

منشأ، سنگ‌زایی، ژئودینامیک و سن‌سنجی رادیومتری توده نفوذی صفاخانه (شمال باختر ایران)

نوشته: محمدحسین خلقی* و منصور وثوقی عابدینی**

*سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران، **دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

Petrogenesis, Geodynamics and Radiometric Age Dating of Safakhaneh Mass, Northwest of Iran

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

* Geological Survey of Iran, Tehran, Iran,

** School of Earth Scienc, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۰۴/۱۱

چکیده

باتولیت صفاخانه در شمال باختری ایران (۴۷ کیلومتری جنوب باختر شاهین‌دژ) واقع است. این باتولیت در لبه پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد و سنگهای کرتاسه را بریده است. سن رادیومتری پدیدار شدن این باتولیت برای نخستین بار با روش K - Ar، ۶۹/۵ میلیون سال تعیین شده است. این سن، بیانگر زمان کرتاسه پسین - پالئوسن و رخداد زمین‌ساختی لارامید است. بررسی ژئوشیمیایی این باتولیت نشان می‌دهد که قسمت عمده ماگمای تشکیل دهنده این باتولیت ماگمای گوشته‌ای بوده است که در آن تحولاتی از نوع تفریق بلوری و آغشتگی صورت گرفته است. تفریق بلوری باعث تشکیل سنگهای متفاوت به ترتیب از نوع کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، تونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت شده است. ماگمای مولد این سنگها از نوع کلسیمی - قلیایی (کلکو آلکالن) و بیشتر متآلومین است. خصوصیات سنگهای این باتولیت با گرانیت‌های تیپ «I» از گونه کالدونین قابل مقایسه است. از نظر موقعیت زمین‌ساختی ویژگیهای این باتولیت با گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی (VAG) مطابقت دارد.

کلیدواژه‌ها: ایران، گرانیت، کرتاسه، ذوب بخشی، آمیختگی ماگمایی، کلسیمی - قلیایی، متآلومین، سن پرتوسنجی.

Abstract

Safakhaneh batholith, situated at 47 km southwest of Shahin Dezh, northwest of Iran, is located in the central Iran structural zone intersecting the Cretaceous rocks. The absolute age of the batholith, determined for the first time by K - Ar method, has been calculated 69.535 Ma. showing upper Cretaceous - Paleocene epoch and Laramide tectonic orogeny. Geochemical investigations of the batholith show that the major part of the batholith is of mantle magma, in which magmatic changes of the crystalline differentiation and contaminations have occurred. The crystalline differentiation has caused the formation of different rock types of quartz monzonite, quartz monzodiorite, tonalite, granodiorite and monzogranite respectively. Primary magma of the rocks is of calc - alkaline and generally metaluminous. The specifications of batholith rocks can be compared with the I - Type Caledonian granites. From the tectonic point of view, the specifications of the batholith can be comparable with the volcanic arc granitoids (VAG).

Key words:Iran, Granite, Cretaceous, Partial melting, Magma mixing, Calc -alkaline, Metalouminous, Radiometric age dating.

۱- مقدمه

کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، گرانیت قلیایی و سینوگرانیت است. کانیهای تیره آنها بیوتیت و آمفیبول است و در آنها میانبراهایی از نوع میکاشیست، کوارتز دیوریتهای ریزدانه و گزنولیت در اندازه‌های گوناگون دیده می‌شود و سنگهای کرتاسه پایینی را بریده‌اند. در مطالعات پرتوسنجی نهشته‌های گرانیتوبیدی ۶۹/۵ میلیون سال سن برای آنها تعیین گردیده است که با مشاهدات صحرایی مطابقت دارد. گذر انواع سنگها و رخساره‌های گرانیتوبیدی در مشاهدات صحرایی تدریجی است و در نمودارهای هارکر ارتباط تمام رخساره‌ها به یک فاز ماگمایی تأیید می‌شود. همچنین، ویژگیهای تفریق بلوری در برخی از نمودارها به خوبی نمایان است.

۳- سنگ‌نگاری

سنگهای توده نفوذی صفاخانه در رخنمونهای صحرایی، کم و بیش دگرسان شدگی نشان می‌دهند. رنگ نمونه دستی آنها خاکستری روشن تا طوسی بوده و دارای ساخت دانه‌ای و فرسایش پوست پیازی هستند. در اثر نیروهای زمین‌ساختی، کانیهای موجود در این سنگها، به‌طور محلی جهت یافتگی پیدا کرده و خطوارگی در راستای خاور - باختر نشان می‌دهند. این سنگها، بافت دانه‌ای و پورفیری با خمیره دانه متوسط و به‌طور محلی بافت میکروگرافیکی دارند. کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی کانیهای اصلی آنها را تشکیل می‌دهند. کانیهای فرومنیزین موجود بیوتیت و آمفیبول است. کوارتز ۱۰ تا ۲۵ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. اندازه بلورهای کوارتز ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر و شکل دار تا نیمه شکل دار است. این کانی دارای خاموشی موجهی است. بعضی از بلورهای کوارتز دارای میانبراهایی از آپاتیت و گاه زیرکن ریزدانه هستند. پلاژیوکلازها (الیگو کلاز تا آندزین) ۳۰ تا ۴۵ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهند. این بلورها، شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و اندازه آنها گاهی تا به ۳ میلی‌متر می‌رسد. در بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز، ساخت منطقه‌ای قابل رؤیت است و ماکل آلپیتی دارند. فلدسپار قلیایی ۱۵ تا ۳۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. بلورهای آن شکل دار تا نیمه شکل دار و از گونه ارتو کلاز پرتیتی و میکروکلین بوده و اندازه آنها ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر است. بخشهایی از فلدسپارها تجزیه شده، کانیهای سریست و مجموعه کانیهای سوسوریتی محصول این تجزیه است. بیوتیت به‌صورت تیغه‌های درشت بوده، اندازه آنها ۱ تا ۱/۵ میلی‌متر است و ۱۰ تا ۱۵ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. برخی از بلورهای بیوتیت سالم و بدون تجزیه هستند و برخی نیز به کلریت از نوع پنین، اسفن و اکسید آهن تجزیه شده‌اند. آمفیبولها ۱ تا ۱۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهند. بلورهای آن به‌طور عمده شکل دار و اندازه آنها ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر است. بخشهایی از آمفیبول به بیوتیت و کلریت از نوع پنین تجزیه شده

توده نفوذی صفاخانه بین طول جغرافیایی ۴۶ درجه، ۲۵ دقیقه تا ۴۶ درجه، ۵۵ دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه، ۲۸ دقیقه شمالی و به مساحت تقریبی ۲۹۵ کیلومتر مربع در ۴۷ کیلومتری جنوب باختر شاهین دژ قرار دارد (شکل ۱). روند آن نزدیک به خاوری - باختری بوده و در لبه پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیر پهنه البرز - آذربایجان و شمال خاوری پهنه سنندج - سیرجان جای دارد (نبوی، ۱۳۵۵). بخشی از این توده نفوذی در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ تکاب به پرکامبرین و بخشی نیز به ترشیری (Alavi-Naini, 1976) و ادامه همین توده نفوذی در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ مهاباد به بعد از کرتاسه (احتمالاً پالتوسن) نسبت داده شده است (Eftekhari Nezhad, 1980) (شکل ۲). در تحقیقات قبلی، مسائل سنگ‌شناسی، سنگ‌زایی و خاستگاه زمین‌ساختی - ماگمایی این سنگها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، افزون بر مطالعات سنگ‌نگاری، سنگ‌شناسی، ژئوشیمی، منشأ ماگمایی و جایگاه زمین‌ساختی، سن پرتوسنجی آنها نیز معین گردیده است. برای انجام این پژوهش، از توده نفوذی صفاخانه ۱۵۹ نمونه سنگی برای تهیه مقاطع نازک برداشت شد و از آنها ۷۰ نمونه به روش XRF در آزمایشگاههای سازمان زمین‌شناسی کشور تجزیه عناصر اصلی و فرعی به عمل آمد. هم‌چنین، از نمونه‌هایی به روش (K - Ar) در کشور چین (Geophysical and Geochemical Exploration Company, Xiangtangzhen, Nanchang, Jiandxi, China) تعیین سن پرتوسنجی صورت گرفت.

۲- زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در شمال باختر ایران، بین شهرهای تکاب، شاهین دژ و سقز بوده و بخشهایی از استانهای آذربایجان باختری و کردستان را شامل می‌شود. نهشته‌های ناحیه مورد مطالعه، از سنگهای سازنده‌های کهر (پرکامبرین)، باندور (پرکامبرین بالایی) (PC)، سلطانیه (پرکامبرین بالایی - کامبرین)، لالون (کامبرین پایینی)، میلا (کامبرین - اردوویسین)، دورود (پرمن پایینی)، روته (پرمن میانی)، نسن (پرمن بالایی) (PA)، شمشک (تریاس بالا - ژوراسیک پایین) (J)، شیل، ماسه‌سنگ، سنگهای آتشفشانی، سنگ آهکهای فسیل‌دار (کرتاسه پایین) (K^s)، سنگ آهکهای کرتاسه بالا (K^l)، سنگ آهکهای مارنی میوسن پایین (M)، رسوبهای پلیوسن - کواترنری (Q) و نهشته‌های عهد حاضر در آن پروتزد دارند (Q^{all}) (شکل ۲).

برای ماگمای گوشته (شکل ۶) پیشنهاد شده است بررسی و با نموداری که توسط Whalen et al. (1987) برای گرانیت‌های تیب «I» ارائه شده مقایسه و چنین نتیجه می‌شود:

۱- عناصر کمیاب سبک بیشتر از عناصر کمیاب سنگین غنی شدگی نشان می‌دهند اما شیب میانگین منحنیها از سمت پتاسیم به سوی کروم است این روند، بیانگر آن است که قسمت عمده ماگمای تشکیل دهنده سنگهای مورد مطالعه، حاصل ذوب بخشی گوشته است (Rollinson, 1993).

۲- تهی شدگی عناصر سازگار Ni, Cu, V و غنی شدگی عناصر ناسازگار حاکی از آن است که تحولاتی از نوع تفریق بلوری که توسط نمودارهای هارکر نشان داده شده است در در ماگمای اولیه سازنده این باتولیت صورت گرفته است.

۳- افت و ایجاد گودی (Trough) عنصر Nb می‌تواند در اثر آغستگی و اختلاط ماگما با مواد پوسته یا ارتباط ماگما با فرورانش باشد (Rollinson, 1993). در هر حال، با توجه به این که در باتولیت صفاخانه میانبراهای متفاوتی وجود دارد، افزون بر تفریق بلوری، آلودگی نیز می‌تواند در تحول ماگمای اولیه تشکیل دهنده این باتولیت مؤثر باشد.

۴- عنصر Sr، غنی شدگی همراه با قله (Pick) نشان می‌دهد. بالا بودن مقدار Sr می‌تواند به علت حضور آن در پلاژیوکلازها، فلدسپارهای پتاسیم‌دار و تا حدودی جانشین شدن آن به جای کلسیم در آمفیبولها باشد. بالا بودن مقدار Sr یکی از مشخصه‌های گرانیت‌های تیب «I» است.

۵- افت Ti و تشکیل قله Y نشان می‌دهد که توده نفوذی صفاخانه با گرانیت‌های تیب «I» مطابقت دارد (Wilson, 1990).

۶- جایگاه سنگهای توده نفوذی صفاخانه از نگاه آلومین و سری ماگمایی

سنگهای توده نفوذی صفاخانه بر اساس نسبتهای SiO_2 و A/NK در برابر A/CNK بیشتر متاآلومین و تعداد کمی هم در محدوده پراآلومین هستند. این ویژگی در نمودارهای پیشنهادی (Maniar and Piccoli 1989) و (Shand 1974) به خوبی نمایان است (شکل‌های ۷، ۸) هم چنین، بر پایه نمودارهایی که توسط (Irvine and Baragar 1971) ارائه شده است نمونه‌های توده نفوذی صفاخانه نیمه قلیایی از نوع کلسیمی - قلیایی است. (شکل‌های ۹، ۱۰).

۷- خاستگاه توده نفوذی صفاخانه

بررسی زایشی سنگهای گرانیتوئیدی توده نفوذی صفاخانه حاکی از آن است که این سنگها به دلیل داشتن ویژگیهای زیر از نوع گرانیتوئیدهای تیب «I» هستند. این ویژگیها عبارتند از:

است. اسفن، آپاتیت، آلانیت (اورتیت)، زیرکن، موسکویت و کانیه‌های کدر، کانیه‌های جزئی را تشکیل می‌دهند.

در توده نفوذی صفاخانه دایکهای از گونه‌های سیلیسی، آپلیتی، بازی، تونالیتی، کوارتز دیوریتی و مونزوگرانیتی دیده می‌شود که جوان‌ترین آنها دایکهای کوارتز دیوریتی است که سایر دایکها را بریده است.

در متن سنگهای توده مذکور، میانبراهایی از گونه کوارتز دیوریت و میکاشیست در اندازه متفاوت دیده می‌شود. میانبراهای ریز دانه کوارتز دیوریتی، به شکل گرد و بیضی بوده و اندازه آنها تا ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد. این میانبراهای عمدتاً حاوی بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلازهای فراوان هستند.

۴- نامگذاری

سنگهای توده نفوذی صفاخانه، با استفاده از تجزیه‌های شیمیایی نامگذاری شده است. در این نامگذاری، از پارامترهای R2, R1 (De La Roche et al. 1980) استفاده شده است (شکل ۳). نام نمونه‌های بررسی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. محدوده ترکیب شیمیایی این سنگها، بیشتر تونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت، کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، گرانیت قلیایی و سینوگرانیت می‌باشد.

۵- ژئوشیمی و زایش توده نفوذی صفاخانه

نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و فرعی هفتاد نمونه از توده نفوذی صفاخانه در جدول ۱ آورده شده است. برای مشخص شدن خویشاوندی نمونه‌های مورد بررسی، از نمودارهای تغییرات عناصر مختلف در برابر SiO_2 (Harker 1909) استفاده شده است (شکل ۴). نحوه قرارگیری نقاط در نمودارها، بیانگر وجود همخوانی بین نمونه‌های توده نفوذی و تشکیل شدن آنها از یک نوع ماگماست. کاهش اکسیدهای آلومینیم، آهن، کلسیم، تیتانیم، منگنز، منیزیم، فسفر و افزایش نسبی اکسیدهای سدیم، پتاسیم در برابر افزایش سیلیس نشان‌دهنده روند تفریق ماگمای اولیه تشکیل دهنده سنگهای باتولیت صفاخانه است. پراکندگی نقاط برخی از اکسیدهای عناصر بویژه اکسیدهای سدیم و پتاسیم در نمودارهای هارکر، به احتمال زیاد به علت آلودگی ماگمای اولیه با مواد پوسته‌ای است که در بررسیهای سنگ‌نگاری احتمال این پدیده را تأیید می‌کند.

برای بررسی تحولات ماگمایی، میانگین مقادیر عناصر کمیاب نمونه توده‌های نفوذی اصلی، در نمودارهای عنکبوتی (Spider Diagrams) که توسط (Thompson et al. 1984) و (Sun 1980) برای کندریتها (شکل ۵) و (Ringwood et al. 1979)

(Ridge Granites)

۲- گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG = Volcanic Arc Granites)

۳- گرانیت‌های درون صفحه‌ای (WPG = Within Plate Granites)

۴- گرانیت‌های برخوردی (COLG = Collision Granites)

بر اساس تقسیم‌بندی‌های بالا، توده نفوذی صفاخانه، با گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG = Volcanic Arc Granites) (Pearce et al., 1984) قابل مقایسه است (شکل‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵).

۸- سن توده نفوذی صفاخانه

بخشی از توده نفوذی صفاخانه، در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، تکاب، هم ارز گرانیت دوران به سن پرکامبرین و بخشی نیز به ترشیری نسبت داده شده است (Alavi - Naini, 1982) و ادامه همین توده نفوذی در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ مه‌آباد به پس از کرتاسه (احتمالاً پالئوسن) (Eftehkar Nezhad, 1980) نسبت داده شده است. در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، ایرانخواه، با توجه به همبندی نهشته‌های کرتاسه و بریده شدن آنها توسط توده نفوذی صفاخانه و شباهت‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی سنگ‌های این توده نفوذی با ادامه آن در نقشه زمین‌شناسی چهار گوش مه‌آباد و توده نفوذی محمودآباد و دیگر شواهد چینه‌شناسی و مشاهدات صحرایی سن پس از کرتاسه - پالئوسن (۹) به توده نفوذی صفاخانه پیشنهاد شده است (خلقی خسرقی، ۱۳۷۰، ۱۳۷۳) در این پژوهش، دو نمونه به روش (K - Ar) تعیین سن شده و به طور متوسط سنی معادل ۶۹/۵ میلیون سال برای سنگ کل (Whole Rock) و ۹۶/۷ میلیون سال برای زمان تبلور بلورهای بیوتیت و ۹۳/۷ میلیون سال برای زمان تبلور بلورهای فلدسپارهای قلیایی (تک کانی) تعیین شده است. بر اساس این شواهد، انجماد نهایی توده نفوذی در زمان کرتاسه بالا - پالئوسن (۹) در ارتباط با رخداد زمین‌ساختی لارمید تأیید می‌شود.

۹- نتیجه گیری

توده نفوذی صفاخانه در زون ساختاری ایران مرکزی واقع است. بر اساس شواهد صحرایی و سنسنجی بر روی بیوتیت و فلدسپارهای قلیایی، سن جایگزینی آن کرتاسه (۶۹/۵ میلیون سال پیش) است. این توده نفوذی با گسترش نزدیک به ۲۹۵ کیلومتر مربع در ۴۷ کیلومتری جنوب باختر شاهین دژ در شمال باختر ایران واقع است و ترکیب سنگ‌شناسی آن به طور عمده کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، تونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت است. توده نفوذی صفاخانه از جمله گرانیتوئیدهای نوع «I»

۱- این توده نفوذی به صورت باتولیت بوده ترکیب سنگ‌شناسی آن تونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت، کوارتز مونزونیت، مونزونیت، مونزودیوریت، گرانیت قلیایی و سینوگرانیت است. بخشهایی از توده بازی تر است و به سمت کوارتز دیوریت تا گابرو پیش می‌رود.

۲- میانبارهای ریزدانه تیره رنگ از نوع کوارتز دیوریت و میکاشیست است (Hibbard (1981) میانبارهای ریزدانه تیره رنگ را دلیل بر آمیختگی ماگمایی دانسته است هم چنین، (Didier et al. (1982) میانبارهای ریزدانه تیره رنگ را از مشخصه‌های گرانیتوئیدهای تیپ «I» می‌دانند. میانبارهای میکاشیستی نشانگر آغشتگی ماگمای اولیه با اجزای پوسته‌ای است (Clarke et al., 1980).

۳- کانیهای مافیک این توده نفوذی بیوتیت و هورنبلند است موسکویت اولیه، آندالوزیت، سیلیمانیت، کوردیوریت و گارنت در این سنگها دیده نمی‌شود. هم چنین، در بعضی از نمونه‌ها، آلانیت (اورتیت) و زیرکن اولیه مشاهده می‌شود. ۴- نسبت A / CNK کمتر از ۱/۱ است.

۵- از لحاظ شاخص آلومین، بیشتر متآلومین و در ترکیب نرم CIPW بیشتر نمونه‌ها کانی دیوپسید وجود دارد و کروندوم فقط در بعضی از نمونه‌ها محاسبه شده است.

۶- میانگین درصد وزنی Na₂O در این توده نفوذی ۵/۳۳ درصد است و سنگهای این توده از Sr و CaO غنی شدگی نشان می‌دهند.

۷- میانگین مجموع عناصر FeO(t)+MgO+MnO+TiO₂ نزدیک به ۷/۵۸ درصد است. تغییرات عناصر در نمودارهای دوتایی خطی است.

۸- در نمودار تغییرات Y + Ce + Nb + Zr در برابر (K₂O+Na₂O)/CaO برای تفکیک تیپ گرانیت‌ها، در محدوده گرانیت‌های تفریق نشده تیپ‌های S, I, M (OGT) واقع هستند (Whalen et al., 1987) (شکل ۱۱).

۹- نمونه‌های مورد بررسی، در نمودار SiO₂ در برابر A/CNK (شکل ۸) و در نمودار K₂O در برابر Na₂O (شکل ۱۲) برای تفکیک گرانیت‌های تیپ I و S در محدوده گرانیت‌های تیپ «I» واقع هستند (Chappell and White, 1974, 1984).

با توجه به ویژگی‌های بالا، توده نفوذی صفاخانه با گرانیتوئیدهای نوع «I» از گونه کالدونین قابل مقایسه است (Pitcher, 1982).

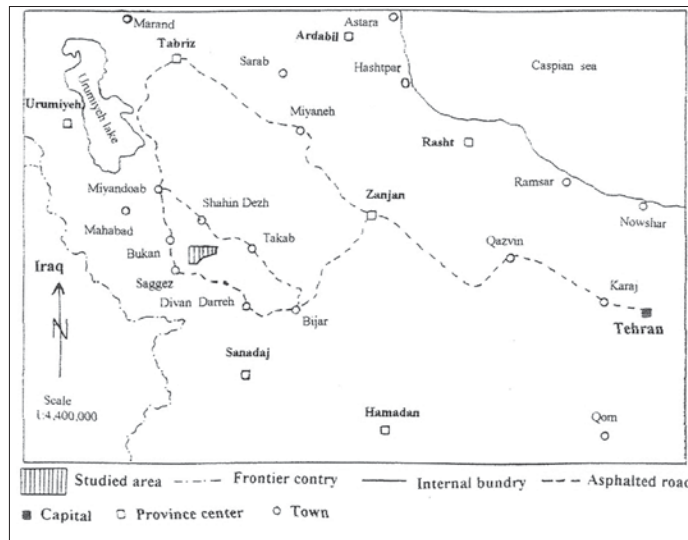
برای دستیابی به محیط زمین‌ساختی تشکیل توده نفوذی صفاخانه از پژوهش‌های (Pearce et al. (1984) بر اساس عناصر کمیاب استفاده شد.

(Pearce et al. (1984) با توجه به رفتار SiO₂ در برابر Nb, Y در برابر Y و Rb در برابر Y + Nb گرانیتوئیدها را به چهار گروه تقسیم کرده‌اند:

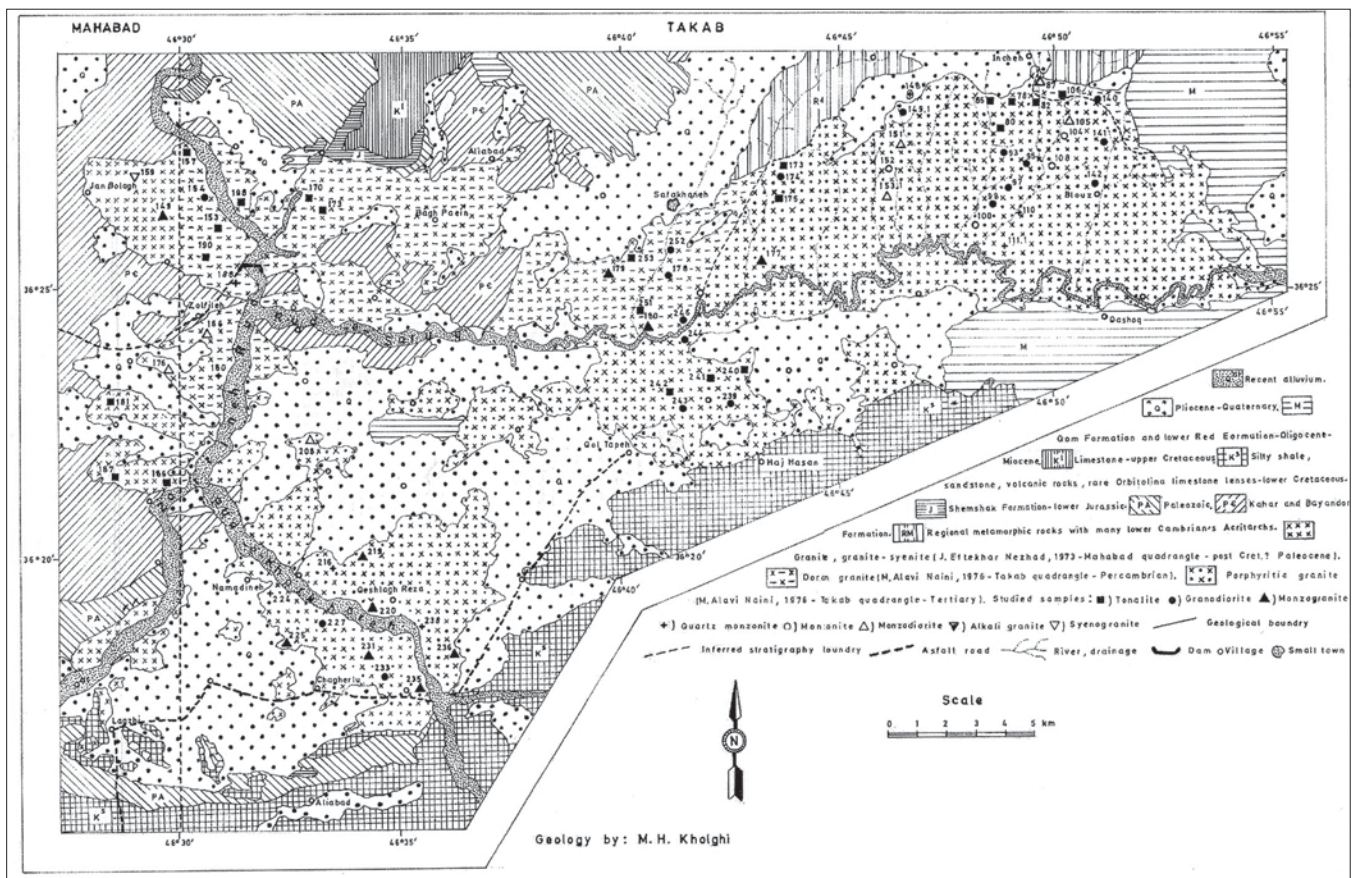
۱- گرانیت‌های پیش‌ته‌های میان اقیانوسی (ORG = Oceanic)

پوسته‌ای حاصل شده است. این توده نفوذی از دیدگاه جایگاه زمین‌ساختی باگرانیتوئیدهای (VAG) قابل مقایسه است.

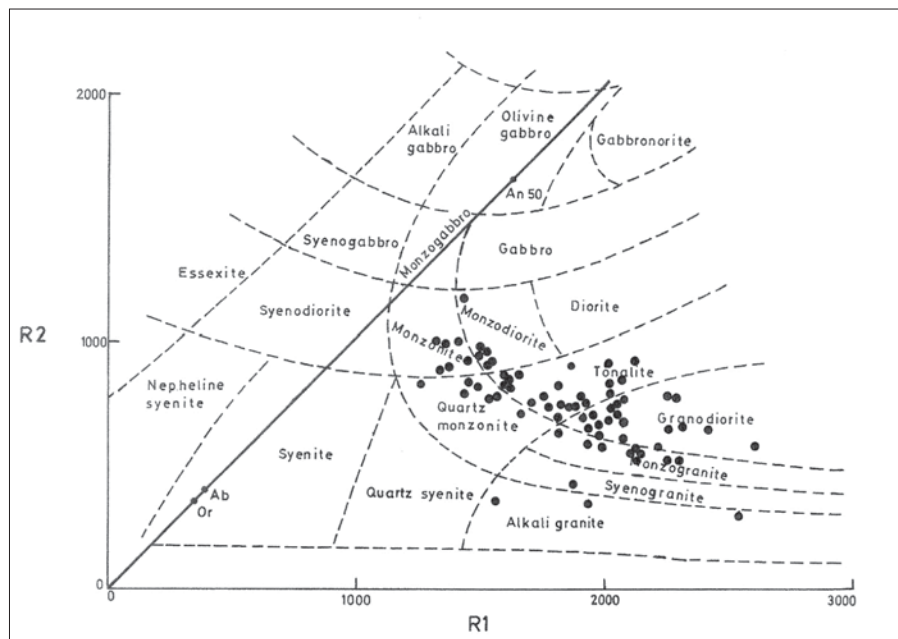
است. بررسی ژئوشیمیایی عناصر کمیاب نشان می‌دهد ماگمای توده نفوذی صفاخانه از ذوب بخشی گوشته بالایی همراه با آلودگی اجزای



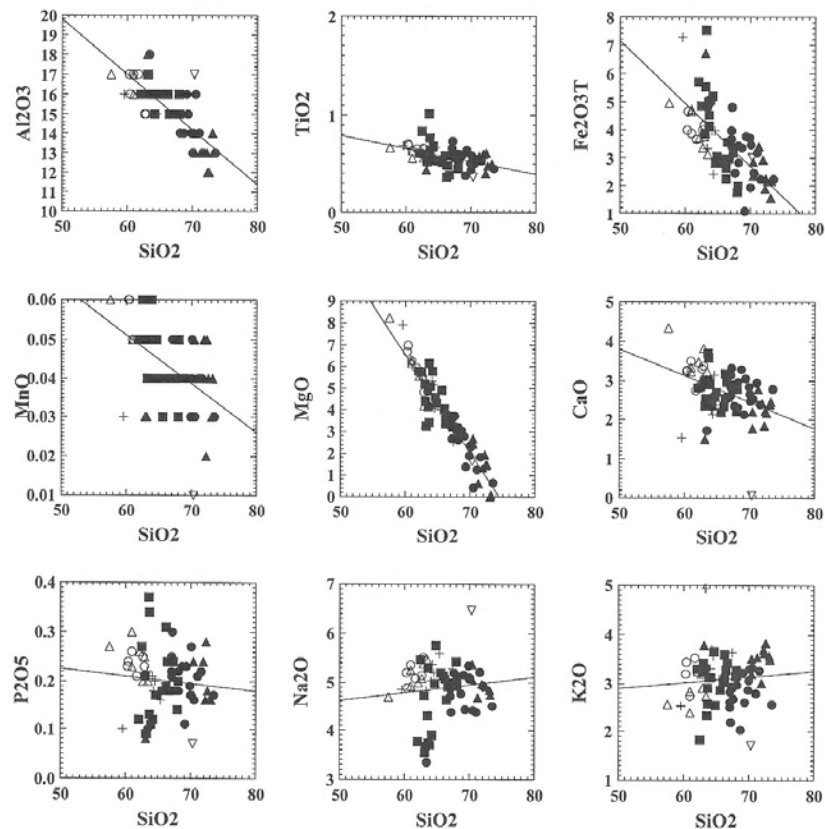
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی توده نفوذی صفاخانه و راههای ارتباطی آن



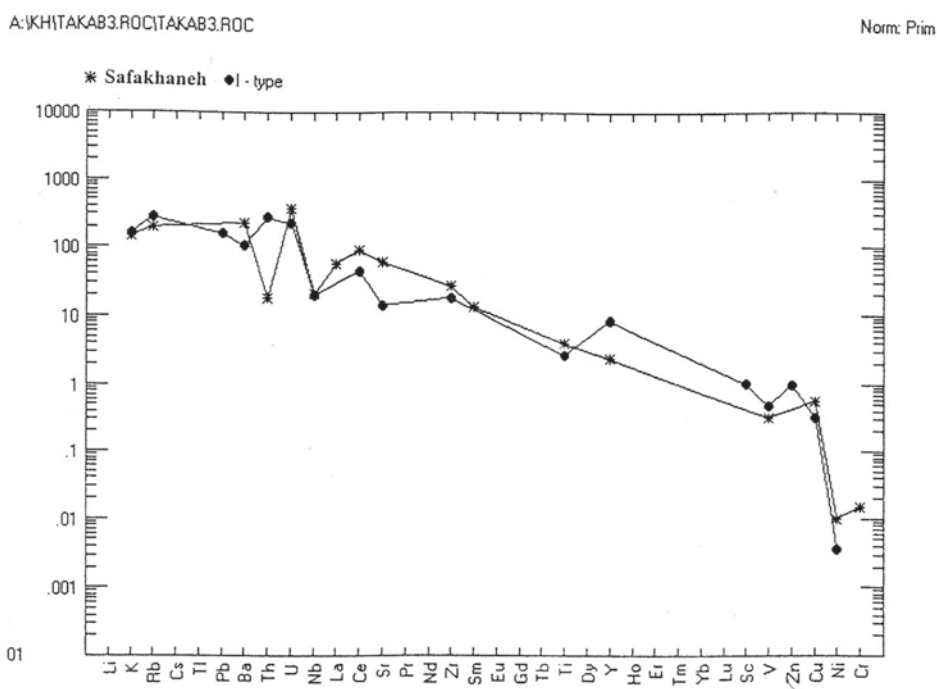
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی توده گرانیتوئیدی صفاخانه (شمال باختر ایران)



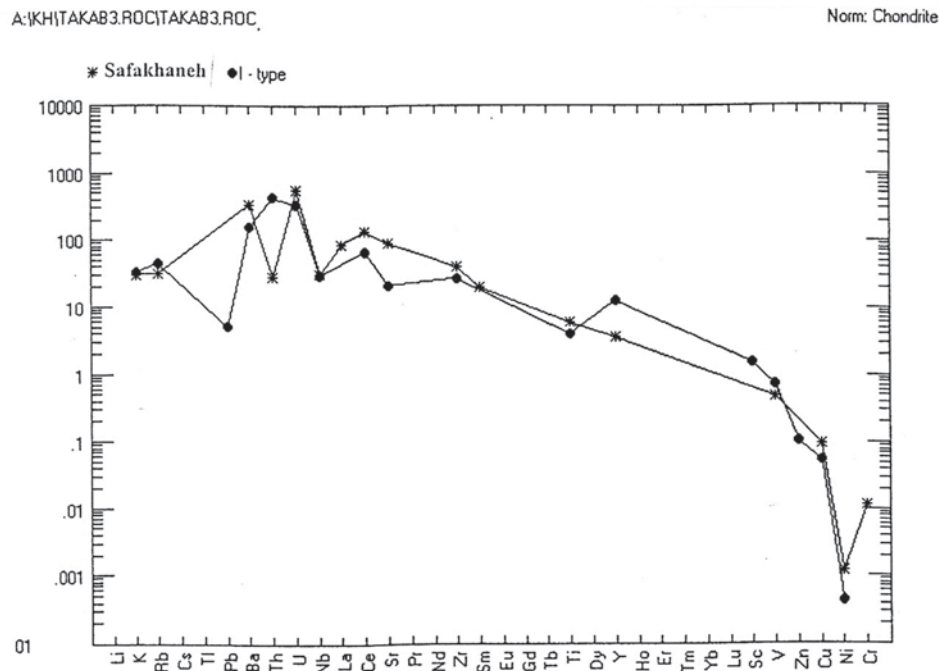
شکل ۳- نامگذاری سنگهای توده نفوذی صفاخانه با استفاده از نمودار چند کاتیونی R1 و R2 برای طبقه بندی سنگهای آذرین درونی (De la Roche et al., 1980) (علائم شبیه شکل ۲).



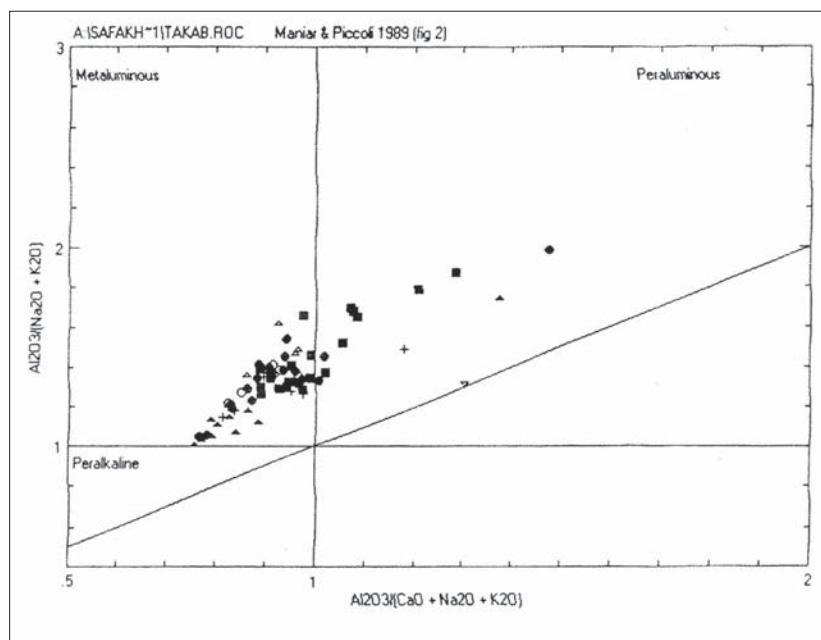
شکل ۴- بررسی خویشاوندی سنگهای توده نفوذی صفاخانه با استفاده از نمودارهای تغییرات اکسیدهای مختلف در برابر SiO_2 (Harker, 1909) (علائم شبیه شکل ۲).



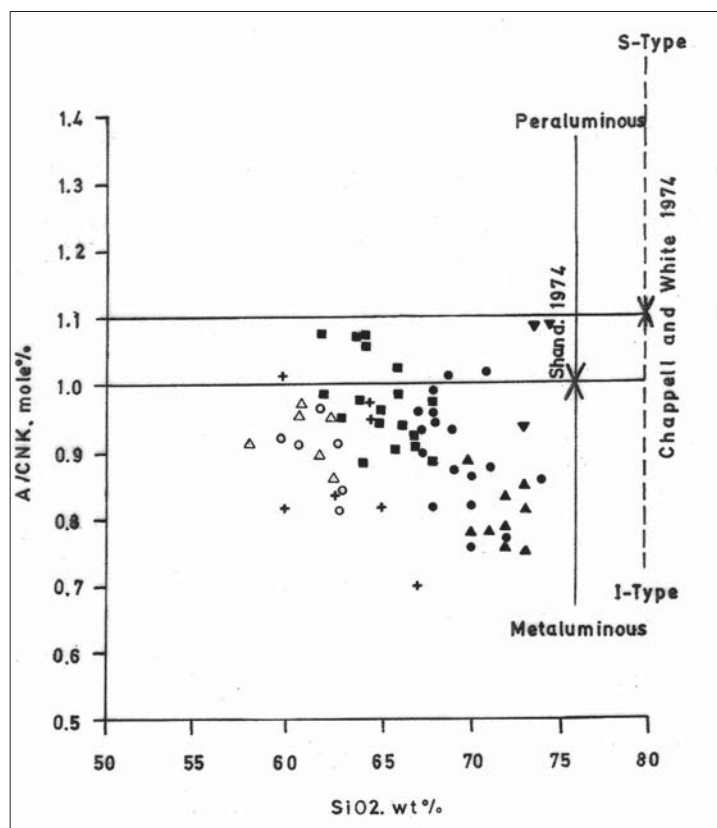
شکل ۵- مقایسه ترکیب میانگین مقادیر عناصر کمیاب سنگهای توده نفوذی صفاخانه و ترکیب میانگین گرانیت نوع «I» ارائه شده توسط Whalen et al. (1987). مقادیر عناصر کمیاب بر پایه ترکیب گوشته، عادی سازی شده است (علائم شبیه شکل ۲).



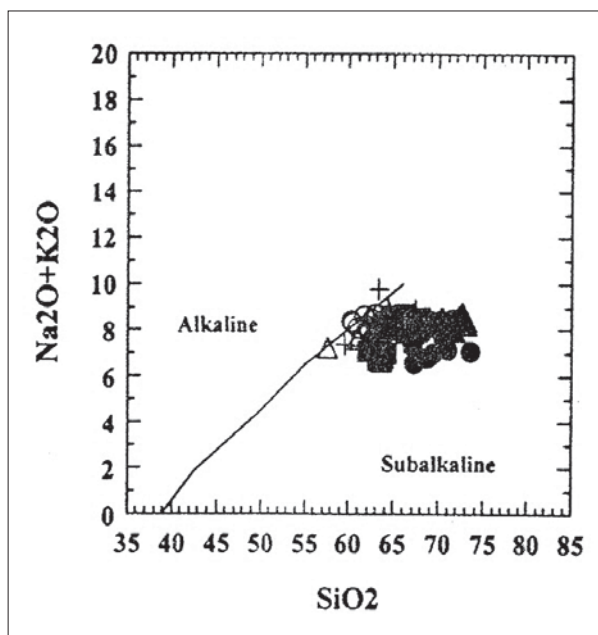
شکل ۶- مقایسه ترکیب میانگین مقادیر عناصر کمیاب سنگهای توده نفوذی صفاخانه با ترکیب میانگین گرانیت نوع «I» ارائه شده توسط Whalen et al. (1987). مقادیر عناصر کمیاب بر پایه ترکیب کندریتها، عادی سازی شده است (علائم شبیه شکل ۲).



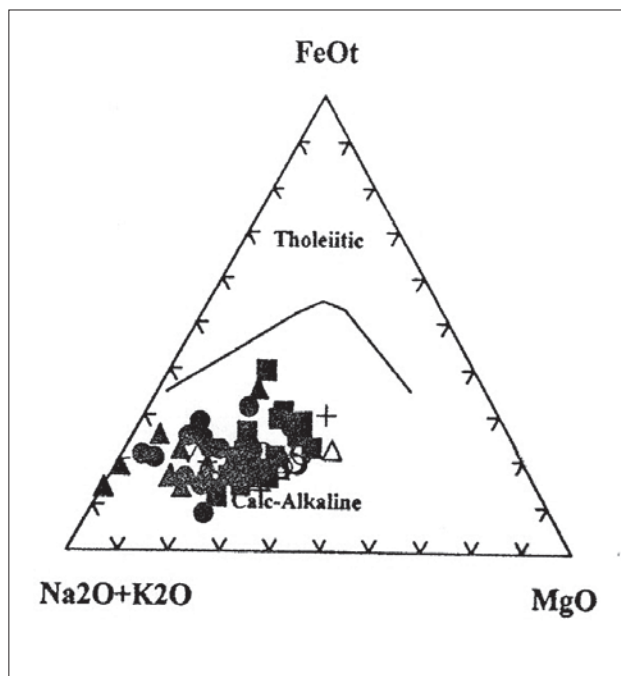
شکل ۷- بررسی شاخص آلومین در سنگهای توده نفوذی صفاخانه با استفاده از نمودار A/CNK در برابر A/NK (Maniar & Piccoli, 1989) (علائم شبیه شکل ۲)



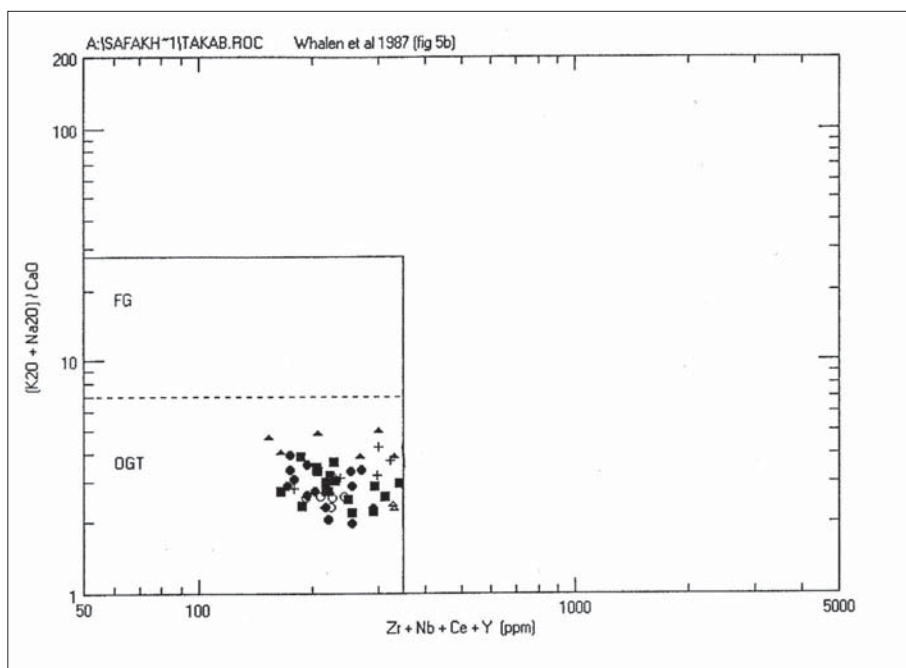
شکل ۸- موقعیت نمونه‌های توده نفوذی صفاخانه در نمودار A/CNK در برابر SiO₂ (Chappell & White, 1974 ; Shand, 1974) (علائم شبیه شکل ۲)



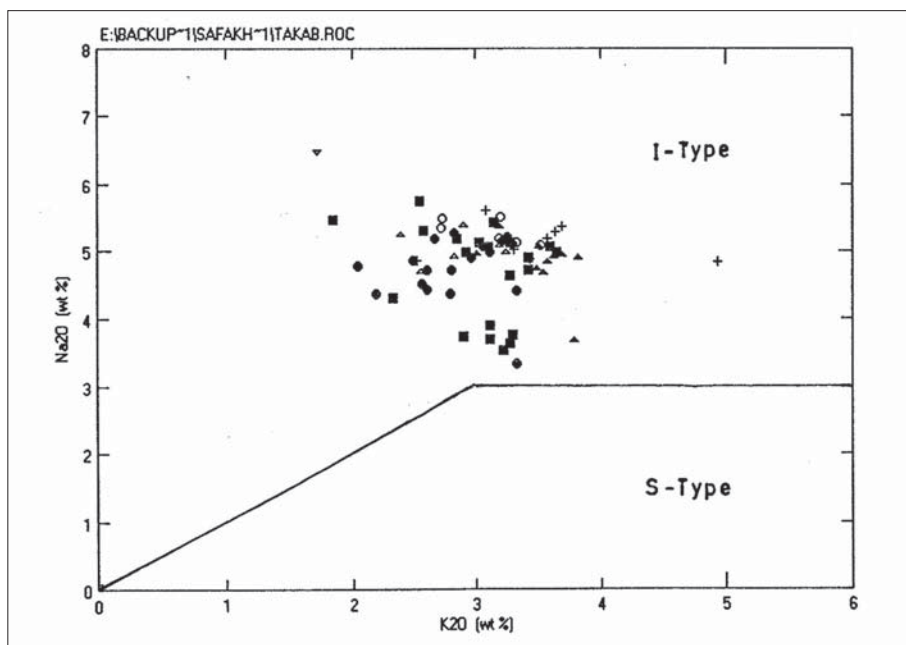
شکل ۹- نمودار تغییرات مجموع آلکالن در برابر اکسید سیلیسیم که در آن دو محدوده آلکالن از یکدیگر جدا شده‌اند (Irvine & Baragar, 1971) و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی صفاخانه بر روی آن (علائم شبیه شکل ۲)



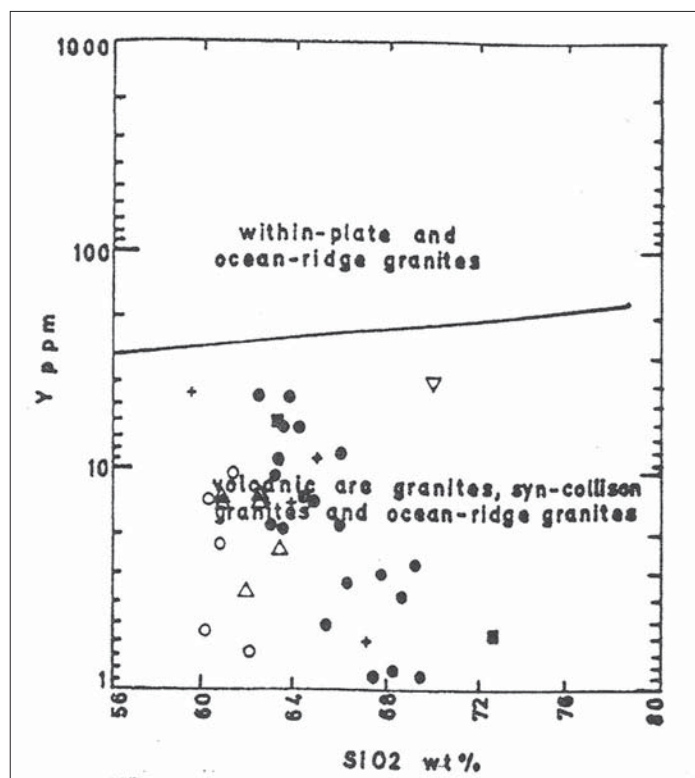
شکل ۱۰- نمودار AFM که سه قطب آن $F = FeO(t)$ و $A = Na_2O + K_2O$ ، $M = MgO$ است و در آن دو محدوده کلسیمی-قلیایی و تولیت از هم تفکیک شده است (Irvine & Baragar, 1971) و موقعیت نمونه‌های توده نفوذی صفاخانه بر روی آن (علائم شبیه شکل ۲)



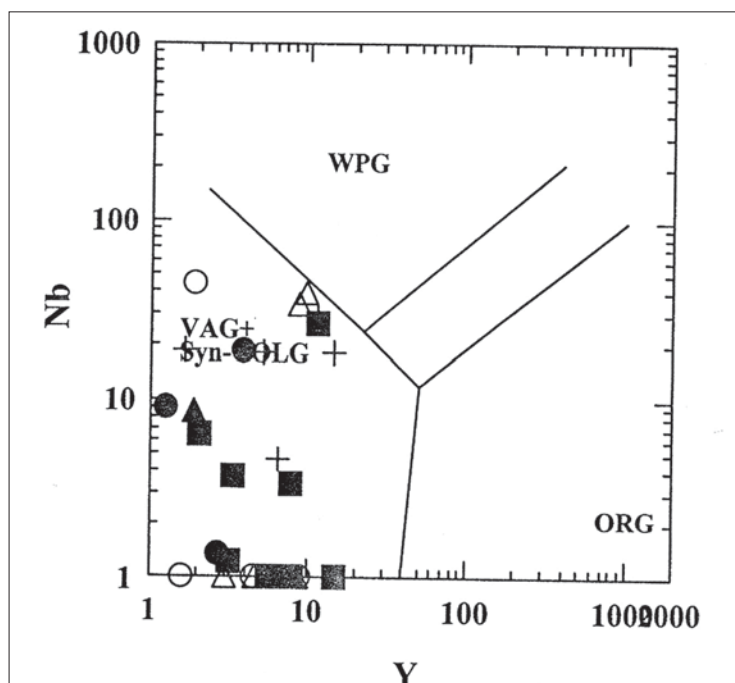
شکل ۱۱- نمودار تغییرات $Y+Ce+Nb+Zr$ در برابر $(K_2O+Na_2O)/CaO$ برای تفکیک گرانیت‌های «A»، گرانیت‌های تفریق یافته (FG) و گرانیت‌های تفریق نشده تیپ‌های S, I, M (Whalen et al., 1987) (OGT) (علائم شبیه شکل ۲)



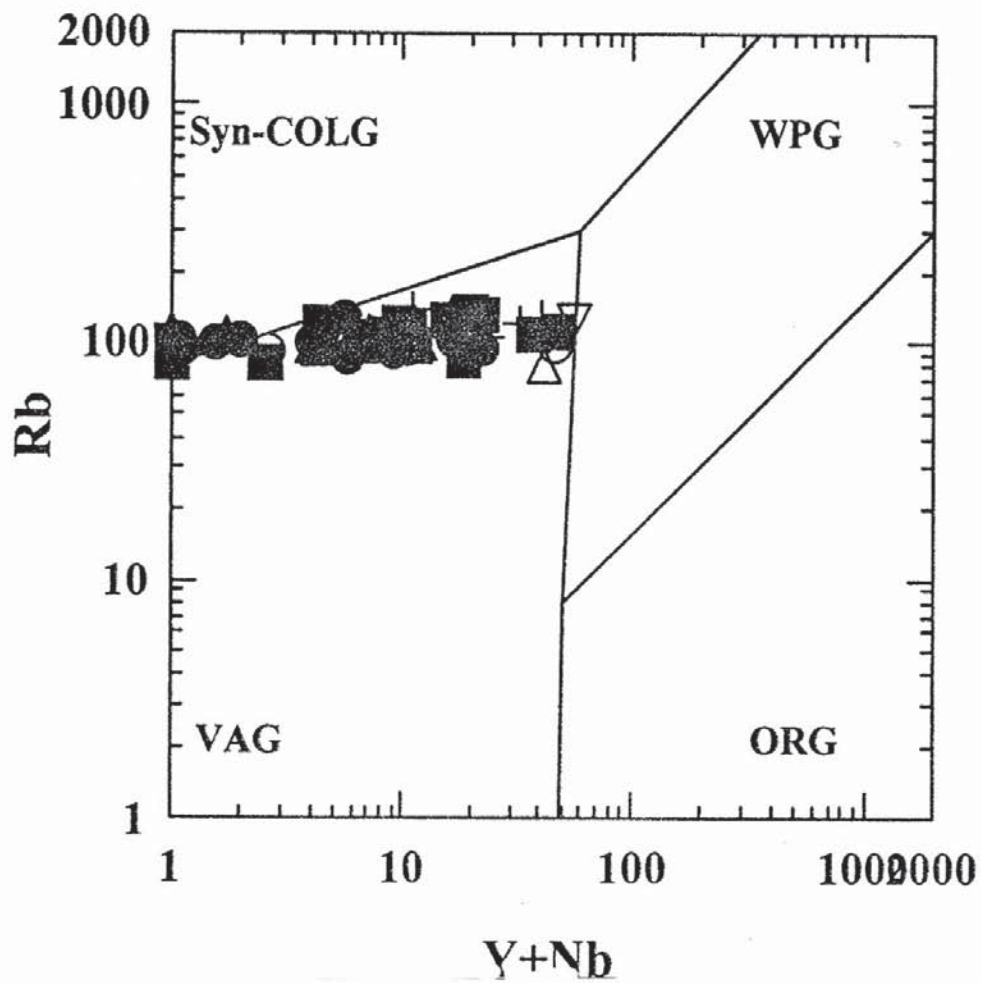
شکل ۱۲- نمودار تغییرات K_2O در برابر Na_2O برای تفکیک گرانیت‌های S و I (Chappell & White, 1984) (علائم شبیه شکل ۲)



شکل ۱۳- نمودار تغییرات عنصر کمیاب Y در برابر SiO_2 برای تفکیک محیط زمین‌ساختی گرانیتها (Pearce et al., 1984)،
(علائم شبیه شکل ۲)



شکل ۱۴- نمودار تغییرات عنصر کمیاب Y در برابر عنصر کمیاب Nb برای تفکیک محیط زمین‌ساختی گرانیتها (Pearce et al., 1984)،
(علائم شبیه شکل ۲)



شکل ۱۵- نمودار تغییرات عنصر کمیاب Y+Nb در برابر عنصر کمیاب Rb برای تفکیک محیط زمین‌ساختی گرانیتها (Pearce et al., 1984)،
(علائم شبیه شکل ۲)



ادامه جدول ۱

Samp.(wt%)	Class. In De La Roche-1980	233	235	236	238	173.1	174	176	177	178	179	180.1	239	240	241	242	243	244	246	248	251	252	253	78	
	graptolite	111.61	113.41	107.27	121.46	84.24	94.57	96.97	97.75	91.39	99.54	97.38	100.48	100.74	94	98.91	102.84	101.73	97.74	103.5	82.64	88.33	83.56	106.63	
	Rb	0.87	0.95	0.81	2.31	0.82	1.04	1.06	0.74	0.79	0.74	0.72	2.06	1.57	1.5	1.22	1.1	0.88	0.65	1.91	0.66	0.73	0.4	2.47	
	Ta	785.41	772.88	826.63	1106.61	1783	1254	1092	961	1163	967	908	986	1047	1089	1013	1036	893	959	1348	1421	1191	1006	1153.66	
	Sr	187.51	165.49	168.72	213.33	235.42	203.48	209.48	177.7	191.47	190.88	194.38	189.61	175.46	180.59	175.06	181.43	172.49	183.92	207.71	215.49	187.58	191.52	196.86	
	Zr	N.D.	N.D.	N.D.	3.79	0.56	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.89	2.03	0.97	N.D.	0.83	0.1	N.D.	0.3	0.1	N.D.	N.D.	6.73	7.93	N.D.	
	Nb	N.D.	N.D.	N.D.	1.49	0.39	0.17	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	
	Y	101.28	155.62	159.96	197.99	215.07	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	197.99	
	Sc	N.D.	N.D.	N.D.	0.31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Cu	37.32	37.11	40.68	22.23	34.65	35.25	37.81	36.78	37.98	41.12	33.96	40.47	40.3	42	41.95	39.66	50.09	35.1	24.5	41.59	38.94	39.93	27.31	
	Ga	27.47	33.6	33.96	38.45	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	26.84	<5	26.84	<5	26.84	<5	26.84	<5	<5	<5	
	La	1.84	1.32	1.44	5.04	2.07	1.5	1.98	1.03	0.97	0.84	0.65	1.96	2.22	1.75	1.93	1.47	1.49	1.54	1.54	1.68	1.57	1.51	4.55	
	Ni	<2	5.85	2.11	6.69	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2.29	1.42	<2	<2	2.93	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
	Sm	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Th	1.08	1.97	1.98	9.26	13.94	7.99	5.12	2.83	5.95	4.18	2.9	4.99	5.93	5.76	4.43	5.95	3.37	3.01	9.9	8.86	6.01	7.01	7.6	
	U	27.23	27.09	27.42	30.3	40.07	22.6	27.73	24.9	19.87	21.42	19.36	15.24	24.4	18.68	26.96	24.78	24.47	28.94	37.41	44.26	30.42	60.3	27.87	
	V	1.5	0.31	1.4	5.93	1.93	2.22	1.11	1.16	1.23	1.15	1.19	1.51	1.19	1.46	1.51	1.19	1.46	1.51	1.19	1.46	1.51	1.19	1.46	
	Hf	1032.81	1164.97	945.6	1119.49	1153.45	1864.06	1311.38	1888.58	1276.45	1176.74	1192.24	1324.08	1053.04	1556.58	1284.94	853.07	1153.93	4218.37	1448.66	1390.7	4298.27	1637.51	1181.77	
	Bi	1.55	1.36	1.65	1.45	2.05	1.86	1.71	1.32	1.33	1.35	1.35	1.6	1.82	1.72	1.69	1.84	1.66	1.67	1.44	2.97	1.94	1.85	1.36	
	Na2O/K2O	8.36	8.56	7.91	8.97	7.81	8.18	7.9	8.23	7.7	8.24	8.39	8.31	7.97	8.49	8.05	7.82	7.88	7.54	8.53	7.21	7.33	6.81	8.53	
	Na2O/H2O	0.87	0.69	0.63	0.56	0.49	0.58	0.53	0.63	0.49	0.62	0.6	0.52	0.5	0.64	0.52	0.51	0.52	0.5	0.52	0.46	0.5	0.42	0.53	
	R1	1983.1	2144.87	2235.83	1442.56	1626.53	1954.27	1932.82	2157.1	2274.04	2309.99	2265.6	1989.15	1772.31	1808.75	1778.42	1962.83	2020.34	2031.39	1380.52	1647.68	2046.54	2008.92	1601.02	
	R2	625.61	553.09	574.53	894.59	887.66	687.91	758.4	894.58	600.78	529.15	528.74	690.35	788.92	702.86	760.87	734.48	700.65	746.95	914.92	901.6	762.37	911.59	820.83	
	CI PW Norms	20.51	24.75	25.64	6.5	10.4	20.22	16.5	24.86	25.51	20.04	27.27	18.01	11.96	14.86	12.98	16.45	18.17	17.39	34.3	7.82	17.9	14.66	9.08	
	Q	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
	Z	19.56	21.5	17.84	21.86	15.29	18.02	17.35	20.96	19.72	20.67	21.14	19.07	15.94	18.65	17.96	15.88	17.59	16.7	20.85	10.91	14.81	13.8	21.51	
	Or	43.15	41.71	41.97	45.36	44.87	44.51	42.22	39.6	37.4	40.1	40.95	43.57	43.91	45.86	43.43	43.93	41.54	39.95	42.99	46.23	41.12	36.47	42.14	
	Ab	1.74	1.04	3.57	9.51	12.49	9.44	4.31	12.23	4.69	5.9	10.52	10.31	9.86	11.1	10.66	10.22	11.4	12.18	13.17	11.38	16.84	11.07	11.07	
	An	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Ne	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Ac	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Ns	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Di	7.54	7	6.02	0.5	3.44	5.76	3.21	7.27	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Wo	4.28	1.39	2.13	13.9	8.69	2.39	8.4	0.11	2.51	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Hy	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Ml	1.56	1.01	1.32	1.09	2.03	2.9	1.43	1.64	1.11	0.97	0.7	0.48	1.26	0.79	1.34	1.11	1.28	1.41	1.64	1.87	1.52	1.91	1.26	
	Cm	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Il	1.12	1.16	1.14	1.1	1.46	0.96	1.14	1.1	0.95	0.95	0.91	0.72	0.99	0.85	1.12	1.06	1.01	1.18	1.23	1.58	1.25	1.92	1.03	
	Tn	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Ru	0.66	0.68	0.68	0.44	0.84	0.46	0.58	0.53	0.39	0.41	0.39	0.27	0.44	0.34	0.44	0.44	0.44	0.54	0.51	0.68	0.61	0.9	0.41	
	Ap	100.24	100.27	100.25	100.31	100.51	100.4	100.33	100.3	100.32	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3
	Total	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

R1 & R2 are De La Roche parameters, R1=Si/(Na+K)/(Fe+Ti), R2=eCa/(2Mg+Al). N.D.=not detected. Q quartz, C corundum, Z zircon, Or orthoclase, Ab albite, An anorthite. Di diopside, Hy hypersthene, Ol olivine, Ml magnetite, Cm chromite, Hm hematite, Il ilmenite, Tn spinelle, Ru rutile, Ap apatite, Yfytite.

ادامه جدول ۱

Sample (wt%)	Class. in Os-La Roche-1980																		
	mon. dio.	granodio.	granodio.	granodio.	massonite	mesoactite	mon. dio.	mon. dio.	quartz.	granodio.	granodio.	quartz.	granodio.	granodio.	mon. dio.	mesoactite	mon. dio.	mon. dio.	
TiO ₂	62.31	62.87	71.04	43.21	65.91	68.22	63.37	63.99	63.24	69.51	67.00	68.27	67.85	62.99	63.00	61.77	65.85	65.45	
Al ₂ O ₃	15.96	15.03	13.76	13.12	14.65	14.68	16.37	16.21	16.02	14.77	16.09	14.26	14.78	14.15	14.47	13.98	16.28	16.37	
Fe ₂ O ₃	3.6	1.87	3.5	2.86	2.09	4.45	3.48	3.71	3.69	3.14	3.85	3.88	3.88	4.2	3.11	2.89	3.2	3.45	
MnO	2.4	1.25	2.33	1.97	1.39	3.18	2.49	2.48	2.64	2.09	1.2	2.27	2.22	2.14	1.95	2.56	2.3	1.64	
MgO	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	
CaO	5.12	2.97	4.18	1.26	2.98	2.68	3.39	3.51	3.97	4.29	3.78	4.03	3.98	3.98	4.25	3.99	4.98	3.46	
Na ₂ O	4.67	5.07	5.37	4.38	4.49	4.36	4.43	5.11	5.01	5.67	5.48	5.14	4.84	5.02	4.71	4.74	5.26	5.44	
K ₂ O	3.39	3.25	2.91	2.8	2.68	2.18	2.2	3.32	3.14	3.16	3.25	3.18	3.54	3.49	3.05	2.61	2.72	2.69	
P ₂ O ₅	0.21	0.2	0.25	0.21	0.19	0.3	0.23	0.25	0.23	0.2	0.17	0.23	0.2	0.24	0.17	0.22	0.2	0.26	
Total	98.87	99.11	98.85	99.94	99.55	99.52	99.75	99.64	98.4	98.65	98.49	99.04	99.04	98.26	99.53	99.42	99.27	99.54	
Tr.Ele.(ppm)																			
Rb	96.96	102.38	60.17	97.4	98.86	86.8	93.66	93.64	100.22	100.3	97.79	91.77	95.08	97.63	95.25	94.56	95.91	97.42	
Ta	0.21	0.09	0.17	0.16	0.14	0.14	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.11	0.11	0.08	0.07	0.09	0.08	0.11	
Zr	1312.25	1179.72	377.8	1056.88	907.86	1184.4	1100.5	1336.2	1219.1	1352.3	1207.2	1244.2	1244.2	1148.5	1114.3	1214.8	1171.1	1448.8	
Y	235.67	209.04	367.7	170.91	171.34	208.68	194.51	189.76	205.2	215.53	217.76	207.41	175.33	182.07	175.99	212.82	208.99	215.68	
Nb	5.61	3.36	8.55	N.D.	N.D.	N.D.	0.12	0.12	7.28	8.81	7.82	1.58	N.D.	1.89	0.99	0.4	1.24	4.48	
Ca	N.D.	N.D.	N.D.	33.75	<1	1.56	<1	<1	<1	<1	3.37	<1	<1	44.32	<1	3.73	9.09	18.42	
Co	N.D.	N.D.	N.D.	237.68	295.57	43.41	84	N.D.	27.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Cr	23.68	30.5	21.74	34.03	34.95	32.27	33.73	42.74	25.88	29.71	29.89	40.37	39.77	30.97	37.49	37.82	45.63	41.99	
La	3.87	<5	<5	<5	<5	9.78	7.11	12.3	28.82	3.01	<5	4.98	14.29	7.74	<5	<5	<5	<5	
Ni	4.8	2.78	3.77	0.96	0.9	1.35	1.12	2.89	5.84	5.02	4.46	2.89	2.51	5.34	1.31	1.59	1.58	1.46	
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Th	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
U	8.6	7.33	29.28	3.77	3.12	6.05	5.51	6.34	9.9	9.93	9.24	6.9	4.95	7.14	3.53	5.61	4.79	5.92	
V	30.95	21.18	33.16	24.46	17.27	38.48	29.98	34.7	39.68	30.16	27.28	33.85	33.68	26.33	27.07	25.78	28.09	31.96	
Hf	4.57	3.6	5.54	1.08	1.09	1.26	1.23	2.39	4.89	4.85	4.79	2.5	1.83	3.58	1.54	1.73	1.81	1.83	
Cr	11.62	10.14	10.02	8.06	7.72	8.5	8.22	10.73	13.4	11.23	10.31	10.71	11.24	186.38	8.75	8.89	8.89	8.81	
Ba	1153.51	1228.59	2107.79	1071.03	1204.01	1127.49	1046.52	1209.05	1194.05	1181.36	1057.78	1285.18	1386.78	1435.66	1256.05	1410.48	1297.85	1331.09	
Na ₂ O/K ₂ O	1.38	1.56	1.85	1.57	1.99	1.71	1.84	1.63	1.59	2.26	1.72	1.45	1.42	1.65	1.81	2.34	1.46	1.89	
NiO/Co	0.81	0.85	0.97	0.86	0.97	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	
Na ₂ O/H ₂ O/Al ₂ O ₃	0.51	0.55	0.62	0.54	0.65	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	
R1	1601.22	1885.68	1493.37	2410.27	2528.84	2287.78	2324.2	1456.73	1312.93	1628.85	1688.5	1365.71	1602.89	1353.1	2089.93	2082.53	1672.92	1936.92	
R2	885.02	743.81	936.43	567.76	776.31	684.03	684.03	928.93	1003.89	922.85	822.88	900.72	829.51	1004.55	682.49	804.87	780.59	1271.57	
CFPW Norms	7.74	16.01	6.68	27.03	21.32	24.44	5.37	1.59	5.85	9.1	5.1	8.74	1.19	20.5	17.42	12.67	14.08	17.85	
C
Z	0.04	0.04	0.7	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Or	20.32	19.43	17.26	16.99	15.23	12.98	15.46	19.72	18.91	18.9	15.12	16.95	21.14	20.34	18.18	15.46	12.1	21.55	18.48
An	12.84	43.3	39.82	49.88	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08	48.08
Ab
Ac
Ns
Di	1.16	3.52	5.41	3.4	4.19	0.9	1.41	6.04	2.05	1.48	1.57	6.57	6.47	3.26	4.16	3.24	6.76	5.68	
Hy	14.88	6.92	10.3	3.47	0.9	9.94	5.54	13.94	18.62	15.24	11.9	11.6	9.68	19.19	5	10.22	8.46	5.01	
Ol
Ilm
Ch
Hm
It	1.14	0.89	1.14	1.04	0.85	1.39	1.22	1.25	1.33	1.08	1.01	1.23	1.27	1.31	0.84	1.5	1.12	1.1	
Ru
Ap	0.51	0.49	0.82	0.51	0.41	0.73	0.56	0.61	0.56	0.49	0.41	0.56	0.49	0.58	0.41	0.51	0.56	0.49	0.54
Total	100.34	100.32	100.62	100.28	100.29	100.33	100.29	100.32	100.35	100.35	100.32	100.35	100.33	100.39	100.29	100.34	100.33	100.32	100.32

R1 & R2 are De La Roche parameters, R1=4Si/(Na+K)2(Fe+Ti), R2=Ca+2Mg/Al.
 Di diopside, Ilm hypersthene, Ol olivine, Hm hematite, It ilmenite, Ru rutile, Ap apatite, Hm hematite, An anorthite.

کتابنگاری

- خلقی خسرقی، م. ح.، ۱۳۸۰ - بررسی پترولوژی، 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، م. ح.، ۱۳۷۹ - نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ ایرانخواه (چاپان)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خلقی خسرقی، م. ح.، ۱۳۷۳ - نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ شاهین دژ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خلقی خسرقی، م. ح.، ۱۳۷۰ - متامورفیزم، پلوتونیزم 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.
- Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1974-Two contrasting granite types ,Pac.Ged., Vol.8,173-174.
- Chappell, B. W., Stephen, S. W., 1984 - Origin of infrucrustal (I-Type) granite magmas, Earth Sciences, Edinborgh : 71 - 86.
- Clarke, D. B., 1983 - Granitoid rocks (Chapman & Hall, Pub.).
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grand - Claude , P., Marchar, M., 1980 - A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 - R2 diagrams and major element analysis, chem .Geol ., Vol. 29: 183 - 210.
- Didier, J., Duthou, J. L. and Lameyre, J., 1982 - Mantle and crustal granites: Genetic classification of orogenic granites and nature of their enclaves (J. Volca. Geoth. Res., Vol 14).
- Eftekhar Nezhad, J., 1980 - Explanatory report for the Mahabad quadrangle map 1:250,000, geological survey of Iran geological quadrangle. No. B. 4.
- Eftekhar Nezhad, J., 1980 - L'etude geologique de la region de Mahabad (Kurdistan Iranian) l, evolution structural du NW de l, IRAN. Docteur thesis, univ. Paris - sud (Orsay), p.250.
- Harker, A., 1909- The natural history of igneous rocks, Methuen . London .348 PP.
- Hibbard, M. J., 1981 - The magma mixing origin of mantle feldspars (Con. Min. Petrol., Vol. 76).
- 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.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P. M., 1989 - Tectonic discrimination of granites, Geol. Soe. Am. Bull. 101: 635 - 643.
- Miyashiro, A., 1974 - Volcanic rock series in island arcs and active continental margin, Am. J. Sci., 274, 321-55.
- Pearce, J. A., Harris, N. B., Tindle, A.G., 1984 - Trace element discrimination diagrams for the tectonics interpretation of granitic rocks, Journal pet., Vol. 25.
- Pitcher, W.S., 1992 - The nature and origin of granite (Chapman & Hall. Pub.).
- Ringwood, A. E., 1979 - Composition and petrology of the Earth, Mantle, McGraw - Hill, New York, USA.
- Rollinson, H. R., 1993 - Using geochemical data: Evolution, Presentation, interpretation (Longman Ltd. Pub.).
- Shand, S. J., 1974 - Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore - deposits. 3rd edition, J. Wiley and Sons, New York, 488 p.
- Sun, S. S., Nesbitt, R.W. & Shataskin, A. T., 1979 - Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts Earth Planet. Sci. Lett., 44, 119 - 38.
- Thompson, R. N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. & Parry, S.J., 1984 - An assessment of the relative roles of crust and mantle elemental approach, Phil. Trans. Roy. Lond. A 310, 549 - 90.
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B.W., 1987 - A - Type granite: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis (cont. Min. Petrol. Vol. 95).
- Wilson, M., 1990 - Igneous petrogenesis (Unwin Hyman Lond., Pub).