

سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، منشأ و جایگاه زمین‌ساختی توده گرانیتویدی بی‌بی مریم (افضل آباد - نهبندان)

نوشته: سید سعید محمدی*، منصور وثوقی عابدینی**، محمد پورمعافی**

محمد هاشم امامی*** و محمد مهدی خلیب*

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

Petrography, Geochemistry, Genesis and Tectonic Setting of Bibi Maryam Granitoid (Afzal Abad-Nehbandan)

By: S. S. Mohammadi*, M. Vossoughi Abedini**, M. Pourmoafi**,
M. H. Emami*** & M. M. Khatib*

*Geology Department, Faculty of Science, Birjand university, Birjand, Iran Shahid Beheshti university, Tehran, Iran

Department of Geology, Faculty of Earth Science, *Geological survey of Iran, Tehran, Iran

تاریخ پذیرش: ۸۵/۰۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۸۴/۰۲/۱۷

چکیده

توده گرانیتویدی بی‌بی مریم با وسعت حدود ۵ کیلومتر مربع درون نوار افیولیت ملائژ خاور ایران، در پهنه ساختاری سیستان واقع شده، این توده نفوذی از تونالیت - کوارتز دیوریت و گرانودیوریت تشکیل شده است. کانیهای مافیک شامل هورنبلند و بیوتیت در کوارتز دیوریت - تونالیت هستند. وجود آنکلاوهای میکرودیوریتی در تونالیتها و نبود آن در گرانودیوریت از ویژگیهای توده مورد مطالعه است. بافتهای پرتیتی و گرانوفیری در گرانودیوریتها به ترتیب بیانگر کم بودن فشار بخار آب و سرد شدن به نسبت سریع در ژرفای کم است.

بررسی ژئوشیمیایی سنگهای مورد مطالعه نشان‌دهنده ویژگی کلسیمی - قلیایی و متآلومین تا پرآلومین است. بررسی عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی بیانگر کاهش Nb و تمرکز بالای عناصر K، Rb، Ba و Th است که می‌تواند نشان‌دهنده آغشتگی ماگمای اولیه حاصل از ذوب بخشی گوشته با مواد پوسته‌ای باشد. با وجود اینکه توده نفوذی بی‌بی مریم سنگهای اولترامافیک را قطع نموده است، ویژگیهای سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی را نداشته و بیشتر ویژگیهای آن با گرانیتویدهای نوع I قابل مقایسه است. از نظر جایگاه زمین‌ساختی در رده گرانیتویدهای کوهزایی و در گروه VAG قرار می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: ایران، گرانیتوید، نهبندان، کلسیمی - قلیایی، متآلومین - پرآلومین، VAG

Abstract

Bibi Maryam Granitoid body with 5 km² exposure area is located in the east Iranian ophiolite mélangé belt in Sistan quartzdiorite and granodiorite. The main mafic minerals are hornblende -suture zone. This intrusive body consists of tonalite and biotite in quartzdiorite-tonalite. Existence of microdioritic enclave in tonalite and its absence in granodiorites is one of the main characteristics of the body. Perthitic and granophyric textures in granodiorites represent low water vapor pressure and relatively fast crystallization, respectively.

Trace element Geochemical study of rock samples shows that the body is calc-alkaline and metaluminous to peraluminous. patterns in spider diagrams represent a trough for Nb and enrichment for K, Rb, Ba and Th that indicate contamination by crustal materials. Although Bibi Maryam intrusive body cuts the ultramafic rocks, it lacks petrographic and geochemical characteristics of oceanic plagiogranites. The geochemistry of the body is comparable with I-type granitoids and based on tectonic setting it can be classified as orogenic and VAG type.

Keywords: Iran, Granitoid, Nehbandan, Calc-alkaline, Metaluminous-Peraluminous, VAG

۱- مقدمه

اصلی توده گرانیتوئیدی بی بی مریم را تونالیت-کوارتز دیوریت تشکیل داده و زبانه‌های گرانودیوریت نیز وجود دارد. مرز تونالیت-کوارتز دیوریت با زبانه‌های گرانودیوریتی واضح بوده و در بعضی جاها دایکهای گرانودیوریتی، بخش تونالیتی را قطع کرده‌اند. بر این اساس می‌توان ادعا کرد که سنگهای توده گرانیتوئیدی بی بی مریم در دو مرحله جایگیر شده‌اند، به طوری که در مرحله اول تونالیت-کوارتز دیوریت و در مرحله دوم گرانودیوریت تشکیل شده است. در متن سنگهای مرحله اول آنکلاوهای ریزدانه به رنگ سبز تیره با ترکیب دیوریتی وجود دارد، در صورتی که سنگهای مرحله دوم فاقد آنکلاو است.

۳- سنگ نگاری و نامگذاری

ویژگیهای سنگ نگاری سنگهای نفوذی بی بی مریم به ترتیب جایگیری به شرح زیر است:

تونالیت- کوارتز دیوریت: بخش اصلی توده نفوذی را تونالیت تشکیل داده که در نمونه دستی، رنگ خاکستری روشن تا مایل به سبز و بافت تمام بلورین دارد. ویژگی مهم این سنگ، بافت درشت بلور آن است. در برخی نمونه‌ها با کاهش میزان کوارتز، تغییر ترکیب پلاژیوکلاز و افزایش کانیهای مافییک (بویژه هورنبلند)، ترکیب سنگ به کوارتز دیوریت متمایل شده است. تفکیک بخشهای تونالیتی از کوارتز دیوریتی در صحرا به سادگی امکان پذیر نیست. شاید به همین دلیل است که این دو نام به وسیله عده زیادی از سنگ شناسان آذرین به صورت معادل به کار برده می‌شود. در این تحقیق، به دلیل این که براساس ترکیب کانی شناسی و شمارش کانیها، تعداد کمی از نمونه‌ها در محدوده کوارتز دیوریت واقع گردید، نام این سنگ نیز در کنار تونالیت بیان شده و ویژگیهای بافتی-کانی شناسی آن ذکر شده است.

بافت تونالیت از نوع دانه‌ای با دانه‌های نامساوی (Inequigranular) بوده و به طور محلی بافت افیتیک نیز دیده می‌شود. اندازه میانگین بلورها ۵-۲ میلی متر است. در این سنگ، کوارتز، پلاژیوکلاز (الگو کلاز-آندزین) و بیوتیت به عنوان کانیهای اصلی بوده و آمفیبول (هورنبلند)، مسکویت، آپاتیت، زیرکن و کانی کدر (مگنتیت) از اجزای فرعی سنگ به شمار می‌آیند. بلورهای ریز هورنبلند در ارتباط نزدیک با بیوتیت قرار دارد.

کوارتز دیوریت در نمونه دستی با رنگ خاکستری مایل به سبز و بلورهای ریزتر از تونالیت مشخص می‌شود. بافت آن از نوع دانه‌ای، گاهی پوی کیلیتیک و افیتیک است. اندازه بلورها تا ۳ میلی متر می‌رسد. کانیهای پلاژیوکلاز (آندزین)، هورنبلند و کوارتز سازندگان اصلی بوده و بیوتیت، اسفن، زیرکن و کانی کدر (مگنتیت) کانیهای فرعی می‌باشند. آمفیبول در کوارتز دیوریتها به صورت بلورهای به نسبت درشت و نیمه شکل دار بوده و با

توده گرانیتوئیدی بی بی مریم با وسعت حدود ۵ کیلومتر مربع در فاصله ۳۰ کیلومتری خاور شوسف (۱۹۰ کیلومتری جنوب خاوری بیرجند) دارای موقعیت جغرافیایی ۱۶° ۱۳' تا ۴۰° ۱۴' طول خاوری و ۵۱° ۳۱' تا ۳۰° ۵۲' عرض جغرافیایی شمالی است (شکل ۱). وجود چندین توده گرانیتوئیدی در طول نوار افیولیت ملانژ خاور ایران که توده مورد بحث یکی از آنهاست، پرسشهایی اساسی را پیرامون جایگاه و منشأ این گرانیتوئیدها مطرح می‌کند. در مورد توده گرانیتوئیدی بی بی مریم تاکنون تحقیق اساسی صورت نگرفته و اطلاعات درباره آن اندک است. در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهبندان با عنوان توده بزرگ تونالیتی اسم برده شده است. مهران و همکاران (۱۳۷۹)، این توده را در قالب طرح پژوهشی مورد مطالعه قرار داده‌اند. ایشان سنگهای این توده را کلسیمی-قلیایی با ترکیب گرانودیوریتی با منشأ رسوبی (تیپ S) و از نظر جایگاه زمین ساختی در رده گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) معرفی کرده‌اند. در این پژوهش سعی گردیده تا با استفاده از نتایج مطالعات صحرایی، سنگ نگاری و ژئوشیمی، منشأ و محیط زمین ساختی توده گرانیتوئیدی بی بی مریم بررسی شود.

۲- زمین شناسی عمومی

توده گرانیتوئیدی بی بی مریم با روند کلی شمال باختر- جنوب خاور در حاشیه باختر گسل نه خاوری (East Neh fault) واقع شده است. توده مذکور درون نوار افیولیت ملانژ خاور ایران و در پهنه ساختاری سیستان قرار دارد. ایالت ساختاری سیستان در اثر برخورد بلوک لوت و بلوک افغان و در نتیجه بسته شدن باریکه اقیانوسی سیستان در کرتاسه پسین تکوین یافته است (Tirrul et al., 1983). واحدهای سنگی درونگیر توده گرانیتوئیدی مورد مطالعه بلوکهای بزرگی از پریدوتیت، الیون گابرو، گابروی دانه درشت (به مقدار کم)، بازالت و دیابازهای دگرسان شده است که در بیشتر نقاط توسط توده گرانیتوئیدی قطع شده‌اند. سن افیولیت ملانژ منطقه، کرتاسه پسین بوده (Tirrul et al., 1983) و توده گرانیتوئیدی نیز در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهبندان به عنوان یکی از واحدهای مجموعه افیولیتی معرفی شده است. شواهد صحرایی بخصوص در حاشیه توده حاکی از آن است که زبانه‌های گرانیتوئیدی، سنگهای اولترامافییک را قطع کرده‌اند، بنابراین سن توده گرانیتوئیدی پس از کرتاسه پسین است. در مجاورت بلافضل توده گرانیتوئیدی به دلیل فشار ناشی از نفوذ حجم زیادی از ماگما، سنگهای اولترامافییک میزبان دارای نوعی بر گوارگی شده و به علاوه تحت تأثیر نفوذ سیالات ماگمایی، متحمل دگرسانی شدید شده‌اند که آثار آن به صورت تشکیل سرپانتین و فراوانی اکسیدهای آهن مشاهده می‌شود. بخش

کانیها و استفاده از ترکیب شیمیایی انجام شده است. بر پایه نتایج سنگ نگاری و مودال، سنگهای مورد مطالعه تونالیت، گرانودیوریت و به مقدار کم کوارتزدیوریت و مونزوگرانیت است. برای نامگذاری شیمیایی، از نمودار Middlemost (1985) براساس درصد وزنی اکسیدهای قلیایی و سیلیس (شکل ۲) و نمودار چند کاتیونی Debon & Le Fort (1983) (شکل ۳) استفاده شد. محدوده ترکیب شیمیایی این سنگها در نمودار Middlemost (1985)، تونالیت و گرانودیوریت تا گرانیت و در نمودار Debon & Le Fort (1983)، تونالیت و گرانودیوریت است.

۴- ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی بی بی مریم

برای بررسی ژئوشیمیایی سنگهای مورد مطالعه، از ۳۶ نمونه به روش XRF توسط دستگاه مدل Philips PW1480 در شرکت کانساران بینالود تجزیه عناصر اصلی و فرعی انجام شد. برای اندازه گیری عناصری که با روش XRF امکان اندازه گیری آنها وجود نداشت (بوژده REE)، تعداد ۷ نمونه در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته ای اصفهان به روش NAA تجزیه شد. جدول شماره ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم را نشان می دهد.

برای بررسی ماهیت ماگمای تشکیل دهنده سنگهای مورد مطالعه از نمودارهای Irvine and Baragar (1971) استفاده گردید. تمام سنگهای نفوذی بی بی مریم در نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 در محدوده نیمه قلیایی (شکل ۴) و در نمودار AFM در محدوده کلسیمی - قلیایی واقع شده اند (شکل ۵).

برپایه نمودار تغییرات Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 ، Peacock (1931)، تمام نمونه ها بجز آنکلاو میکرودیوریتی در محدوده کلسیک قرار دارند (شکل ۶). در نمودار شاخص آلومین Maniar and Piccoli (1989) که بر مبنای نسبت مولار A/CNK در برابر A/NK است، تونالیتها متاآلومین تا پرآلومین و گرانودیوریتها پرآلومین هستند (شکل ۷). برای بررسی ارتباط زایشی بین سنگهای مورد مطالعه، از نمودارهای تغییرات درصد وزنی عناصر اصلی در برابر سیلیس Harker (1909) استفاده شد. با افزایش مقدار سیلیس، مقادیر MnO ، TiO_2 ، CaO ، MgO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 کاهش یافته است در صورتی که Na_2O+K_2O افزایش نشان می دهد (شکل ۸). وجود روندهای نزدیک به خطی در نمودارها بیانگر توالی ارتباطی نمونه ها به یکدیگر بوده و از ویژگیهای گرانیتهای تیپ I است (Pitcher, 1997). پراکندگی نمونه ها در برخی نمودارها، با احتمال زیاد ناشی از آغشتگی در ماگمای تشکیل دهنده توده نفوذی بی بی مریم است.

بیوتیت هم رشدی نشان می دهد. بیوتیت های موجود در کوارتزدیوریت از دو نسل است: بیوتیت های اولیه که به کلریت و اسفن تبدیل شده و بیوتیت های ثانویه که حاصل دگرسانی پتاسیک هورنبلند بوده و شکل نامنظم دارد. برخی بلورهای پلاژیوکلاز موجود در تونالیت-کوارتزدیوریت دارای منطقه بندی بوده و در مرکز بلور دگرسانی شدیدتر وجود دارد که بیانگر شرایط عدم تعادلی و دگرسانی دمای بالا در هنگام تشکیل بلور است. کانیهای دگرسانی این سنگها شامل سریسیت، کلریت، اپیدوت و کلینوزویسیت-زویسیت هستند.

در متن سنگهای تونالیتی، آنکلاوهای ریزدانه تیره ای وجود دارد. بافت آنها از نوع ریزدانه و گاهی افیتیک است. پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول و به مقدار بسیار کم کوارتز، کانیهای تشکیل دهنده آنکلاوها هستند. کانی کدر به عنوان کانی فرعی محسوب شده و مقدار آن قابل توجه است. از کانیهای حاصل دگرسانی می توان به سریسیت، کلریت، اپیدوت و کلینوزویسیت اشاره کرد. ترکیب سنگی آنکلاوها در محدوده دیوریت قرار دارد.

گرانودیوریت: در بخش شمال باختری تا باختر توده اصلی به صورت زبانه ها و دایک هایی وجود داشته که از تونالیت-کوارتز دیوریت ریزدانه تر است. سنگهای آن بافت تمام بلورین و رنگ سفید تا خاکستری روشن دارند. بافت آنها دانه ای متوسط دانه بوده و اندازه بلورها بین حدود ۱ تا ۳ میلی متر متغیر است. در برخی نمونه ها هم رشدی کوارتز با پلاژیوکلاز به صورت بافت میرمیکیتی دیده می شود. بافت های گرافیک و گرانوفیری نیز وجود دارد که بیانگر سرد شدن به نسبت سریع و رشد همزمان کوارتز و فلدسپار قلیایی است.

کوارتز، پلاژیوکلاز سدیم، میکروکلین (اغلب پرتیتی)، ارتوکلاز و مسکوویت کانیهای اصلی بوده، گارنت بلورین (اولیه)، آپاتیت و کانی کدر (به رنگ سرخ) اجزای فرعی سنگ به شمار می آیند. کانیهای حاصل دگرسانی شامل سریسیت، کانیهای رسی و کلریت هستند. گرانودیوریتها فاقد آنکلاو میکرودیوریتی بوده ولی در مقاطع نازک برخی نمونه ها، قطعات کوچک سرپانتینی شده از سنگهای اولترامافیک میزبان وجود دارد.

قرار گرفتن توده مورد مطالعه در پهنه گسلی نهبندان که دارای روند کلی شمالی-جنوبی و سازوکار فشاری-برشی راستگرد (خطیب، ۱۳۷۷) است (شکل ۱)، سبب ایجاد دگرشکلی و جهت گیری در میکاهای سنگهای گرانیتوئیدی بوژده در حاشیه توده شده است. خمیدگی و انحنای شدید سطوح رخ میکاها، لغزش سطوح دوقلویی در پلاژیوکلازها و ظهور دوقلوه های دگرشکلی و نوارهای شکنجی (Kink band) بیانگر دگرشکلی همزمان با تشکیل توده تونالیتی و جایگزینی آن درون پهنه برشی فعال سامانه گسلی نهبندان است.

نامگذاری سنگهای نفوذی بی بی مریم بر پایه ترکیب کانی شناسی، شمارش

۵- بحث

۵-۱) بررسی تیپ توده گرانیتوئیدی بی بی مریم

همان گونه که در بخش زمین شناسی عمومی اشاره شد، سنگهای درونگیر توده نفوذی بی بی مریم از نوع سنگهای اولترامافیک است که توسط توده گرانیتوئیدی قطع شده اند. این وضعیت بیانگر نابرجا بودن توده گرانیتوئیدی و شباهت آن با گرانیت های نوع I است. علاوه بر این، ویژگیهای سنگ نگاری مانند وجود آنکلاوهای میکرودیوریتی، حضور هورنبلند و بیوتیت، اسفن، مگنتیت و میانبرهای آپاتیت درون بلورهای بیوتیت در تونالیتها و نبود سیلیکاتهای آلومینیم و کردیریت نیز این سنگها را با گرانیت های تیپ I قابل مقایسه کرده است. برای نتیجه گیری در این زمینه، از ویژگیهای شیمیایی نیز استفاده شده است. گرانیت های نوع S نسبت به نوع I، پتاسیم بیشتری دارند (Chappell & White, 1992)، در صورتی که محتوای سدیم گرانیت های نوع I و S به ترتیب شامل مقادیر به نسبت بالا و پایین است (Chappell & White, 2001). بنابراین نمودار درصد وزنی Na_2O در برابر K_2O ، تمایز خوبی بین دو نوع گرانیت I و S ایجاد می کند. در این نمودار، تمام سنگهای نفوذی بی بی مریم در محدوده تیپ I قرار گرفته اند (شکل ۹).

از آنجا که گرانیت های نوع S فقیر از کلسیم و نوع I غنی از کلسیم است، از نمودار ACF برای تمایز شیمیایی بین تیپهای I و S استفاده می شود (Takahashi et al., 1980). برپایه این نمودار، اغلب سنگهای نفوذی بی بی مریم بجز تعدادی از گرانودیوریتها در قلمرو گرانیت های نوع I واقع شده اند (شکل ۱۰).

به دلیل قرار گرفتن توده نفوذی بی بی مریم درون فیولیت ملائژ خاور ایران، این مسئله مطرح است که سنگهای این توده می تواند از گونه گرانیتوئیدهای تیپ M (معروف به پلاژیوگرانیت) باشد. برای تبیین این موضوع، ویژگیهای سنگ نگاری و ژئوشیمیایی سنگهای نفوذی بی بی مریم با گرانیتوئیدهای تیپ M (بوئیزه پلاژیوگرانیت های اقیانوسی) مقایسه شد که نتایج آن عبارتند از: ۱- پلاژیوگرانیت های سنگهای دانه ریز تا دانه متوسط هستند که به صورت رگه و دایک تشکیل می شوند، در صورتی که بخش اعظم توده نفوذی بی بی مریم را تونالیت های درشت بلور تشکیل داده است.

۲- پلاژیوگرانیت های اقیانوسی ترکیب تونالیت دارند (Maniar and Piccoli, 1989)، در حالی که سنگهای نفوذی بی بی مریم دارای ترکیب تونالیت، گرانودیوریت و به مقدار کم موزوگرانیت هستند.

۳- کانی مافیک در OP، هورنبلند (± پیروکسن) است (Maniar and Piccoli, 1989)، در صورتی که در سنگهای نفوذی بی بی مریم شامل هورنبلند و بیوتیت فراوان (در تونالیتها) است.

۴- OP به وسیله نبود فلدسپار قلیایی و پرتیت مشخص می شود

(Maniar and Piccoli, 1989)، در حالی که در توده نفوذی بی بی مریم گرانودیوریتها حاوی میکروکلین پرتیتی است.

۵- OP دارای K_2O پایین (کمتر از یک درصد وزنی) است (Maniar and Piccoli, 1989). میانگین درصد وزنی K_2O در نمونه از پلاژیوگرانیت های افیولیت عمان و ترو دوس (قبرس)، ۰/۳ درصد است (Winter, 2001)، در صورتی که تمام تونالیت های بی بی مریم بجز ۲ نمونه، بیش از یک درصد K_2O با میانگین ۱/۴ درصد وزنی دارد.

۶- سری ماگمایی پلاژیوگرانیت های اقیانوسی، تولیتی است (Barbarin, 1999) و پلاژیوگرانیتها محصول تفریق بازالت های پشته میان اقیانوسی هستند (Pitcher, 1997). این در حالی است که تمام سنگهای نفوذی بی بی مریم، ویژگی کلیسی- قلیایی دارند (شکل ۵). به اعتقاد Barbarin (1999)، گرانیتوئیدهای کلیسی- قلیایی دارای منشأ مخلوط (در برگیرنده اجزای پوسته ای و مواد مشتق شده از گوشته) هستند.

۷- بر پایه رده بندی (Clarke, 1992)، گرانیتوئیدهای تیپ M دارای $A/CNK < 1$ است. OP از نظر شاخص آلومین، بر پایه تقسیم بندی (Maniar and Piccoli, 1989)، پرآلومین- متآلومین و در رده بندی (Barbarin, 1999)، متآلومین است. در توده نفوذی بی بی مریم، تونالیتها متآلومین تا پرآلومین و گرانودیوریتها پرآلومین هستند (شکل ۷) که با در نظر گرفتن رده بندیهای مذکور، انطباق چندانی با پلاژیوگرانیت های اقیانوسی ندارند.

۸- در رده بندی (Maniar and Piccoli, 1989)، بر پایه شاخص (Peacock, 1931)، OP در محدوده کلیسی قرار دارد. تمام سنگهای نفوذی بی بی مریم نیز دارای همین ویژگی هستند (شکل ۶) که از این لحاظ به OP شبیهند. با توجه به این که در این رده بندی محدوده ها در راستای افزایش مقدار سیلیس معین شده اند و ممکن است سنگهای مربوط به چند محیط زمین ساختمانی در یک محدوده قرار گیرند، لذا شاخص تعیین کننده ای نیست.

۹- نسبت $Fe^{3+}/Fe^{2+}+Fe^{3+}$ (اتم) برای گرانیتوئیدهای تیپ M بیشتر از سایر گرانیتوئیدها می باشد (Raymond, 2002). بر پایه داده های Whalen et al. (1987)، نسبت مذکور برای گرانیتوئیدهای تیپ M، ۰/۴۳ محاسبه شد. میانگین شاخص اکسایش سنگهای نفوذی بی بی مریم ۰/۴۱ است که قابل مقایسه با گرانیتوئیدهای تیپ M است.

۱۰- بر پایه نمودار $(K_2O+Na_2O)/CaO$ در برابر $Zr+Nb+Ce+Y$ (Whalen et al., 1987) که تمایز خوبی بین گرانیت های تیپ A و گرانیت های کوهزایی است، سنگهای نفوذی بی بی مریم در محدوده گرانیت های کوهزایی (OGT) واقع شده اند (شکل ۱۱). از آنجا که بر پایه رده بندی (Maniar and Piccoli, 1989)، OP در رده

مریم خارج از محدوده OP قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳A). نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار $(FeO^t / (FeO^t + MgO))$ در برابر SiO_2 در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی واقع شده‌اند (شکل ۱۳B).

Pearce et al. (1984) براساس جایگاه نفوذ سنگهای گرانیتوئیدی، آنها را به چهار گروه شامل VAG، ORG، WPG و COLG رده‌بندی و برای تمایز گروه‌های مختلف از عناصر کمیاب استفاده کردند. در نمودارهای Nb در برابر Y و Rb در برابر Y+Nb که تمایز مناسبی بین گرانیتوئیدهای مختلف ایجاد می‌کند، سنگهای نفوذی بی بی مریم به ترتیب در محدوده‌های VAG + Syn- COLG (شکل ۱۴A) و VAG (شکل ۱۴B) قرار گرفته‌اند.

۶- نتیجه‌گیری

توده گرانیتوئیدی بی بی مریم از تونالیت-کوارتز دیوریت و گرانودیوریت تشکیل شده است. بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که بیشتر ویژگی‌های نمونه‌های مورد مطالعه با گرانیتوئیدهای تیپ I قابل مقایسه است. شاخص اکسایش بالا و شباهت مقدار برخی عناصر کمیاب در نمودار عنکبوتی سنگهای نفوذی بی بی مریم با الگوی گرانیتوئیدهای تیپ M، می‌تواند نقش گوشته در تولید ماگمای اولیه این سنگها را مشخص کند. ماهیت کلسیمی - قلیایی این سنگها بیانگر نقش گوشته و پوسته در تکوین آنهاست.

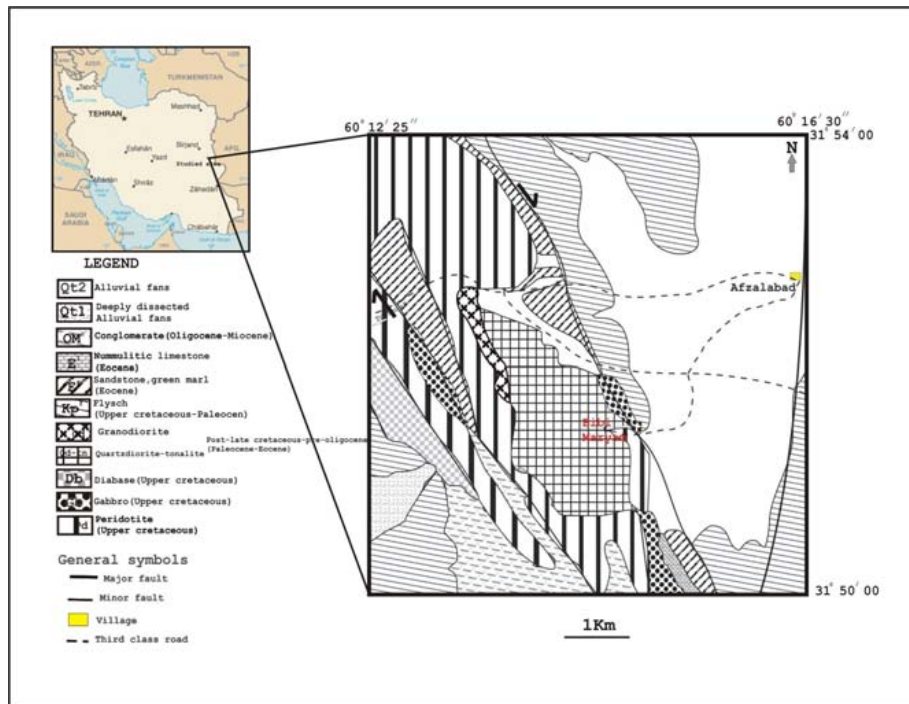
قرارگرفتن توده گرانیتوئیدی مذکور در پهنه گسلی فشاری- برشی راستگرد نهندان (خطیب، ۱۳۷۷)، بیانگر نقش اساسی فعالیت گسل در راهیابی ماگما به ترازهای بالاتر می‌باشد. در نتیجه تفریق، آلودگی و انجماد ماگما به هنگام توقف، کوارتز دیوریت- تونالیت تشکیل شده است. وجود ساختارهایی مانند خمیدگی سطوح رخ میکاها، لغزش سطوح دوقلوبی در پلاژیوکلازها و نوارهای شکنجی بیانگر دگرشکلی همزمان با تشکیل توده تونالیتی و جایگیری آن درون پهنه برشی فعال سامانه گسلی نهندان می‌باشد. تزریق دوباره ماگما و آغشتگی شدید آن با مواد پوسته‌ای سبب تشکیل گرانودیوریت شده است. با عنایت به بررسی‌های انجام شده، توده گرانیتوئیدی بی بی مریم در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی و در گروه VAG قرار می‌گیرد.

گرانیتوئیدهای ناکوهزایی قرار دارد، بنابراین سنگهای مورد مطالعه قابل مقایسه با پلاژیوگرانیتوئیدهای اقیانوسی نیستند.

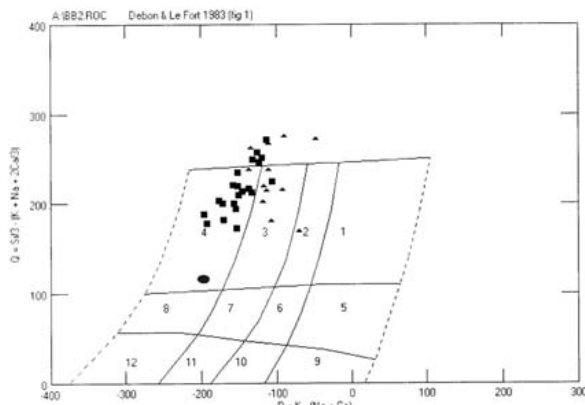
۱۱- با بهره‌گیری از نمودارهای چند عنصری (عنکبوتی)، مقدار میانگین عناصر کمیاب سنگهای نفوذی بی بی مریم با نمودارهای Winter (2001) برای گرانیتوئیدهای تیپ I، تیپ M مناطق فرورانش و پلاژیوگرانیتوئیدهای افیولیت عمان و ترودوس مقایسه شد. بر پایه این مقایسه، مشخص گردید که در بین سه گروه گرانیتوئید مذکور، الگوی سنگهای نفوذی بی بی مریم در درجه اول با الگوی گرانیتوئیدهای تیپ I شباهت دارد؛ با این تفاوت که مقدار عناصر پایین‌تر است (شکل ۱۲-A). مقایسه نمونه‌های مورد مطالعه با الگوی گرانیتوئیدهای تیپ M مناطق فرورانش بیانگر این است که برخی عناصر فراوانی مشابهی دارند (شکل ۱۲-B). همان گونه که در شکل ۱۲-C مشاهده می‌شود، نمودار عنکبوتی سنگهای گرانیتوئیدی بی بی مریم با الگوی پلاژیوگرانیتوئیدهای معروف افیولیت عمان و ترودوس شباهت چندانی ندارد. ویژگی مهم نمودار عنکبوتی سنگهای نفوذی بی بی مریم این است که عناصر ناسازگاری با پتانسیل یونی پایین و متحرک نظیر Sr، K، Rb و Ba غنی‌شدگی نشان می‌دهند؛ در صورتی که عناصر با پتانسیل یونی بالا و غیر متحرک (Yb، Nb) فراوانی کمی دارند. غنی‌شدگی عناصر ناسازگار متحرک و Th توسط سیالات منطقه فرورانش ایجاد می‌شود که به همراه افت Nb مشاهده شده در نمودار، از ویژگی‌های ماگماهای وابسته به فرورانش است (Wilson, 1989). به اعتقاد Rollinson (1993)، بی‌هنجاری منفی Nb و تمرکز بالای عناصر متحرک، می‌تواند به عنوان شاخص آلودگی پوسته‌ای ماگماهای اولیه مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲) بررسی جایگاه زمین ساختی توده گرانیتوئیدی بی بی مریم

(Maniar and Piccoli (1989) براساس محیط زمین ساختی، سنگهای گرانیتوئیدی را به هفت گروه تقسیم کرده‌اند که از میان آنها چهار گروه JAG، CAG، CCG و POG در رده گرانیتوئیدهای کوهزایی و سه گروه RRG، CEUG و OP در رده گرانیتوئیدهای ناکوهزایی قرار می‌گیرند. آنها از عناصر اصلی برای تفکیک گروه‌های مختلف گرانیتوئیدها استفاده نمودند. براساس نمودار SiO_2 در برابر K_2O که گروه OP را به وضوح از دیگر گروهها متمایز می‌کند، نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی

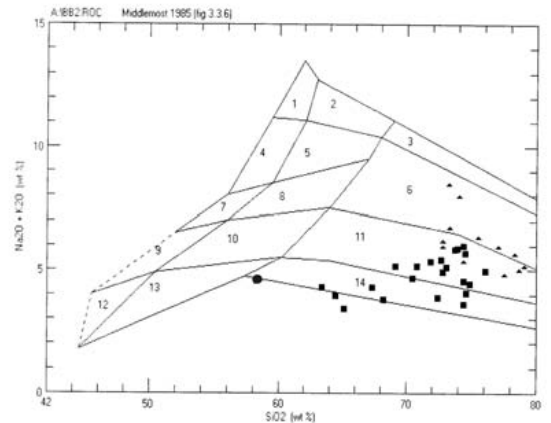


شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نهپندان با اصلاحات و رسم مجدد)



شکل ۳- نامگذاری سنگهای نفوذی بی بی مریم با استفاده از نمودار Debon & LeFort (1983) (علائم شبیه شکل ۲).

در این نمودار محدوده‌ها عبارتند از: ۱- گرانیت ۲- آداملیت
 ۳- گوانودیوریت ۴- تونالیت ۵- کوارتز سینیت ۶- کوارتز مونزونیت
 ۷- کوارتز مونزودیوریت ۸- کوارتز دیوریت ۹- سینیت
 ۱۰- مونزونیت ۱۱- مونزوگابرو ۱۲- گابرو

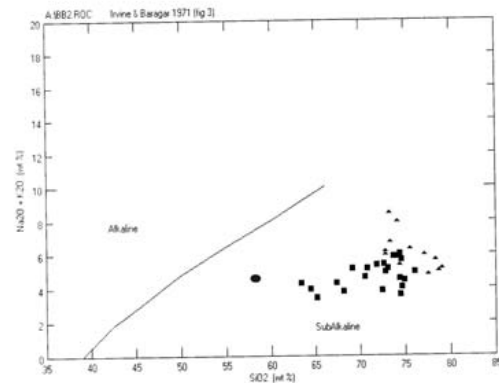
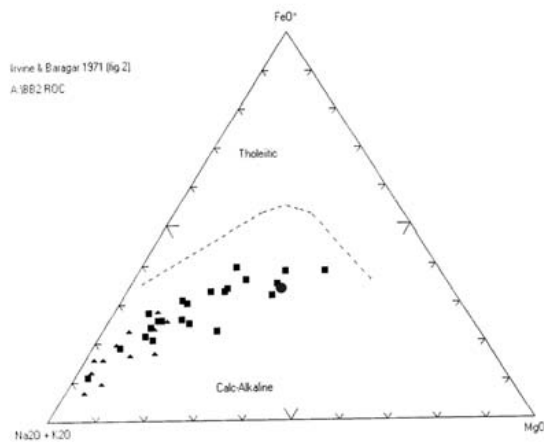


شکل ۲- نامگذاری سنگهای نفوذی بی بی مریم با بهره گیری از نمودار Middlemost (1985)

(نشانه ها: ■ تونالیتها ▲ گرانودیوریتها ● آنکلاو)

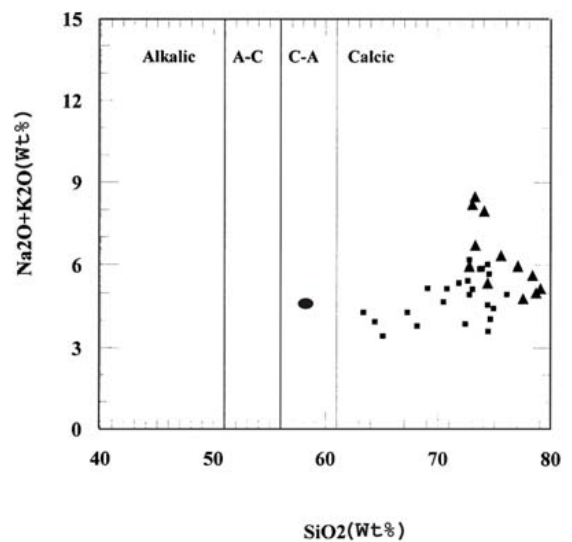
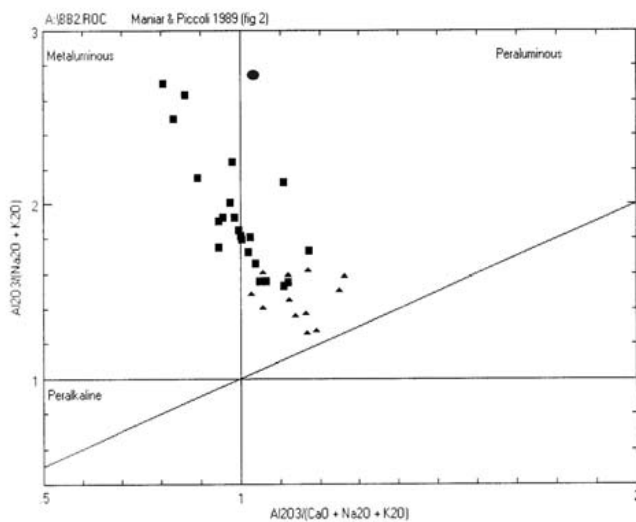
در این نمودار محدوده‌ها عبارتند از:

۱- فلدسپار قلیایی سینیت ۲- فلدسپار قلیایی کوارتز سینیت ۳- فلدسپار قلیایی گرانیت ۴- سینیت ۵- کوارتز سینیت ۶- گرانیت ۷- مونزونیت ۸- کوارتز مونزونیت ۹- مونزودیوریت ۱۰- کوارتز مونزودیوریت ۱۱- گرانودیوریت ۱۲- دیوریت و گابرو ۱۳- کوارتز دیوریت ۱۴- تونالیت



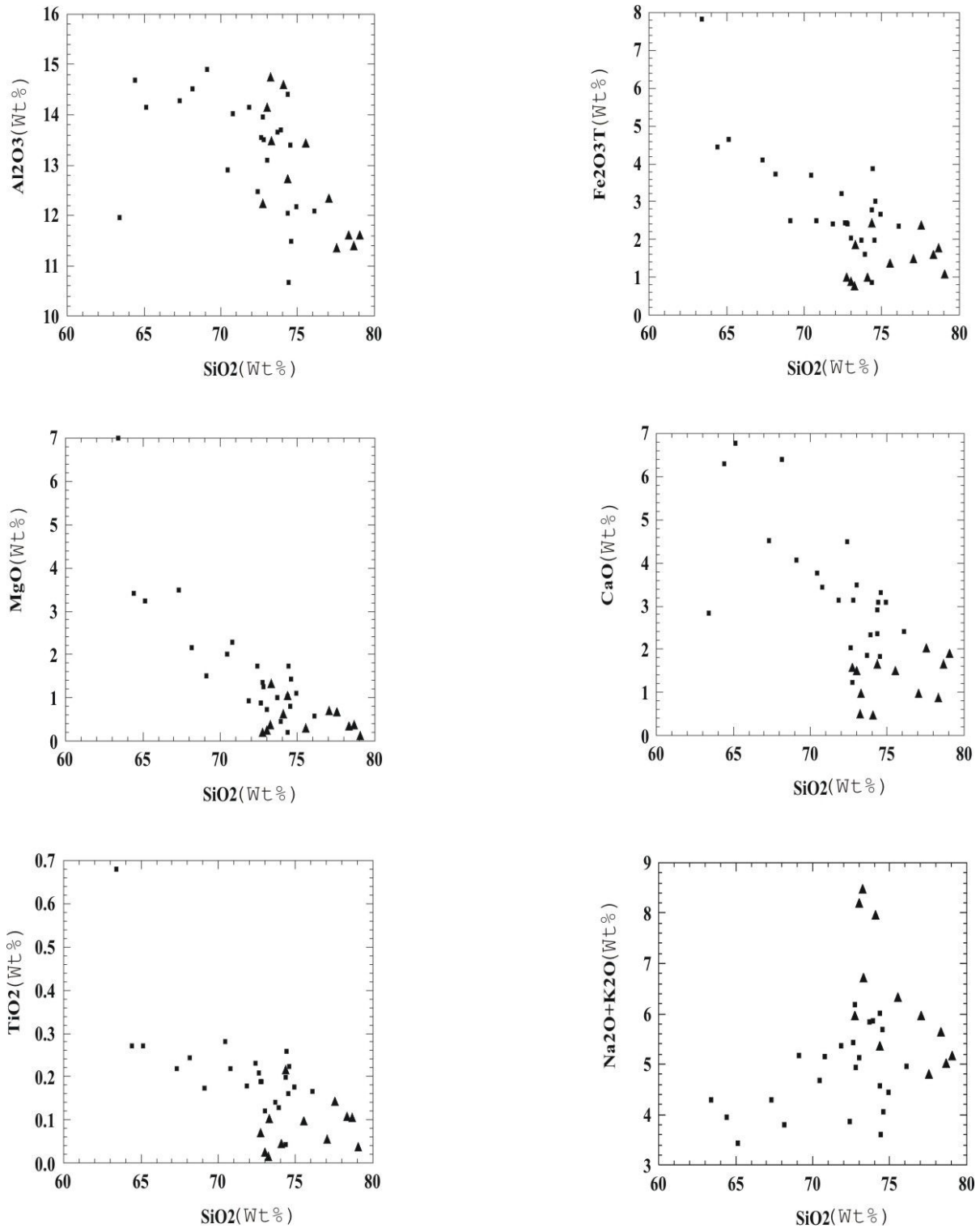
شکل ۵- نمودار مثلثی AFM برای تفکیک محدوده‌های تولیتی کلیسمی - قلیایی (Irvin & Baragar, 1971) و محل قرارگیری نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۲).

شکل ۴- نمودار تغییرات Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 که در آن محدوده‌های قلیایی و نیمه قلیایی از یکدیگر جدا شده‌اند (Irvine and Baragar, 1971) و موقعیت نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۲).

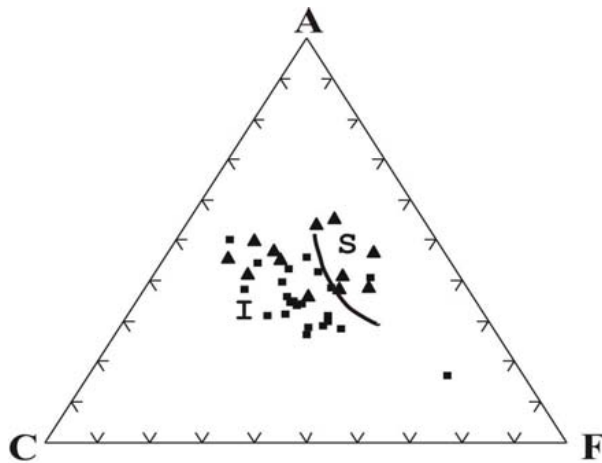


شکل ۷- بررسی شاخص اشباع از آلومینیم در سنگهای گرانیتوئیدی بی بی مریم با استفاده از نمودار (Maniar and Piccoli (1989) (علائم شبیه شکل ۲).

شکل ۶- نمودار تغییرات Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Peacock, 1931) و موقعیت نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۲).



شکل ۸- نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در برابر سیلیس برای سنگهای نفوذی بی بی مریم (نشانه‌ها: ■ تونالیتها ▲ گرانودیوریتها)

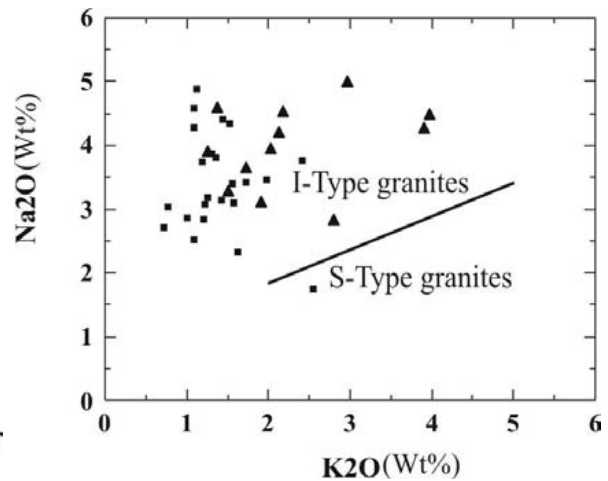


شکل ۱۰- نمودار ACF

(نسبتهای مولار (A=Al₂O₃-Na₂O-K₂O; C=CaO; F=FeO+MgO)

و برای تمایز گرانیتوئیدهای نوع I و S (Takahashi et al., 1980)

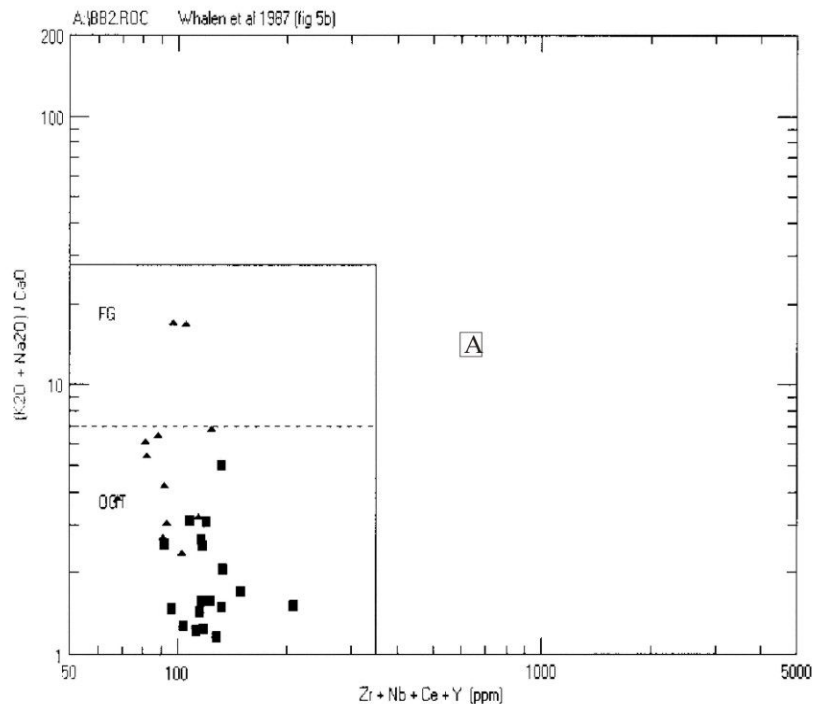
موقعیت نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۸).



شکل ۹- نمودار Na₂O در برابر K₂O برای تمایز گرانیتوئیدی I و S

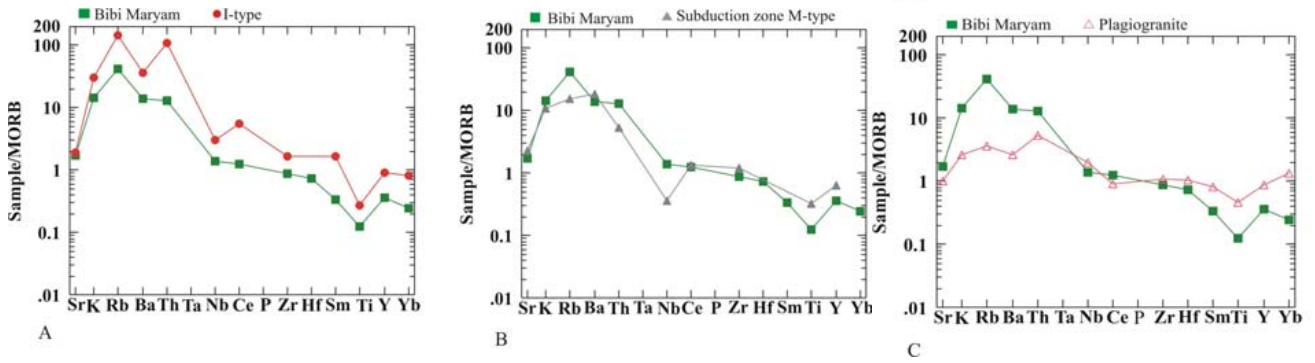
(Chappell and White, 2001) و موقعیت نمونه‌های

توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۸).

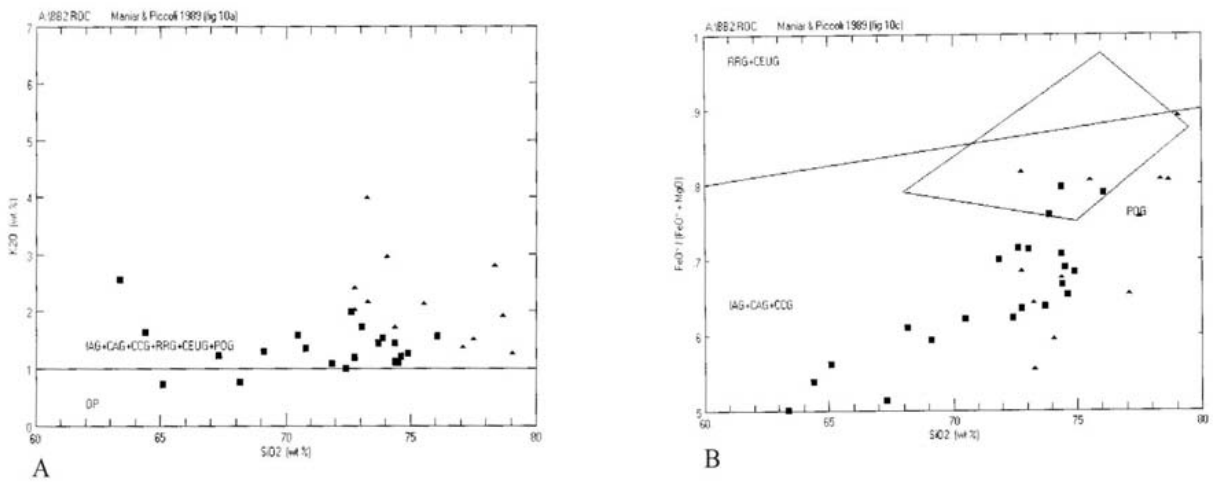


شکل ۱۱- نمودار تغییرات Zr+Nb+Ce+Y در برابر (K₂O+Na₂O)/CaO برای تفکیک گرانیتوئیدی A (ناکوهزایی)، گرانیتوئیدی تفریق یافته (FG) و گرانیتوئیدی

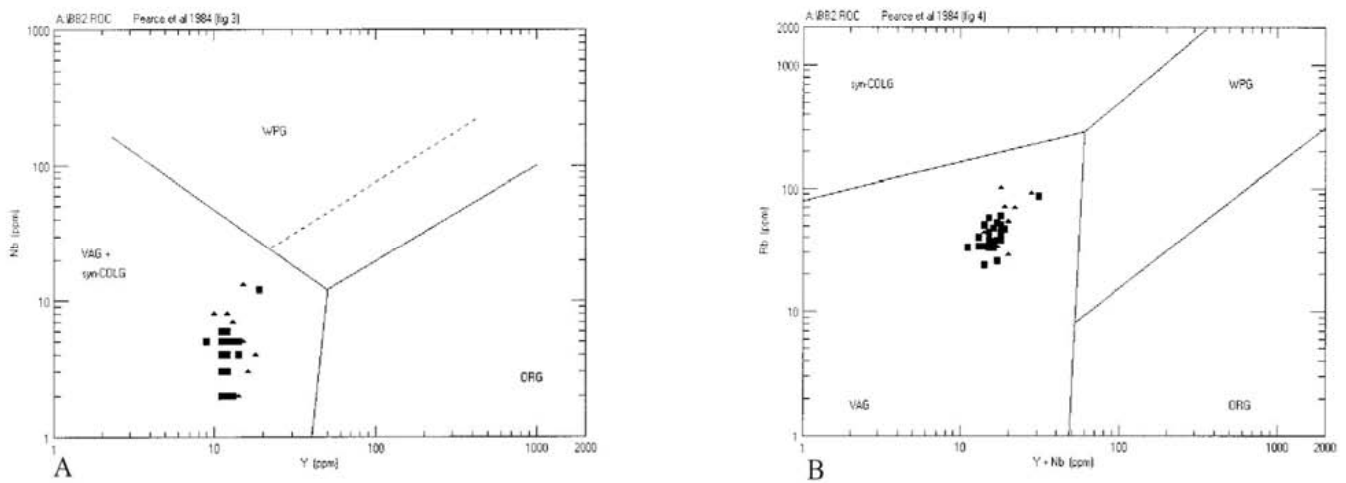
تفریق نشده تیپهای I، M، S (گرانیتوئیدی کوهزایی یا OGT) و موقعیت سنگهای نفوذی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۸).



شکل ۱۲- مقایسه مقدار متوسط عناصر کمیاب سنگهای نفوذی بی بی مریم با (A) گرانیتوئیدهای تیپ I؛ (B) گرانیتوئیدهای تیپ M مناطق فرورانش و (C) پلاژیوگرانیت‌های افیولیت عمان و ترودوس؛ نمودارها از (Winter, 2001)، بهنجار سازی شده بر پایه MORB.



شکل ۱۳- نمودارهای (A): تغییرات K_2O در برابر SiO_2 و (B): تغییرات $FeO/(FeO+MgO)$ در برابر SiO_2 برای تفکیک محیط زمین ساختی گرانیتوئیدها (Maniar and Piccoli, 1989) و موقعیت نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۸).



شکل ۱۴- نمودارهای (A): تغییرات Nb در برابر Y و (B): تغییرات Rb در برابر Y+Nb برای تفکیک محیط زمین ساختی گرانیتوئیدها (Pearce et al., 1984) و موقعیت نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم (علائم شبیه شکل ۸).



جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های توده گرانیتوئیدی بی بی مریم

Table with 18 columns (sample, Bm-104 to Bm-272) and 40 rows of chemical analysis data including major elements (SiO2, Al2O3, Fe2O3T, CaO, Na2O, MgO, K2O, TiO2, MnO, P2O5, L.O.I, Total), trace elements (ppm), and various oxides.

ادامه جدول ۱

Table with 18 columns (sample, Bm-276 to Bm-315a) and 40 rows of chemical analysis data, continuing from the previous table with similar elements and trace elements.

عناصر Ag, As, Cs, Eu, Hf, Ho, Lu, Nd, Sb, Sc, Sm, Sn, Ta, Tb, Tm, Yb و NAA روش و سایر عناصر به روش XRF تجزیه شده است.

نشانه‌های به کار برده شده بر پایه نتایج سنگ‌نگاری عبارتند از: (سنگهای گروه تونالیت شامل تونالیت، ترونجمیت و کوارتز دیوریت (gd): گرانودیوریت تا

مونزو گرانیت (e) آنکلاو میکرودیوریتی

کتابنگاری

خطیب، م. م.، ۱۳۷۷- هندسه پایانه گسلهای امتداد لغز، رساله دکترای دانشگاه شهید بهشتی، ۲۲۴ صفحه.
علوی نائینی، م.، لطفی، م.، ۱۹۸۹- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰: نهندان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
مهران، ن.آ.، صادقی بجد، م. و جوانشیر گیو، م.، ۱۳۷۹- پی جویی و اکتشاف گرانیت‌های منطقه بی بی مریم و افضل آباد، طرح پژوهشی، دانشگاه بیرجند.

References

- Barbarin, B., 1999- A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments, *Lithos*, 46:605-626.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1992- I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83:1-26.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 2001- Two contrasting granite types: 25 years later, *Australian journal of earth sciences*, 48:489-499.
- Clarke, D. B., 1992- *Granitoid rocks*, Chapman & Hall, 283p.
- Debon, F. & Le Fort, P., 1983- A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Earth science* 73:135-149.
- Harker, A., 1909- *The natural history of igneous rocks*. Methuen, London, 348p.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian journal of earth sciences*, 8:523-548.
- Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, v. 101:635-643.
- Middlemost, E. A. K., 1985- *Magma and magmatic rocks*, Longman scientific and Technical, 266p.
- Peacock, M. A., 1931- Classification of igneous rock series, *Journal of geology*, v. 39:54-67.
- Pearce, J. A. Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984 - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of petrology*, V. 25:956-983.
- Pitcher, W. S., 1997- *The nature and origin of granite*, Chapman & Hall, 387p.
- Raymond, L. A., 2002- *Petrology, The study of igneous, sedimentary and metamorphic rocks*. Mc Graw Hill, 720p.
- Rollinson, H. R., 1993- *Using geochemical data*, Longman scientific & Technical, 352p.
- Takahashi, M., Aramaki, S. & Ishihara, S., 1980- Magnetite-series/ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids, *Mining geology special issue*, No. 8:13-28.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J., Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran, *Geological Society of America Bulletin*, V. 94:134-150.
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W., 1987- A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *contributions to mineralogy and petrology* 95:407-419.
- Wilson, M., 1989- *Igneous petrogenesis*, Unwin Hyman, 466p.
- Winter, J. D., 2001- *An introduction to igneous and metamorphic petrology*, Prentice Hall, 699p.