

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و سنگزایی توده نفوذی یخاب، شمال طبس، شمال شرق ایران

سمیه دورانی، محمد پوستی*، غلامرضا قدمی، اسماء نظری نیا

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۶)

چکیده: منطقه مورد بررسی در ۲۰۰ کیلومتری شمال طبس و شمال شرق ایران قرار دارد. از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران، این منطقه از پهنه ایران مرکزی بوده و در دورترین بخش شمال شرق قطعه طبس و در پهنه زبر کوه واقع است. مجموعه نفوذی یخاب، با مجموعه‌ای از استوک‌های گرانیتی مشخص می‌شود که در سنگ‌های میزبان میکاشیستی نفوذ کرده‌اند. این پژوهش با ترکیب روش‌های سنگ‌نگاری، زمین‌شیمیایی و تحلیل زمین‌ساختی، سنگ‌زایی و محیط زمین‌ساختی این مجموعه را بررسی کرده است. سنگ‌نگاری، بافت دانه‌ای با کانی‌های اصلی شامل کوارتز، فلدسپات قلیایی، پلاژیوکلاز و بیوتیت را نشان می‌دهد. داده‌های زمین‌شیمیایی بیانگر ماهیت آهکی قلیایی سنگ‌ها، با ترکیبی از متالومین تا پرآلومین و غنی‌شدگی از عناصر سنگ دوست درشت یون (LILE) و عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) است. نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) و کندریت‌ها، اثر جدایش ماگمایی و آلودگی پوسته‌ای را برجسته می‌کنند. نمودارهای تشخیص محیط زمین‌ساختی نشان می‌دهند که گرانیت‌ها در محیط‌های برخورد قاره‌ای تا کمان آتشفشانی تشکیل شده‌اند و از نوع گرانیت‌های جدایش یافته (FG) رده‌بندی می‌شوند. داده‌های زمان‌سنجی، تکامل ماگمایی طولانی‌مدت را با تشکیل گرانیت‌های همزمان با برخورد و کمان آتشفشانی در دوره‌های جداگانه نشان می‌دهد. شواهد سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، خاستگاه پوسته‌ای را برای گرانیتوئیدهای مورد بررسی تأیید می‌کند. این پژوهش، درک جامعی از تکامل ماگمایی و محیط زمین‌پویای مجموعه نفوذی یخاب و سامانه‌های ماگمایی وابسته به آن در پهنه ایران مرکزی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ زمین‌شیمی؛ سنگ‌زایی؛ توده نفوذی یخاب؛ طبس؛ شمال شرق ایران.

مقدمه

درشت‌دانه و کانی‌شناسی مشخصی هستند که اطلاعات ارزشمندی در مورد شرایط تشکیل ماگما، خاستگاه و تکامل آن فراهم می‌کنند. بررسی سنگ‌های نفوذی و به‌ویژه گرانیت‌ها در منطقه طبس، از چند نظر اهمیت دارد؛ (۱) 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. (۲) بررسی دقیق کانی‌شناسی و زمین‌شیمی این سنگ‌ها، می‌تواند در تعیین خاستگاه ماگما، شرایط تشکیل و دگرگونی‌های بعدی آن مؤثر باشد. (۳)

منطقه مورد بررسی 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 ویژه خود، مجموعه‌ای متنوع از سنگ‌های آذرین نفوذی را دربرگرفته 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 سرد شدن آهسته، اغلب دارای بافت‌های

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۷۶۱۸۱۳۷، پست الکترونیکی: m.poosti@hormozgan.ac.ir

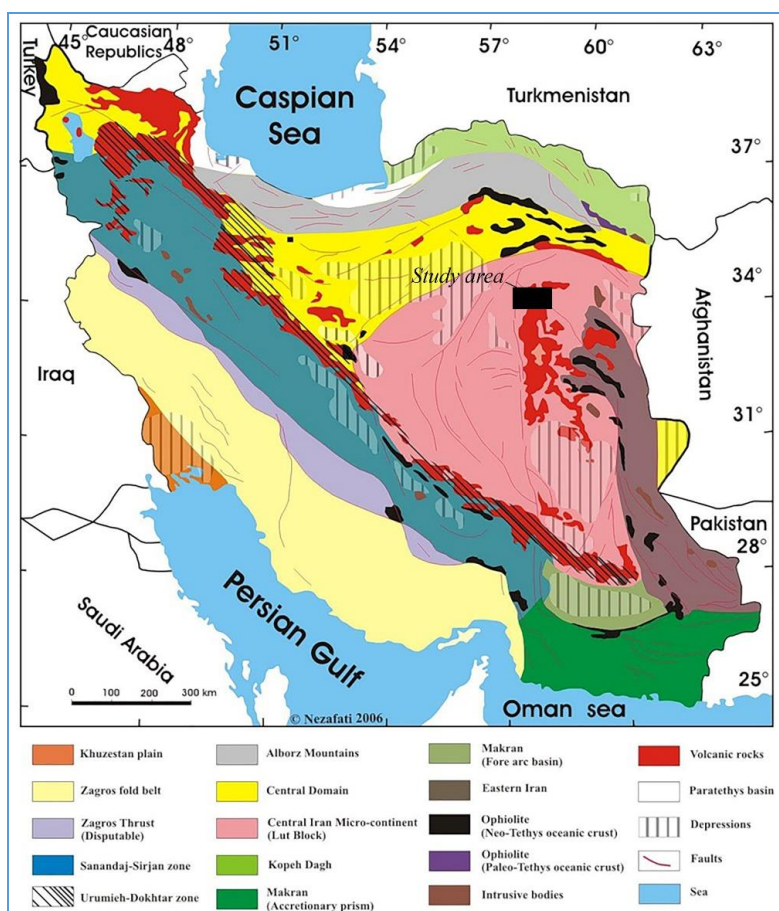


بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی در این منطقه عمل کرده و به شناسایی بهتر تاریخچه زمین‌شناسی منطقه طبس کمک کند.

زمین‌شناسی عمومی

از نظر تقسیم‌های ساختاری زمین‌شناسی ایران، منطقه مورد بررسی (شمال طبس) از ایران مرکزی محسوب می‌شود، البته منطقه در کنار قطعه لوت نیز واقع است [۱-۳] (شکل ۱). بر اساس تقسیم‌بندی علوی [۴] در نقشه زمین‌ساخت خاورمیانه، منطقه مورد بررسی در دورترین بخش شمال شرق قطعه طبس و بین قطعه‌های لوت و یزد و قطعه پشت بادام قرار دارد. در این منطقه دو نسل از گسل‌ها با روندهای شمال شرقی- جنوب غربی و شمالی- جنوب وجود دارد، و براساس مقطع زمین- شناسی ورقه نام برده گسل‌های شمالی - جنوبی نسل از دوم هستند که سامانه شمال شرق به جنوب غرب را قطع می‌کنند [۵].

شناسایی دقیق انواع گرانیت‌ها و ارتباط آن‌ها با سایر واحدهای زمین‌شناسی منطقه به درک بهتر تاریخچه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی این ناحیه کمک می‌کند. منطقه طبس از نظر ساختاری و زمین‌ساختی در موقعیتی حساس واقع است. بررسی سنگ‌های نفوذی این منطقه می‌تواند شواهدی از فعالیت‌های زمین‌ساختی گذشته و اثر آن بر فرآیندهای ماگمایی ارائه دهد. این منطقه که در کرانه قطعه ایران مرکزی واقع است، در معرض رویدادهای زمین‌ساختی گوناگونی از جمله فرورانش و برخورد قاره‌ای قرار گرفته و این امر باعث شده است تا فعالیت ماگمایی متنوعی را در خود جای دهد. از این رو، بررسی سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی توده نفوذی منطقه یخاب می‌تواند به درک بهتری از تاریخچه زمین‌شناسی منطقه و تکامل ماگمایی در ارتباط با آن منجر شود. در این پژوهش با استفاده از روش‌های میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی، به درک عمیق‌تری از سنگ‌زایی، خاستگاه ماگما و تکامل این سنگ‌ها می‌رسیم. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای



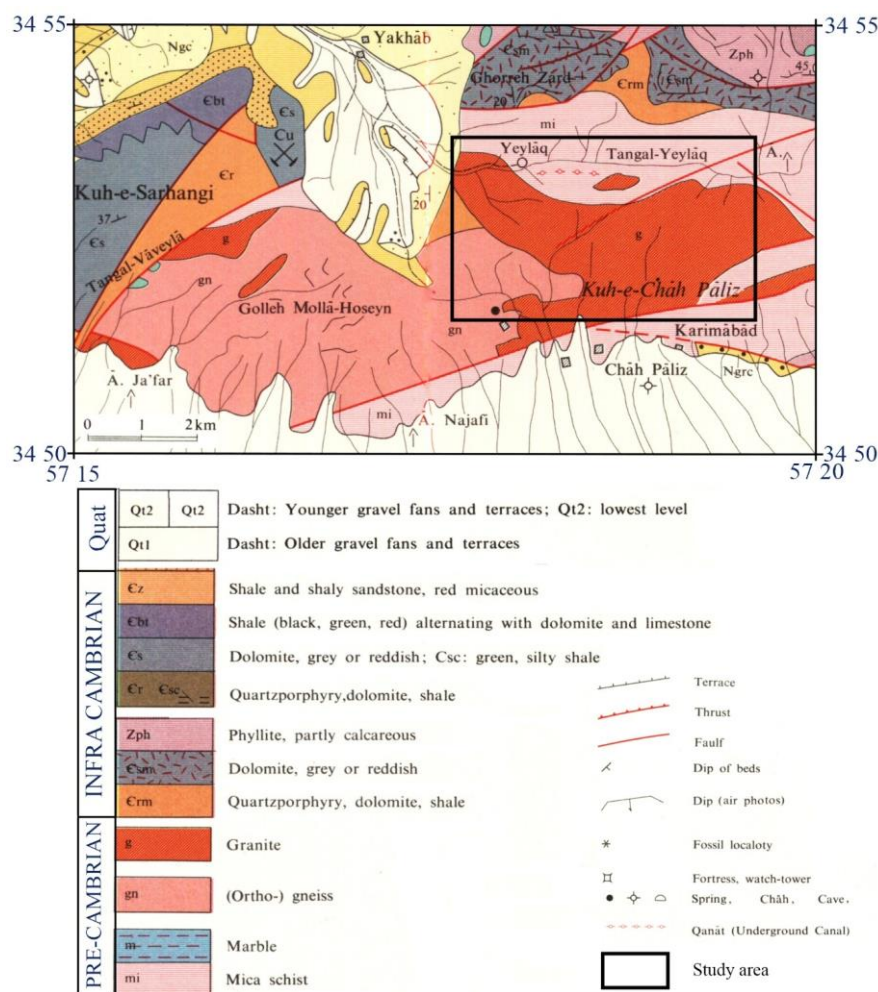
شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی در نقشه پهنه‌های ساختاری ایران [۳].

چشمی سفید رنگ تبدیل می‌شود (شکل ۲). منطقه مورد بررسی در بخش لبه شمال شرق کمر بند کاشمر- کرمان موسوم به نام کوه سرهنگی قرار دارد [۶، ۷] (شکل ۳). برخوردگاه این گرانیت با میکاشیست‌ها در بخش جنوبی به نسبت آشکار است ولی در بخش شمالی حالت تدریجی دارد.

توده نفوذی یخاب به سن نسبی پرکامبرین بیشتر به صورت استوک‌های گرانیتی رخنمون یافته است این توده نفوذی سنگ‌های میزبان میکاشیستی را قطع کرده است. این توده نفوذی در راستای جاده خاکی روستای یخاب- چاه پالیز به تدریج به صورت بین انگشتی به ارتوگنیس‌ها و گنیس‌های



شکل ۲ الف) رخنمونی از توده گرانیتی یخاب با میکاشیست، ب) ریختار سنگ‌های گنیسی در جلو و ریختار سنگ‌های گرانیتی در دور دست.



شکل ۳ نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه زمین شناسی ازبک کوه [۷].

روش‌ها

از توده‌های نفوذی منطقه، پس از مشخص شدن پراکندگی و روابط صحرایی موجود، نمونه‌برداری شد. پس از بررسی‌های دقیق صحرایی و ماکروسکوپی، ۴۸ نمونه مناسب برای تهیه مقاطع میکروسکوپی انتخاب شد. بررسی‌های دقیق سنگ‌نگاری برای تعیین ویژگی‌های سنگ‌ها چون بافت، ساخت و کانی‌های تشکیل‌دهنده با میکروسکوپ قطبشی AS-P5062TR انجام شد. به منظور بررسی‌های زمین‌شیمی تعداد ۱۱ نمونه سالم و بدون دگرسانی انتخاب و برای تجزیه عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) به شرکت آماتیس شرق و برای تجزیه عناصر کمیاب و خاکی نادر باروش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)، به منظور تعیین مقادیر ۵۶ عنصر اصلی و کمیاب برای ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی نمونه‌های منطقه، به شرکت زراآما تهران ارسال شدند (جدول ۱).

سنگ‌نگاری

این توده در نمونه دستی دارای رنگ روشن تا سفید و صورتی و تمام بلورین است و اندازه قطعه‌های آنها بیشتر در حد ریزدانه تا متوسط است. در نمونه دستی کانی‌های فلدسپات، کوارتز و کانی‌های فرومنیزین چون بیوتیت در آنها قابل تشخیص هستند. این توده به علت هوازدگی و در اثر نیروهای زمین ساختی به شدت خرد شده است. در مقاطع میکروسکوپی، بافت غالب این سنگ‌های نفوذی دانه‌ای است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده شامل کوارتز، فلدسپات قلیایی، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های کدر هستند. 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 آنها از ۰/۵ تا ۴ میلی‌متر متغیر است. پلاژیوکلازها ماکل چندریختی نشان می دهند. پلاژیوکلازها به کانی‌های ثانویه سرسیت و کربنات کلسیم تجزیه شده‌اند. میزان تبدیل آنها به سرسیت ۵ تا ۱۰ درصد و به کربنات کلسیم ۵ تا ۱۵ درصد است. فلدسپات‌های قلیایی دارای فراوانی ۵۰ تا ۵۵ درصد از حجم سنگ و اندازه‌ی ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر هستند.

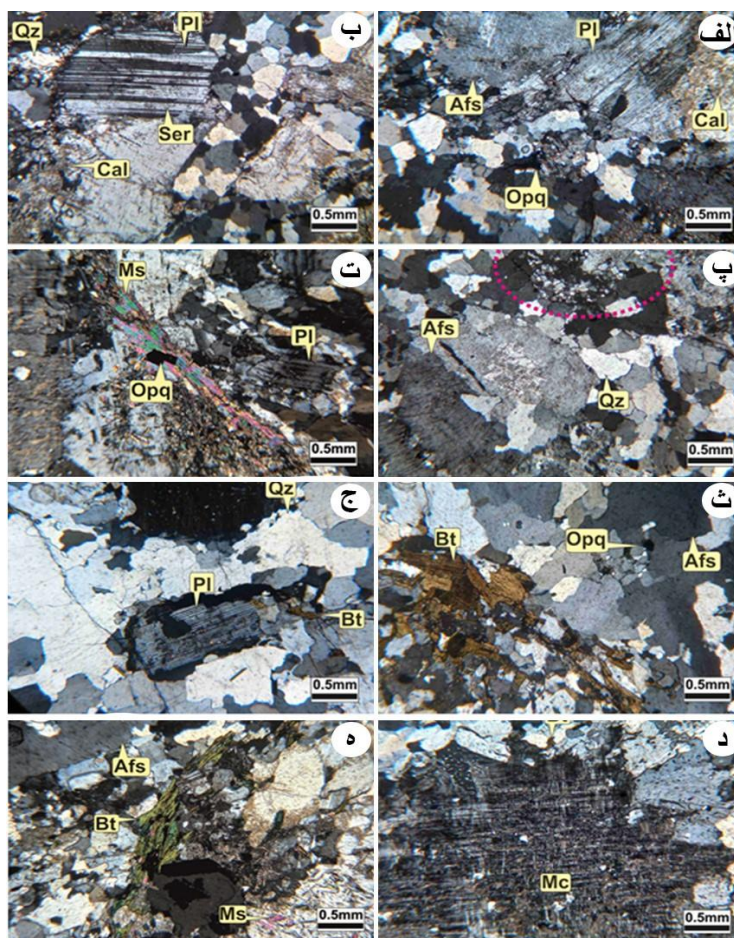
بر پایه شواهد میکروسکوپی، فلدسپات‌های قلیایی از نوع ارتوکلاز و میکروکلین هستند. بیوتیت‌ها با اندازه‌ای در گستره ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر در این نمونه دیده می‌شوند. فراوانی آنها ۳ تا ۵ درصد از حجم سنگ است. در برخی بخش‌ها، بیوتیت‌ها کدر شده‌اند. کانی‌های کدر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند. فراوانی آنها از ۲ تا ۳ درصد متغیر است. این کانی‌ها بیشتر بی شکل هستند. در این نمونه، سیلیس ثانویه به صورت پراکنده و رگچه‌ای دیده گردید. در برخی بخش‌ها، سیلیس‌ها به صورت انبوهه هستند. ضخامت رگچه سیلیسی حدود ۰/۲ میلی متر است. سنگ مورد بررسی دارای دگرسانی کربناتی سیلیسی ضعیف است. این نمونه در گروه سنگ‌های آذرین اسیدی درونی قرار دارد و بیوتیت سینوگرانیت نامگذاری می‌گردد. (شکل ۴). بافت‌های خال‌خال و میرمیکیتی نیز به عنوان بافت فرعی سنگ دیده می‌شوند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ کانی‌های کوارتز، فلدسپار قلیایی، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های کدر هستند. برپایه بررسی‌ها و شواهد میکروسکوپی، فلدسپات‌های قلیایی از نوع ارتوکلاز و میکروکلین هستند. ماکل تارتن میکروکلین‌ها به خوبی قابل مشاهده است. بیوتیت‌ها با اندازه‌ای در گستره ۰/۵ تا ۲/۵ میلی متر در این نمونه دیده می‌شوند. فراوانی آنها ۵ تا ۸ درصد از حجم سنگ است کانی‌های کدر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌گردند. فراوانی آنها از ۲ تا ۳ درصد متغیر است. این کانی‌ها بیشتر مدور و بی شکل هستند.

زمین‌شیمی

بر اساس داده‌های تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی (جدول ۱)، مقدار SiO_2 این سنگ‌ها بین ۶۹/۵۲ تا ۸۰/۷۰ درصد تغییر می‌کند، به طوری که با افزایش سیلیس، غلظت برخی اکسیدها چون K_2O ، Al_2O_3 و Na_2O افزایش یافته، در حالی که غلظت اکسیدهای دیگر چون CaO ، MgO ، P_2O_5 ، TiO_2 و FeO کاهش یافته است. این الگوها نشان‌دهنده اثر فرآیند جدایش ماگمایی در تشکیل این سنگ‌هاست. همچنین با توجه به این تغییرها، می‌توان گفت که ماگما طی زمان با از دست دادن کانی‌های مافیک و غنی‌شدن از کانی‌های فلسیک دچار جدایش شده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های منطقه مورد بررسی به روش ICP-MS و XRF

نمونه	Gr _{a1}	Gr _{aT}	Gr _{aT}	Gr _{b1}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}	Gr _{bT}
SiO ₂	۸۰.۷	۶۹.۸۹	۶۹.۵۲	۷۵.۲۵	۷۵.۳۶	۷۶.۲۲	۷۰.۶۹	۷۷.۴۵	۷۷.۳۱	۷۶.۵۲	۷۶.۶	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	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۰۷	۰.۱۰۵	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۶
CaO	۱.۵۶	۱.۹۲	۲.۰۲	۰.۹۳	۰.۸۷	۰.۸۱	۰.۷۷	۱.۰۵	۲.۴۱	۱.۴۹	۱.۰۱	۰.۶۶
Cr ₂ O ₃	۰.۰۰۲	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲
CuO	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۱	۰.۰۹	۰.۰۲	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۰۶
Fe ₂ O ₃	۲.۳۵	۲.۶۹	۲.۹	۱.۵۲	۱.۶۹	۱.۲۳	۱.۶۴	۰.۵۷	۰.۷۵	۰.۵۶	۱.۳	۱.۰۳
FeO	۲.۱۱	۲.۴۲	۲.۶۱	۱.۳۷	۱.۵۲	۱.۱۱	۱.۴۸	۰.۵۱	۰.۶۷	۰.۵۰	۱.۱۷	۰.۹۳
K ₂ O	۳.۵۱	۱۸.۳	۳.۱۷	۳.۹۵	۳.۱۳	۳.۲۱	۳.۷۴	۲.۵۶	۲.۱	۲.۶۹	۲.۷۸	۳.۲۴
MgO	۰.۳۴	۰.۴۲	۰.۶۲	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۶
MnO	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰۷	۰.۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱	۰.۰۱۲
Na ₂ O	۳.۰۸	۳.۲۹	۳.۱	۳.۶۵	۳.۷۷	۳.۳۴	۳.۵۷	۴.۰۰۴	۴.۱۱	۴.۰۷	۳.۶۴	۳.۰۰۴
P ₂ O ₅	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲
TiO ₂	۰.۲۳	۰.۲۳	۰.۳	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۰۶
V ₂ O ₅	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۴	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۳	۰.۰۰۵	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱
مواد فرار	۰.۰۲	۵.۶۳	۴.۸۸	۱.۲۸	۲.۷۵	۳.۵۰	۵.۸۰	۲.۵۰	۲.۱۹	۲.۱۱	۲.۸۲	۳.۸۳
مجموع	۱۰۳.۴	۹۶.۲۰	۹۸.۶۰	۹۹.۵۰	۱۰۰.۰۲	۹۹.۸۶	۹۸.۳۳	۹۹.۲۹	۹۹.۹۲	۹۹.۷۴	۹۹.۸۱	۹۹.۲۴
REE												
Ag	۰.۰۷	۰.۵	۰.۴	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۲	۰.۰۷	۰.۴	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷
Al	۶۰۹۳۵	۶۳۶۱۲	۶۲۸۴۴	۶۶۴۷۹	۶۴۴۲۱	۵۹۳۵۶	۶۲۸۴۵	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	۰.۸	۱.۱	۱.۷	۱.۷
Bi	۰.۰۷	۰.۸	۰.۲	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۲	۰.۰۷	۰.۰۷
Ca	۱۱۲۲۸	۱۳۸۳۷	۱۴۵۷۵	۶۷۲۶	۶۳۲۴	۵۸۷۷	۵۵۹۲	۷۵۸۶	۱۷۳۵۰	۱۰۷۹۰	۷۳۰۲	۴۷۶۰
Cd	۰.۵	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۲
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	۱۵	۲۱	۲۰
Cs	۱۲.۳	۶.۴	۴.۲	۶.۸	۶.۳	۴.۷	۴.۲	۰.۷	۰.۷	۰.۷	۲.۴	۲.۵
Cu	۱	۱	۰.۷۵	۰.۷۵	۱	۰.۷۵	۱۶	۰.۷۵	۰.۷۵	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	۳	۴.۹
Eu	۰.۵۹	۰.۵۳	۰.۸	۰.۷	۰.۶	۰.۳۱	۰.۷۳	۰.۰۷۵	۰.۰۷۵	۰.۰۷۵	۰.۶۴	۰.۲
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	۱.۰۲	۰.۸۴	۳.۷۵	۳.۸۳	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	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷
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	۰.۴	۰.۵	۰.۴	۰.۴	۰.۶	۰.۵	۰.۵	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۵
Mg	۲۰.۸۶	۲۵.۷۸	۲۸.۱۴	۵۶.۶	۵۵.۳	۴۹.۹	۴۹.۹	۶۰.۶	۴۱.۳	۵۰.۳	۳۸.۳	۳۶.۸
Mn	۳۰	۳۱.۰	۱۹۴	۱۴۹	۱۹۴	۱۴۸	۱۳۷	۶۱	۸۹	۷۳	۱۰.۸	۹۴
Mo	۰.۳۷	۰.۹	۱.۲	۰.۷	۰.۶	۰.۳۷	۰.۶	۱.۳	۰.۳۷	۰.۶	۰.۷	۱.۴
Na	۲۳۰.۱۶	۲۴۵۶۹	۲۳۱۷۲	۲۷۲۴۶	۲۸۱۵۸	۲۴۹۷۸	۲۶۶۸۵	۲۹۸۸۵	۳۰۷۳۲	۳۰۴۲۴	۲۷۱۸۶	۲۲۴۲۳
Nb	۱۲.۹	۱۲.۱	۹.۹	۱۶.۲	۱۵.۹	۱۴.۳	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	۰.۳۷	۰.۳۷	۱۸.۷	۱۷.۸	۱۳.۷
Ni	۵	۱۵	۳۵	۵	۶	۹	۷	۱۹	۸	۱۰	۷	۱۱
P	۲۶۹	۲۹۰	۳۵۵	۱۲۷	۱۴۳	۱۲۸	۱۲۹	۱۱۷	۱۰۶	۱۱۹	۱۰.۹	۱۰.۳
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	۷.۰۸	۰.۲۳	۰.۰۳	۵.۶۹	۵.۵۶	۴.۲۷
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	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۶	۰.۹	۰.۳۷	۰.۳۷
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	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷
Sm	۳.۱	۳.۶	۳.۹	۳.۱	۷.۴	۴.۹	۵.۵	۰.۲	۰.۰۷۵	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	۷۶.۷۴	۵۰	۲۸.۷
Ta	۰.۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۷	۱.۸	۱.۳	۱.۳	۰.۳	۰.۰۷	۰.۲	۰.۰۷	۰.۵
Tb	۰.۷	۰.۹	۰.۹	۰.۷	۱.۵	۱.۱	۱	۰.۲	۰.۳	۰.۶	۰.۷	۱
Te	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷	۰.۳۷
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	۱۳۹۷	۱۸۵۹	۱۴۲۶	۰.۷۹	۵۷۴	۵۸۹	۴۱۴	۲۶۸	۳۵۵	۴۰۰	۳۹۷
Tl	۰.۶	۰.۷	۰.۶	۰.۶	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۵	۰.۳	۰.۳	۰.۴	۰.۵
Tm	۰.۴	۰.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۶	۰.۳	۰.۲	۰.۴	۰.۶
U	۱.۶	۲.۲	۲.۶	۱.۶	۲.۲	۲.۶	۱.۶	۱.۷	۰.۹	۱	۱	۲.۲
V	۱۲	۱۴	۲۴	۱۲	۱۴	۲۴	۳	۳	۲	۳	۱	۱
W	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵
Y	۲۱.۶	۲۳.۷	۲۴.۷۲	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	۱.۰۵	۱.۰۹	۱.۷	۲.۴۸	۱.۲۹	۰.۵۸	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



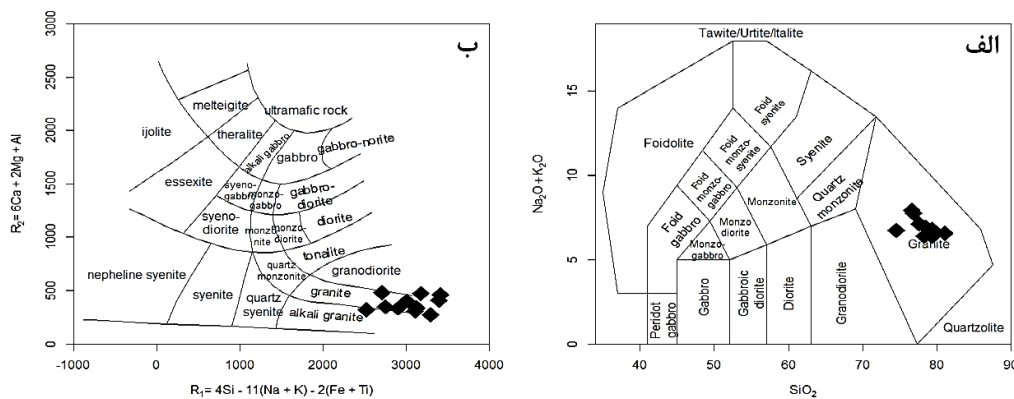
شکل ۴ الف) سنگ گرانیت با بافت دانه‌ای که پلاژیوکلاز (Pl) و فلدسپار قلیایی (Afs) آشکارا و بلورهای کلسیت (Cal) در لبه و بین بلورهای فلدسپات‌ها دیده می‌شوند. کانی‌های کدر نیز به صورت پراکنده وجود دارند (40X)، ب) سنگ گرانیت با بلورهای بزرگ پلاژیوکلاز (Pl) به همراه دگرسانی سریسیتی (Ser) و کانی کلسیت (Cal) در لبه و پیرامون بلور پلاژیوکلاز دگرسان شده و بلورهای ریز کوارتز (Qz) در کنار بلور فلدسپات که بافت هم‌رشدی را نشان می‌دهند (40X). پ) بلورهای کانی موسکویت (Ms) به صورت یک نوار بلند درون بلور پلاژیوکلاز (Pl) که نشان دهنده دگرسانی پس از تبلور است. کانی‌های کدر پیرامون بلور پلاژیوکلاز (40X)؛ ت) کانی‌های فلدسپار قلیایی (Afs) و کوارتز (Qz) در سنگ گرانیت و دگرسانی بلور فلدسپات که با دایره‌های صورتی مشخص شده است (40X)؛ ث) کانی پلاژیوکلاز (Pl) به صورت دگرسان شده با هاله سیاه در بین بلورهای کوارتز (Qz) و بلورهای بیوتیت (Bt) به صورت صفحه‌های نازک (40X)؛ ج) کانی بیوتیت (Bt) دگرسان شده، کانی‌های کدر و بلورهای فلدسپار قلیایی (Afs) در کنار هم (40X)، چ) موسکویت (Ms) و بیوتیت (Bt) که باهم و هم‌زمان رشد کرده‌اند و بلورهای فلدسپار قلیایی (Afs) پیرامون کانی‌های میکا (40X)؛ ح) ماکل دوقلوبی شطرنجی میکروکلین (Mc)، (Qz): کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Cal: کربنات کلسیم، Bi: بیوتیت، Ms: موسکویت، Opq: کانی کدر [۸].

عناصر قلیایی غنی‌تر از کلسیم هستند. بر پایه نمودار $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$ نسبت به SiO_2 [۱۰] (شکل ۶ ب) این سنگ‌ها از سری فروئن هستند که نشان‌دهنده نسبت بالای آهن به منیزیم در این سنگ‌هاست. نمودار $\text{Al}/(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FSSI})$ نسبت به $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [۱۰] (شکل ۶ پ) نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی از نظر سیلیس اشباع هستند و ماهیت متالومین تا پراآلومین دارند که با نتایج به دست آمده از نمودار ASI همخوانی دارد. بر پایه نمودار

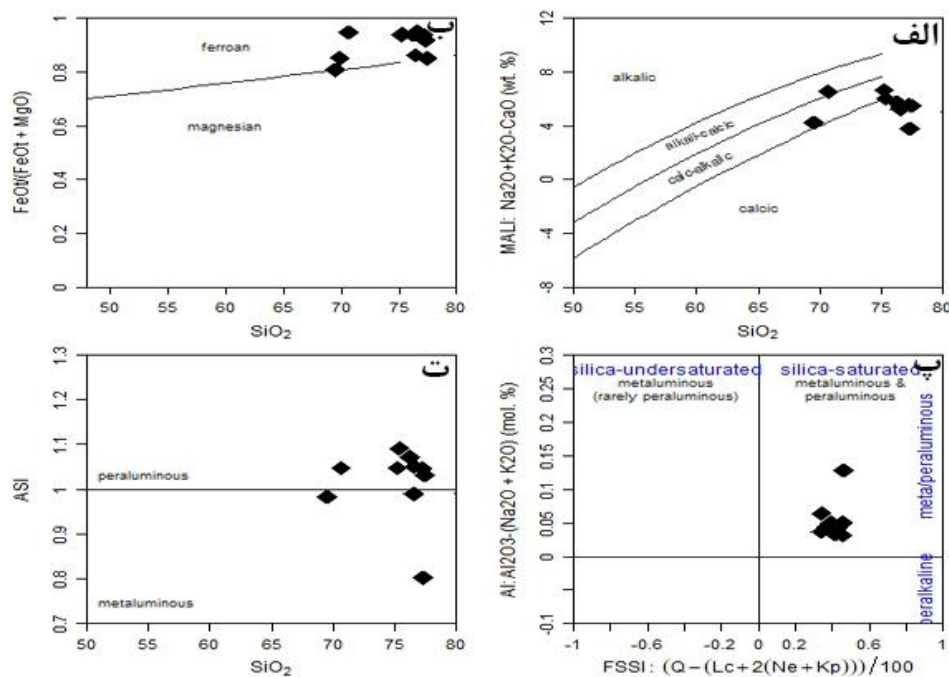
ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی مورد بررسی بر اساس نمودارهای SiO_2 نسبت به $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ [۸] و R_1 نسبت به R_2 [۹]، در گستره سنگ‌های گرانیتی قرار می‌گیرد (شکل ۵). همچنین از مجموعه نمودارهای تشخیص وضعیت زمین شیمیایی سنگ‌های آذرین که توسط فراست‌ها [۱۰] پیشنهاد شده است استفاده گردید (شکل ۶). در نمودار MALI نسبت به SiO_2 (شکل ۶ الف) سنگ‌های مورد بررسی در گستره آهکی قلیایی تا قلیایی قرار دارند، به این معنی که از نظر

سنگ‌های گرانیتی مورد بررسی فروئن، آهکی قلیایی تا قلیایی، پرآلومین و اشباع شده از سیلیس هستند که با گرانیت‌های برآمده از خاستگاه پوسته‌ای همخوانی دارند.

نسبت به SiO_2 [۱۰] (شکل ۶ ت)، همه نمونه‌ها پرآلومین هستند، که بیانگر اشباع از آلومینیوم است و تقریباً با گرانیت‌های نوع S همخوانی دارد، این داده‌ها نشان می‌دهند که



شکل ۵ الف) نمودار SiO_2 نسبت به $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ برای رده‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی و ب) نمودار R_1 نسبت به R_2 برای رده‌بندی سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه مورد بررسی که برپایه آن، نمونه‌ها در گستره گرانیت قرار می‌گیرند.



شکل ۶ الف) نمودار MALI ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$) نسبت به SiO_2 : که بر اساس شاخص قلیایی-آهک تعدیل شده (MALI) و مقدار سیلیس، سنگ‌ها را به دسته‌های آهکی، آهکی قلیایی، قلیایی-آهک و قلیایی تقسیم می‌کند. همه نمونه‌ها در قلیایی-آهک تا قلیایی قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده غنی بودن این سنگ‌ها از عناصر قلیایی نسبت به کلسیم است، ب) نمودار $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ نسبت به SiO_2 که بر اساس مقدار 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 همه نمونه‌ها در گستره فروئن قرار دارند، پ) نمودار $\text{Al}:(\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}))$ نسبت به FSSI (شاخص اشباع سیلیس فلسی) بر اساس FSSI و مقدار آلومینا منهای مجموع سدیم و پتاسیم، سنگ‌ها را از نظر اشباع‌شدگی سیلیس و ماهیت پرفوق‌قلیایی یا متالومین پرآلومین رده‌بندی می‌کند. داده‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌ها در گستره "اشباع از سیلیس، متالومین و پرآلومین" قرار دارند. ت) نمودار ASI (شاخص اشباع آلومینیوم) نسبت به SiO_2 که بر اساس ASI ، سنگ‌ها را به دو دسته متالومین ($\text{ASI} < 1$) و پرآلومین ($\text{ASI} > 1$) تقسیم می‌کند. همه نمونه‌ها در گستره پرآلومین قرار می‌گیرند، که نشان‌دهنده اشباع بیش از حد آلومینیوم نسبت به عناصر قلیایی و کلسیم است. این ویژگی اغلب در گرانیت‌های نوع S دیده می‌شود [۱۰].

بررسی سری های ماگمایی در شناسایی محیط های زمین-ساختی و زمین‌پویایی اهمیت ویژه ای دارد. به منظور بررسی ماهیت ماگمایی و سری تکاملی سنگ های آذرین منطقه، از دو نمودار AFM [۱۱] و Co-Th [۱۲] استفاده شد. نمودار AFM (شکل ۷ الف) نشان داد که نمونه های مورد بررسی در گستره سری آهکی قلیایی قرار دارند، که بیانگر روند مشخصی از غنی شدگی قلیایی و کلسیمی در این سنگ هاست. بر اساس نمودار Co-Th (شکل ۷ ب)، نمونه های مورد بررسی در گستره سری آهکی قلیایی غنی از پتاسیم و شوشونیتی قرار دارند، که این امر نشان دهنده غنی شدگی این سنگ ها از پتاسیم و توربوم است. به طور کلی، این داده ها نشان می دهند که سنگ های آذرین مورد بررسی دارای ماهیت آهکی قلیایی غنی از پتاسیم یا شوشونیتی هستند، که اغلب با محیط های زمین‌ساختی کمان آتشفشانی در ارتباط است.

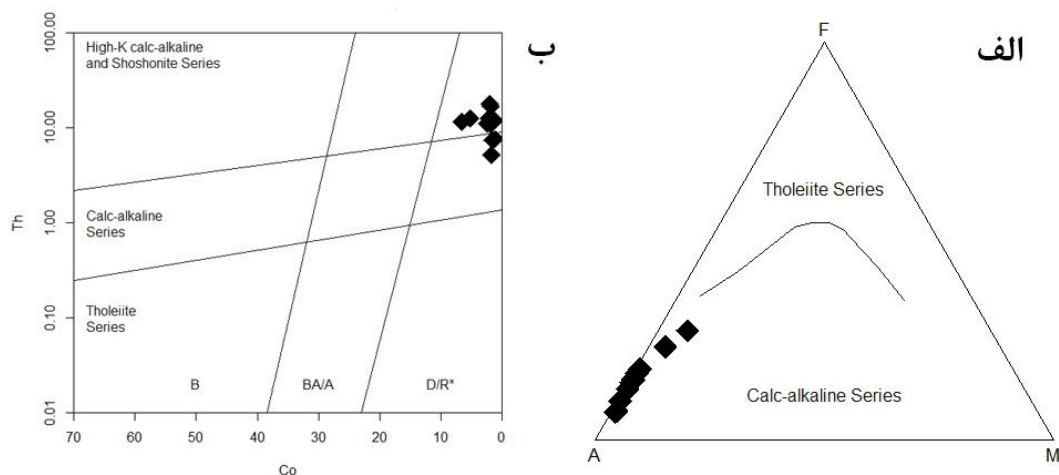
نمودارهای عنکبوتی برای بررسی و مقایسه غلظت عناصر کمیاب در نمونه های سنگی استفاده می شوند. در این نمودارها، غلظت عناصر نسبت به مقادیر استاندارد در سه منبع گوشته اولیه، بازالت های پشته میانی اقیانوس (MORB) و کندریت ها بهنجار شده است. این بهنجارسازی مقایسه الگوهای غنی شدگی و تهی شدگی عناصر در نمونه ها نسبت به منابع استاندارد را ممکن می سازد.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۳] (شکل ۸ الف)، غنی شدگی مشخصی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) چون Ba, Rb, Th و U و تهی شدگی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) چون Nb, Ta, Ti و Zr دیده می شود. الگوهای عناصر خاکی نادر (REE) به طور کلی هموار با کمی غنی شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) است. این نمودار نشان می دهد که نمونه های مورد بررسی در مقایسه با گوشته اولیه دارای غنی شدگی از LILE و LREE و تهی شدگی از HFSE هستند.

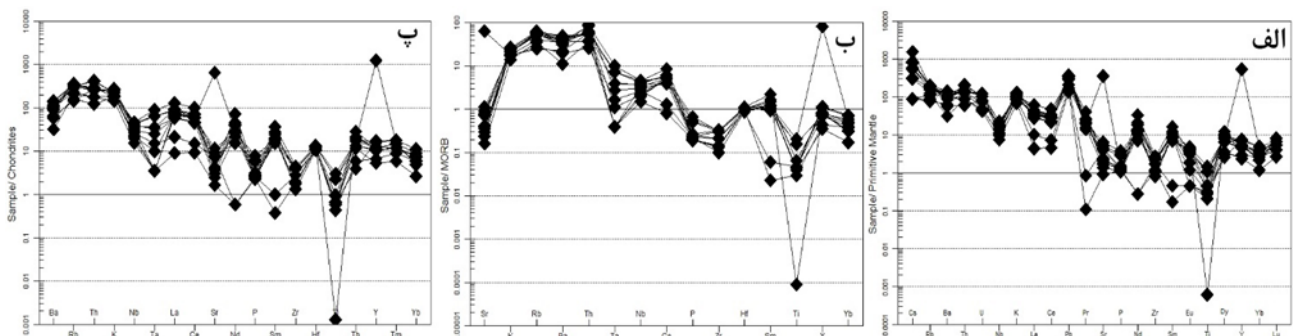
ناهنجاری مثبت پتاسیم (K) نشان می دهد که غنی شدگی این عنصر ناشی از وجود فازهای پتاسیم دار در خاستگاه ماگما است و جدایش بلورین به تنهایی نمی تواند این غنی شدگی را توجیه کند [۱۴، ۱۵]. غنی شدگی اورانیوم (U)، کاهش نئوبیم (Nb) و افزایش سرب (Pb) در این نمونه ها، از ویژگی های شاخص سنگ های قاره ای و بیانگر محیط فرورانش پوسته قاره ای بوده و به احتمال بسیار نشان دهنده آلیش ماگما توسط سنگ های پوسته قاره ای، به ویژه بخش زیرین آن، است [۱۶، ۱۷]. این در حالی است که تیتانیوم (Ti) و نئوبیم (Nb)

به صورت فروریخته دیده می شوند که از مشخصه های ماگماهای کرانه قاره ای است. ناهنجاری منفی تیتانیوم می تواند ناشی از جدایش اکسیدهای آهن-تیتانیوم دار و پیروکسن باشد [۱۸]. ناهنجاری منفی در فراوانی نئوبیم نیز نشان دهنده دخالت مولفه های فرورانشی در سنگزایی این سنگ هاست [۱۹]. باریم (Ba) دارای ناهنجاری منفی بوده که نشانگر درگیری پلاژیوکلاز در فرآیند جدایش بلورین است [۲۰]. عناصری چون توربوم (Th)، سرب (Pb) و نئودیمیم (Nd) غنی شدگی شدیدی نشان می دهند. این عناصر در کنار عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) و عناصر سنگ دوست با شعاع یونی بزرگ (LILE) چون سزیوم (Cs) و روبیدیم (Rb) که تحرک بالایی در سیال ها دارند [۲۱، ۲۲]. ویژگی های متمایزی را در الگوهای عناصر کمیاب به نمایش می گذارند. شاخص های زمین شیمیایی بیان شده همراه با تهی شدگی زیرکن، فسفر و تیتانیم از ویژگی های ماگماهای مناطق فرورانش با آلیش پوسته قاره ای است [۲۳]. ناهنجاری مثبت سزیوم (Cs) و سرب (Pb) نیز به احتمال بسیار به دلیل آلیش ماگما با مواد پوسته قاره ای است که دارای تمرکز بالاتری از این عناصر هستند [۲۴]. در مجموع، این الگوهای زمین شیمیایی نشان دهنده فرآیندهای ماگمایی در یک محیط فرورانش با مشارکت پوسته قاره ای در خاستگاه ماگماست.

همچنین تحلیل زمین شیمیایی نمونه های سنگ آذرین نشان می دهد که باریم (Ba) دارای ناهنجاری منفی بوده، که نشان دهنده درگیری پلاژیوکلاز در فرآیند جدایش بلورین است [۲۵]. در این الگو، عناصری چون توربوم (Th)، سرب (Pb) و نئودیمیم (Nd) غنی شدگی شدیدی نشان می دهند، در حالی که عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) چون نئوبیم و تانتال، رفتاری متفاوت دارند. سزیوم (Cs) و روبیدیم (Rb)، از عناصر سنگ دوست با شعاع یونی بزرگ (LILE) هستند که به دلیل تحرک بالا توسط سیال های ماگمایی، رفتار متفاوتی نشان می دهند [۲۱، ۲۲]. این شاخص های زمین شیمیایی همراه با تهی شدگی در زیرکن، فسفر و تیتانیم، از ویژگی های ماگماهای مناطق فرورانش با آلیش پوسته قاره ای است [۱۶، ۲۴]. ناهنجاری مثبت سزیوم (Cs) و سرب (Pb) نیز می تواند ناشی از آلیش این ماگما با مواد پوسته قاره ای باشد، زیرا این عناصر در پوسته قاره ای متمرکز شده اند. در مجموع، این الگوهای زمین شیمیایی نشان دهنده ماگمایی در جایگاه فرورانش با مشارکت پوسته قاره ای در خاستگاه ماگما هستند.



شکل ۷ الف) نمودار AFM [۱۱] که با یک خط منحنی به دو ناحیه تقسیم می‌شود (۱) سری تولییتی که اغلب با روند غنی‌شدگی آهن مشخص می‌شود (۲) سری آهکی قلیایی که اغلب دارای روند غنی‌شدگی قلیایی و کلسیمی است. نمونه‌های مورد بررسی در بخش پایین این نمودار قرار گرفته‌اند و در گستره سری آهکی قلیایی قرار دارند. ب) نمودار Co-Th [۱۲] با خطوطی به چند ناحیه تقسیم‌شده که نشان‌دهنده سری‌های ماگمایی مختلف است: سری تولییتی با مقادیر کم Th و Co، سری آهکی قلیایی با مقادیر متوسط Th و Co، سری آهکی قلیایی غنی از پتاسیم و شوشونیتی با مقادیر بالای Th نمونه‌های مورد بررسی در بخش بالای نمودار و در گستره "سری آهکی قلیایی غنی از پتاسیم و شوشونیتی" قرار گرفته‌اند.



شکل ۸ الف) نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه بهنجار شده نسبت به الف) ترکیب گوشته اولیه، ب) MORB و پ) کندریت.

است که نشان‌دهنده ماگمای آهکی قلیایی است که با کمان-های آتشفشانی ارتباط دارد. ناهنجاری منفی Nb نشان‌دهنده ماگمای کرانه فعال قاره است و در اثر آلودگی پوسته و سیال-هایی که آزاد می‌شوند از سنگ‌کره به وجود آمده است. بی‌هنجاری منفی Ti با کانی‌های تیتان‌دار چون اسفن و بعضی آمفیبول‌ها کنترل می‌شود [۲۸]. از سوی دیگر، عناصر سنگ‌دوست 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 بیان دیگر، عناصر کمیاب دارای نقاط بیشینه و کمینه‌ای هستند که اختلاف بین آنها زیاد است و نشانگر محیط‌های وابسته به

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

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها، [۲۷] (شکل ۸ پ)، غنی‌شدگی شدید از LILE چون Ba و Rb و همچنین تهی‌شدگی مشخص از عناصر Nb، Ta و Ti دیده می‌شود. Nb و Ti دارای روند نزولی و ناهنجاری منفی هستند و ناهنجاری K افزایش یافته و دارای ناهنجاری مثبت

فرورانش هستند، زیرا رسوب‌ها و مایع‌ها 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 آلایش ماگمای گوشته‌ای با سنگ‌های پوسته‌ای باشد [۳۰]. بی‌هنجاری منفی Ta، Nb و Ti می‌تواند به دلیل فعالیت ماگمایی وابسته به فرایندهای فرورانش [۳۱]. کمبود این عناصر در خاستگاه [۳۲]. شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی [۳۳]. [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 زمین‌شیمیایی در مورد سنگ‌های مورد بررسی، چنین به نظر می‌رسد که بی‌هنجاری مثبت عناصر روبیدیم، توریم و پتاسیم، بیشتر ناشی از آلایش پوسته‌ای و بی‌هنجاری منفی Ta، Nb و Ti بیشتر نتیجه دگرنهادی ناشی از سیال‌های آزاد شده از سنگ کره فرورونده است.

خاستگاه ماگمایی

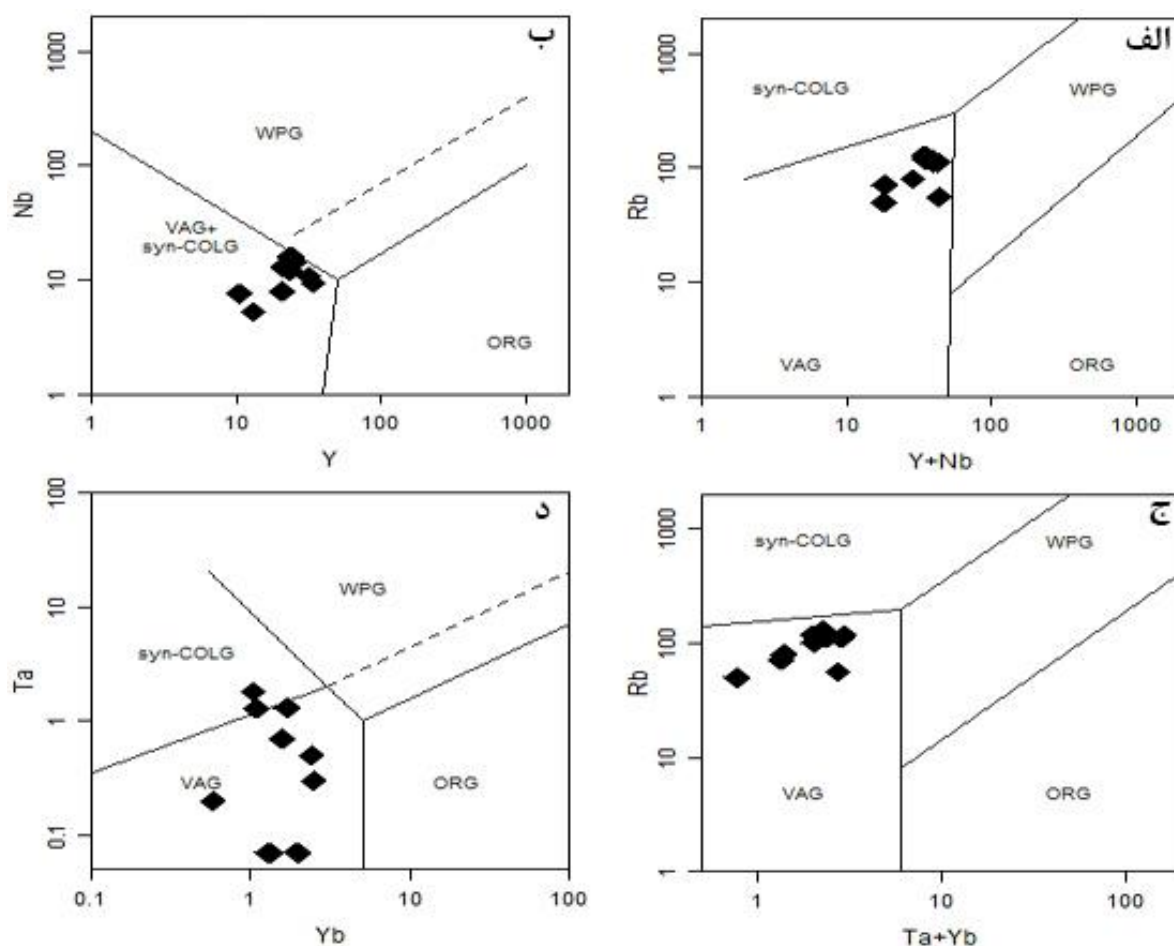
به منظور تعیین محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌های گرانیتی مورد بررسی، از مجموعه‌ای از نمودارهای تشخیص محیط زمین‌ساختی براساس غلظت عناصر کمیاب چون روبیدیم (Rb)، ایتیریم (Y)، نیوبیم (Nb)، تانتال (Ta) و ایتیریم (Yb) [۳۵] استفاده شد. نمودار Rb نسبت به Y+Nb (شکل ۹ الف) نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های مورد بررسی در گستره گرانیت‌های همزمان با برخورد قاره‌ای (syn-COLG) قرار دارند. این گستره مشخصه گرانیت‌هایی است که در محیط‌های در ارتباط با کوه‌زایی و برخورد قاره‌ها تشکیل می‌شوند. نمونه‌های نزدیکی مرز گستره syn-COLG با گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)، ممکن است که نشان‌دهنده ترکیبی از هر دو محیط زمین‌ساختی باشند. این نمودار آشکارا نشان می‌دهد که نقش محیط‌های پشته اقیانوسی (ORG) و درون صفحه‌ای (WPG) در تشکیل این گرانیت‌ها کم‌رنگ است. در نمودار Nb نسبت به Y (شکل ۹ ب)، نمونه‌ها بیشتر در نزدیکی مرز بین گستره‌های VAG و syn-COLG قرار دارند. این امر نشان می‌دهد که این گرانیت‌ها به احتمال بسیار معرض هم محیط‌های فرورانش در ارتباط با کمان‌های آتشفشانی و هم محیط‌های برخورد قاره‌ای بوده‌اند. این نمودار

همچنین تأیید می‌کند که سنگ‌های مورد بررسی خاستگاه متفاوتی از محیط‌های ORG و WPG دارند. همچنین، حضور تعدادی از نمونه‌ها در نزدیکی گستره VAG+syn-COLG نشان‌دهنده وجود برخی از سنگ‌ها با ویژگی‌های حدواسط بین دو محیط است. نمودار Rb نسبت به Ta+Yb (شکل ۹ پ) تأیید می‌کند که بیشتر نمونه‌ها در گستره syn-COLG جای می‌گیرند، که با یافته‌های نمودار Rb نسبت به Y+Nb همخوانی دارد. بر پایه این نمودار، غلظت روبیدیم در این سنگ‌ها بالاست و این ویژگی اغلب در گرانیت‌هایی دیده می‌شود که در اثر فرآیندهای برخوردی تشکیل شده‌اند و در نتیجه ذوب بخشی و تغییر ترکیب پوسته‌ای ایجاد می‌شوند. در نمودار Ta نسبت به Yb (شکل ۹ ت)، نمونه‌ها بیشتر در گستره VAG و تعدادی نیز در نزدیکی مرز با syn-COLG قرار دارند. حضور نمونه‌ها در گستره VAG نشان می‌دهد که بخشی از این سنگ‌ها ممکن است در محیط‌های فرورانش و در ارتباط با کمان‌های آتشفشانی تشکیل شده باشند. تعادل بین نمونه‌ها در این دو گستره نشان‌دهنده اثرگذاری همزمان فرآیندهای آتشفشانی و برخوردی در تشکیل این گرانیت‌هاست. تحلیل نتایج‌های به دست آمده از این نمودارها نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی مورد بررسی بیشتر در محیط‌های زمین‌ساختی در ارتباط با برخوردهای قاره‌ای (syn-COLG) یا کمان‌های آتشفشانی (VAG) تشکیل شده‌اند. نبود نمونه‌ها در گستره‌های ORG و WPG نشان می‌دهد که این محیط‌ها در تشکیل سنگ‌ها نقش قابل توجهی نداشته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده گویای یک تاریخچه پیچیده زمین‌ساختی شامل فرآیندهای همگرا و فرورانش بوده که منجر به تشکیل گرانیت‌ها در شرایط مختلف شده است. ترکیب این نمودارها با هم، یک تصویر جامع‌تر از محیط زمین‌ساختی تشکیل این سنگ‌ها به دست می‌دهد و نقش فرآیندهای برخورد و فرورانش در این منطقه را نشان می‌دهد.

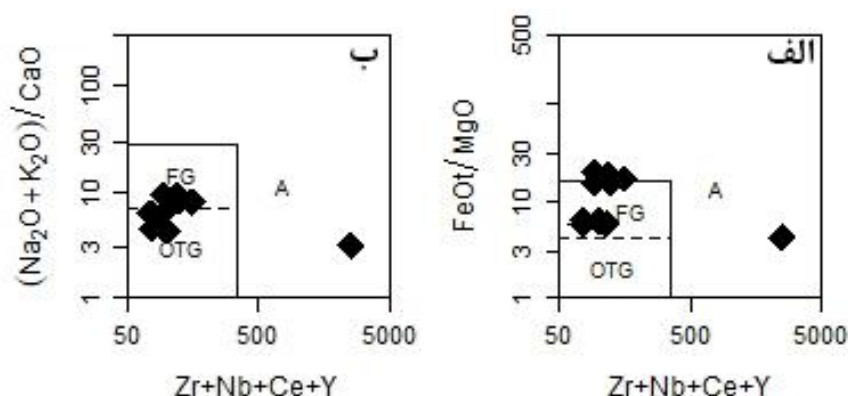
به منظور تفکیک گرانیتوئیدهای نوع A از سایر انواع گرانیتوئیدها، از نمودارهای پیشنهادی ولن و همکاران [۳۶] استفاده شد. برپایه نمودار FeO/MgO نسبت به مجموع Zr+Nb+Ce+Y (شکل ۱۰ الف)، بیشتر نمونه‌ها در گستره گرانیتوئیدهای جدایش یافته (FG) قرار می‌گیرند و یک نمونه نیز در نزدیکی مرز گستره A واقع است. نمودار

شد. نتایج نشان داد که بیشتر نمونه‌ها در گستره سنگ‌های همزمان با برخورد کوهزایی قرار می‌گیرند. این امر بیانگر آن است که این سنگ‌ها طی فرآیندهای کوهزایی و یا برخوردهای قاره‌ای تشکیل شده‌اند. مقادیر بالای عامل R1 و مقادیر پایین عامل R2 در این نمونه‌ها نیز نشان‌دهنده تمایز ماگمایی بالا و غنی‌بودن آنها از سیلیس است. نبود نمونه‌ها در گستره‌های دیگر نمودار نیز نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در محیط‌های درون دیگر چون محیط‌های پشته اقیانوسی و یا محیط‌های درون صفحه‌ای تشکیل نشده‌اند (شکل ۱۱).

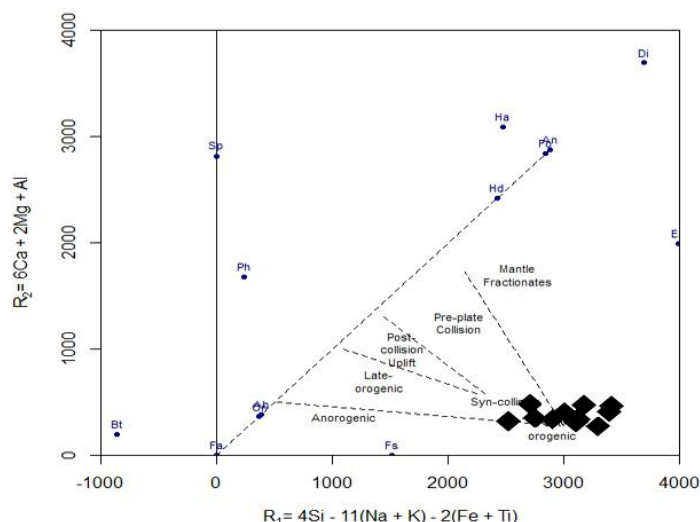
$(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ نسبت به مجموع $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ (شکل ۱۰ ب) نیز نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در گستره FG قرار دارند. نتایج هر دو نمودار نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای مورد بررسی بیشتر در دسته FG قرار گرفته و از ماگماهای جدایش یافته به وجود آمده‌اند. برپایه این نمودارها، گرانیتوئیدهای مورد بررسی بیشتر دارای ویژگی‌های گرانیتوئیدهای جدایش یافته (FG) هستند و از نظر زمین‌شیمیایی در گستره گرانیت‌های نوع A قرار نمی‌گیرند. همچنین برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی، از نمودار R1-R2 [۳۷] استفاده



شکل ۹ الف) نمودار Rb نسبت به $\text{Y}+\text{Nb}$ که نمونه‌ها برپایه آن در گستره "گرانیت‌های همزمان با برخورد قاره‌ای (syn-COLG) و تعدادی نیز در نزدیکی مرز این گستره با "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" قرار گرفته‌اند، ب) نمودار Nb نسبت به Y، که نمونه‌ها در نزدیکی مرز بین "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" و "گرانیت‌های همزمان با برخورد قاره‌ای (syn-COLG)" قرار می‌گیرند، پ) نمودار Rb نسبت به $\text{Ta}+\text{Yb}$ ، که بیشتر نمونه‌ها در گستره "گرانیت‌های همزمان با برخورد قاره‌ای (syn-COLG)" قرار گرفته‌اند، ت) نمودار Ta نسبت به Yb که بیشتر نمونه‌ها در گستره "گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)" و تعدادی نیز در نزدیکی مرز با گستره "گرانیت‌های همزمان با برخورد قاره‌ای (syn-COLG)" قرار دارند.



شکل ۱۰ الف) نمودار FeOt/MgO نسبت به مجموع Zr+Nb+Ce+Y که بر پایه آن نمونه‌ها در گستره گرانیتوئیدهای جدایش یافته (FG) و یک نمونه در نزدیکی مرز گستره A و تعدادی در گستره گرانیتوئیدهای زمین ساخت قدیمی گستره (OTG) قرار دارند، ب) نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ نسبت به مجموع Zr+Nb+Ce+Y که نمونه‌ها در گستره FG و یک نمونه در نزدیکی مرز گستره A و تعدادی در گستره OTG قرار دارند.



شکل ۱۱ نمودار R_1 نسبت به R_2 ، $R_1 = 4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})$ ، که Si ، Na ، K ، Fe و Ti به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی اکسیدهای سیلیسیم، سدیم، پتاسیم، آهن و تیتانیوم هستند و $R_2 = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$ که Ca ، Mg و Al به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی اکسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیوم هستند. R_2 نشان‌دهنده مقدار کلسیم، منیزیم و آلومینیوم موجود در ماگما بوده و اغلب با تغییر کانی‌های فرومنیزین در ارتباط است.

برداشت

به اورتوگنیس‌ها و گنیس‌های چشمی سفید رنگ تبدیل می‌شوند. بافت غالب در این سنگ‌ها دانه‌ای است و کانی‌های اصلی شامل کوارتز، فلدسپار قلیایی، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های کدر هستند. شواهدی از دگرسانی پلاژیوکلاز به سریسیت و کلسیت، و دگرسانی بیوتیت نیز دیده شد. بافت‌های فرعی خال خال و میرمکیتی نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. داده‌های زمین شیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی دارای مقادیر متغیری از SiO_2 (بین ۶۹/۵۲ تا ۸۰/۷۰ درصد) هستند. الگوهای تغییرات اکسیدها با افزایش سیلیس

پژوهش انجام شده پیرامون سنگ‌های آذرین منطقه مورد بررسی در شمال طبس، به روش‌های سنگ نگاری، زمین شیمی و تحلیل داده‌های عنکبوتی و نمودارهای تفکیک محیط زمین ساختی، اطلاعات جامعی در مورد خاستگاه ماگمایی، محیط زمین ساختی و تاریخچه تکاملی آن‌ها ارائه داده است. بررسی‌های سنگ نگاری نشان داد که توده‌های نفوذی یخاب، بیشتر به صورت استوک‌های گرانیتی رخنمون یافته‌اند که سنگ‌های میزبان میکاشیستی را قطع کرده‌اند. این توده‌ها در راستای جاده یخاب-چاه پالیز، به تدریج به صورت بین انگشتی

قدردانی

به این وسیله از ریاست محترم دانشکده علوم پایه، مدیر و معاون محترم پژوهش و فناوری دانشگاه هرمزگان که امکان انجام این پژوهش را فراهم نمودند، صمیمانه سپاسگزار می‌شود.

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).
- [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., "A geochemical classification for feldspathic igneous rocks", Journal of Petrology, 49(9) (2008) 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., "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.)

نشانگر جدایش ماگمایی است، به طوری که با افزایش سیلیس، غلظت Na_2O و K_2O ، Al_2O_3 ، CaO ، MgO ، TiO_2 ، P_2O_5 و FeO کاهش یافته است. نمودار AFM این سنگ‌ها را در گستره سری آهنی-قلیایی و نمودار Co-Th آن‌ها را در گستره آهنی-قلیایی غنی از پتاسیم تا شوشونیتی قرار می‌دهد. نمودارهای تشخیص زمین‌شیمیایی نشان داد که این سنگ‌ها دارای ماهیت فروتن، قلیایی-آهنی تا قلیایی و پرآلومین و از نظر سیلیس نیز اشباع شده هستند. الگوهای غنی‌شدگی عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) و عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و تهی‌شدگی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه و MORB، نشان می‌دهد که ماگماهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها در معرض فرآیندهای ماگمایی چون ذوب بخشی، جدایش ماگمایی و به احتمال بسیار آلودگی پوسته‌ای قرار گرفته‌اند. ناهنجاری‌های منفی Nb و Ti نیز گویای دخالت مولفه‌های فروزنش در سنگزایی این سنگ‌هاست. در نمودار بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها، غنی‌شدگی LILE و تهی‌شدگی HFSE به خوبی قابل مشاهده است. نمودارهای تشخیص محیط زمین‌ساختی [۳۵] نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی مورد بررسی، بیشتر در محیط‌های زمین‌ساختی در ارتباط با برخوردهای 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 گستره سنگ‌های همزمان با برخورد و کوهزایی قرار می‌دهد. نمودارهای تشخیص گرانیتوئیدهای نوع A [۳۶] نشان داد که گرانیتوئیدهای منطقه مورد بررسی بیشتر دارای ویژگی‌های گرانیتوئیدهای جدایش یافته (FG) هستند و از نظر زمین‌شیمیایی در گستره گرانیت‌های نوع A قرار نمی‌گیرند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی منطقه یخاب در شمال طبس، برآمده از جدایش ماگمایی از خاستگاه پوسته‌ای هستند که در محیط‌های زمین‌ساختی همزمان با برخورد قاره‌ای و یا در ارتباط با کمان‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها دارای ویژگی‌های آهنی-قلیایی غنی از پتاسیم بوده و از نظر آلومینیوم نیز پرآلومین هستند. بررسی عناصر کمیاب نشانگر دخالت فرآیندهای ماگمایی پیچیده است که با آلودگی پوسته‌ای و اثر سیال‌های گوشته نیز همراه بوده‌اند.

- [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., 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., 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., Jahn B., Wilde S.A., Lod C.H., Yuie T.F., Lina Q., Gea W., 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., 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., Taubold H., Liegeois J.P., 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 B.W. Harris, 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., Peter Bowden, "Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters", *Chemical geology* 48.1-4 (1985): 43-55.
- [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 K.A., Vine F.J., "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., "Mantle and crust contributions in the genesis of the Aegean magmatism", *Geological Society, London, Special Publications*, 59(1) (1991) 241-266.
- [25] Longhi J., "Experimental petrology of basaltic rocks. In: *Source, transport, and deposition of metals*, Mineralogical Society of America", *Reviews in Mineralogy*, Volume 25, pp (1991) 269-319.
- [26] Pearce J. A., "Role of the tectonic environment in the interpretation of volcanic rock trace element data", *Journal of Petrology*, 24(1), 41-73.)