

# بررسی زمین‌شیمیایی، سنگ‌شناختی، ژئودینامیک و سن‌یابی پرتوسنجی توده نفوذی آق دره (شمال تکاب) شمال باختر ایران

نوشته: دکتر محمد حسین خلقی\* و دکتر منصور وثوقی عابدینی\*\*

## Geochemical, Petrological, Geodynamic and Radiometric Age Dating Investigation of Aqdarreh Intrusion Massive (North of Takab) Northwest of Iran

By: Dr. M. H. Kholghi\* & Dr. M. Vossoughi Abedini\*\*

### چکیده

توده نفوذی آق دره، باتولیتی است با وسعت حدود ۳۰ کیلومتر مربع که در شمال باختر ایران (۳۴ کیلومتری شمال شهرستان تکاب) واقع است. این توده در زون زمین‌ساختی ایران مرکزی قرار دارد و سنگهای پالئوزویک را بریده است. سن پرتوسنجی باتولیت آق دره به روش K-Ar، ۴۸/۳۸ میلیون سال تعیین شده که با ماگماتیسم ائوسن همزمان است.

توده نفوذی آق دره، از تونالیت، گرانودیوریت، فلدسپار قلیایی، گرانیت و مونزوگرانیت تشکیل شده و کانی تیره آن بیوتیت است. هیچ‌گونه آنکلاوی در آن دیده نمی‌شود.

بررسی ویژگی‌های نمونه‌های مورد مطالعه، نشان‌دهنده وجود دوگانگی زایشی بین آنها است. این توده در برخی از نمودارهای زمین‌شیمیایی، ویژگی‌های گرانیتوئیدهای تیپ I (کلسیمی-قلیایی) و در برخی از نمودارها، ویژگی‌های گرانیتوئیدهای تیپ A (قلیایی) را نشان می‌دهد. علت این امر، به آغشتگی مواد پوسته با ماگمای تشکیل دهنده اولیه این توده نسبت داده شده و ماگمای اولیه گوشته‌ای از نوع قلیایی فرض شده است.

نمودارهای زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب نشان می‌دهد که موقعیت زمین‌ساختی توده نفوذی آق دره، با گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) قابل مقایسه است.

**کلید واژه‌ها:** آق دره، ایران، گرانیت تیپ A آغشته شده، ائوسن، بیوتیت، کلسیمی - قلیایی، قلیایی، متاآلومین - پرآلومین، سن پرتوسنجی.

### Abstract

Aqdarreh intrusi body with an area of 30 km<sup>2</sup> is located in 34 km north of Takab, northwest of Iran. This batholith is situated in Central Iran, cutting Paleozoic rocks. Radiometric age of Aqdarreh batholith by K-Ar method is 48.38 m. a., corresponding to Eocene magmatism.

Aqdarreh intrusive body consists of tonalite, granodiorite, alkali feldspar granite and monzogranite in which the main mafic mineral is biotite. Further more, there is not any enclave in these rocks.

Study of the investigated samples shows that Aqdarreh intrusive rocks have two different generations. Part of the collected samples belongs to I-type granite (calc-alkaline) and others represent the A-type granite (alkaline). It seems that this process is created by the contaminaton of alkaline magma by crustal materials.

Geochemistry of the rare earth elements shows that the tectonic setting of the body is compatible with Post Orogenic Granitoids (POG).

**Key Word:** Aqdarreh, Iran, contaminated A-Type granite, Eocene, biotite, calc-alkaline - alkaline, metaluminous - peraluminous, radiometric age dating.

## ۱- مقدمه

قسمتهایی از آن‌ها در اثر نیروهای زمین‌ساختی به صورت بودیناژ ظاهر شده است. فلدسپارهای قلیایی عمدتاً به صورت درشت بلور بوده و اندازه آنها بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر است. این بلورها، در سنگهای مختلف کم و بیش به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و از نوع ارتوکلاز، میکروکلین و اورتوز پرتیت هستند. مقدار ارتوکلاز پرتیت بیشتر از دیگر فلدسپارهای قلیایی است. پلاژیوکلازها دارای ترکیب شیمیایی سدیمی از گونه الیگوکلاز هستند. پلاژیوکلازها شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند و اندازه بلورها از ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر است. فلدسپارها نزدیک به ۳۵ تا ۶۵ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهند.

در بخشهایی از توده نفوذی، مقدار فلدسپارهای قلیایی، به حد قابل توجهی زیاد شده و میزان پلاژیوکلازها به کمتر از ۱۰ درصد می‌رسد و بدین ترتیب توده نفوذی به سمت آلکالی فلدسپار گرانیت (حاشیه توده نفوذی) متمایل می‌شود. بخشهایی از فلدسپارها به کانیهای رسی و سریست تجزیه شده‌اند. سریستها، در اثر نیروهای زمین‌ساختی، تبلور دوباره یافته و به مسکوویت تبدیل شده‌اند. بیوتیت تنها کانی فرومنیزین این سنگهاست که نیمه شکل‌دار بوده و از گونه بیوتیت‌های سبز و قهوه‌ای است. اندازه بیوتیت ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر است و بخشهایی از آنها خرد شده است. بیوتیتها، ۲ تا ۷ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهند. در نمونه‌های مورد بررسی توده نفوذی آق دره، آمفیبول وجود ندارد. سریست، مسکوویت، کلریت، کانیهای رسی و کانیهای تیره، کانیهای فرعی را تشکیل می‌دهند.

در توده نفوذی آق دره دایک‌هایی ناشی از تفریق ماگمای گرانیتویدی به صورت آپلیت و رگه‌های سیلیسی ملاحظه می‌شود و ضمناً ماگمای بازی منطقه به شکل دایکهای بازی‌تر در توده نفوذی آق دره قابل مشاهده است. هیچ‌گونه آنکلاوی در سنگهای این توده نفوذی جود ندارد.

## ۳- نامگذاری

سنگهای توده نفوذی آق دره، علاوه بر نامگذاری مودال، با استفاده از تجزیه شیمیایی (جدول شماره ۱) نیز نامگذاری شده است. در نامگذاری شیمیایی، از نمودار QAP (Le Maitre 1989) براساس کانیهای نورماتو، پارامترهای R2, R1 (De La Roche et al. 1980)، نمودارهای Middlemost (1985) و Anderiva et al. (1981) براساس درصد وزنی اکسیدهای قلیایی و سیلیس استفاده شده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶). انواع نامگذاری در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. محدوده ترکیب شیمیایی این سنگها، عمدتاً توانالیت، گرانودیوریت، آلکالی فلدسپار گرانیت و مونزو گرانیت است.

توده نفوذی آق دره بین طولهای جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲ دقیقه خاوری و عرضهای جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و به مساحت تقریبی ۳۰ کیلومتر مربع در ۳۴ کیلومتری شمال باختر شهرستان تکاب در شمال باختر ایران قرار دارد (شکل ۱). این توده نفوذی، در زون ساختاری ایران مرکزی و زیر زون البرز - آذربایجان جای دارد. توده نفوذی آق دره، در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ تکاب، به پرکامبرین (Alavi - Naini, 1982) در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (شاهین دژ، با توجه به مشاهدات صحرایی و شواهد چینه‌نگاری، بخش باختری آن به سن پس از پرکامبرین - پالئوژن و با احتمال زیاد به الیگوسن (خلقی خسرقی، ۱۳۷۳) و در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت سلیمان به ژوراسیک (۴) (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶) نسبت داده شده است. در این پژوهش، افزون بر بررسی مسائل سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی، سنگ‌زایی و خاستگاه زمین‌ساختی - ماگمایی، سن پرتوسنجی آن نیز معین گردیده است.

برای انجام این پژوهش، ۳۳ نمونه سنگی از توده نفوذی آق دره برای تهیه مقاطع نازک برداشت شد و از ۲۵ نمونه (شکل ۲) به روش XRF در آزمایشگاههای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تجزیه عناصر اصلی و فرعی به عمل آمد (جدول ۱). همچنین، از نمونه‌هایی به صورت سنگ کل و کانی فلدسپار قلیایی به روش (K-Ar) در کشور چین در آزمایشگاه شرکت اکتشافات زمین فیزیکی در زمین‌شیمیایی Xiangtangzhen, Nanchang, Jiandxi, چین، سن پرتوسنجی آنها تعیین گردید.

## ۲- سنگ‌نگاری

اجزای سنگهای توده نفوذی آق دره در رخنمون‌های صحرایی، کم و بیش دگرسانی نشان می‌دهند. رنگ نمونه دستی آنها سفید، خاکستری روشن، قهوه‌ای روشن تا زرد بوده و دارای بافت دانه‌ای هستند. بلورهای کوارتز سنگهای این توده نفوذی، سطحی به نسبت خشن ایجاد کرده‌اند. این سنگها در مطالعات میکروسکوپی، بافت دانه‌ای نشان می‌دهند. کوارتز، فلدسپار قلیایی و پلاژیوکلاز، کانی‌های اصلی آنها را تشکیل می‌دهند. کانی فرومنیزین آنها بیوتیت است. کوارتز ۳۰ تا ۴۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد و بلورهای آن در دو اندازه، بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر (فئوکریست) و بلورهای ریزتر دیده می‌شود. بلورهای کوارتز شکل‌دار (گرانوفیر) تا نیمه شکل‌دار و دارای خاموشی موجی است. کوارتز به صورت رگچه‌هایی نیز در متن سنگ قابل مشاهده است که

#### ۴- زمین‌شیمی توده نفوذی آق دره

برای بررسی زمین‌شیمیایی سنگهای مورد مطالعه، از ۲۵ نمونه توده نفوذی آق دره به روش XRF در آزمایشگاههای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه عناصر اصلی و فرعی به عمل آمد. نتیجه آزمایش در جدول شماره ۱ آورده شده است.

#### ۴-۱) ارتباط زایشی سنگهای مورد مطالعه

برای مشخص شدن قرابت زایشی بین نمونه‌های مورد بررسی، از نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در برابر  $\text{SiO}_2$  استفاده شد (Harker, 1909). با وجود اینکه تمام نمونه‌های موجود به یک توده تعلق دارند، اما در بیشتر نمودارها، نمونه‌ها پراکنندگی نشان می‌دهند (شکل‌های ۷ و ۸). علت این مسئله با احتمال زیاد پدیده آغشتگی در ماگمای تشکیل دهنده توده آق دره است که در مباحث بعدی توضیح داده خواهد شد.

#### ۴-۲) بررسی سری ماگمایی و شاخص آلومین در سنگهای توده نفوذی آق دره

برای بررسی سری ماگمایی و یا ماهیت ماگمای تشکیل دهنده سنگهای مورد مطالعه از نمودارهای Irvine & Baragar (1971) استفاده شده است. در نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  نمونه‌ها در محدوده نیمه قلیایی (شکل ۹) و در نمودار AFM در محدوده کلسیمی - قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). بر اساس مطالعات شاخص آلومین در نمودار Maniar and Piccoli (1989) که بر اساس A/CNK در مقابل A/NK می‌باشد، نمونه‌ها عمدتاً در محدوده پرآلومین که متعلق به سنگهای کلسیمی-قلیایی (محیط‌های قاره‌ای - برخورد قاره‌ای) و مقداری نیز در محدوده پرقلیایی متعلق به سنگهای قلیایی (مربوط به کافت‌های قاره‌ای و یا فراخاست خشکی زایی قاره‌ای) قرار می‌گیرند (شکل ۱۱). تعلق این سنگها به این دو محدوده در نمودار پیشنهادی Shand (1974) نیز به خوبی نمایان است (شکل ۱۲).

#### ۴-۳) بررسی تیپ توده نفوذی گرانیتویدی آق دره

در مطالعات سنگ نگاری، به علت عدم وجود کانیهای دگرگونی، آنکلاو و ویژگیهای دیگر در رابطه با گرانیت‌های تیپ S، این سنگها با گرانیت‌های تیپ A و I مقایسه شده‌اند. بررسی زایشی سنگهای گرانیتویدی توده نفوذی آق دره حاکی از این است که بخشی از سنگهای این توده، دارای ویژگیهایی از گرانیتویدهای تیپ "A" و بخشی نیز دارای ویژگیهایی از گرانیتویدهای تیپ "I" هستند. ویژگیهای این توده عبارتند از:

۱- توده نفوذی آق دره به صورت باتولیت منفرد بوده و ترکیب سنگ‌شناسی آن تونالیت، گرانودیوریت، آلکالی فلدسپار گرانیت و مونزوگرانیت است.

۲- هیچ گونه آنکلاوی در آن دیده نمی‌شود.

۳- کانی مافیک این توده، بیوتیت است. فلدسپارهای قلیایی عموماً به صورت پرتیت هستند. این گرانیتها از گونه هیبرسولوس بوده و به واسطه گذر از مرحله اوتکتیک هم‌شدی‌های گرانوفیری در آن دیده می‌شود.

۴- میانگین مقادیر  $\text{SiO}_2$ ، ۷۶ درصد و مجموع قلیایی، ۷/۸۱ درصد است.

۵- از لحاظ شاخص آلومین، پرآلومین تا پرقلیایی و در نورم CIPW کانیها، دیوپسید وجود ندارد و یا در بعضی از نمونه‌ها بسیار جزئی است. میانگین کربنوم ۱/۲۹ درصد است.

۶- درصد وزنی  $\text{Na}_2\text{O}$  در این توده نفوذی ۴/۲۳ درصد است.

۷- میانگین مجموع اکسیدهای  $\text{FeO}(\text{t})+\text{MgO}+\text{MnO}+\text{TiO}_2$  نزدیک به ۲/۱۷ درصد است. تغییرات عناصر در نمودارهای دوتایی، خطی است.

۸- در نمودارهای نسبت  $\text{SiO}_2$  در برابر Y و Zr (Furnes et al. 1996) سنگهای مورد مطالعه در محدوده گرانیت‌های قابل مقایسه با انواع I و A قرار می‌گیرند اما گرایش به سمت گرانیت‌های نوع I بیشتر است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

۹- نمونه‌های مورد بررسی، با گرانیت‌های تیپ A و I در نمودارهای چند عنصری (عنکبوتی) که توسط Whalen et al. (1987) ارائه گردیده، مقایسه شده است. در این نمودارها، یک سری از عناصر با گرانیتویدهای تیپ A و یک سری دیگر از عناصر با گرانیتویدهای تیپ I مطابقت دارد (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

۱۰- در نمودار Y+Ce+Nb+Zr در برابر  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$  (Whalen et al. 1987) بیشتر نمونه‌های این توده نفوذی در محدوده گرانیت‌های تیپ "A" و تعدادی نیز بیرون از آن هستند (شکل ۱۷).

#### ۴-۴) مطالعات زمین‌ساختی ماگمایی توده نفوذی آق دره

به منظور دست‌یابی به محیط زمین‌ساختی تشکیل توده نفوذی آق دره، از پژوهشهای Maniar and Piccoli (1989) بر مبنای عناصر اصلی استفاده شد (شکل ۱۸).

مانیار و پیکولی (۱۹۸۹) با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب، گرانیتویدها را به هفت گروه تقسیم کرده‌اند. از میان هفت گروه، گروه‌های

۰۰۰، ۱۰۰ : ۱ شاهین دژ، با توجه به موقعیت چینه نگاری و بریده شدن رسوبات پالئوزویک توسط توده نفوذی آق دره، سن پس از کامبرین - پالئوژن و احتمالاً الیگوسن برای بخش باختری آن پیشنهاد شده است (خلقی خسروقی، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۳). در نقشه زمین شناسی به مقیاس ۰۰۰، ۱۰۰ : ۱ تخت سلیمان، بخش خاور توده نفوذی آق دره به ژوراسیک (۴) نسبت داده شده است (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). در این پژوهش، از موزوگرانیت‌ها که سالم بوده و تحت تاثیر نیروهای زمین ساختی قرار نگرفته‌اند به روش K-Ar تعیین سن پرتو سنجی به عمل آمده و سنی معادل ۴۸/۳۸ میلیون سال برای سنگ کل و ۶۶/۳۲ میلیون سال برای تبلور تک بلورهای فلدسپار قلیایی تعیین گردید. بر این اساس، انجماد نهایی توده نفوذی آق دره با قدمت فوق، با ماگماتیسم ائوسن همزمان است.

#### ۶- نتیجه‌گیری

توده نفوذی آق دره در زون ساختاری ایران مرکزی واقع است. بر اساس شواهد صحرایی و تعیین سن پرتو سنجی بر روی سنگ کل و فلدسپارهای قلیایی، سن آنها معادل ائوسن (۴۸/۳۸ میلیون سال) است. این توده با گسترش حدود ۳۰ کیلو متر مربع در ۳۴ کیلومتری شمال شهرستان تکاب در شمال باختر ایران واقع است و عمدتاً از تونالیت، گرانودیوریت، آلکالی فلدسپار گرانیت و موزوگرانیت تشکیل شده است. بررسی کانی‌شناسی و دیگر ویژگیهای نمونه‌های مورد مطالعه، دو نوع سنگ گرانیتوئیدی معرفی می‌کند. این توده در برخی از نمودارهای زمین‌شیمیایی و ویژگیهای گرانیتوئیدهای تیپ I (کلسیمی-قلیایی) و در برخی از نمودارها و ویژگیهای گرانیتوئیدهای تیپ A (قلیایی) را نشان می‌دهد. علت این امر، همان گونه که اشاره شد به احتمال زیاد نتیجه هجوم ماگمای بازی گوشته‌ای به درون پوسته، ذوب پوسته و آمیختگی ماگمای اسیدی و بازی و در نتیجه تشکیل انواع I خواهد بود. ضمناً تمرکز ماگمای اسیدی غنی از قلیایی‌ها نوع A را در منطقه ایجاد کرده و موجب آغشتگی مواد بیگانه با ماگمای تشکیل دهنده اولیه این توده شده است. وجود دایکهای بازی در توده نفوذی آق دره، یکی از دلایل آغشتگی ماگمای اولیه و آمیختگی آن با ماگمای گوشته‌ای است. بدین ترتیب که ماگمای گوشته‌ای ضمن نفوذ به درون پوسته، باعث ذوب و ایجاد ماگمای اسیدی شده و سپس ماگمای بازی و اسیدی خود با آن آمیخته شده است. به نظر می‌رسد آمیختگی ماگمای گوشته‌ای با ماگمای اسیدی، باعث شده که ماگمای اسیدی نوع I حاصل شود و اشتقاق بخشی از ماگمای اسیدی سرشار از قلیایی (ناشی از تفریق و عوامل دیگر) موجب ظهور یک ماگمای نسبتاً غنی از قلیایی (نوع A) در منطقه شده و لذا ماگما ویژگی اولیه خود را از دست داده و کم و بیش ویژگی

POG, CCG, CAG, IAG در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی و گروههای CEUG, RRG, در رده گرانیتوئیدهای ناکوهزایی (AG) قرار می‌گیرند. براساس تقسیم‌بندی‌های بالا، نمونه‌های توده نفوذی آق دره پراکندگی نشان OP می‌دهند اما بیشتر به قطب گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی تمایل دارند. این ویژگی، تا حدودی در نمودار تغییرات پارامترهای R1 و R2 برای تفکیک محیط زمین ساختی گرانیتوئیدها Batchelor and Bowden (1985) نیز تأیید می‌شود (شکل ۱۹).

نتیجه بررسی ویژگیهای زمین‌شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های مورد مطالعه از دوگانگی خاصی برخوردار است. یک سری از این سنگ‌ها ماهیت قلیایی و سری دیگر ماهیت کلسیمی-قلیایی نشان می‌دهند. نمودارهای استفاده شده حاکی از آن است که برخی از سنگهای توده نفوذی آق دره، قابل مقایسه با گرانیت‌های نوع A و برخی نیز با نوع I هستند. به نظر می‌رسد ماگمای تشکیل دهنده این سنگها، ناشی از آغشتگی یک ماگمای بازی به مواد پوسته‌ای باشد که شاید دایکهای بازی موجود، نشانه‌ای از ماگماتیسم بازی مزبور باشد. این آغشتگی باعث شده است که ماگما، ماهیت قلیایی خود را کم و بیش از دست داده و به سمت ماگمای کلسیمی-قلیایی سوق پیدا کند.

کولینز و دیگران (1982) و والن و دیگران (1987) بر این باورند که ترکیب گرانیت‌های تیپ "A" تغییرات قابل توجهی داشته و بتدریج به سمت گرانیت‌های تیپ "I" و "S" متمایل می‌شوند. آنها علت این امر را اختلاف ترکیب سنگهای منشأ می‌دانند.

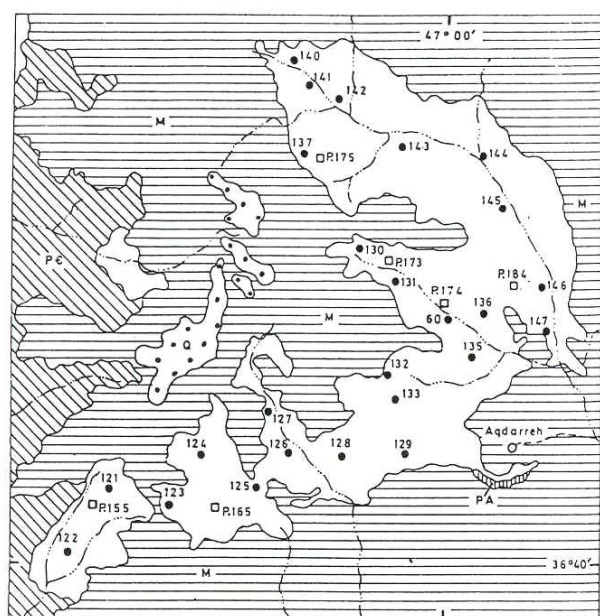
وجود دایکهای بازی در منطقه، نشانگر فعالیت ماگماتیسم بازی بوده و این مسئله را تداعی می‌کند که می‌تواند یکی از عوامل ذوب مواد پوسته‌ای و همچنین آغشته کننده ماگماتیسم اسیدی در منطقه باشد. به این ترتیب که ماگمای گوشته‌ای (بازالتی) ضمن نفوذ در پوسته، باعث ذوب بخشی و ایجاد ماگمای اسیدی شده و سپس خود با این ماگما آمیخته شده است (نوع I). ماگمای تشکیل دهنده دایک‌های بازی در توده نفوذی آق دره، می‌تواند نماینده ماگمای گوشته‌ای باشد که در اواخر جایگیری توده گرانیتوئیدی و پس از سرد شدن آن نیز در توده تزریق شده است. ضمناً تمرکز مواد قلیایی در ماگمای اسیدی و تشکیل مذاب غنی از سیلیسیم و قلیایی را باعث شده که سرانجام به شکل توده نفوذی سرشار از قلیایی (نوع A) ظاهر می‌گردد.

#### ۵- سن توده نفوذی آق دره

توده نفوذی آق دره، در نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ تکاب، به گرانیت دوران به سن پرکامبرین نسبت داده شده است (Alavi - Naini, M., 1982). در نقشه زمین شناسی با مقیاس

پوسته در شمال باختر ایران شده است و به دنبال گرم شدن پوسته، ماگمای اسیدی تشکیل شده است و آمیختگی آنها، انواع سنگهای نفوذی را ایجاد کرده است. بنابراین این توده نفوذی (آق دره) از دیدگاه زمین‌ساختی با گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) (پس از لارامید) قابل مقایسه است.

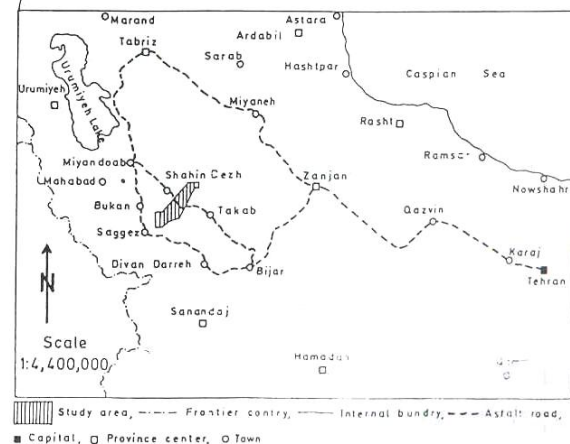
ماگمای کلسیمی - قلیایی را به دست آورده است، اما برخی از ویژگیهای زمین‌شیمیایی ماگمای قلیایی اولیه (وجود آپلیت و رگه های کوآرتز) هنوز در توده آق دره به طور ضعیف بر جا مانده و به همین علت دوگانگی زمین‌شیمیایی در سنگهای توده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. از نظر ژئودینامیکی، پس از فاز لارامید و کاهش تنشهای فشارشی ناشی از این فاز، شکستگی عمیق موجب صعود ماگمای بازی گوشته به درون



Scale 1: 70,000

Precambrian, Paleozoic, Miocene, Pliocene, Quaternary, Intrusive rocks, Location and number sample, Station of measured major joints, River, drainage, Waterable road, Village.

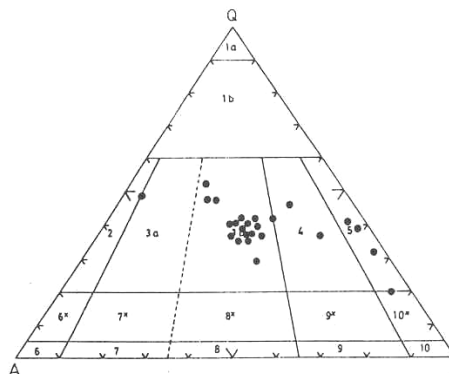
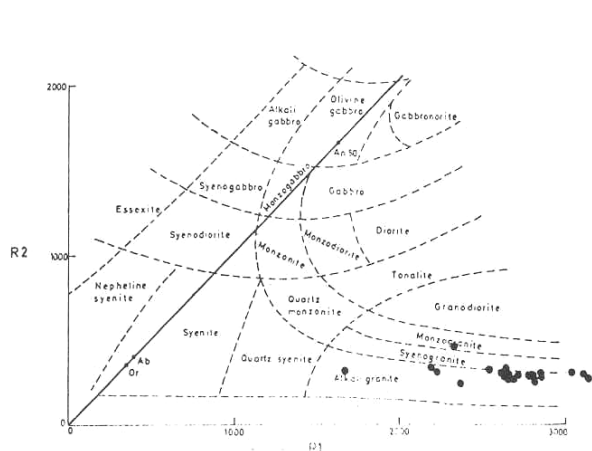
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی توده نفوذی آق دره و موقعیت جغرافیایی نمونه‌های مورد بررسی.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی توده نفوذی آق دره و راه‌های ارتباطی آن.



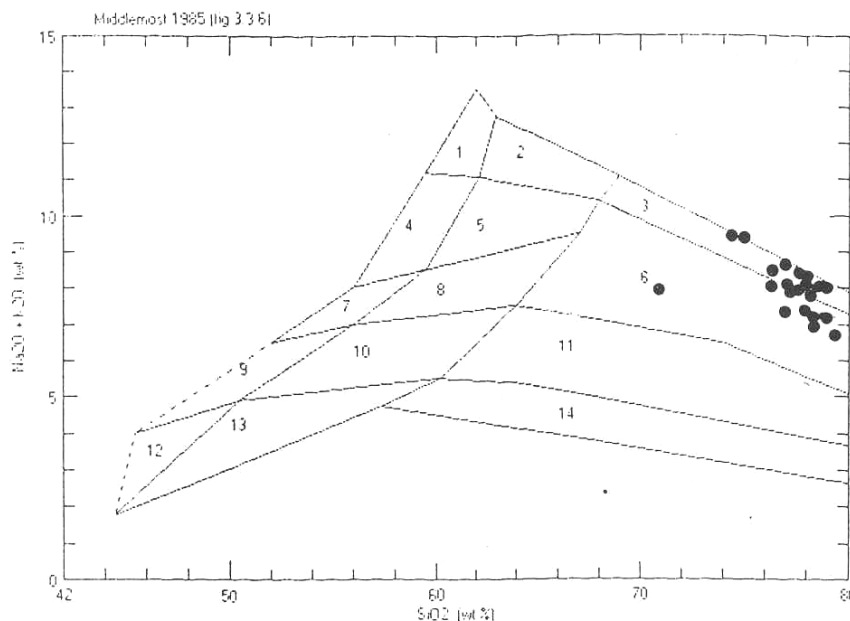
Sample (wt%)	80	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	135	136	137	140	141+	142	143	144	145	146	147
SiO2	0.021	0.018	0.021	0.016	0.018	0.015	0.025	0.027	0.023	0.008	0.018	0.021	0.014	0.016	0.011	0.015	0.012	0.022	2.92	76.96	76.67	70.81	76.07	77.58	78.02
TiO2	0.014	0.007	0.007	0.008	0.008	0.004	0.015	0.007	0.005	0.004	0.005	0.011	0.015	0.011	0.006	0.4	0.12	0.02	2.92	0.21	0.34	0.39	0.28	0.15	0.06
Al2O3	0.136	0.05	0.046	0.007	0.005	0.005	0.005	0.007	0.009	0.004	0.004	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Fe2O3	0.42	0.096	0.093	0.159	0.154	0.184	0.235	0.07	0.097	0.111	0.243	0.297	0.022	0.036	0.022	0.036	0.022	0.036	9.44	12.06	12.57	14.8	14.49	13.74	12.6
FeO	0.22	0.16	0.16	0.27	0.27	0.32	0.12	0.08	0.12	0.14	0.43	0.52	0.07	0.11	0.07	0.11	0.07	0.11	5.04	6.53	6.81	7.52	7.08	6.53	6.07
MnO	0.41	0.18	0.18	0.36	0.36	0.42	0.12	0.08	0.12	0.14	0.43	0.52	0.07	0.11	0.07	0.11	0.07	0.11	7.55	0.6	0.84	2.49	0.12	0.28	0.06
MgO	1.26	0.28	0.28	0.48	0.48	0.56	0.25	0.17	0.25	0.28	1.04	1.04	0.24	0.24	0.004	0.006	0.013	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.009
CaO	6.51	4.16	3.64	3.67	3.28	4.42	3.55	3.41	3.78	3.76	6.66	6.66	3.81	3.81	0.27	0.21	0.27	0.21	9.57	0.28	0.35	1.06	0.24	0.27	0.08
Na2O	0.72	0.44	0.47	0.43	0.505	0.605	0.501	0.497	0.417	0.49	2.56	2.43	4.99	4.28	0.028	0.21	0.27	0.21	6.41	0.26	0.25	1.13	0.11	0.08	0.01
K2O	12.44	11.7	11.93	11.92	12.83	14.35	12.43	14.51	13.12	13.23	12.38	12.42	12.94	12.94	0.95	3.63	6.08	4.54	0.11	3.2	4.37	4.1	4.87	7.88	4.9
P2O5	77.83	77.51	77.83	77.49	78.58	78.58	77.51	78.57	78.87	77.24	78.51	78.51	78.51	78.51	0.077	0.013	0.037	0.018	0.002	0.885	0.032	0.031	0.032	0.032	0.032
T.E.M (ppm)	93.88	93.17	93.13	93.94	93.28	93.44	93.89	93.22	93.47	93.82	93.34	93.89	93.91	93.88	93.88	93.71	93.89	93.14	93.88	93.14	93.88	93.92	93.93	93.93	93.93
Rb	138.21	168.38	223.82	356.17	254.71	146.68	253.16	120.71	258.03	178.71	244.3	191.61	262.09	138.75	162.22	211.19	200.2	122.28	126.23	216.92	186.85	171.8	136.61	202.67	226.02
Sr	1.37	1.66	1.65	1.65	1.39	1.16	1.32	1.11	1.42	2.97	2.79	3.25	3.51	3.54	3.32	2.32	2.4	3.16	2.07	2.07	1.35	2.61	1.82	3.17	2.2
Zr	52.55	12.54	<5	<5	<5	<5	<5	17.82	<5	92.33	88.02	100.21	92.62	113.89	83.32	227.59	46.51	30.98	209.79	64.49	64.53	121.18	63.75	48.08	15.44
Y	170.97	107.76	110.39	99.36	79.53	88.53	78.4	114.86	87.72	113.15	89.12	123.54	96.58	167.66	154.5	217.65	92.69	144.79	134.46	127.97	162.19	121.14	270.55	123	126.09
Nb	61.29	41.57	54.25	28.62	40.33	N.D.	470.32	N.D.	42.17	56.75	40.66	89.79	70.58	77.92	64.51	51.43	67.7	52.19	219.28	21.97	33.7	16.8	22.67	47.28	82.32
Ta	171.5	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29	61.29
Cu	13.48	2.34	1.67	2.35	2.35	N.D.	N.D.	N.D.	27.46	26.61	27.34	31.6	31.28	27.6	28.43	26.2	<2	<2	23.671	218.42	251.12	129.7	N.D.	147.04	17.68
Ga	18.49	28.38	27.05	29.76	27.53	31.46	27	43.39	27.28	26.61	27.34	31.6	31.28	27.6	28.43	26.2	<2	<2	34.35	10.59	15.37	12.2	36.91	19.04	24.13
La	10.3	<5	14.94	3	11.39	<5	14.16	76.69	13.8	27.46	34.91	43.45	28.09	55.5	41.28	100.18	20.24	33.19	18.61	17.9	18.61	7.29	3.65	12.89	4.85
Ni	4.61	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.39	2.48	<1	<1	<1	0.99	1.24	<1	16.742	2.1	4.26	9.05	<1	<1	<1
Sm	46.84	51.34	56.04	14.21	50.18	40.97	76.09	29.04	67.56	47.38	42.8	57.74	48.92	47.03	43.5	86.29	21.32	80.81	18.07	45.87	32.14	4.04	93.41	80.42	48.55
Th	45.88	N.D.	6.55	14.3	9.61	N.D.	N.D.	N.D.	45	55.7	57.74	48.92	47.03	43.5	86.29	21.32	80.81	18.07	45.87	32.14	4.04	93.41	80.42	48.55	48.55
U	9.1	<1	6.55	13.4	4.78	1.33	3.78	16.65	37.4	4.92	5.86	4.39	8.22	7.07	7.07	22	6.19	3.93	188.36	8.95	17.73	25.3	14.79	6.91	3.33
Hf	5.65	2.24	2.18	1.8	1.38	1.43	1.28	2.16	1.39	6.27	3.94	5.46	4.02	7.13	7.05	8.45	3.35	6.53	...	4.16	4.97	7.42	4.84	4.91	4.91
Cr	3.35	7.78	7.93	6.82	7.25	6.44	7.71	10.58	7.07	2.3	1.79	2.61	5.15	2.8	<1	14.08	7.18	1.3	348.86	10.94	10.89	7.52	12.28	8.9	5.76
Ba	84.54	412.14	287.89	18.06	62.6	882.35	173.2	42.57	75.21	64.52	154.81	90.39	178.47	80.13	70.22	950.06	299.62	7.08	110.55	484.19	648.46	47.13	397.61	260.35	260.35
Na2O/K2O	9.04	0.93	0.65	0.73	0.65	0.88	0.71	0.52	0.36	1.7	2.83	8.54	7.98	8.5	7.14	7.79	7.25	7.89	8.09	5.79	8.02	0.91	4.46	0.5	0.06
Na2O/(K2O+Na2O)	0.38	0.74	0.73	0.72	0.68	0.68	0.69	0.64	0.51	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52
Na2O/(K2O+Na2O)	0.38	0.74	0.73	0.72	0.68	0.68	0.69	0.64	0.51	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.52
R2	288.94	290.98	291.91	303.92	277.44	354.85	301.33	315.16	...	316.42	312.87	329.49	326.74	304.02	291.07	310.31	301.65	258.21	153.35	281.41	282.25	484	313.18	293.45	...
CPW Norms	35.85	35.01	34.6	34.87	38.56	28.13	36.46	22.57	49.04	41.33	34.19	32.45	34.21	37.25	38.37	43.44	39.08	33.05	...	38.24	38.18	28.46	29.26	43.97	46.33
Q	0.58	...	...	...	0.06	1.43	0.55	...	...	3.16	0.38	0.16	0.32	0.03	1.84	4.29	2.08	...	1.41	0.88	1.59	2.33	1.43	4.26	3.67
Z	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Or	4.31	28.72	32.24	29.98	30.38	29.84	29.47	1.65	29.24	15.38	29.11	14.91	29	67.3	20.98	30.76	27.03	0.71	19.26	28.27	24.48	27.06	60.89	29.14	45.07
Ab	53.33	38.48	30.24	31.98	31.92	31.97	30.94	74.18	15.14	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98	31.98
An	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Nc	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ac	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ns	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Di	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Hy	2	1.85	2.17	2.84	0.71	0.62	0.86	0.12	0.72	2.16	2.41	3.38	2.64	1.48	0.88	0.88	1.46	0.44	22.81	1.22	1.52	5.68	0.6	0.91	0.59
Ol	0.81	0.14	0.13	0.23	0.72	0.92	0.34	...	0.14	0.18	0.38	0.43	0.44	0.04	0.2	0.17	0.39	...	22.81	1.22	1.52	5.68	0.6	0.91	0.59
Mn	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Hm	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
H	0.27	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	0.17	0.																	



شکل ۳- موقعیت قرارگیری نمونه‌های توده نفوذی آق دره (نقاط تیره) در دیاگرام QAP (LeMaitre- 1990).

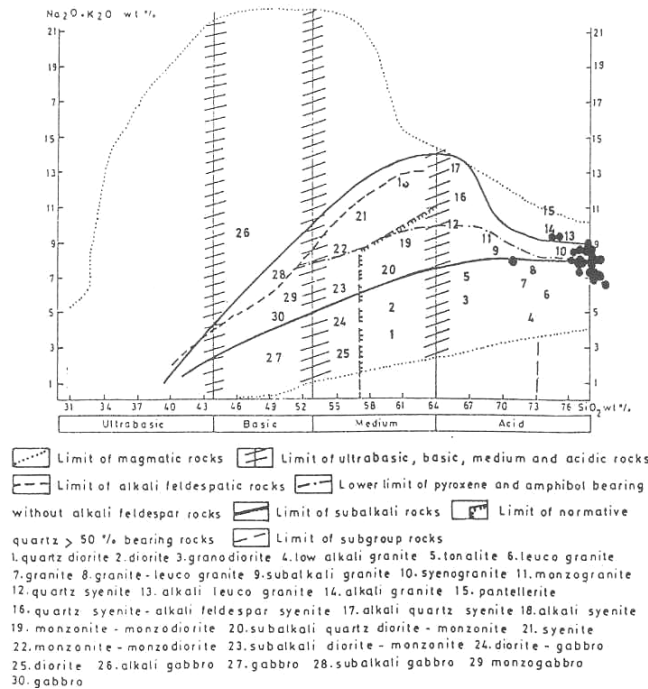
شکل ۴- موقعیت قرارگیری نمونه‌های توده نفوذی آق دره در دیاگرام R2 و R1 برای طبقه بندی سنگ‌های آذرین درونی (دولاروش و همکاران - ۱۹۸۰) (علائم شبیه شکل - ۳).

- قلمروها: ۱- کوارتزولیت (سیلکسیت) ۲- گرانیتویدهای غنی از کوارتز  
 ۳- آلکالی فلدسپار گرانیت ۴- سینوگرانیت ۵- مونزوگرانیت  
 ۶- گرانودیوریت ۷- تونالیت ۸- کوارتز آلکالی فلدسپار سینیت  
 ۹- کوارتز مونزونیت ۱۰- کوارتز مونزو دیوریت - کوارتز مونزو گابرو  
 ۱۱- کوارتز دیوریت - کوارتز گابرو ۱۲- آلکالی فلدسپار سینیت  
 ۱۳- سینیت ۱۴- مونزونیت ۱۵- مونزو دیوریت - مونزو گابرو  
 ۱۶- دیوریت - گابرو.



شکل ۵- دیاگرام  $Ni_2O + K_2O$  در مقابل  $Si_2O$  برای تقسیم بندی انواع سنگ‌های آذرین درونی (Middlemost - 1985) و موقعیت قرارگیری نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی این دیاگرام (علائم شبیه شکل - ۳).

- قلمروها: ۱- آلکالی فلدسپار سینیت ۲- آلکالی فلدسپار کوارتز سینیت ۳- آلکالی فلدسپار گرانیت ۴- سینیت ۵- کوارتز سینیت ۶- گرانیت ۷- مونزونیت  
 ۸- کوارتز مونزونیت ۹- مونزو دیوریت ۱۰- کوارتز مونزو دیوریت ۱۱- گرانودیوریت ۱۲- دیوریت / گابرو ۱۳- تونالیت.

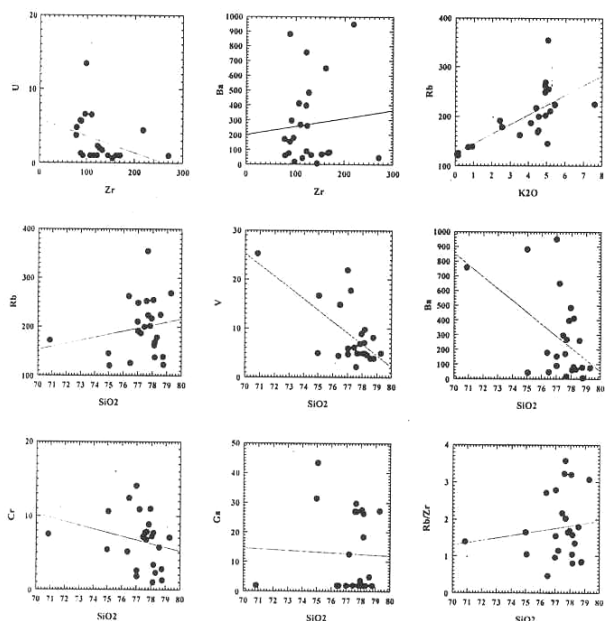


شکل ۶- دیاگرام  $\text{Ni}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  برای تقسیم بندی انواع سنگ های آذرین درونی (Anderiva et al- 1987) و موقعیت قرارگیری نمونه های توده نفوذی آق دره بر روی دیاگرام (علائم شبیه شکل ۳-).

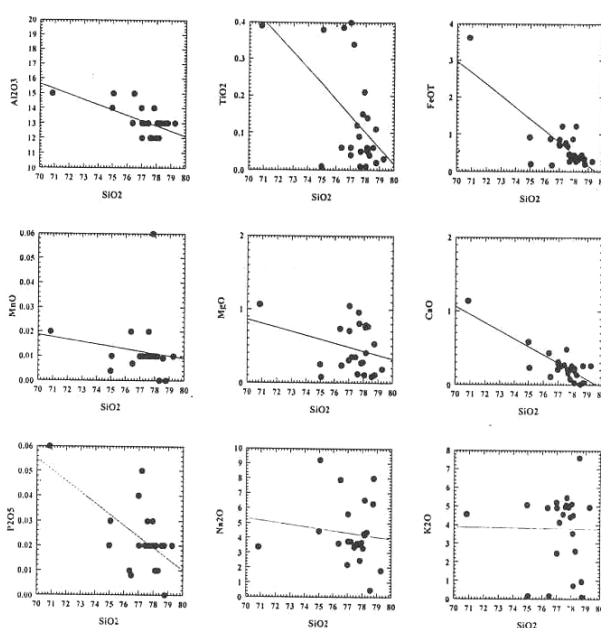
جدول شماره ۲- نامگذاری نمونه های توده نفوذی آق دره

No Sample	De La Roche & et al. 1980	Middlemost 1985	Le Maitre 1989	Anderiva E.D., Bougatikov O.A. & et al. 1981	
	$R_1 / R_2$	$\text{SiO}_2 / \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	Q, A, P	Oxides	$\text{SiO}_2 / \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
60	alkali granite	granite	tonalite	leuco granite	---
121	alkali granite	---	monzo granite	alkali leuco granite	syenogranite
122	alkali granite	---	monzo granite	alkali leuco granite	alkali leuco granite
123	alkali granite	---	monzo granite	alkali leuco granite	syenogranite
124	alkali granite	alkali feldspar granite	monzo granite	alkali leuco granite	syenogranite
125	alkali granite	alkali feldspar granite	monzo granite	alkali leuco granite	alkali leuco granite
126	alkali granite	alkali feldspar granite	monzo granite	alkali leuco granite	syenogranite
127	alkali granite	alkali feldspar granite	quartz diorite	alkali leuco granite	alkali leuco granite
128	---	granite	quartz granite	leuco granite	---
129	---	granite	granodiorite	leuco granite	---
130	alkali granite	alkali feldspar granite	monzo granite	alkali leuco granite	syenogranite
131	alkali granite	alkali feldspar granite	granodiorite	leuco granite	syenogranite
132	syenogranite	alkali feldspar granite	monzogranite	alkali leuco granite	syenogranite
133	alkali granite	granite	tonalite	leuco granite	---
135	alkali granite	alkali feldspar granite	monzogranite-granodiorite	leuco granite	leuco granite
136	---	granite	monzogranite	leuco granite	leuco granite
137	alkali granite	alkali feldspar granite	monzogranite	leuco granite	leuco granite
140	alkali granite	alkali feldspar granite	tonalite	leuco granite	---
141+	---	---	---	alkali basalt	alkali basalt
142	alkali granite	alkali feldspar granite	monzogranite	leuco granite	syenogranite
143	alkali granite	granite	monzogranite	leuco granite	leuco granite
144	monzogranite	granite	monzogranite	granite	granite
145	alkali granite	granite	tonalite	leuco granite	syenogranite
146	---	granite	monzogranite	leuco granite	leuco granite
147	---	alkali feldspar granite	alkali feldspar granite	leuco granite	---

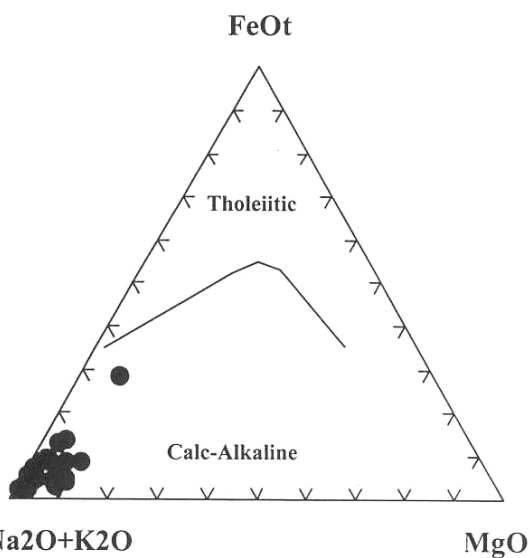
+)Dike



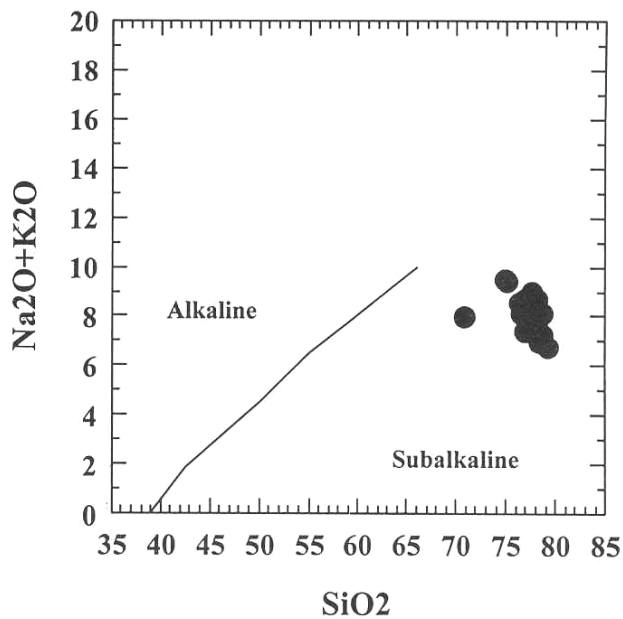
شکل ۸- دیاگرام تغییرات عناصر کمیاب Rb/Zr, Cr, V, Rb, Ba, Ga در مقابل  $SiO_2$  و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آن (علامت شبیه شکل ۳-).



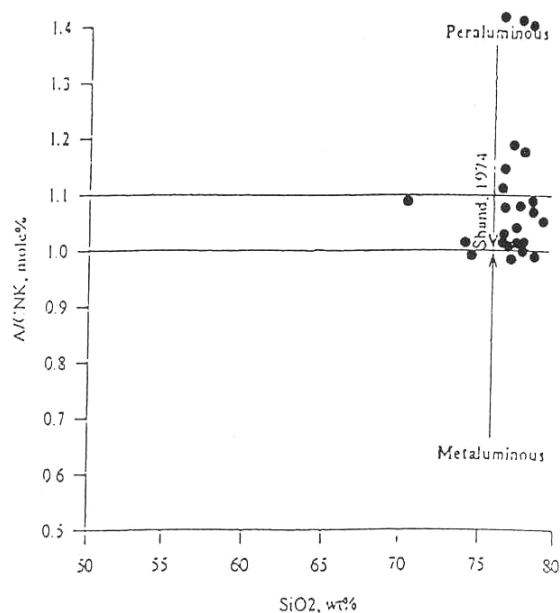
شکل ۹- دیاگرام اکسید-اکسید Harker (1909) و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آن (علامت شبیه شکل ۳-).



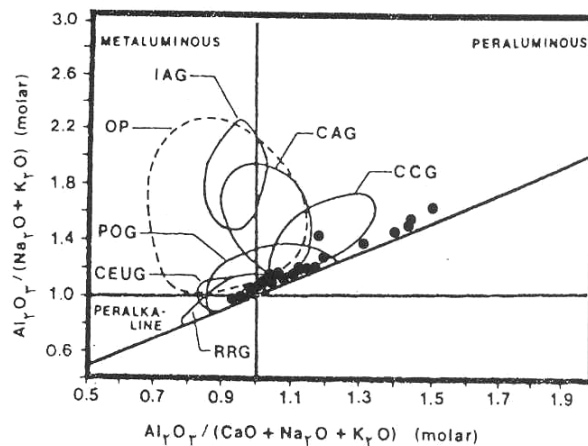
شکل ۱۰- AFM که سه قطب  $M = MgO$ ,  $A = Ni_2O + K_2O$  و  $F = FeO(t)$  است و در آن محدوده کالکوآلکالن و تولیت از هم تفکیک شده است (Irvine & Baragar - 1971) و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آن.



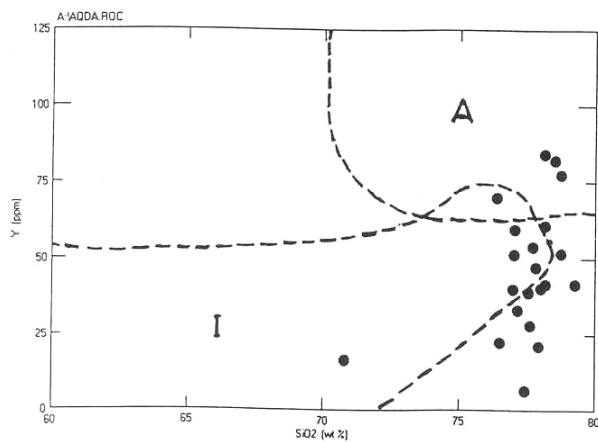
شکل ۹- نمودار تغییرات مجموع آلکالن در مقابل سیلیس که در آن دو محدوده آلکالن و ساب آلکالن از یکدیگر جدا شده‌اند و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آن (Irvine & Baragar - 1971).



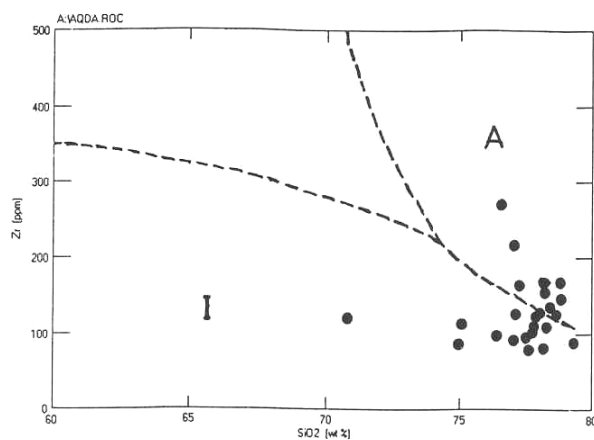
شکل ۱۲- موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره در دیاگرام A/CNK در مقابل  $\text{SiO}_2$  (Shand - 1974).



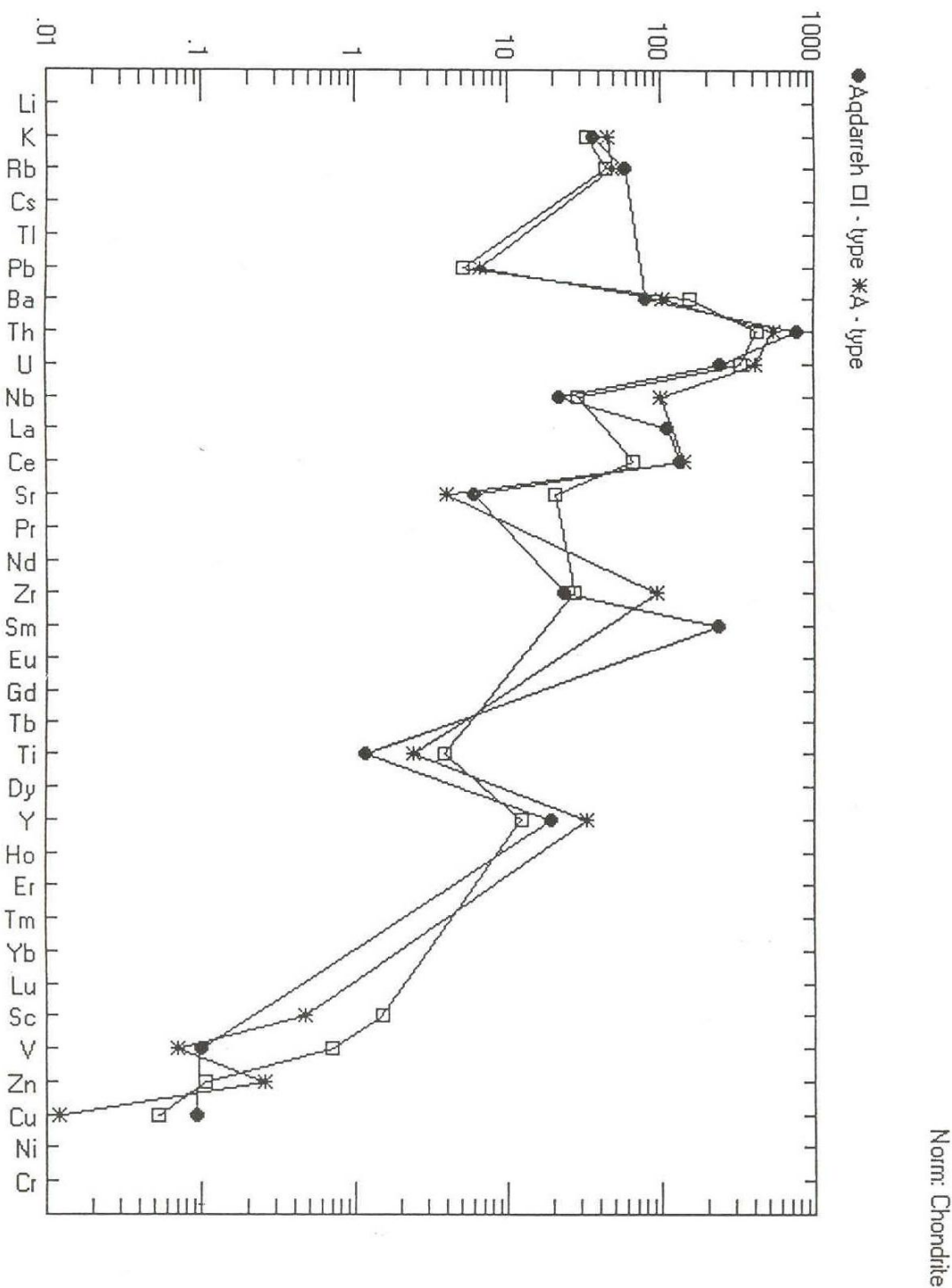
شکل ۱۱- موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره در دیاگرام A/CNK در مقابل  $\text{A}/\text{NK}$  (Maniar & Piccoli- 1989).



شکل ۱۴- دیاگرام تغییرات  $\text{SiO}_2$  در مقابل عنصر Y برای تفکیک تیپ‌های I و A (Furnes & et al., 1996).

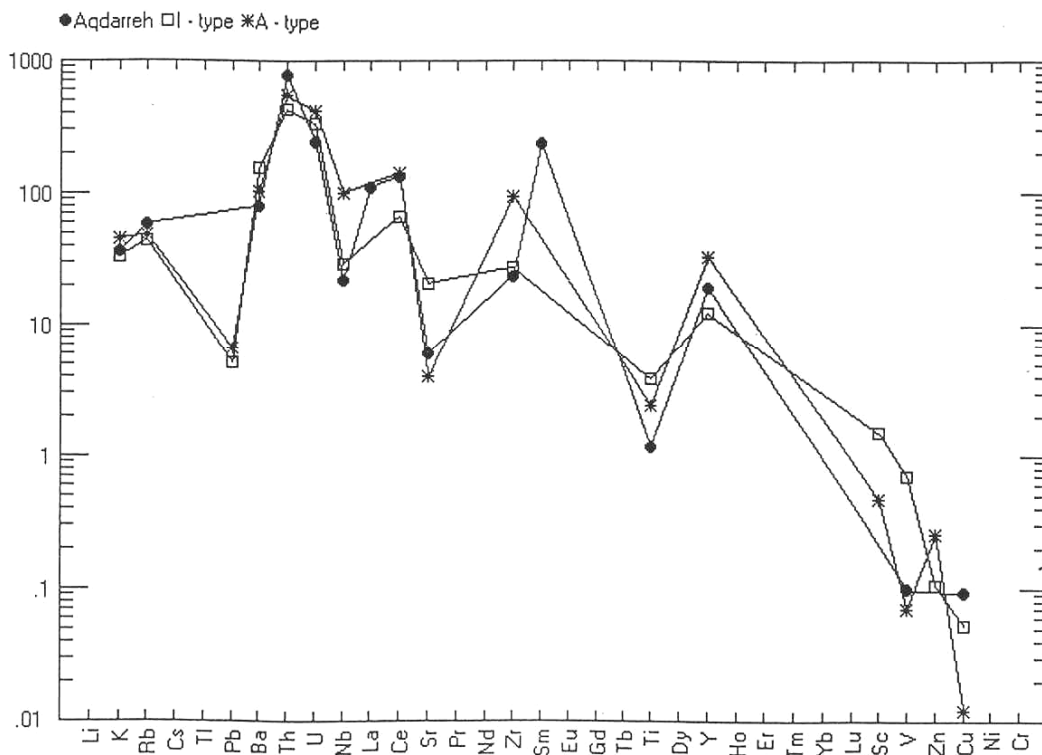


شکل ۱۳- دیاگرام تغییرات  $\text{SiO}_2$  در مقابل عنصر Zr برای تفکیک تیپ‌های I و A (Furnes & et al., 1996).

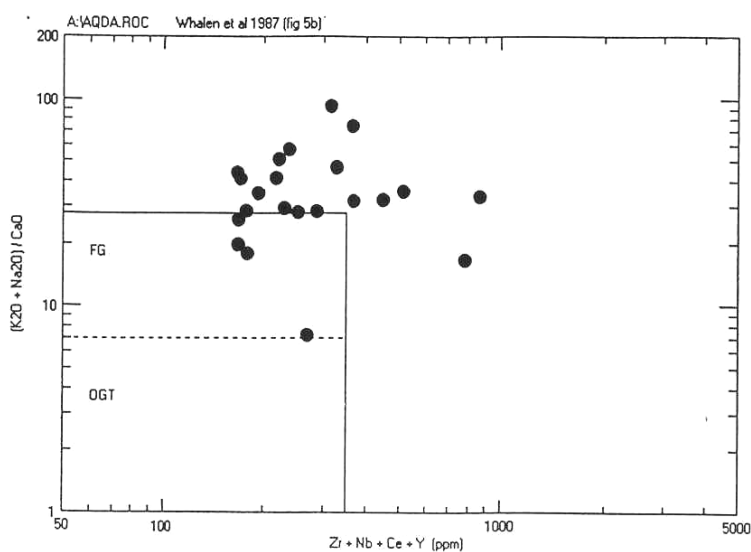


شکل ۱۵- دیاگرام چند عنصر (Spider Diagrams) و موقعیت میانگین مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌های توده نفوذی آق دره و گرانیت‌های تیب "A" و "I" (Whalen et al.-1987) عادی شده بر پایه ترکیب کندریتها.

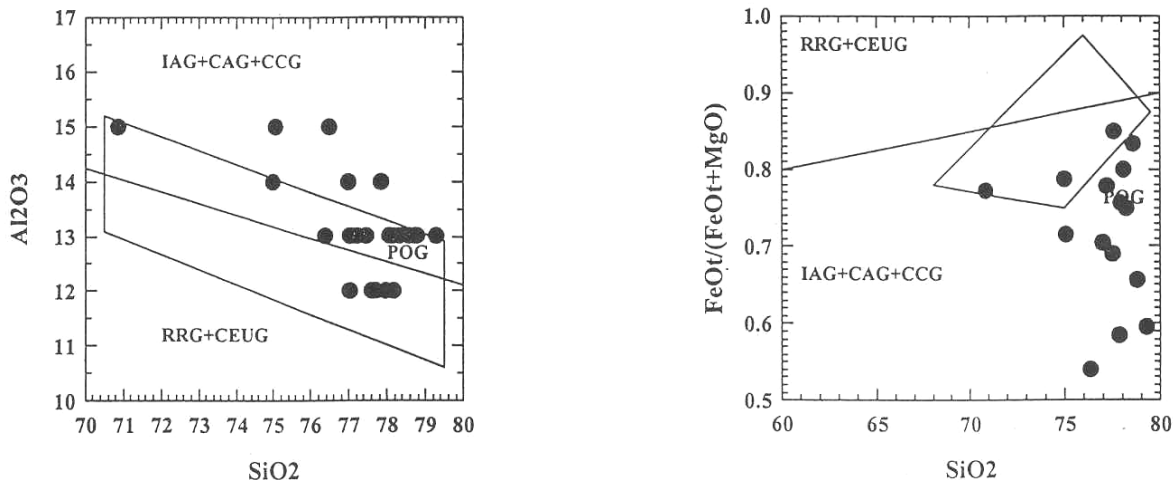
Norm: Chondrite



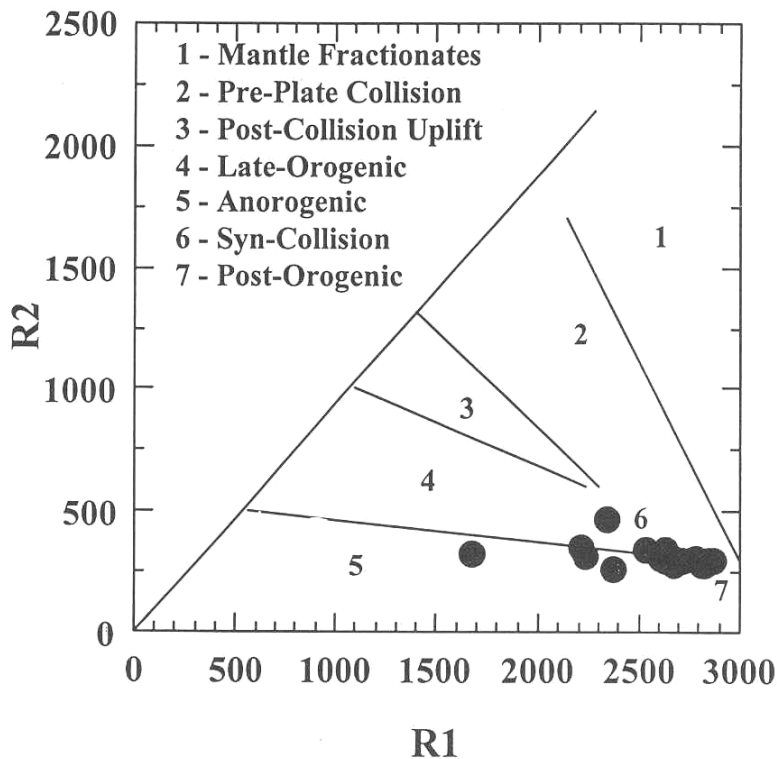
شکل ۱۶- دیاگرام چند عنصری (Spider Diagrams) و موقعیت میانگین مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌های توده نفوذی آق دره و گرانیت‌های تیپ "A" و "I" (Whalen et al. 1987) عادی شده بر پایه ترکیب ماگمای گوشته.



شکل ۱۷- دیاگرام تغییرات  $Y+Ce+Nb+Zr$  در مقابل  $(K_2O + Ni_2O) / CaO$  جهت تفکیک گرانیت‌های تیپ "A" گرانیت‌های تفریق یافته (FG) و گرانیت‌های تفریق نشده تیپ‌های S,I,M (OGT) (Whalen et al. - 1987).



شکل ۱۸- دیاگرام‌های تغییرات  $Al_2O_3$ ,  $FeOt/(FeOt+MgO)$  در مقابل  $SiO_2$  جهت تفکیک محیط تکتونیکی گرانیتیویدها (Maniar & Piccoli-1989) و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آنها.



شکل ۱۹- دیاگرام تغییرات پارامترهای  $R_1$  و  $R_2$  جهت تفکیک محیط تکتونیکی گرانیتیویدها (Batchelor & Bowden - 1985) موقعیت نمونه‌های توده نفوذی آق دره بر روی آن.

**کتابنگاری**

- بابا خانی، قلمقاش، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱۰۰،۰۰۰: ۱ تخت سلیمان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- خلقی خسرقی، ۱۳۸۰- بررسی پتروولوژی، ژئوشیمیایی و تعیین سن توده‌های نفوذی شمال باختر ایران (تکاب - شاهین دژ)، پایان‌نامه دکتری، انستیتو زمین‌شناسی، آکادمی علوم جمهوری آذربایجان، باکو، ۳۵۸ صفحه.
- خلقی خسرقی، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱۰۰،۰۰۰: ۱ ایرانخواه (چاپان)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خلقی خسرقی، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی ورق ۱۰۰،۰۰۰: ۱ شاهین دژ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خلقی خسرقی، ۱۳۷۰- متامورفیسیم، پلوتونیسیم و استراتیگرافی شرق شاهین دژ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۲۶۰ صفحه.

**References**

- Alavi - Naini, M., Hajian, J., Amidi, A., Bolurchi, H., 1982 - Geology of Takab - Saein Qalel: Explanatory note of 1:250,000 map of Takab quadrangl, Geological Survey of Iran, Report No. 50.
- Anderiva, E.D. et al., 1981 - Magmatic rocks, Moscova, Nedna Publications.
- Batchelor, R. A. and Bowden, P., 1985 - Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series, using multicationic parameters, Chem. Geol., No. 48, 43-55.
- Collins, W. Y., Beams, S. D., White, A.J.R. & Chappell, B.W., 1982 - Nature and origin of A - type granite with particular reference to south eastern Australia (Con. Min. Petrol., Vol. 80).
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grand Claude, P., Marcher, M., 1980 - A classification of Volcanic and Plutonic rocks using  $R_1 - R_2$  diagrams and major element analysis, chem. Geol., Vol. 29: 183 - 210.
- Furnes, H., El - Sayed, M., M., Khalil, S., O., & Hassanen, M., A., 1996 - Pan - African magmatism in the wadi El - Imra district, central Desert, Egypt: geochemistry & tectonic environment. Jou. Geo. Soc. Vol. 153.
- Harker, A., 1909 - The natural history of igneous rocks Methuen. London. 348 PP.
- Irvine, T.N., Barager, W.R.A., 1971 - A guide to the chemical classification of the common Volcanic rocks, Can. J. Earth sei 8, 523 - 548.
- LeMaitre, R.W., Bateman, P., Keller, J., Lameyre Le Bas, H. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., 1989 - A classification igneous rocks and glossary of terms, Blackwell, Oxford.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989 - Tectonic discrimination of granites, Geol. Soe. Am. Bull. 101: 635 - 643.
- Middlemost, E.A.K., 1987 - Magmas and magmatic rocks, Longman.
- Middlemost, E.A.K., 1991 - Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas, Earth Sci. Rev. 31: 73 - 87.
- Shand, S. J., 1974 - Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore - deposits. 3<sup>rd</sup> edition, J. Wiley and Sons, New York, 488 p.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., 1987 - A - Type granite: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis (cont. Min. Petrol. Vol. 95).

\*سازمان زمین‌شناسی کشور و اکتشافات معدنی کشور

\*\*دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

\*Geological Survey of Iran

\*\*Earth Science, Faculty, Shahid Beheshti University.