوری انارک) و نحوه تشکیل آنها، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، خلاصه مقالات.

باباخانی، ع.، رادفر، ج.، مجیدی، ج.، ۱۳۷۸- مطالعات زمین شناسی و اکتشافات طلا، مس و سایر عناصر فلزی در نواحی کال کافی- خونی، طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی

References

- Adib, D., 1972- Mineralogische untersuchungen in der oxydations-zone der lagerstätt Tschah–Khuni , Anarak ,Zentral Iran,Inaugural- Dissertation , Heidelberg – Tehran , 194P.
- Aistov, L., Melnikov, B., Krivyakin, B., Morozov, L., 1984 -Geology of the Khur area (central Iran), Explanatory text of the Khur quadrangle map 1:250,000
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the paleo – Tethys remnants in northeastern Iran,Geol . Soc. of Amer. Bull., 103: 983 –9
- Bullen, T. D. & Clynne, M. A., 1990 -Trace element and isotopic constraints on magmatic evolution at Lassen center,J.of Geophysical Research 95:19671- 19691
- Cerny, P., Chapman, R., Masau, M., 2000- Two-Stage exsolution of a Titanian phase in Niobian Rutile (Sc,Fe³⁺) (Nb,Ta) O₄ From Southern Norway, Can.Mineral.,38:907-913
- Eggins , J. & Hensen, B. J., 1987- Evolution of mantle – derived Augite–Hypersthene granitoid by Crystal–Liquid differentiation: Eastern Australia, Lithos, 20:295-310
- Foster, M. D.,1960- Interpretation of the composition of trioctahedral micas , U.S. Geol.Surv.Prof .Pap.,354B:11-49
- Frost , B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus , R.J., Ellis, D. J. & Frost , C. D., 2001- A geochemical classification for granitic rocks,J.of Petrology ,42 ,11:2033-2048
- Hoskin, P. W. O., Kinny, P. D., Wyborn, D. & chapple, B.W., 2000- Identifying accessory mineral saturation during differentiation in granitoid magma:An integrated approach, J. of petrology , 41, 1365-1395
- 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 .& Youzhi, G., 1997- Nomenclature of Amphiboles , Report of the subcommittee on Amphiboles of the international Mineralogical Association commission on new minerals and mineral names , Eur. J.Mineral , 9:623-651
- Liegeois, J. P., Navez, J., Hertogen, J., Black, R., 1998- Contrasting Origin of post – collisional high –K calc-alkaline and Shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids . The use of sliding normalization, Lithos, 45:1-28
- Nakamura, N., 1974 - Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochimica et Cosmichimica Acta 38: 757-775.
- Pitcher, W. S., 1997- The nature and origin of granite, 2nd edition, chapman and Hall, 387P.
- Reyre, D. & Mohafez, S., 1972- A first contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology,edition Technips Paris ,58P.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; A review,AAPG ,52,7:1229-1258
- Thuy,N. T. B., Satir, M., Siebel, W., Vennemann, T. 8 Long, T. V., 2004- Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of granitoids from the Dalat zone , Sothern Vietnam, J.of Asian Earth Sciences,23:467-482.
- Wones, D. R., 1989- Significance of the assemblage titanite + magnetitet + quartz in granitic rocks, Am. Mineral. 74:744-749
- Wu, F., Jahn, B., Wilde, S. A., Lo, C., Yui, T., Lin, Q., Ge, W. & Sun, D., 2003- Highly FractionatedI-type granites in NE china (1): geochronology and petrogenesis , Lithos , 66:241 – 273
- Yakovenko,V., Chinakov , I., Kokorin ,Yu., & Krivyakin , B., 1981- Report on detailed geological prospecting in Anarak Area (Kal-e Kafi-Khoni Locality). V/O << Technoexport >>, Rep. No.13, Moscow, 293 P.