

کانی شناسی، زمین شیمی و پتروژنز توده نفوذی یخاب، شمال طبس، شمال شرق ایران

سمیه دورانی^۱، محمد پوستی^{۱*}، غلامرضا قدمی^۱، اسماء نظری نیا^۱

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

Email: m.poosti@hormozgan.ac.ir

چکیده:

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۲۰۰ کیلومتری شمال طبس و شمال شرق ایران قرار دارد. از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران، جز زون ایران مرکزی بوده و در منتهی الیه شمال شرق بلوک طبس و در زون زیر کوه واقع شده است. کمپلکس نفوذی یخاب، با مجموعه‌ای از استوک‌های گرانیتی مشخص می‌شود که در سنگ‌های میزبان میکاشیستی نفوذ کرده‌اند. این مطالعه با ترکیب روش‌های پتروگرافی، ژئوشیمیایی و تحلیل تکتونیکی، به بررسی پتروژنز و محیط تکتونیکی این کمپلکس می‌پردازد. مطالعات پتروگرافی، بافت دانه‌ای با کانی‌های اصلی شامل کوارتز، فلدسپات آلکالی، پلاژیوکلاز و بیوتیت را نشان می‌دهد. داده‌های ژئوشیمیایی بیانگر ماهیت کالک‌آلکالن سنگ‌ها، با ترکیبی از متالومینوس تا پرآلومینوس و غنی‌شدگی عناصر LILE و LREE نسبت به HFSE است. نمودارهای عنکبوتی نرمال شده نسبت به گوشته اولیه، MORB و کندریت‌ها، تاثیر تفریق ماگمایی و آلودگی پوسته‌ای را برجسته می‌کنند. نمودارهای تشخیص تکتونیکی نشان می‌دهند که گرانیت‌ها در محیط‌های تصادمی قاره‌ای تا کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند و از نوع گرانیت‌های تفریق‌شده (FG) طبقه‌بندی می‌شوند. داده‌های زمان‌سنجی، تکامل ماگمایی طولانی‌مدت را با تشکیل گرانیت‌های سین کولژن و کمان آتشفشانی در دوره‌های جداگانه نشان می‌دهد. شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی، منشاء پوسته‌ای را برای گرانیتوئیدهای مورد مطالعه تأیید می‌کند. این مطالعه، درک جامعی از تکامل ماگمایی و محیط ژئودینامیکی کمپلکس نفوذی یخاب و سیستم‌های ماگمایی وابسته به آن در پهنه ایران مرکزی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کانی شناسی، زمین شیمی، پتروژنز، توده نفوذی یخاب، طبس، شمال شرق ایران

Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of the Yakhāb intrusive mass, north of Tabas, northeast Iran

Somayeh Durani¹, Mohammad Poosti^{1*}, Gholamreza Ghadami¹, Asma Nazarinia¹

¹Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
Correspondence: m.poosti@hormozgan.ac.ir

Abstract

The Yakhāb intrusive complex, located in the north Tabas region of central Iran, is characterized by a series of granitic stocks intruding into mica schist host rocks. This study combines petrographic, geochemical, and tectonic analyses to elucidate the complex's petrogenesis and tectonic setting. Petrographic studies reveal a granular texture with major minerals including quartz, alkali feldspar, plagioclase, and biotite. Geochemical data indicates a calc-alkaline affinity, with the rocks ranging from metaluminous to peraluminous and showing enrichment in LILE and LREE relative to HFSE. Spider diagrams normalized to primitive mantle, MORB and chondrites, highlight the influence of magmatic differentiation and crustal contamination. Tectonic discrimination diagrams suggest that the granites formed in a syn-collisional to volcanic arc environment are classified as fractionated granites (FG). The geochronology data suggests a prolonged magmatic evolution, with the syn-collisional and volcanic arc granitoids formed in separate episodes. The petrographic and geochemical signature confirms a crustal origin for the studied granitoids. This study provides a comprehensive understanding of the magmatic evolution and geodynamic setting of the Yakhāb intrusive complex and its associated magmatic systems within the Iranian Central Zone.

Keywords: Mineralogy, Geochemistry, Petrogenesis, Yakhāb intrusive mass, Tabas, Northeast Iran

مقدمه

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی و شمال شهر طبس شرق روستای یخاب و در ۲۰۰ کیلومتری شمال شهر طبس قرار دارد. منطقه طبس، واقع در شرق ایران، به دلیل موقعیت زمین‌شناسی خاص خود، مجموعه‌ای متنوع از سنگ‌های آذرین نفوذی را دربر گرفته است که درک ما از فرآیندهای ماگمایی و تکامل زمین‌شناسی منطقه را غنی می‌سازد. سنگ‌های نفوذی، که در اعماق پوسته زمین متبلور می‌شوند، به دلیل سرعت سرد شدن آهسته، اغلب دارای بافت‌های درشت‌دانه و کانی‌شناسی مشخصی هستند که اطلاعات ارزشمندی در مورد شرایط تشکیل ماگما، منشأ و تکامل آن فراهم می‌کنند. بررسی سنگ‌های نفوذی و به‌ویژه گرانیته‌ها در منطقه طبس، از چند جهت حائز اهمیت است. اولاً، این سنگ‌ها می‌توانند به عنوان پنجره‌ای به اعماق پوسته زمین عمل کرده و اطلاعاتی در مورد فرآیندهای ماگمایی در اعماق و ترکیب پوسته در این منطقه ارائه دهند. ثانیاً، مطالعه دقیق کانی‌شناسی و ژئوشیمی این سنگ‌ها، می‌تواند در تعیین منشأ ماگما، شرایط تشکیل و تحولات بعدی آن مؤثر باشد. ثالثاً، شناسایی دقیق انواع گرانیته‌ها و ارتباط آن‌ها با سایر واحدهای زمین‌شناسی منطقه، به درک بهتر تاریخچه زمین‌شناسی و تکتونیکی این ناحیه کمک می‌کند. منطقه طبس از لحاظ ساختاری و تکتونیکی در موقعیتی حساس واقع شده است. بررسی سنگ‌های نفوذی این منطقه، می‌تواند شواهدی از فعالیت‌های تکتونیکی گذشته و تأثیر آن بر فرآیندهای ماگمایی ارائه دهد. این منطقه که در حاشیه بلوک ایران مرکزی واقع شده است، تحت تأثیر رویدادهای تکتونیکی گوناگونی از جمله فرورانش و برخورد قاره‌ای قرار گرفته و این امر باعث شده است تا ماگماتیسم متنوعی را در خود جای دهد. بنابراین، بررسی پتروگرافی، ژئوشیمی توده نفوذی منطقه یخاب، می‌تواند به درک بهتری از تاریخچه زمین‌شناسی منطقه و تکامل ماگمایی مرتبط با آن منجر شود. در این پژوهش با استفاده از روش‌های میکروسکوپی، ژئوشیمیایی، به درک عمیق‌تری از پتروژنز، منشأ ماگما و تکامل این سنگ‌ها دست پیدا کنیم. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مطالعات زمین‌شناسی و تکتونیکی در این منطقه عمل کرده و به شناخت بهتر تاریخچه زمین‌شناسی منطقه طبس کمک کند.

زمین‌شناسی عمومی

از نظر تقسیمات ساختاری زمین‌شناسی ایران منطقه مورد مطالعه (شمال طبس) جزوی از ایران مرکزی محسوب می‌شود، البته موقعیت منطقه به گونه‌ای است که در مجاورت با بلوک لوت نیز واقع است [۳، ۲۰۱] (شکل ۱). بر اساس تقسیم‌بندی علوی [۴] در نقشه تکتونیک خاورمیانه، منطقه مورد مطالعه در منتهی‌الیه شمال شرق بلوک طبس و بین بلوکهای لوت و یزد و بلوک پشت بادام قرار می‌گیرد. در

این محدوده دو نسل از گسلها با روندهای شمال شرقی- جنوب غربی و شمالی- جنوب وجود دارد، و براساس مقطع زمین شناسی ورقه مذکور گسلهای شمالی - جنوبی نسل دوم بوده که سیستم شمال شرق به جنوب غرب را قطع می کنند[۵].

توده نفوذی یخاب عمدتاً به صورت استوکه‌های گرانیتی رخنمون یافته اند این توده نفوذی سنگهای میزبان میکاشیستی را قطع کرده است. این توده نفوذی در امتداد جاده خاکی روستای یخاب- چاه پالیز به تدریج به صورت بین انگشتی به ارتوگنیس ها و گنیسه‌های چشمی سفید رنگ تبدیل می شود. محدوده مطالعاتی در بخش لبه شمال شرق کمر بند کاشمر- کرمان موسوم به کوه سرهنگی قرار دارد [۷۶]

(شکل ۲). توده نفوذی یخاب به سن نسبی پره کامبرین صورت استوکه‌های گرانیتی رخنمون یافته اند این توده سنگهای میزبان میکاشیستی را قطع کرده است. این توده نفوذی در امتداد جاده خاکی روستای یخاب- چاه پالیز به تدریج به صورت بین انگشتی به ارتوگنیس ها و گنیسه‌های چشمی سفید رنگ تغییر می یابد (شکل ۳-الف). محل کنتاکت این گرانیت با میکاشیست ها در بخش جنوبی نسبتاً واضح است ولی در بخش شمالی حالت تدریجی دارد. سنگهای گرانیتی در نمونه دستی عمدتاً دارای رنگ روشن تا سفید و صورتی می باشند تمام بلورین بوده و اندازه قطعات آنها غالباً در حد ریز دانه تا متوسط است. همچنین کانی های فلدسپات، کوارتز و کانی های فرومنیزین از قبیل بیوتیت در آنها قابل تشخیص می باشند. در مجاور جاده خاکی یخاب به ییلاق بخشی از این توده نفوذی به علت هوازدگی و تحمل نیروهای تکتونیکی به شدت خرد شده است. در نمونه دستی دارای رنگ روشن تا سفید و صورتی می باشند تمام بلورین بوده و اندازه قطعات آنها غالباً در حد ریز دانه تا متوسط است (شکل ۳-ب).

روش ها:

برای مطالعه توده های نفوذی منطقه، پس از مشخص شدن پراکندگی و روابط صحرایی موجود اقدام به نمونه برداری های متعدد گردید. پس از مطالعات دقیق صحرایی و ماکروسکوپی، ۴۸ نمونه مناسب جهت تهیه مقاطع میکروسکوپی انتخاب شد. مطالعات دقیق پتروگرافی جهت تعیین مشخصات سنگها مانند بافت، ساخت و کانی های تشکیل دهنده توسط میکروسکوپ پلاریزان AS-P5062TR انجام گرفت. به منظور مطالعات ژئوشیمی تعداد ۱۱ نمونه سالم و فاقد دگرسانی انتخاب و برای آنالیز عناصر اصلی به روش XRF به شرکت آماتیس شرق و برای آنالیز عناصر کمیاب و نادر خاکی باروش ICP-MS، برای اندازه گیری مقادیر ۵۶ عنصر اصلی و کمیاب برای ارزیابی ویژگی های زمین شیمیایی نمونه های منطقه، به شرکت زراژما تهران ارسال شد که نتایج آن در (جدول ۱) آمده است.

سنگ نگاری

این توده در نمونه دستی دارای رنگ روشن تا سفید و صورتی می باشند تمام بلورین بوده و اندازه قطعات آنها غالباً در حد ریز دانه تا متوسط است. در نمونه دستی کانی های فلدسپات، کوارتز و کانی های فرومنیزین از قبیل بیوتیت در آنها قابل تشخیص می باشند. این توده به علت هوازگی و تحمل نیروهای تکتونیکی به شدت خرد شده است. در مقاطع میکروسکوپی، بافت غالب این سنگهای نفوذی گرانولار است. کانی های اصلی تشکیل دهنده شامل کوارتز، آلکالی فلدسپات، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانیه های اپک است. کانی کوارتز به صورت بی شکل با فراوانی ۲۰ تا ۲۵ درصد از حجم کل سنگ در زمینه مشاهده گردید. اندازه کوارتزها از ۰/۱ تا یک میلی متر متغیر است. پلاژیوکلازها با فراوانی ۱۰ تا ۱۲ درصد از حجم سنگ دیده می شوند. اندازه آن ها از ۰/۵ تا ۴ میلی متر متغیر است. پلاژیوکلازها ماکل پلی سنتتیک نشان می دهند. پلاژیوکلازها به کانی های ثانویه سرسیت و کربنات کلسیم تجزیه شده اند. میزان تبدیل آن به سرسیت ۵ تا ۱۰ درصد و به کربنات کلسیم ۵ تا ۱۵ درصد است. آلکالی فلدسپات ها با فراوانی ۵۰ تا ۵۵ درصد از حجم سنگ و اندازه ۰/۵ تا ۳ میلی متر می باشند. طبق شواهد میکروسکوپی آلکالی فلدسپات ها از نوع ارتوکلاز و میکروکلین هستند. بیوتیت ها با اندازه ای متغیر از ۰/۵ تا ۳ میلی متر در این نمونه دیده می شوند. فراوانی آن ها ۳ تا ۵ درصد از حجم سنگ است. در برخی قسمت ها بیوتیت ها اپاسیتی شده اند. کانی های اپک به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می شوند. فراوانی آن ها از ۲ تا ۳ درصد متغیر است. این کانی ها عمدتاً بی شکل هستند. در این نمونه سیلیس ثانویه به صورت پراکنده و رگچه ای مشاهده گردید. برخی قسمت ها سیلیس ها به صورت تجمعی هستند. ضخامت رگچه سیلیسی حدود ۰/۲ میلی متر است. سنگ مورد مطالعه دارای آلتراسیون کربناتی سیلیسی ضعیف می باشد. این نمونه در گروه سنگ های آذرین اسیدی درونی قرار گرفته و به عنوان بیوتیت سینوگرانیت نامگذاری می گردد. (شکل ۴). بافت های پوئکی لیتیک و میرمیکیتی نیز به عنوان بافت فرعی سنگ دیده می شوند. کانی های اصلی تشکیل دهنده این سنگ عبارتند از کانی های کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی های اپک. طبق مطالعات و شواهد میکروسکوپی آلکالی فلدسپات ها از نوع ارتوکلاز و میکروکلین هستند. ماکل تارتن میکروکلین ها به خوبی قابل رؤیت است. بیوتیت ها با اندازه ای متغیر از ۰/۵ تا ۲/۵ میلی متر در این نمونه دیده می شوند. فراوانی آن ها ۵ تا ۸ درصد از حجم سنگ است کانی های اپک به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می گردند. فراوانی آن ها از ۲ تا ۳ درصد متغیر است. این کانی ها عمدتاً مدور و بی شکل هستند.

زمین شیمی

بر اساس داده های آنالیز شیمیایی انجام شده بر روی نمونه های مورد مطالعه طبق جدول ۱، مقادیر SiO_2 این سنگها بین ۶۹/۵۲ و ۸۰/۷۰ درصد تغییر می کند. به طوری که با افزایش سیلیس، غلظت برخی اکسیدها مانند Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O افزایش یافته، در حالی که غلظت اکسیدهای دیگر مانند CaO ، MgO ، P_2O_5 ، TiO_2 و FeO کاهش یافته است. این الگوها نشان دهنده تاثیر فرآیند

تفریق ماگمایی در تشکیل این سنگ ها است. همچنین با توجه به این تغییرات، می توان گفت که ماگما در طی زمان با از دست دادن کانی های مافیک و غنی شدن در کانی های فلسیک دچار تفریق شده است.

ترکیب سنگ شناختی توده های نفوذی مورد مطالعه بر اساس نمودار SiO_2 در مقابل $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ [۸] همچنین بر اساس نمودار R_1 در مقابل R_2 [۹] در محدوده سنگهای گرانیتی قرار می گیرد (شکل ۵ الف و ب). همچنین از مجموعه نمودارهای تشخیص وضعیت ژئوشیمیایی سنگهای آذرین که توسط [۱۰] پیشنهاد شده است استفاده گردید (شکل ۶). در نمودار MALI در برابر SiO_2 (شکل ۶-الف) سنگهای مورد مطالعه در در محدوده کالکو آلکان تا آلکان قرار دارند، به این معنی که از نظر عناصر قلیایی غنی تر از کلسیم هستند. در نمودار $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$ در برابر SiO_2 [۱۰] (شکل ۶-ب) این سنگها به سری فروئن تعلق دارند که نشان دهنده نسبت بالای آهن به منیزیم در این سنگها است. نمودار $\text{Al}:(\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}))$ در برابر FSSI کل [۱۰] (شکل ۶-پ) نشان می دهد که سنگهای مورد مطالعه از نظر سیلیس اشباع بوده و ماهیت متالومینوس تا پرآلومینوس را نشان می دهند که با نتایج به دست آمده از نمودار ASI همخوانی دارد. نمودار ASI در برابر SiO_2 [۱۰] (شکل ۶-ت) نشان می دهد که تمامی نمونه ها پرآلومینوس هستند، که دلالت بر اشباع آلومینیوم داشته و تقریباً با گرانیت های نوع S مطابقت دارد، این داده ها نشان می دهند که سنگ های گرانیتی مورد مطالعه فروئن، کالکوآلکان تا آلکان، پرآلومینوس و اشباع شده از سیلیس هستند که با گرانیت های مشتق شده از منشأ پوسته ای همخوانی دارند.

مطالعه سری های ماگمایی در شناخت محیط های زمین ساختی و ژئودینامیکی اهمیت ویژه ای دارد. به منظور بررسی ماهیت ماگمایی و سری تکاملی سنگ های آذرین مورد مطالعه، از دو نمودار AFM [۱۱] و Co-Th [۱۲] استفاده شد. نتایج نمودار AFM (شکل ۷-الف) نشان داد که نمونه های مورد مطالعه در محدوده سری کالک آلکان قرار می گیرند، که حاکی از روند مشخصی از غنی شدگی قلیایی و کلسیمی در این سنگ ها است. بر اساس نمودار Co-Th (شکل ۷-ب)، نمونه های مورد مطالعه در ناحیه سری کالک آلکان غنی از پتاسیم و شوشونیتی قرار دارند، که این امر نشان دهنده غنی شدگی این سنگها از پتاسیم و توریم است. به طور کلی، این داده ها نشان می دهند که سنگ های آذرین مورد مطالعه دارای ماهیت کالک آلکان غنی از پتاسیم یا شوشونیتی هستند، که معمولاً با محیط های زمین ساختی کمان آتشفشانی مرتبط است.

نمودارهای عنکبوتی (Spider plots) برای بررسی و مقایسه غلظت عناصر کمیاب در نمونه های سنگی مورد استفاده قرار می گیرند. در این نمودارها، غلظت عناصر نسبت به مقادیر استاندارد در سه منبع مختلف نرمال سازی شده است: گوشته اولیه (Primitive Mantle)، بازالت های پشته میانی اقیانوس (MORB) و کندریت ها (Chondrites). این نرمال سازی به ما امکان می دهد تا الگوهای غنی شدگی و تهی شدگی عناصر را در نمونه ها نسبت به این منابع استاندارد مقایسه و تحلیل کنیم.

در نمودار نمودار عنکبوتی نرمال شده نسبت به گوشته اولیه (Primitive Mantle) [۱۳]، (شکل ۸-الف) غنی‌شدگی مشخصی در عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) مانند Ba, Rb, Th و U و تهی‌شدگی در عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ta, Nb, Ti و Zr دیده می‌شود. الگوهای عناصر خاکی کمیاب (REE) به‌طور کلی هموار است، اما با اندکی غنی‌شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE). این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با گوشته اولیه دارای غنی‌شدگی در LILE و LREE و تهی‌شدگی در HFSE هستند.

آنومالی مثبت پتاسیم (K) حاکی از آن است که غنی‌شدگی این عنصر ناشی از وجود فازهای پتاسیم‌دار در منشأ ماگما بوده و تفریق بلورین به‌تنهایی نمی‌تواند این غنی‌شدگی را توجیه کند [۱۴ و ۱۵]. غنی‌شدگی اورانیوم (U)، کاهش نئوبیم (Nb) و افزایش سرب (Pb) در این نمونه‌ها، از ویژگی‌های شاخص سنگ‌های قاره‌ای و بیانگر محیط فرورانش پوسته قاره‌ای است و احتمالاً نشان‌دهنده آرایش ماگما توسط سنگ‌های پوسته قاره‌ای، به‌ویژه بخش زیرین آن، است [۱۶ و ۱۷]. در مقابل، تیتانیوم (Ti) و نئوبیم (Nb) به‌صورت فروریخته (depleted) دیده می‌شوند که از مشخصه‌های ماگماهای حاشیه قاره‌ای است. آنومالی منفی تیتانیوم می‌تواند ناشی از تفریق اکسیدهای آهن-تیتانیوم‌دار و پیروکسن باشد [۱۸]. آنومالی منفی در فراوانی نئوبیم نیز نشان‌دهنده دخالت مولفه‌های فرورانشی در پتروژنز این سنگ‌ها است [۱۹]. باریم (Ba) دارای آنومالی منفی است که حاکی از درگیری پلاژیوکلاز در فرآیند تفریق بلورین است [۲۰]. عناصری مانند توربوم (Th)، سرب (Pb) و نئودیمیم (Nd) غنی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند. این عناصر در کنار عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) و عناصر با شعاع یونی بزرگ (LILE) مانند سزیوم (Cs) و روبیدیم (Rb) که تحرک بالایی در سیالات دارند [۲۱ و ۲۲]. ویژگی‌های متمایزی را در الگوهای عناصر کمیاب به نمایش می‌گذارند. شاخص‌های ژئوشیمیایی مذکور همراه با تهی‌شدگی زیرکن، فسفر و تیتانیوم از ویژگی‌های ماگماهای مناطق فرورانش با آرایش پوسته قاره‌ای است [۲۳]. آنومالی مثبت سزیوم (Cs) و سرب (Pb) نیز احتمالاً به‌دلیل آرایش ماگما با مواد پوسته قاره‌ای است که دارای تمرکز بالاتری از این عناصر هستند [۲۴]. در مجموع، این الگوهای ژئوشیمیایی نشان‌دهنده فرآیندهای ماگمایی در یک محیط فرورانش با مشارکت پوسته قاره‌ای در ژنز ماگما است.

همچنین تحلیل ژئوشیمیایی نمونه‌های سنگ آذرین نشان می‌دهد که باریم (Ba) دارای آنومالی منفی است، که نشان‌دهنده درگیری پلاژیوکلاز در فرآیند تفریق بلورین است [۲۵]. در این الگو، عناصری مانند توربوم (Th)، سرب (Pb) و نئودیمیم (Nd) غنی‌شدگی شدیدی نشان می‌دهند، در حالی که عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) مانند نئوبیم و تانتال، رفتاری متمایز دارند. سزیوم (Cs) و روبیدیم (Rb)، از عناصر با شعاع یونی بزرگ (LILE) هستند که به‌دلیل تحرک بالای خود توسط سیالات ماگمایی، رفتار متفاوتی نشان می‌دهند [۲۱ و ۲۲]. این شاخص‌های ژئوشیمیایی همراه با تهی‌شدگی در زیرکن، فسفر و تیتانیوم، از ویژگی‌های ماگماهای مناطق فرورانش با آرایش پوسته قاره‌ای است [۲۴ و ۲۶]. آنومالی مثبت سزیوم (Cs) و سرب (Pb) نیز می‌تواند ناشی از آرایش این ماگما با مواد پوسته قاره‌ای باشد، زیرا

این عناصر در پوسته قاره‌ای متمرکز شده‌اند. در مجموع، این الگوهای ژئوشیمیایی نشان‌دهنده ماگماهایی در جایگاه فروران‌ش با مشارکت پوسته قاره‌ای در ژنز ماگما می‌باشند.

در نمودار عنکبوتی نرمال شده نسبت به MORB، [۲۶] (شکل ۸-ب)، غنی‌شدگی در عناصر Rb, K, Ba, Th و تهی‌شدگی در عناصر Nb, Ta, Zr, Hf, P و Ti در مقایسه با MORB دیده می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با MORB دارای غنی‌شدگی عناصر ناسازگار و LREE و تهی‌شدگی HFSE هستند.

در نمودار عنکبوتی نرمال شده نسبت به کندریت‌ها، [۲۷] (شکل ۸-پ)، غنی‌شدگی شدید در عناصر LILE مانند Ba و Rb و Th دیده می‌شود. و همچنین تهی‌شدگی مشخص در عناصر Nb, Ta و Ti دیده می‌شود. Ti و Nb دارای روند نزولی هستند و آنومالی منفی دارند و آنومالی K افزایش یافته و دارای آنومالی مثبت می‌باشد که نشان‌دهنده ماگمای کالک آلکالن است که با کمان‌های آتشفشانی ارتباط دارد. آنومالی منفی Nb نشان‌دهنده ماگمای حاشیه فعال قاره می‌باشد و در اثر آلودگی پوسته و سیالاتی که آزاد می‌شود از لیتوسفر به وجود آمده است. بی‌هنجاری منفی Ti توسط کانی‌های تیتان دار مانند اسفن و بعضی آمفیبول‌ها کنترل می‌شود [۲۸]. از طرف دیگر، عناصر سنگ دوست درشت یون چون روبیدیم، پتاسیم، توریم و برخی عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر با شدت میدان بالا مانند Sm, Yb غنی‌شدگی نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، عناصر کمیاب دارای نقاط بیشینه و کمینه‌ای هستند که اختلاف بین آنها زیاد بوده و نشانگر محیط‌های وابسته به فروران‌ش هستند، زیرا رسوبات و مایعات همراه آنها می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی برخی عناصر کمیاب شوند [۲۹]. بی‌هنجاری مثبت عناصر روبیدیم، توریم و پتاسیم می‌تواند ناشی از آمیختگی ماگمای گوشته‌ای و پوسته‌ای و یا به دلیل آلیش ماگمای گوشته‌ای با سنگ‌های پوسته‌ای باشد [۳۰]. بی‌هنجاری منفی Nb, Ta و Ti می‌تواند به دلیل فعالیت ماگمایی وابسته به فرایندهای فروران‌ش [۳۱]. کمبود این عناصر در خاستگاه [۳۲]. شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی [۳۳ و ۳۴] و پایداری کانی‌های دارای این عناصر طی فرایند ذوب بخشی و یا جدایش آنها طی فرایند جدایش باشد. با توجه به شواهد کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در مورد سنگ‌های مورد بررسی، چنین به نظر می‌رسد که بی‌هنجاری مثبت عناصر روبیدیم، توریم و پتاسیم، بیشتر ناشی از آلیش پوسته‌ای و بی‌هنجاری منفی Nb, Ta و Ti بیشتر نتیجه دگرنهادی ناشی از سیال‌های آزاد شده از سنگ کره فرورونده است.

خاستگاه ماگمایی

به منظور تعیین محیط تکتونیکی تشکیل سنگ‌های گرانیتی مورد مطالعه، از مجموعه‌ای از نمودارهای تشخیص تکتونیکی پیشنهادی توسط [۳۵] استفاده شد. این نمودارها با بهره‌گیری از غلظت عناصر کمیاب نظیر روبیدیم (Rb)، ایتیریم (Y)، نیوبیم (Nb)، تانتال (Ta)

و ایتربیم (Yb)، به تفکیک محیط‌های تکتونیکی مختلف که در آن گرانیت‌ها تشکیل می‌شوند، کمک می‌کنند. نمودار Rb در برابر Y+Nb (شکل ۹-الف) نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در ناحیه مربوط به گرانیت‌های همزمان با تصادم قاره‌ای (syn-COLG) قرار می‌گیرند. این ناحیه مشخصه گرانیت‌هایی است که در محیط‌های مرتبط با کوه‌زایی و تصادم قاره‌ها تشکیل می‌شوند. نمونه‌هایی که در نزدیکی مرز ناحیه syn-COLG با گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) قرار گرفته‌اند، ممکن است نشان‌دهنده ترکیبی از هر دو محیط تکتونیکی باشند. این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که نقش محیط‌های پشته اقیانوسی (ORG) و درون صفحه‌ای (WPG) در تشکیل این گرانیت‌ها کم‌رنگ است. در نمودار Nb در برابر Y (شکل ۹-ب)، نمونه‌ها عمدتاً در نزدیکی مرز بین ناحیه VAG و ناحیه syn-COLG قرار گرفته‌اند. این نشان می‌دهد که این گرانیت‌ها احتمالاً تحت تأثیر هم محیط‌های فرورانس مرتبط با کمان‌های آتشفشانی و هم محیط‌های تصادم قاره‌ای بوده‌اند. این نمودار همچنین تأیید می‌کند که سنگ‌های مورد مطالعه منشأ متفاوتی از محیط‌های ORG و WPG دارند. همچنین، حضور تعدادی از نمونه‌ها در نزدیکی ناحیه VAG+syn-COLG، نشان‌دهنده وجود برخی از سنگ‌ها با خصوصیات حدواسط بین دو محیط است. نمودار Rb در برابر Ta+Yb (شکل ۹-ج) تأیید می‌کند که بیشتر نمونه‌ها در محدوده syn-COLG جای می‌گیرند، که با یافته‌های نمودار Rb در برابر Y+Nb همخوانی دارد. این نمودار نشان می‌دهد که غلظت روبیدیم در این سنگ‌ها بالاست و این ویژگی معمولاً در گرانیت‌هایی دیده می‌شود که تحت تأثیر فرآیندهای تصادمی تشکیل شده‌اند و در نتیجه ذوب بخشی و تغییر ترکیب پوسته‌ای ایجاد می‌شوند. در نمودار Ta در برابر Yb (شکل ۹-د)، نمونه‌ها بیشتر در ناحیه VAG و تعدادی نیز در نزدیکی مرز با syn-COLG قرار دارند. حضور نمونه‌ها در ناحیه VAG نشان می‌دهد که بخشی از این سنگ‌ها ممکن است در محیط‌های فرورانس و مرتبط با کمان‌های آتشفشانی تشکیل شده باشند. تعادل بین نمونه‌ها در این دو محدوده نشان‌دهنده اثرگذاری همزمان فرآیندهای آتشفشانی و تصادمی در تشکیل این گرانیت‌ها است. تحلیل داده‌های به دست آمده از این نمودارها نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی مورد مطالعه عمدتاً در محیط‌های تکتونیکی مرتبط با تصادمات قاره‌ای (syn-COLG) یا کمان‌های آتشفشانی (VAG) تشکیل شده‌اند. عدم حضور نمونه‌ها در محدوده‌های ORG و WPG نشان می‌دهد که این محیط‌ها در تشکیل این سنگ‌ها نقش قابل توجهی نداشته‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از یک تاریخچه پیچیده تکتونیکی است که شامل فرآیندهای همگرا و فرورانس بوده که منجر به تشکیل گرانیت‌ها در شرایط مختلف شده است. ترکیب این نمودارها با هم، یک تصویر جامع‌تر از محیط تکتونیکی تشکیل این سنگ‌ها به دست می‌دهد و نقش فرآیندهای تصادم و فرورانس را در این منطقه نشان می‌دهد.

به منظور تفکیک گرانیتوئیدهای نوع A از سایر انواع گرانیتوئیدها، از نمودارهای پیشنهادی توسط [۳۶] استفاده شد. نتایج حاصل از نمودار FeOt/MgO در برابر مجموع $Zr+Nb+Ce+Y$ (شکل ۱۰-الف) نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در ناحیه FG (گرانیتوئیدهای تفریق‌شده) قرار می‌گیرند و یک نمونه نیز در نزدیکی مرز ناحیه A قرار گرفته است. نمودار $(Na_2O+K_2O)/CaO$ در برابر مجموع

Zr+Nb+Ce+Y (شکل ۱۰-ب) نیز نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در ناحیه FG قرار گرفته‌اند. نتایج هر دو نمودار بالا نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای مورد مطالعه عمدتاً در دسته FG قرار گرفته و از ماگماهای تفریق شده به وجود آمده‌اند. این نمودارها نشان می‌دهند که گرانیتوئیدهای مورد مطالعه بیشتر دارای ویژگی‌های گرانیتوئیدهای تفریق شده (FG) بوده و از نظر ژئوشیمیایی در محدوده گرانیت‌های نوع A قرار نمی‌گیرند.

همچنین برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد مطالعه، از نمودار [۳۷] R1-R2 استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشتر نمونه‌ها در ناحیه مرتبط با سنگ‌های سین کولژن (همزمان با تصادم) و اوروژنیک (کوهزایی) قرار می‌گیرند. این موضوع حاکی از آن است که این سنگ‌ها در طی فرآیندهای کوهزایی و یا تصادمات قاره‌ای تشکیل شده‌اند. مقادیر بالای پارامتر R1 و مقادیر پایین پارامتر R2 در این نمونه‌ها نیز نشان‌دهنده تمایز ماگمایی بالا و غنی‌بودن آنها از سیلیس است. عدم حضور نمونه‌ها در نواحی دیگر نمودار نیز حاکی از آن است که این سنگ‌ها در محیط‌های خاص دیگر مثل محیط‌های پشته اقیانوسی و یا محیط‌های درون صفحه‌ای تشکیل نشده‌اند (شکل ۱۱).

برداشت

مطالعات انجام شده بر روی سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شمال طبس، با استفاده از روش‌های پتروگرافی، ژئوشیمی و بررسی داده‌های عنکبوتی و نمودارهای تفکیک تکتونیکی، اطلاعات جامعی در مورد منشأ ماگمایی، محیط تکتونیکی و تاریخچه تکاملی آنها ارائه داده است. بررسی‌های پتروگرافی نشان داد که توده‌های نفوذی یخاب، عمدتاً به صورت استوک‌های گرانیتی رخنمون یافته‌اند که سنگ‌های میزبان میکاشیستی را قطع کرده‌اند. این توده‌ها در امتداد جاده یخاب-چاه پالیز، به تدریج به صورت بین انگشتی به اورتوگنیس‌ها و گنیس‌های چشمی سفید رنگ تبدیل می‌شوند. بافت غالب در این سنگ‌ها گرانولار است و کانی‌های اصلی شامل کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های اوپک هستند. شواهدی از دگرسانی پلاژیوکلاز به سریسیست و کلسیت، و دگرسانی بیوتیت نیز مشاهده شد. بافت‌های **فرعی پوئی کلیتیک و میرمکتی نیز** در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد مطالعه دارای مقادیر متغیری از SiO₂ (بین ۶۹،۵۲ تا ۸۰،۷۰ درصد) هستند. الگوهای تغییرات اکسیدها با افزایش سیلیس، حاکی از تفریق ماگمایی است. به طوری که با افزایش سیلیس، غلظت Al₂O₃، K₂O و Na₂O افزایش یافته، در حالی که غلظت CaO، MgO، P₂O₅، TiO₂ و FeO کاهش یافته است. نمودار AFM این سنگ‌ها را در محدوده سری کالک‌آلکان و نمودار Co-Th آنها را در محدوده کالک‌آلکان غنی از پتاسیم تا شوشونیتی قرار می‌دهد. نمودارهای تشخیص ژئوشیمیایی نشان داد که این سنگ‌ها دارای ماهیت فروئن، آلکالی-کالک تا آلکان و پرآلومینوس هستند و از نظر سیلیس نیز اشباع شده می‌باشند. الگوهای غنی‌شدگی

عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) و عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) و تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در نمودارهای عنکبوتی نرمال شده نسبت به گوشته اولیه و MORB، نشان می‌دهد که ماگماهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها تحت تأثیر فرآیندهای ماگمایی مانند ذوب بخشی، تفریق ماگمایی و احتمالاً آلودگی پوسته‌ای قرار گرفته‌اند. آنومالی‌های منفی Nb و Ti نیز حاکی از دخالت مولفه‌های فرورانش در پتروژنز این سنگ‌ها است. در نمودار نرمال شده نسبت به کندریت‌ها، غنی‌شدگی عناصر LILE و تهی‌شدگی عناصر HFSE به خوبی قابل مشاهده است. نمودارهای تشخیص تکتونیکی [۳۵] نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی مورد مطالعه، عمدتاً در محیط‌های تکتونیکی مرتبط با تصادمات قاره‌ای (syn-COLG) و کمان‌های آتشفشانی (VAG) تشکیل شده‌اند و شواهدی از حضور محیط‌های پشته اقیانوسی (ORG) و درون صفحه‌ای (WPG) در تشکیل این سنگ‌ها یافت نشد. همچنین نمودار R1-R2 نیز این سنگ‌ها را در محدوده سنگ‌های سین کولژن (همزمان با تصادم) و اوروژنیک (کوهزایی) قرار می‌دهد. نمودارهای تشخیص گرانیتوئیدهای نوع A بر اساس [۳۶] نشان داد که گرانیتوئیدهای منطقه مورد مطالعه بیشتر دارای ویژگی‌های گرانیتوئیدهای تفریق شده (FG) هستند و از نظر ژئوشیمیایی در محدوده گرانیت‌های نوع A قرار نمی‌گیرند. در مجموع، یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی منطقه یخاب در شمال طبرستان، حاصل تفریق ماگمایی از منشأ پوسته‌ای هستند که در محیط‌های تکتونیکی همزمان با تصادم قاره‌ای و یا مرتبط با کمان‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها دارای ویژگی‌های کالک‌آلکان غنی از پتاسیم بوده و از نظر آلومینیوم نیز پرآلومینوس هستند. بررسی عناصر کمیاب خاکی از دخالت فرآیندهای ماگمایی پیچیده است که با آلودگی پوسته‌ای و تأثیر سیالات گوشته نیز همراه بوده‌اند.

قدردانی

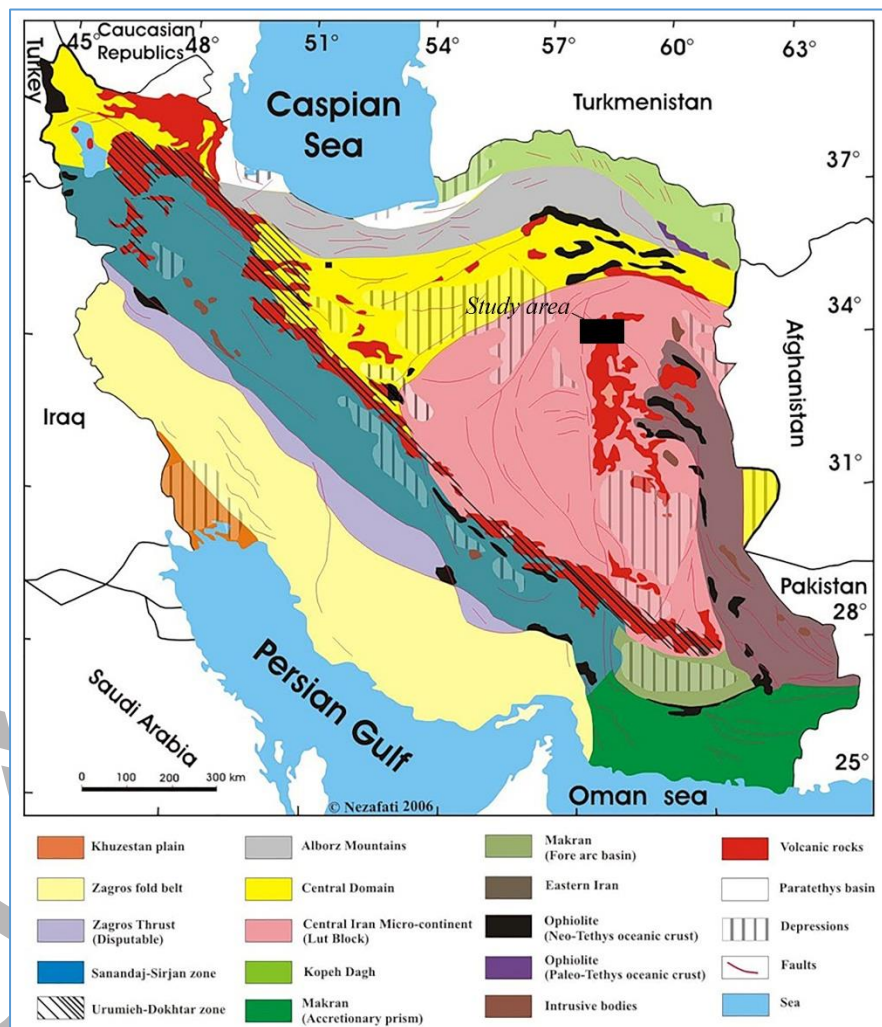
بدینوسیله از ریاست محترم دانشکده علوم پایه، مدیر و معاون محترم پژوهش و فناوری دانشگاه هرمزگان که امکان انجام این پژوهش را فراهم نمودند، صمیمانه سپاسگزارم.

مراجع

- [1] Eftekhari-Nejad, J. Geological quadrangle map of Kashmar, 1: 250,000. GSI, Tehran, Iran (in Persian), (1976).
- [2] Berberian, M., King, G.C.P. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences (1981) 18 (2), 210–265.

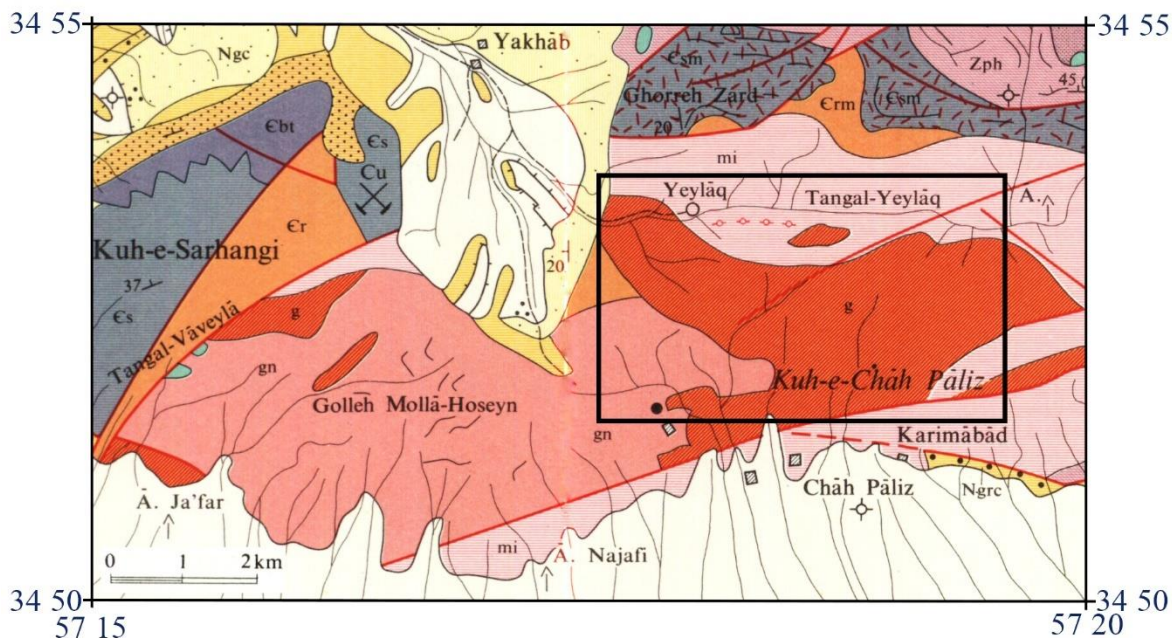
- [3] Stocklin, J. Structural history and tectonics of Iran, A review am. petr Geol. B. u (1968).52, n7.p.1229-1258.
- [4] Alavi, M., Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran, Geological survey of Iran, Tehran (1992).
- [5] Yazdan Panah, A. Investigation of the economic potential of the Dehnu-Obeid region (northeast of Ashgabat, Tabas)", the 7th conference of the Economic Geology Association of Iran, Damghan (in Persian)", (2014).
- [6] Rossetti, F., Nozaem, R., Lucci, F., Vignaroli, G., Gerdes, A., Nasrabadi, M., Theye, T. Tectonic setting and geochronology of the Cadomian magmatism in Central Iran, Kuh-e Sarhangi region NW Lut Block (2014), (in Persian)", Journal of Asian Earth Sciences, 102, 24-44
- [7] Ruttner, A., Nabavi. H.M., Alavi, M., Geological map of Ozbak-kuh, 1:100000, Geological Survey of Iran, (1970).
- Nuzaim, R. Deformation analysis of Sarhangi mountain range in North West of Lut block, PhD thesis, Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian)", (2012).
- [8] Middlemost, E.A.K. naming materials HN the magmas/igneous rock system. Eart-Sci.Reu, (1994) 37, 215-224.
- [9] De la Roche, Hubert de, et al. "A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses-its relationships with current nomenclature." Chemical geology 29.1-4 (1980): 183-210.
- [10] Frost, B. R., & Frost, C. D. (2008). A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. Journal of Petrology, 49(9), 1455-1469.
- [11] Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. A guide to the chemical classification of the common Volcanic rocks Can.J. Earth Sci, (1971) 8, 523-548.
- [12] Hastie, A. R., Jowitt, A., McPhie, J., Kridel, E. G., & Carras, H. (2007). Minor element geochemistry of the Mount Lyell volcanic rocks, Tasmania: distinguishing between tholeiitic, calc-alkaline and shoshonitic series. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 160(1-2), 113-128.)
- [13] Sun, S.S., Mc Donough, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A., Norry, M. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, Blackwell, (1989) 313-345.
- [14] Wilson, M., "Review of igneous petrogenesis: a global tectonic approach." Terra Nova 1.2 (1989): 218-222.
- [15] Rollinson, H. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, (1993).
- [16] Tatsumi, Y. "The subduction factory: How it operates in the evolving Earth". GSA Today, 15(7), (2005), 4-10.
- [17] Kearey P, Klepeis KA, Vine FJ. Global tectonics. John Wiley & Sons; 2009 Jan 20.
- [18] Ghiorso, M. S., & Sack, R. O. "Fe-Ti oxide geothermometry: thermodynamic formulation and estimating intensive variables in magmatic systems. Contributions to Mineralogy and Petrology, 108(4),(1991), 485-510.
- [19] Pearce, J. A., Geochemical fingerprints of mantle processes by multi-element variations in basaltic rocks. Lithos, 100(1-4), (2008), 51-72.
- [20] Blundy, J. D., & Wood, B. J. "Prediction of crystal-melt partition coefficients from elastic moduli. Nature, 372(6504), (1994), 452-454.
- [21] Keppler, H., Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction zone fluids. Nature, 380(6574), (1996), 237-240.
- [22] Wood, B. J., High field strength elements. In: Magmatic petrology, Springer Netherlands, (1990), pp 275-304.

- [23] Plank, T., & Langmuir, C. H., The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145(3-4), (1998), 325-394.
- [24] Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M., & McDermott, F. (1991). Mantle and crust contributions in the genesis of the Aegean magmatism. *Geological Society, London, Special Publications*, 59(1), 241-266.
- [25] Longhi, J. (1991). Experimental petrology of basaltic rocks. In: *Source, transport, and deposition of metals, Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, Volume 25*, pp 269-319.
- [26]. Pearce, J. A. (1983). Role of the tectonic environment in the interpretation of volcanic rock trace element data. *Journal of Petrology*, 24(1), 41-73.)
- [27]. Thompson, R. N. "Magmatism of the British Tertiary volcanic province." *Scottish Journal of Geology* 18.1 (1982): 49-107.
- [28] Glenn, A.G., "The influence of melt structure on trace element partitioning near the peridotite Solidus", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol: 147, (2004) p: 511–527.
- [29] Sajona, F.G., Maury, R.C., Bellon, H., Cotton, T. and Defant, M., "High field strength element Enrichment of Pliocene-Pleistocene Island arc basalts, Zamboanga peninsula, western Mindanao (Philippines)", *Journal of petrology*, Vol: 37, (1996) p: 693–726.
- [30] Harris, C., "The petrology of lavas and associated plutonic characteristics of collision Zone magmatism. In: Cowards, M.P. and Reis, A.C. (Eds), *Collision tectonics*", Special Publication, Geological Society of London, Vol: 19, (1986) p: 67–81.
- [31] Hongyan, G., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W., Zhao, G., Zhang, L., Wong, K. and Fuyuan, W., "Geochemical, Sr–Nd and Zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Late-Subduction", *Chemical Geology*, Vol: 266, (2009) p: 364–398.
- [32] Wu, F., Jahnb, B., Wilde, S.A., Lod, C.H., Yuie, T.F., Lina, Q., Gea, W. and Suna, D., "Highly fractionated I-type granites in NE China II: isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic", *Lithos*, Vol: 67, (2003) p: 191–204
- [33] Dostal, J., Church, B.N., Reynolds, P.H. and Hopkinson, L., "Eocene volcanism in the Buck Creek basin, central British Columbia (Canada): transition from arc to extensional volcanism" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol: 170(1-3), (2001) p: 149–170.
- [34] Shang, G.K., Satir, M., Siebel, W., Nasifa, E.N., Taubuld, H., Liegeoise, J.P. and Tchoua, F.M., "Geochemistry, Rb–Sr and Sm–Nd systematic: case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern Cameroon", *Journal of African Earth Sciences*, Vol: 40(1-2), (2004) p: 61–79
- [35]. Pearce, Julian A., Nigel BW Harris, and Andrew G. Tindle. "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks." *Journal of petrology* 25.4 (1984): 956-983.
- [36]. Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W. A-type granites: geochemical characteristics discrimination and petrogenesis. *Contrib. Miner. Petrology*, Vol: 95 (1987) P; 407–419.
- [37]. Batchelor, Richard A., and Peter Bowden. "Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters." *Chemical geology* 48.1-4 (1985): 43-55.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زون های ساختاری ایران [۳]

میدان دانش



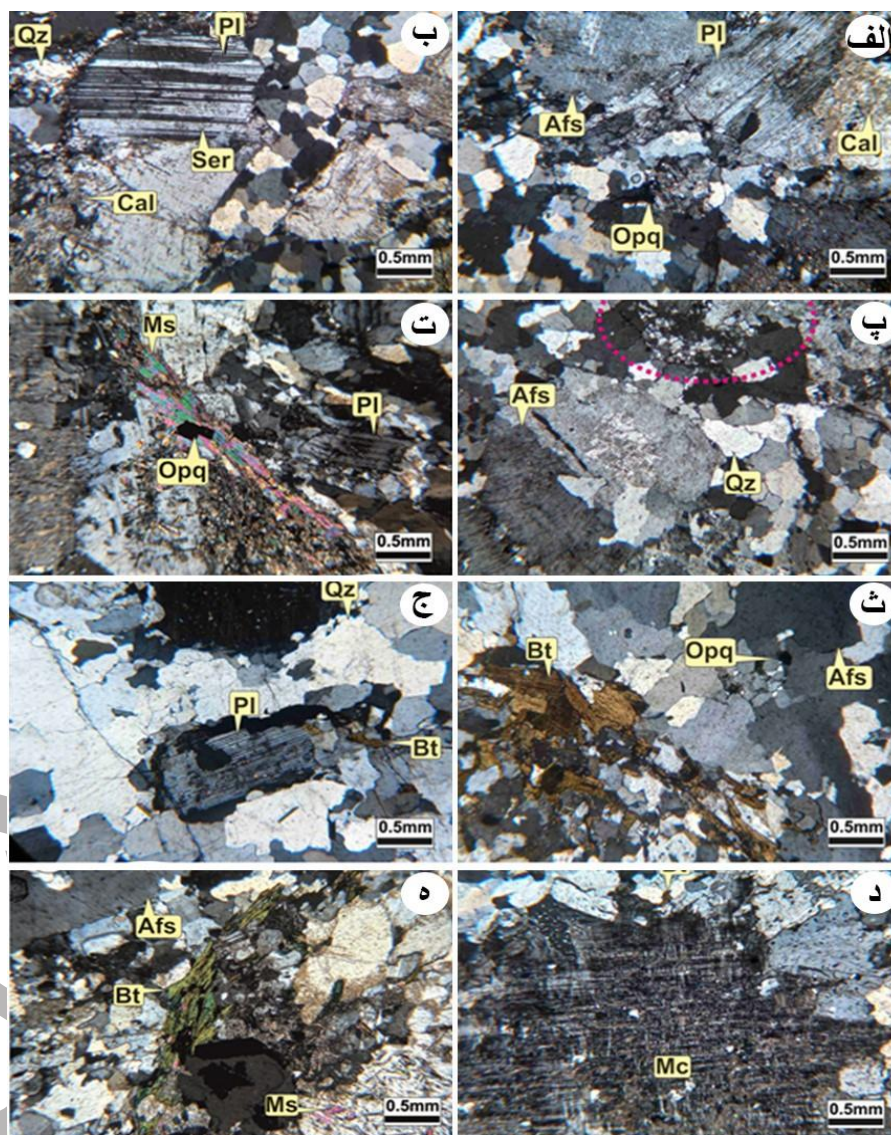
Quat	Qt2	Qt2	Dasht: Younger gravel fans and terraces; Qt2: lowest level
	Qt1		Dasht: Older gravel fans and terraces
INFRA CAMBRIAN	Ez		Shale and shaly sandstone, red micaceous
	Ebt		Shale (black, green, red) alternating with dolomite and limestone
	Es		Dolomite, grey or reddish; Csc: green, silty shale
	Cr	Esc	Quartzporphyry, dolomite, shale
	Zph		Phyllite, partly calcareous
	Esm		Dolomite, grey or reddish
PRE-CAMBRIAN	Cr		Quartzporphyry, dolomite, shale
	g		Granite
	gn		(Ortho-) gneiss
	m		Marble
	mi		Mica schist

	Terrace
	Thrust
	Fault
	Dip of beds
	Dip (air photos)
	Fossil locality
	Fortress, watch-tower
	Spring, Châh, Cave,
	Qanat (Underground Canal)
	Study area

شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بر گرفته از نقشه زمین شناسی ازبک کوه [۷]



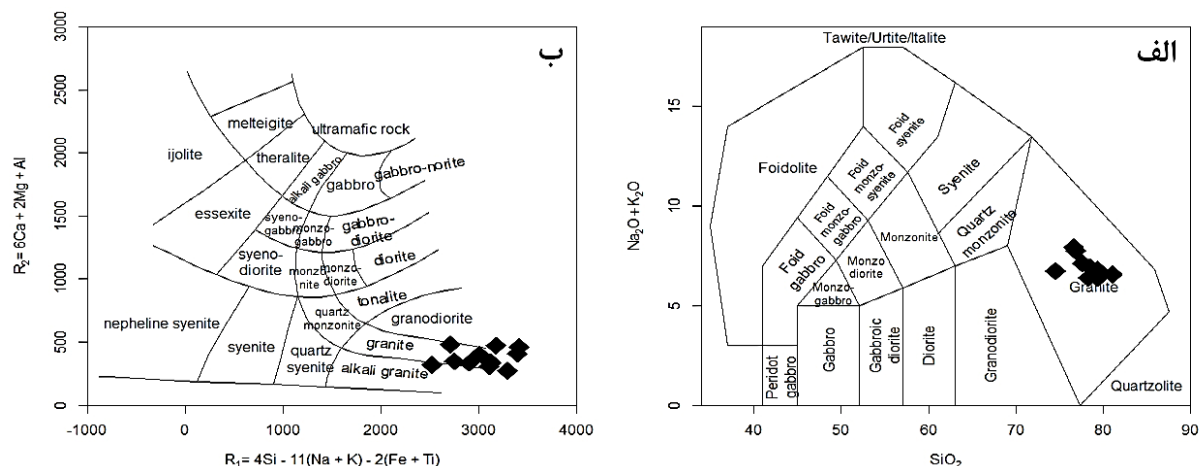
شکل ۳- الف) رخنمونی از توده گرانیتی بخاب یا میکاشیست ب) مورفولوژی سنگهای گنیسی در جلو و مورفولوژی سنگهای گرانیتی در دور دست



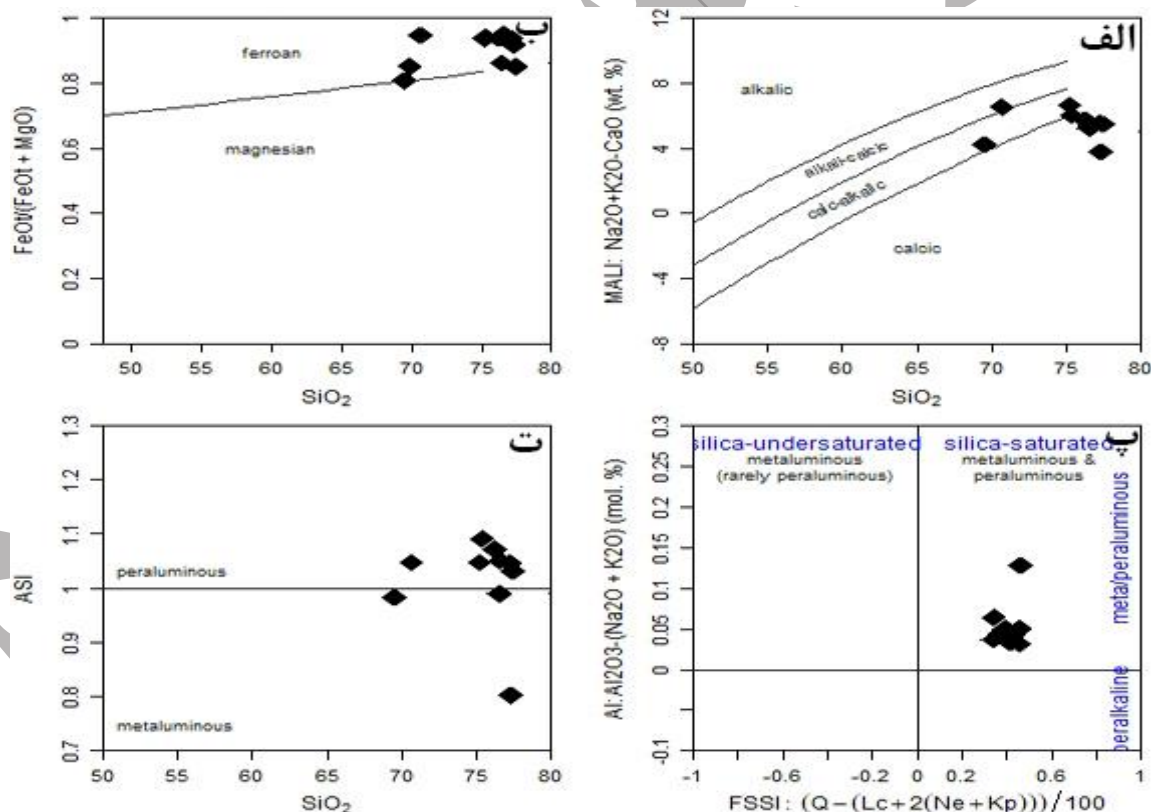
شکل ۴ - الف) سنگ گرانیت با بافت گرانولار که پلاژیوکلاز (Pl) و آلکالی فلدسپار (Afs) به وضوح قابل مشاهده هستند و بلورهای کلسیت (Cal) در حاشیه و بین بلورهای فلدسپات ها دیده می شوند. کانی های اوپاک نیز به صورت پراکنده مشاهده می شوند (40X) ب) یسنگ گرانیت با بلور های بزرگ پلاژیوکلاز (Pl) به همراه دگرسانی سریسیتی (Ser) دیده می شود کانی کلسیت (Cal) در لبه و اطراف بلور پلاژیوکلاز دگرسان شده قرار دارد ، بلورهای ریز کوارتز (Qz) در کنار بلور فلدسپات دیده می شوند که دارای بافت هم رشدی را نشان می دهند (40X) ت) بلورهای کانی موسکویت (Ms) به صورت یک نوار طویل در داخل بلور پلاژیوکلاز (Pl) دیده می شود که نشان دهنده دگرسانی پس از تبلور است. کانی های اوپاک در اطراف بلور پلاژیوکلاز مشاهده می شوند (40X) ث) کانی آلکالی فلدسپار (Afs) و کوارتز (Qz) در سنگ گرانیت قابل مشاهده اند و دگرسانی بلور فلدسپات را می توان مشاهده کرد که با دایره های صورتی مشخص شده است (40X) ج) کانی پلاژیوکلاز (Pl) به صورت دگرسان شده با هاله سیاه در بین بلورهای کوارتز (Qz) دیده می شود و بلورهای بیوتیت (Bt) به صورت صفحات نازک دیده می شوند (40X) چ) کانی بیوتیت (Bt) دگرسان شده، کانی های اوپاک و بلورهای آلکالی فلدسپار (Afs) در کنار یکدیگر دیده می شوند. (40X) د) موسکویت (Ms) و بیوتیت (Bt) باهم و همزمان رشد کرده اند. بلور های آلکالی فلدسپار (Afs) در اطراف کانی های میکا به خوبی قابل

مشاهده است (40X). ماکل دوقلویی شطرنجی میکروکلین (Mc) به وضوح قابل مشاهده است. علائم اختصاری از [۸] اقتباس شده است. Qz: کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Cal:

کربنات کلسیم، Bi: بیوتیت، Ms: موسکویت، Opq: اپک.

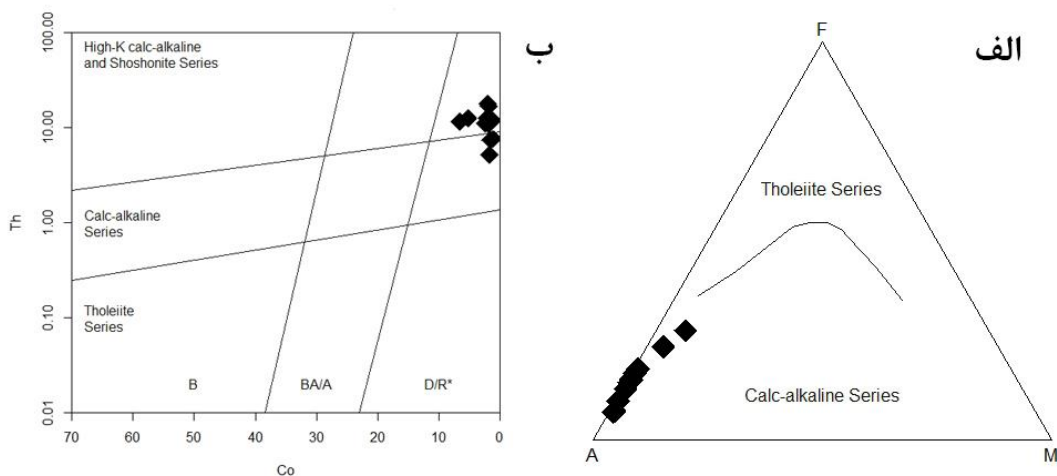


شکل ۵- الف) نمودار SiO_2 در مقابل Na_2O+K_2O ، طبقه بندی سنگهای نفوذی منطقه مورد مطالعه، ب) نمودار R_1 در مقابل R_2 جهت طبقه بندی سنگهای آذرین نفوذی منطقه مورد مطالعه که نمونه ها در محدوده گرانیت قرار میگیرند.

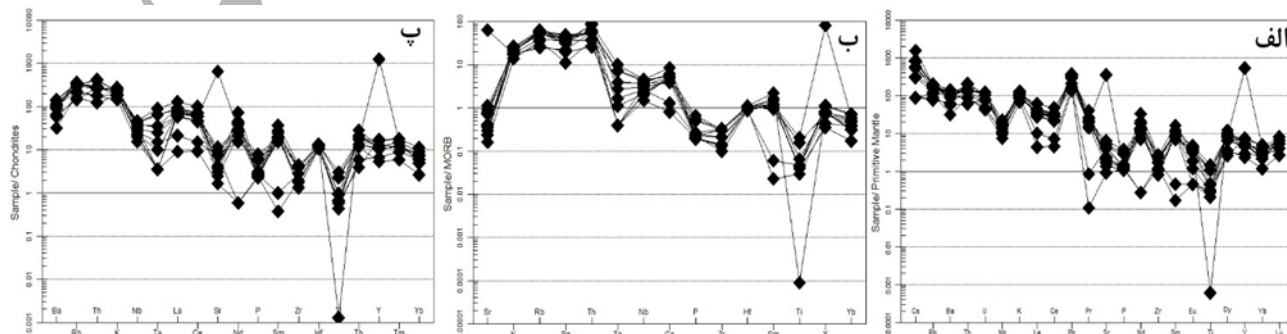


شکل ۶- الف) نمودار $MALI (Na_2O + K_2O - CaO)$ در برابر SiO_2 : این نمودار بر اساس شاخص آکالی-آهک تعدیل شده (MALI) و میزان سیلیس، سنگها را به دسته های آهکی، کالک آکالن، آکالی-کالک و آکالن تقسیم می کند. تمامی نمونه ها در محدوده آکالی-کالک تا آکالن قرار می گیرند، که نشان دهنده غنی بودن این سنگها از عناصر قلیایی نسبت به کلسیم است. ب) نمودار $FeO/(FeO + MgO)$ در برابر SiO_2 این نمودار بر اساس میزان آهن و منیزیم

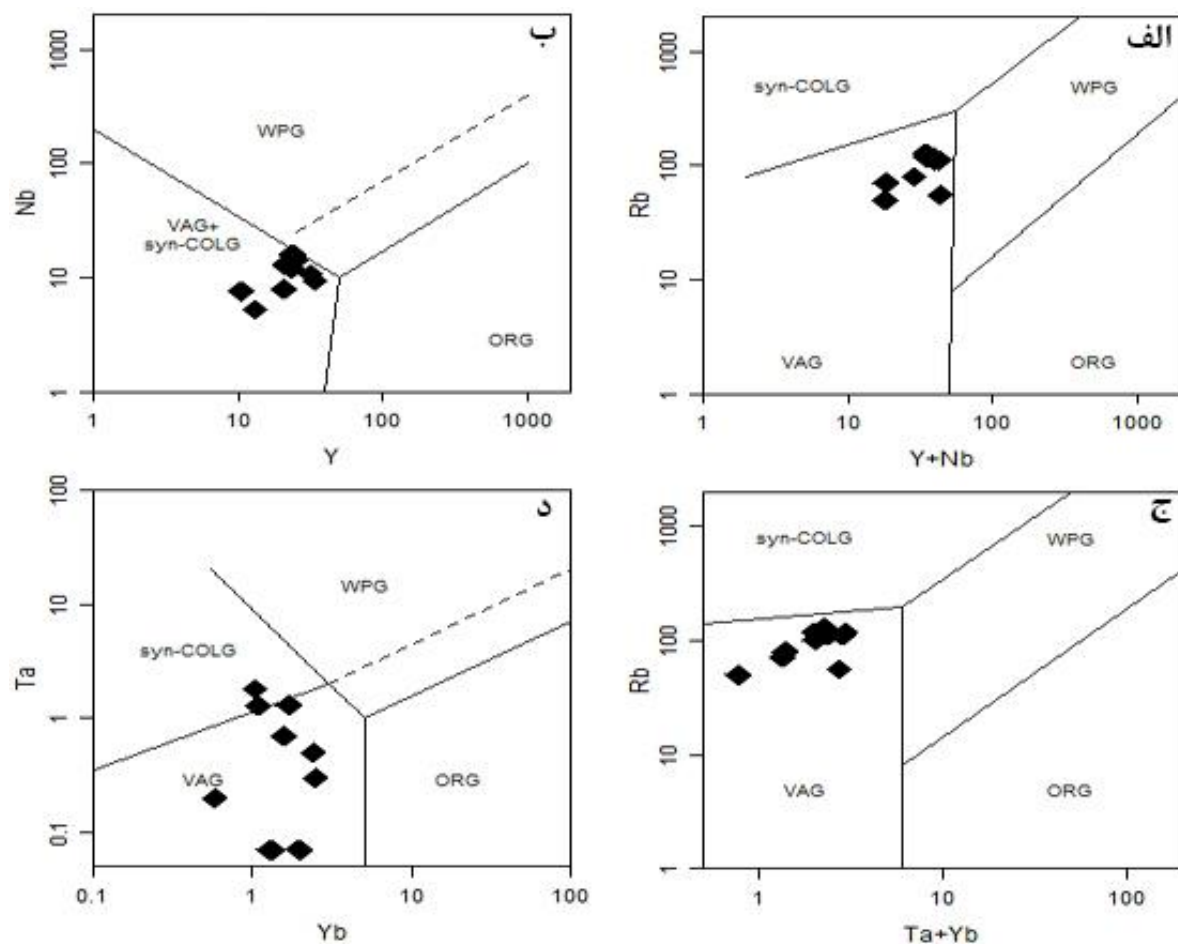
نسبت به سیلیس، سنگ‌ها را به دو دسته فروئن (غنی از آهن) و منیزین (غنی از منیزیم) تقسیم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌ها در محدوده فروئن قرار می‌گیرند، پ) نمودار $Al/(Al_2O_3-(Na_2O+K_2O))$ در برابر FSSI (شاخص اشباع سیلیس فلسیک): این نمودار بر اساس شاخص اشباع سیلیس فلسیک (FSSI) و مقدار آلومینا منهای مجموع سدیم و پتاسیم، سنگ‌ها را از نظر اشباع‌شدگی سیلیس و ماهیت پرآلکالن یا متالومینوس/پراآلومینوس طبقه‌بندی می‌کند. داده‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌ها در محدوده "اشباع شده از سیلیس، متالومینوس و پراآلومینوس" قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده این است که این سنگ‌ها از نظر سیلیس اشباع بوده و ماهیت متالومینوس تا پراآلومینوس دارند. نمودار ASI (شاخص اشباع آلومینیوم) در برابر SiO_2 : این نمودار بر اساس شاخص اشباع آلومینیوم (ASI)، سنگ‌ها را به دو دسته متالومینوس ($ASI < 1$) و پراآلومینوس ($ASI > 1$) تقسیم می‌کند. تمام نمونه‌ها در محدوده پراآلومینوس قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده اشباع بیش از حد آلومینیوم نسبت به عناصر قلیایی و کلسیم است. این ویژگی معمولاً در گرانیت‌های نوع S دیده می‌شود (فراست و فراست، ۲۰۰۸).



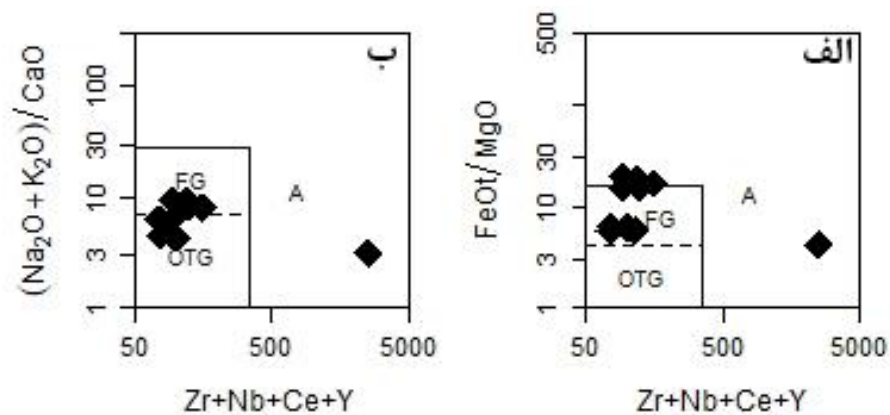
شکل ۷- الف) نمودار AFM ابروین و باراگر، ۱۹۷۱، نمودار با یک خط منحنی به دو ناحیه تقسیم می‌شود: سری تولیتی: این سری معمولاً با روند غنی‌شدگی آهن مشخص می‌شود. سری کالک‌آلکالن: این سری معمولاً دارای روند غنی‌شدگی قلیایی و کلسیمی است. نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار در قسمت پایین قرار گرفته‌اند و در محدوده سری کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند. ب) نمودار Co-Th هستی و همکاران، ۲۰۰۷، نمودار با خطوطی به چند ناحیه تقسیم شده که نشان‌دهنده سری‌های ماگمایی مختلف است: سری تولیتی: دارای مقادیر کم Th و Co، سری کالک‌آلکالن: دارای مقادیر متوسط Th و Co، سری کالک‌آلکالن غنی از پتاسیم و شوشونیتی: دارای مقادیر بالا Th، نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار در قسمت بالای نمودار و در ناحیه "سری کالک‌آلکالن غنی از پتاسیم و شوشونیتی" قرار گرفته‌اند.



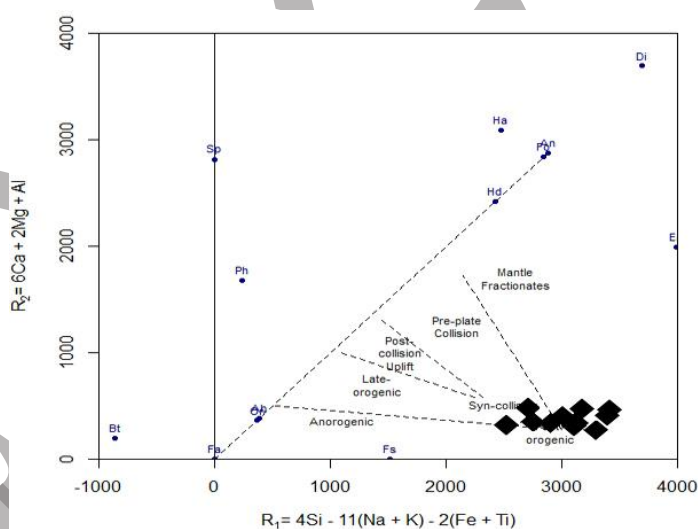
شکل ۸- الف) نمودار عنکبوتی سنگهای منطقه نسبت به ترکیب گوشته اولیه، ب) ۲. نمودار عنکبوتی نرمال شده نسبت به MORB، پ) نمودار عنکبوتی سنگهای منطقه نسبت به Chondrite



شکل ۹- الف) نمودار Rb در برابر Y+Nb، نمونه‌ها در این نمودار در ناحیه "گرانیت‌های همزمان با تصادم قاره‌ای (syn-COLG)" تعدادی نیز در نزدیکی مرز این ناحیه با "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" قرار گرفته‌اند، ب) نمودار Nb در برابر Y، نمونه‌ها در این نمودار در نزدیکی مرز بین "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" و "گرانیت‌های همزمان با تصادم قاره‌ای (syn-COLG)" قرار می‌گیرند، ج) نمودار Rb در برابر Ta+Yb، بیشتر نمونه‌ها در این نمودار در ناحیه "گرانیت‌های همزمان با تصادم قاره‌ای (syn-COLG)" قرار گرفته‌اند، د) نمودار Ta در برابر Yb، بیشتر نمونه‌ها در این نمودار در ناحیه "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" و تعدادی نیز در نزدیکی مرز با ناحیه "گرانیت‌های همزمان با تصادم قاره‌ای (syn-COLG)" قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰-الف) نمودار FeOt/MgO در برابر مجموع Zr+Nb+Ce+Y ، نمونه‌ها در ناحیه FG (گرانیتوئیدهای تفریق‌شده) قرار گرفته‌اند. یک نمونه در نزدیکی مرز ناحیه A و تعدادی در ناحیه OTG قرار دارند، ب) نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ در برابر مجموع Zr+Nb+Ce+Y ، نمونه‌ها در ناحیه FG (گرانیتوئیدهای تفریق‌شده) قرار گرفته‌اند. یک نمونه در نزدیکی مرز ناحیه A و تعدادی در ناحیه OTG قرار دارند.



شکل ۱۱- نمودار R_1 در مقابل R_2 ، $R_1 = 4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})$ در این فرمول، Si ، Na ، K ، Fe و Ti به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی اکسید سیلیسیم، سدیم، پتاسیم، آهن و تیتانیوم هستند. $R_2 = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$ در این فرمول، Ca ، Mg و Al به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی اکسید کلسیم، منیزیم و آلومینیوم هستند. این پارامتر نشان‌دهنده میزان کلسیم، منیزیم و آلومینیوم موجود در ماگما است و معمولاً با تغییرات کانی‌های فرومنیزین در ارتباط است.

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی XRF و ICP-MS نمونه های منطقه مورد مطالعه

Sample	Gr _{Al}	Gr _{Ar}	Gr _{Ar}	Gr _{Al}	Gr _{Ar}	Gr _{Ar}	Gr _{Al}	Gr _{Ar}	Gr _{Ar}	Gr _{Al}	Gr _{Ar}	Gr _{Al}
SiO ₂	۸۰/۷	۶۹/۸۹	۶۹/۸۲	۷۸/۲۸	۷۸/۳۶	۷۶/۲۲	۷۰/۶۹	۷۷/۴۸	۷۷/۳۱	۷۶/۸۲	۷۶/۱۶	۷۷/۲۴
Al ₂ O ₃	۱۱/۴۵	۱۱/۹۵	۱۱/۸۱	۱۲/۴۹	۱۲/۱۱	۱۱/۱۵	۱۱/۸۱	۱۱/۵۷	۱۰/۷۲	۱۲/۱۵	۱۱/۳۴	۱۰/۰۵
BaO	-/۰.۸	-/۰.۸	-/۰.۸	-/۱.۱	-/۰.۸	-/۰.۷	-/۱.۰۵	-/۰.۴	-/۰.۲	-/۰.۴	-/۰.۷	-/۰.۶
CaO	۱/۵۶	۱/۹۲	۲/۰.۲	-/۹.۳	-/۸.۷	-/۸.۱	-/۷.۷	۱/۰.۵	۲/۴۱	۱/۴۹	۱/۰.۱	-/۰.۶۶
Cr ₂ O ₃	-/۰.۰۲	-/۰.۰۴	-/۰.۱	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۳	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲
CuO	-/۰.۱	-/۰.۱	-/۰.۹	-/۰.۹	-/۰.۱	-/۰.۹	-/۰.۹	-/۰.۹	-/۰.۳	-/۰.۳	-/۰.۰۳	-/۰.۰۶
Fe ₂ O ₃	۲/۳۵	۲/۶۹	۲/۹	۱/۵۲	۱/۶۹	۱/۲۳	۱/۶۴	-/۵.۷	-/۷.۵	-/۵.۶	۱/۳	۱/۰.۳
FeO _T	۲/۱۱	۲/۴۲	۲/۶۱	۱/۳۷	۱/۵۲	۱/۱۱	۱/۴۸	-/۵.۱	-/۶.۷	-/۵.۰	۱/۱۷	-/۴.۳
K ₂ O	۳/۵۱	۱.۸.۳	۳/۱۷	۳/۹۵	۳/۱۳	۳/۲۱	۳/۷۴	۲/۵۶	۲/۱	۲/۶۹	۲/۷۸	۳/۲۴
MgO	-/۳.۴	-/۴.۲	-/۶.۲	-/۰.۹	-/۰.۹	-/۰.۷	-/۰.۸	-/۰.۹	-/۰.۶	-/۰.۸	-/۰.۶	-/۰.۶
MnO	-/۰.۳	-/۰.۳	-/۰.۲	-/۰.۱	-/۰.۲	-/۰.۱	-/۰.۱	-/۰.۰۷	-/۰.۱	-/۰.۰۹	-/۰.۱	-/۰.۱۲
Na ₂ O	۳/۰.۸	۳/۲۹	۳/۱	۳/۶۵	۳/۷۷	۳/۳۴	۳/۵۷	۴/۰.۴	۴/۱۱	۴/۰.۷	۳/۶۴	۳/۰.۴
P ₂ O ₅	-/۰.۶	-/۰.۶	-/۰.۸	-/۰.۲	-/۰.۳	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۲	-/۰.۲
TiO ₂	-/۰.۲۳	-/۰.۲۳	-/۰.۳	-/۱.۱	-/۱.۱	-/۰.۹	-/۰.۹	-/۰.۶	-/۰.۴	-/۰.۵	-/۰.۶	-/۰.۲
V ₂ O ₅	-/۰.۰۲	-/۰.۰۲	-/۰.۰۴	-/۰.۰۵	-/۰.۰۵	-/۰.۰۵	-/۰.۰۵	-/۰.۰۵	-/۰.۰۳	-/۰.۰۵	-/۰.۰۱	-/۰.۰۱
L.O.I	-/۰.۲	۵/۶۲	۴/۸۸	۱/۲۸	۲/۷۵	۳/۵۰	۵/۸۰	۲/۵۰	۲/۱۹	۲/۱۱	۲/۸۳	۳/۸۳
Total	۱۰۰.۲۴	۹۶/۲۰	۹۸/۶۰	۹۹/۵۰	۱۰۰/۰.۲	۹۹/۸۶	۹۸/۳۲	۹۹/۲۹	۹۹/۹۲	۹۹/۷۲	۹۹/۸۱	۹۹/۲۴
REE (ppm)												
Ag	-/۰.۷	-/۵	-/۴	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۲	-/۰.۷	-/۴	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷
Al	۶۰۹۳۵	۶۶۱۶۲	۶۲۸۴۴	۶۶۴۷۹	۶۴۴۲۱	۵۹۳۵۶	۶۸۴۴۵	۶۱۵۴۹	۵۷۰۶۶	۶۴۶۷۱	۵۰۳۴۷	۵۳۵۱۰
As	۴/۳	۱/۸	۴/۲	۵/۷	۹	۷/۲	۸/۲	۹/۸	۶/۶	۱۱/۷	۴/۶	۹/۲
Ba	۸۰.۸	۸۰.۰	۷۹.۰	۹۹.۶	۷۵.۷	۶۶.۶	۹۴.۷	۳۹.۹	۲۲.۲	۴۵.۰	۷۱.۵	۶۲.۵
Be	۲/۴	۲/۳	۱/۸	۲	۲	۱/۹	۱/۸	۱/۲	-/۸	۱/۱	۱/۷	۱/۷
Bi	-/۰.۷	-/۸	-/۲	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۲	-/۰.۷	-/۰.۷
Ca	۱۱۲۲۸	۱۸۸۳۷	۱۴۵۷۵	۶۷۲۶	۶۳۲۴	۵۸۷۷	۵۵۹۲	۷۵۸۶	۱۷۳۵۰	۱۰۷۹۰	۷۳.۲	۴۷۶۰
Cd	-/۵	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۱	-/۱	-/۲	-/۲	-/۳	-/۱	-/۲	-/۱	-/۲
Ce	۳۹	۵۰	۵۱	۶۲	۸۶	۵۲	۶۱	۱۳	۸	۵۰	۵۳	۴۰
Co	۳/۵	۵/۲	۶/۶	۱/۸	۱/۸	۲/۲	۲/۴	۱/۷	۱/۶	۱/۲	۱/۱	۲
Cr	۱۶	۳۱	۶۹	۱۵	۱۷	۱۷	۱۶	۲۲	۱۶	۲۲	۲۱	۲۰
Cs	۱۲/۳	۶/۴	۴/۲	۶/۸	۶/۳	۴/۷	۴/۲	-/۷	-/۷	-/۷	۲/۴	۲/۵
Cu	۱	۱	-/۷۵	-/۷۵	۱	-/۷۵	۱۶	-/۷۵	-/۷۵	۳	۳	۵
Dy	۴/۸	۵/۷	۶/۲	۶/۶	۸/۹	۷/۱	۷/۶	۱/۹	۲/۲	۲/۶	۴/۶	۷/۵
Er	۳	۳/۸	۳/۷	۳/۵	۵/۵	۴/۷	۴/۳	۱/۱	۱/۶	۱/۳	۲	۴/۹
Eu	-/۵۹	-/۵۳	-/۸	-/۷	-/۵	-/۳۱	-/۷۳	-/۰.۷۵	-/۰.۷۵	-/۰.۷۵	-/۶۴	-/۲
Fe	۱۶۵۸۹	۱۸۹۵۳	۲۰۴۷۳	۱۰۷۰۵	۱۱۹۱۹	۸۶۸۳	۱۱۶۱۰	۴۰۲۵	۵۲۸۵	۳۸۸۱	۹۲۱۹	۷۲۹۶
Gd	۳/۶۵	۳/۸۷	۴/۳۶	۵/۵۶	۷/۳	۵/۱	۵/۴۹	۱/۰.۲	-/۸۴	۳/۷۵	۴/۷۱	۴/۷۱
Hf	۲/۶	۲/۷	۲/۶	۲/۶	۲/۷	۲/۴	۲/۴	۲/۱	۲/۴	۲/۱	۲/۲	۲/۲
In	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷
K	۲۹۲۹۸	۲۶۵۶۷	۲۶۴۴۳	۳۲۹۸۵	۲۶۱۰۴	۲۶۸۲۷	۳۱۲۴۴	۲۱۴۰۲	۱۷۵۰۳	۲۲۴۱۸	۲۳۱۹۲	۲۷۰۰۲
La	۱۹	۲۲	۲۵	۳۱	۴۲	۳۰	۲۹	۷	۳	۲۴	۲۶	۲۰
Li	۴۵	۲۶	۲۸	۲۰	۲۹	۲۰	۱۷	۹	۴	۴	۱۵	۱۳
Lu	-/۴	-/۵	-/۴	-/۴	-/۶	-/۵	-/۵	-/۲	-/۳	-/۲	-/۳	-/۵
Mg	۲۰۸۶	۲۵۷۸	۳۸۱۴	۵۶۶	۵۵۳	۴۶۹	۴۹۹	۶۰۶	۴۱۲	۵۰۳	۳۸۳	۳۶۸
Mn	۳۰	۳۱۰	۱۹۴	۱۹۹	۱۹۴	۱۴۸	۱۳۷	۶۱	۸۹	۷۳	۱۰۸	۹۴
Mo	-/۳۷	-/۹	۱/۲	-/۷	-/۶	-/۳۷	-/۶	۱/۳	-/۳۷	-/۶	-/۷	۱/۴
Na	۲۳۰۱۶	۲۴۵۶۹	۲۳۱۷۲	۲۷۲۴۶	۲۸۱۵۸	۲۹۹۷۸	۲۶۶۸۵	۲۹۸۸۵	۳۰۷۳۲	۳۰۴۲۴	۲۷۱۸۶	۲۲۴۲۳
Nb	۱۲/۹	۱۲/۱	۶/۹	۱۳/۱	۱۶/۲	۱۵/۹	۱۴/۳	۹/۴	۵/۳	۷/۶	۸	۱۰.۸
Nd	۹/۷	۱۶/۸	۱۷/۳	۲۸/۸	۴۵/۳	۲۴/۷	۲۵/۶	-/۳۷	-/۳۷	۱۸/۷	۱۷/۸	۱۳/۷
Ni	۵	۱۵	۲۵	۵	۶	۹	۷	۱۹	۸	۱۰	۷	۱۱
P	۲۶۹	۲۹۰	۳۵۵	۱۲۷	۱۴۳	۱۲۸	۱۲۹	۱۱۷	۱۰۶	۱۱۹	۱۰۹	۱۰۳
Pb	۲۳	۲۶	۱۵	۲۷	۲۱	۲۴	۲۷	۱۲	۱۰	۱۲	۲۱	۲۳
Pr	۳/۹	۵/۴۲	۵/۹۶	۷/۳۹	۱۱/۲	۶/۷۶	۷/۰.۸	-/۲۳	-/۰.۳	۵/۶۹	۵/۵۶	۴/۳۷
Rb	۱۲۲	۱۱۸	۱۰۱	۱۲۸	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۸	۵۶	۷۱	۵۰	۸۰	۱۱۱
S	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴	۳/۴
Sb	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷
Sc	۱۰/۳	۹/۵	۱۰/۴	۱۰/۳	۳/۴	۴/۹	۳/۸	۳/۹	۱/۹	۴/۸	۷/۴	۳/۵
Se	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷
Sm	۳/۱	۳/۶	۳/۹	۳/۱	۷/۴	۴/۹	۵/۵	-/۲	-/۰.۷۵	۴/۱	۳/۶	۴/۱
Sn	۳/۶	۲/۶	۳	۳/۶	۲/۹	۲/۵	۲/۲	۱/۴	۱/۳	۱/۶	۲/۱	۱/۷
Sr	۹۲/۹	۱۰۹/۶	۱۳۵/۵	۹۲/۹	۴۲/۸	۳۵/۸	۴۶/۸	۸۶/۱	۱۹/۴	۷۶/۴	۵۰	۲۸/۷
Ta	-/۷	-/۰.۷	-/۰.۷	-/۷	۱/۸	۱/۳	۱/۳	-/۰.۷	-/۲	-/۲	-/۰.۷	-/۵
Tb	-/۷	-/۹	-/۹	-/۷	۱/۵	۱/۱	۱	-/۲	-/۳	-/۶	-/۷	۱
Te	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷	-/۳۷
Th	۱۰/۸	۱۲/۵	۱۱/۵	۱۰/۸	۱۶/۹	۱۲/۶	۱۱/۱	۵/۲	۷/۴	۱۱/۹	۷/۶	۱۷/۹
Ti	۱۴۲۶	۱۴۹۷	۱۸۵۹	۱۴۲۶	-/۷۹	۵۷۴	۵۸۹	۴۱۴	۲۶۸	۳۵۵	۴۰۰	۳۹۷
Tl	-/۶	-/۷	-/۶	-/۶	-/۷	-/۶	-/۵	-/۵	-/۳	-/۳	-/۴	-/۵
Tm	-/۴	-/۵	-/۵	-/۴	-/۵	-/۵	-/۴	-/۶	-/۳	-/۲	-/۴	-/۶
U	۱/۶	۲/۲	۲/۶	۱/۶	۲/۲	۲/۶	۱/۶	۱/۷	-/۹	۱	۱	۲/۲
V	۱۲	۱۴	۲۴	۱۲	۱۴	۲۴	۳	۳	۳	۳	۱	۱
W	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵	-/۷۵
Y	۲۱/۶	۲۴/۷	۲۴۷۲	۲۱/۶	۲۳/۷	۲۴/۲	۲۵	۳۴/۲	۱۳/۲	۱۰/۶	۲۰/۹	۳۱/۹
Yb	۱/۵۹	۱/۹۵	۱/۹۹	۱/۵۹	۱/۰.۵	۱/۰.۹	۱/۷	۲/۴۸	۱/۲۹	-/۵۸	۱/۳۴	۲/۴۱
Zn	۶۰	۴۶	۳۴	۶۰	۴۶	۳۴	۴۰	۳۷	۵	۸	۲۴	۲۷
Zr	۲۷	۳۰	۲۷	۲۷	۳۰	۲۷	۱۹	۱۹	۱۳	۹	۱۲	۱۲