

خاستگاه ماگمایی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک ائوسن - الیگوسن منطقه زندآباد در شمال‌باختر اهر (نوار طارم - قره داغ)

زهره عظیم زاده^۱، محمد هاشم امامی^۲ و رباب حاجی علی اوغلی^۱

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
^۲ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۲۰

چکیده

منطقه زندآباد در شمال‌باختر شهرستان اهر در شمال آذربایجان واقع شده است. سنگ‌های آذرین این منطقه شامل انواع مختلف سنگ‌های گرانیتوئید با ترکیب مونزوگرنایت، گرانودیوریت، مونزونیت و سینوگرنایت، سنگ‌هایی با ترکیب دیوریت و سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، تراکی داسیت و ریولیت است. دیوریت پورفیری و مونزوادیوریت پورفیری از انواع سنگ‌های آذرین نیمه ژرف هستند. بر اساس بررسی‌های مختلف ژئوشیمیایی محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک زندآباد، حاشیه قاره‌ای مربوط به فروخزش‌های تأخیری فرورانش تعیین می‌شود که در ارتباط با ماگماتیسم پس از برخورد نئوتتیس تفسیر می‌شود. با در نظر گرفتن شواهد کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی به نظر می‌رسد منشأ انواع سنگ‌های آذرین پلوتونیک و آتشفشانی همسان بوده و از ماگمای مولد واحدی مشتق شده‌اند. این ماگما به احتمال در حین صعود متحمل تبلور بخشی، آمیختگی ماگمایی و آلاش پسته‌ای شده و منشأ هیبرید نشان می‌دهد. ترکیب ماگمای تشکیل دهنده انواع سنگ‌های آذرین زندآباد قلیایی بوده و ویژگی کلسیمی-قلیایی و شوشنیتی برخی از سنگ‌ها را به احتمال بتوان در ارتباط با فرایندهای آمیختگی ماگمایی و آلاش با سنگ‌های پسته‌ای در نظر گرفت.

کلیدواژه‌ها: فروخزش‌های تأخیری، فعالیت پس از برخورد، ذوب بخشی، تبلور بخشی، آمیختگی ماگمایی، آلاش پسته‌ای، ماگمای دو رگه، زندآباد، نوار طارم - قره داغ.
***نویسنده مسئول:** زهره عظیم زاده
 E-mail: azimzadeh@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

منطقه مورد بررسی در محدوده بین طول‌های جغرافیایی 36° و 46° تا 30° و 44° و 47° خاوری و عرض‌های جغرافیایی 36° تا 40° و 38° شمالی، در شمال‌باختر شهرستان اهر، در دامنه جنوب‌خاوری کوه‌های شیورداغ واقع است. این محدوده از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران بخشی از زون البرز باختری-آذربایجان است و بخش‌هایی از نقشه‌های زمین‌شناسی $1/100000$ اهر (لسکویه و همکاران، ۱۳۶۹) و $1/100000$ ورزقان (مهرپر تو و همکاران، ۱۳۷۱) را شامل می‌شود. کهن‌ترین سنگ‌های منطقه را رسوبات کرتاسه تشکیل می‌دهند که سنگ‌های آتشفشانی، نیمه آتشفشانی و آتشفشانی - آواری ائوسن و ائوسن پسین - الیگوسن بر روی آنها قرار دارند. توده نفوذی الیگوسن در بخش‌های شمالی منطقه در داخل سنگ‌آهک‌های کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و آنها را به دگرگونی همبری تغییر داده است. ترکیب سنگ‌های آتشفشانی آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، تراکی داسیت و ترکیب سنگ‌های پلوتونیک مونزونیت، مونزوگرنایت، سینوگرنایت و دیوریت است (شکل ۱).

۲- روش مطالعه

پس از بررسی‌های اولیه نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه حدود ۲۰۰ نمونه سنگی از محدوده مورد بررسی برداشت شد که به دلیل دگرسانی شدید آنها ۸۰ نمونه از انواع سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک برای تهیه مقاطع نازک انتخاب شد. پس از بررسی‌های میکروسکوپی ۱۳ مقطع مربوط به سنگ‌های آذرین درونی کم و بیش سالم برای تجزیه مودال انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی‌های دقیق سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی، همچنین ۲۷ نمونه سالم که از این تعداد، ۸ نمونه سنگ آذرین درونی، ۱۶ نمونه سنگ آذرین بیرونی و ۳ نمونه سنگ‌های نفوذی نیمه ژرف به منظور تجزیه با فلورسانس اشعه ایکس ۳۳ عنصر برای تشخیص برخی از کانی‌ها انتخاب شد و در دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱). در این بررسی، انواع سنگ‌های آذرین با استفاده از نتایج ژئوشیمیایی و داده‌های تجزیه مودال طبقه‌بندی شده و سپس ویژگی‌های سنگ‌شناختی، ژئوشیمیایی و محیط زمین‌ساختی آنها تعیین شد.

۳- واحدهای سنگی منطقه

واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون نشان می‌دهند به ترتیب سنی از قدیم به جدید شامل سنگ‌هایی با سن کرتاسه، ائوسن، ائوسن بالایی - الیگوسن، الیگوسن و کواترنر هستند.

۳-۱- سنگ‌های کرتاسه

سنگ‌های کرتاسه کهن‌ترین واحد سنگی منطقه است که به صورت نواری یکنواخت در حاشیه توده نفوذی شیور دیده می‌شود. برخلاف دگرگونی‌های شدید که به صورت همبری در جریان حرارتی توده نفوذی روی داده است، واحدهای رسوبی با لایه‌بندی مشخص در حاشیه توده نفوذی و هاله دگرگونی مجاورتی آن قابل تشخیص است.

۳-۲- سنگ‌های ائوسن

تأثیرات فاز لارامین به صورت بالازدگی و چین‌خوردگی رسوبات و نهشته‌های کرتاسه بالایی است که در منطقه یک محیط نیمه‌قاره‌ای به وجود آورده است. رسوبات تخریبی و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن از آن جمله است که به صورت دگرشیب بر روی رسوبات کرتاسه نهشته شده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی ائوسن در منطقه مرتبط با فاز زمین‌ساختی پیرنه بوده و توالی آن به شرح زیر است.

الف- گدازه‌های نیمه آتشفشانی با ترکیب دیوریت پورفیری و مونزوادیوریت پورفیری

ب- گدازه‌های آندزیت مگاپورفیری

ج- گدازه‌های آندزیت-تراکی آندزیت

د- گدازه‌های داسیت-تراکی داسیت

۳-۳- سنگ‌های ائوسن بالایی - الیگوسن

این سنگ‌ها از نظر ریخت‌شناسی، ساخت، بافت و پدیده‌های دگرسانی با واحدهای ائوسن متفاوت هستند. سنگ‌های منسوب به ائوسن بالایی - الیگوسن تشکیل مخروط‌های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه را داده‌اند. این مخروط‌ها هنوز چهره اصلی خود را حفظ کرده‌اند. این واحدهای سنگی طی مرحله‌ای جدیدتر از فاز ماگمایی ائوسن ظاهر گشته و این مرحله از ماگماتیسم به احتمال زیاد مربوط به

سبز دیده می‌شوند. کانی‌های مافیک شکل دار و بلورهای پلاژیوکلاز شیری رنگ در اندازه‌های درشت به صورت پراکنده در متن خاکستری سنگ دیده می‌شوند. در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها دارای بافت پورفیریک با خمیره میکروگرانولار هستند. پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار کانی اصلی است. پلاژیوکلاز دارای ماکل پلی‌سنتیتیک و پریکلین بوده و ساختمان منطقه‌ای نشان می‌دهند. بافت غربالی در پلاژیوکلاز در برخی مقاطع دیده می‌شود. کانی‌های پلاژیوکلاز گاه دچار دگرسانی انتخابی شده‌اند به طوری که در یک مقطع بخشی از پلاژیوکلازها سالم و بخشی دیگر دچار دگرسانی از نوع سوسوریتیزاسیون و کائولینزاسیون شده‌اند (شکل ۲-۲). کانی‌های فرعی شامل پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز است. کلریت، کلسیت، اپیدوت، سریسیت، کانی‌های رسی و کانی‌های تیره کانی‌های ثانویه هستند. خمیره این سنگ‌ها از بلورهای ریزتری از برخی درشت‌بلورهای موجود در سنگ با بافت ریزدانه‌بندی تشکیل شده است. این بلورها بیشتر پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، اوژیت، بیوتیت و کانی‌های تیره هستند.

۳-۴. سنگ‌های آذرین بیرونی

این سنگ‌ها بیشتر دارای ترکیبات پیروکسن آندزیت، پیروکسن تراکی آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ریولیت هستند. در نمونه‌های دستی به صورت هیالوکریستالین بوده و دارای ضریب رنگی مزوکرات تا ملانوکرات و ساخت پورفیریک هستند. بیشتر نمونه‌ها به سوسوریت و کائولن دگرسان شده‌اند. این سنگ‌ها در مقطع میکروسکوپی بافت پورفیریک و گاه مگاپورفیریک با خمیره میکروولیتی، میکروولیتی-شیشه‌ای و در بعضی مقاطع میکروولیتی-سری‌ایتی دارند (شکل ۲-۲). درشت‌بلورهای اصلی شامل پلاژیوکلاز با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین است که گاه دچار دگرسانی انتخابی شده و در برخی نمونه‌ها بافت غربالی (شکل ۲-۲) و ماکل بهم‌ریخته نشان (شکل ۲-۲) می‌دهند، از دیگر کانی‌های اصلی هورنبلند بازالتی یا اکسی هورنبلند (شکل ۲-۲) و اوژیت هستند. درشت‌بلورهای فرعی شامل فلدسپار قلیایی، بیوتیت (شروی بیوتیت و بیوتیت بازالتی) (شکل ۲-۲) و آپاتیت (شکل ۲-۲)، اولوین (شکل ۲-۲) و کانی‌های تیره هستند. کوارتز، اپیدوت، کانی‌های رسی، زئولیت و کلسیت کانی‌های ثانویه مهم در این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. درصد متغیر درشت‌بلورها باعث تشکیل انواع سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب متفاوت در منطقه شده است. خمیره میکروولیتی این سنگ‌ها شامل بلورهای ریز پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز و کانی‌های تیره است. خمیره میکروولیتی-شیشه‌ای شامل بلورهای ریز پلاژیوکلاز، هورنبلند، اوژیت و کانی‌های تیره به همراه شیشه است. در سنگ‌های با خمیره میکروولیتی-سری‌ایتی سردشدگی ماگما در سه مرحله انجام شده و بنابراین بلورها با سه اندازه مختلف تشکیل شده‌اند که بلورهای درشت (فونوکریست‌ها) و بلورهای متوسط و ریز خمیره را تشکیل داده‌اند (شکل ۲-۲). در این سنگ‌ها میکروفونوکریست‌ها به طور اصلی از جنس پلاژیوکلاز و هورنبلند بازالتی بوده خمیره میکروپورفیریک به صورت میکروولیتی، میکروولیتی-شیشه‌ای متشکل از بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های تیره است. در ریولیت‌ها گاه بافت پرلیتی هم دیده می‌شود که در اثر دویتریفیکاسیون پرلیت، کانی‌های کوارتز، فلدسپات قلیایی و آلپیت در داخل دواپر پرلیتی متبلور شده است (شکل ۲-۲).

۵- خاستگاه ماگمایی سنگ‌های آذرین زندآباد

۵-۱. خاستگاه ماگمایی سنگ‌های پلوتونیک

در نمودارهای مختلف (Manier & Piccoli (1989) نمونه‌های پلوتونیک منطقه در محدوده ترکیبی I (شامل CAG, CCG, IAG) گرانیتوئیدهای جزایر کمانی، گرانیتوئیدهای تصادم قاره‌ای، گرانیتوئیدهای کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۳-۲). (d تا a)

بر مبنای نمودارهای عناصر کمیاب. (Pearce et al. (1984) ترکیب شیمی

فاز دیگری غیر از فاز پیرنه است. از این رو، سن آنها ائوسن بالایی-الیگوسن در نظر گرفته شده است (عظیم زاده، ۱۳۷۸). از لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی سنگ‌های ائوسن بالایی-الیگوسن دارای واحدهایی به شرح زیر هستند.

الف- گدازه‌های آتشفشانی-آواری

ب- گدازه‌های آندزیت-تراکی آندزیت

ج- گدازه‌های ریولیتی

۳-۴. سنگ‌های الیگوسن

سنگ‌های نفوذی الیگوسن در بخش شمالی منطقه مورد بررسی به صورت وسیع بروزند دارد و ترکیب آنها مونزونیت، مونزوگرانیت تا گرانیت است. ماگماتیسیم الیگوسن در ادامه فعالیت‌های ماگمایی ائوسن مرتبط با فاز پیرنه تفسیر می‌شود.

۳-۵. سنگ‌های کواترن

این واحد شامل سنگ‌های بازالتی بوده که در باختر منطقه دیده می‌شوند و به سمت شمال منطقه به سنگ‌هایی با ترکیب حدواسط تغییر پیدا می‌کنند. این واحد به دلیل عدم وجود رخداد زمین‌شناسی بعدی حالت افقی خود را حفظ کرده است. فعالیت‌های آتشفشانی کواترن در ارتباط با تأثیر فاز پاسادین در منطقه تفسیر می‌شود.

۴- بحث

در این بخش ویژگی‌های سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری انواع سنگ‌های آذرین در منطقه زندآباد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. سنگ‌های آذرین درونی

سنگ‌های آذرین درونی با ترکیب مونزودیوریت، هورنبلند دیوریت، مونزوگرانیت تا سینوگرانیت هستند. این سنگ‌ها در نمونه دستی هولوکریستالین با ضریب رنگی لوکوکرات، دانه‌بندی متوسط تا درشت و ساخت گرانولار هستند. برخی از نمونه‌ها در اثر دگرسانی سوسوریتی و ازدیاد کانی‌هایی مانند اپیدوت، اورالیت و کلریت رنگ سبز به خود گرفته‌اند. مونزودیوریت‌ها گاه دارای آنکلاز با ترکیب هورنبلند دیوریت هستند. در بررسی میکروسکوپی این سنگ‌ها بافت دانه‌ای (گرانولار) و گاه افیتیک نشان می‌دهند و کانی‌های اصلی در مونزودیوریت، مونزوگرانیت و سینوگرانیت شامل پتاسیم فلدسپار، پلاژیوکلاز و کوارتز با نسبت‌های متغیر است. فلدسپار پتاسیم در این سنگ‌ها به صورت ارتوز ساده و ارتوز پریتی است. به طور اتفاقی فلدسپار قلیایی با بافت پویی‌کلیتیک با میان‌بارهایی (اینکلوژن‌هایی) از بلورهای پلاژیوکلاز، بیوتیت و کانی‌های تیره در این سنگ‌ها دیده شده است (شکل ۲-۲). بلورهای فلدسپار پتاسیم بیشتر به کانی‌های رسی تجزیه شده و در مقاطع میکروسکوپی حالت ابری و کدر به خود گرفته‌اند. برخی از بلورهای پلاژیوکلاز بافت پویی‌کلیتیک داشته و دارای مقادیر فراوان از بلورهای ریز پیروکسن به صورت میان‌بار هستند. در بعضی از نمونه‌ها بلورهای پلاژیوکلاز توسط فلدسپار قلیایی احاطه شده و بافت آنتی‌راپاکیوی تشکیل شده است (شکل ۲-۲). کانی‌های کوارتز با مقادیر متغیر تا ۳۰ درصد در اندازه‌های ریز تا متوسط است. کوارتز در برخی مقاطع همراه با پلاژیوکلاز تشکیل بافت میرمکیت را داده است. هورنبلند، بیوتیت و پیروکسن از کانی‌های فرعی مهم هستند. مقادیر کانی‌های اسفن، آپاتیت، کلریت و کانی‌های کدر در این سنگ‌ها بسیار جزئی است. کانی‌های ثانویه شامل کلریت حاصل از تجزیه بیوتیت و کلسیت و اپیدوت حاصل از تجزیه پلاژیوکلاز (شکل ۲-۲)، سریسیت و کانی‌های رسی حاصل از تجزیه کانی‌های فلدسپار پتاسیم هستند.

۴-۲. سنگ‌های آذرین نیمه ژرف

این سنگ‌ها دارای ترکیب دیوریت پورفیری و مونزودیوریت پورفیری هستند. در نمونه دستی به صورت هیالوکریستالین، با ضریب رنگی مزوکرات، دانه‌بندی متوسط و ساخت پورفیریک هستند. این سنگ‌ها در سطح تازه به رنگ خاکستری مایل به

روند مشخص در نمودارهای تغییرات عناصر، دیده می‌شود (عظیم زاده، ۱۳۷۸).

۷- قرابت پتروژنتیکی سنگ‌های پلوتونیک و آتشفشانی زندآباد

روند تغییرات شیمیایی برای نمونه‌های مختلف از سنگ‌های پلوتونیک، نیمه ژرف و آتشفشانی مورد بررسی از قانون کلی تفریق ماگمایی پیروی می‌کند و سری ماگمایی این سنگ‌ها مشخص است (عظیم زاده، ۱۳۷۸). ترکیب شیمیایی نمونه‌های تجزیه شده روند یکسانی داشته و هیچگونه جدایش مشخصی بین انواع سنگ‌های منطقه دیده نمی‌شود (عظیم زاده، ۱۳۷۸). به نظر می‌رسد فعالیت آتشفشانی در این منطقه تظاهر سطحی فرایندهای پلوتونیک است که بی‌شابهت به فعالیت‌های آتشفشانی و پلوتونیک آند در آمریکای جنوبی نیستند. در منشأ سنگی سنگ‌های آند فرایندهای ذوب بخشی گوشته بالایی، تبلور بخشی، آلاش ماگمایی، آمیختگی و تفریق ماگمایی نقش مهم داشته است. بر این اساس، به احتمال بتوان ماگمای والد سنگ‌های پلوتونیک و آتشفشانی زندآباد با منشأ سنگی مشابه را به خاستگاه ماگمایی مشترکی نسبت داد. احتمالاً بخشی از ماگمای مستقر در حجره‌های ماگمایی به علت تأثیر نیروهای کششی در انوسن و الیگوسن در آذربایجان صعود کرده و در طی صعود به دلیل کم‌شدن ژرفا و فشار، بخشی از آب خود را از دست داده و به صورت ماگماتیسیم آتشفشانی باعث تشکیل انواع سنگ‌های آتشفشانی در منطقه شده است. بخش دیگری از ماگمای والد آبدار به علت اتمام فاز کششی و بسته شدن مجاری خروج، دیگر قادر به صعود نبوده و در ژرفای باقی‌مانده و پس از طی یک دوره زمانی متبلور شده و سنگ‌های پلوتونیک را تشکیل داده‌اند.

۸- نتیجه‌گیری

منطقه مورد بررسی در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ساختمانی ایران جزئی از زون البرز باختری-آذربایجان بوده و رخدادهای مربوط به این زون را در خود ثبت کرده است. سنگ‌های آذرین درونی شامل مونزودوریت تا گرانودوریت، مونزونیت تا مونزوگرانیت و سینوگرانیت و به طور فرعی دیوریت هستند. ترکیب سنگ‌های آتشفشانی آندزیت تا تراکی آندزیت، داسیت تا تراکی داسیت و ریولیت و ترکیب سنگ‌های نیمه آتشفشانی دیوریت پورفیری و مونزودوریت پورفیری تعیین می‌شود. در سنگ‌های منطقه شواهد مختلف از آمیختگی ماگمایی شامل شواهد بافتی، کانی‌شناسی، صحرایی و ژئوشیمیایی دیده می‌شود. در نمودارهای متعدد ارائه شده بیشتر نمونه‌ها دارای یک روند مشخص بوده و هیچ جدایشی را نشان نمی‌دهند و این امر می‌تواند بیانگر یکسان بودن رفتار عناصر مشکله ماگمای مولد آنها و به عبارتی بیانگر قرابت ژنتیکی تمامی سنگ‌ها و واحد بودن منشأ ماگمای مولد آنها است. گرانیتویدهای زندآباد از نظر جایگاه زمین‌ساختی در محدوده گرانیتویدهای مرتبط با کمان قاره‌ای واقع می‌شود که دارای خاستگاه آمیختگی (هیبرید H_{CA}) است. سنگ‌های آتشفشانی منطقه همچنین در ارتباط با محیط کمان قاره‌ای تشکیل شده‌اند. نمونه‌های مطالعه شده در زندآباد از نظر سنگ‌شناسی، منشأ سنگی و خاستگاه ماگمایی وضعیت قابل مقایسه با سنگ‌های مشابه در زون طارم- قره داغ را دارند. این منطقه بخشی از نوار ماگمایی- زمین‌ساختی ایران- آذربایجان است که در زمان انوسن- الیگوسن شاهد فعالیت‌های ماگمایی مربوط به پس از برخورد بعد از اتمام فرورانش پسین نئوتتیس به زیر حاشیه فعال قاره‌ای بوده است.

گرانیتویدهای منطقه در محدوده WPG, VAG (گرانیتویدهای کمان آتشفشانی و گرانیتویدهای درون صفحه‌ای) واقع می‌شوند (شکل ۴- b). جدول ۲ مقایسه ترکیب شیمیایی گرانیتویدهای زندآباد با گرانیتویدهای تیپ IAG و CAG, CCG (Manier & Piccoli, 1989) را نشان می‌دهد. بر این اساس گرانیتویدهای منطقه از نوع گرانیتویدهای CAG (گرانیت‌های کمان آتشفشانی) ارزیابی می‌شوند. با مقایسه ویژگی‌های صحرایی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی گرانیتویدهای COLG, VAG, WPG (گرانیت‌های درون صفحه‌ای، گرانیت‌های کمان آتشفشانی، گرانیت‌های مناطق برخوردی)، سنگ‌های گرانیتویدی مورد بررسی در گروه VAG (گرانیت‌های کمان آتشفشانی) ارزیابی می‌شوند. سنگ‌های آذرین درونی زندآباد در گروه گرانیتویدهای تیپ I کوردیلریایی قرار می‌گیرند که متحمل یک مرحله آمیختگی ماگمایی شده‌اند (جدول ۳).

برای مشخص نمودن بهتر منشأ و موقعیت زمین‌ساختی گرانیتویدها از جدول مقایسه‌ای (Barbarin 1999) استفاده شد. بر این اساس موقعیت زمین‌ساختی گرانیتویدهای زندآباد در محدوده H_{CA} (گرانیت‌های کمان قاره‌ای هیبرید) تعیین می‌شود که از ویژگی‌های خاستگاه زمین‌ساختی آندی است.

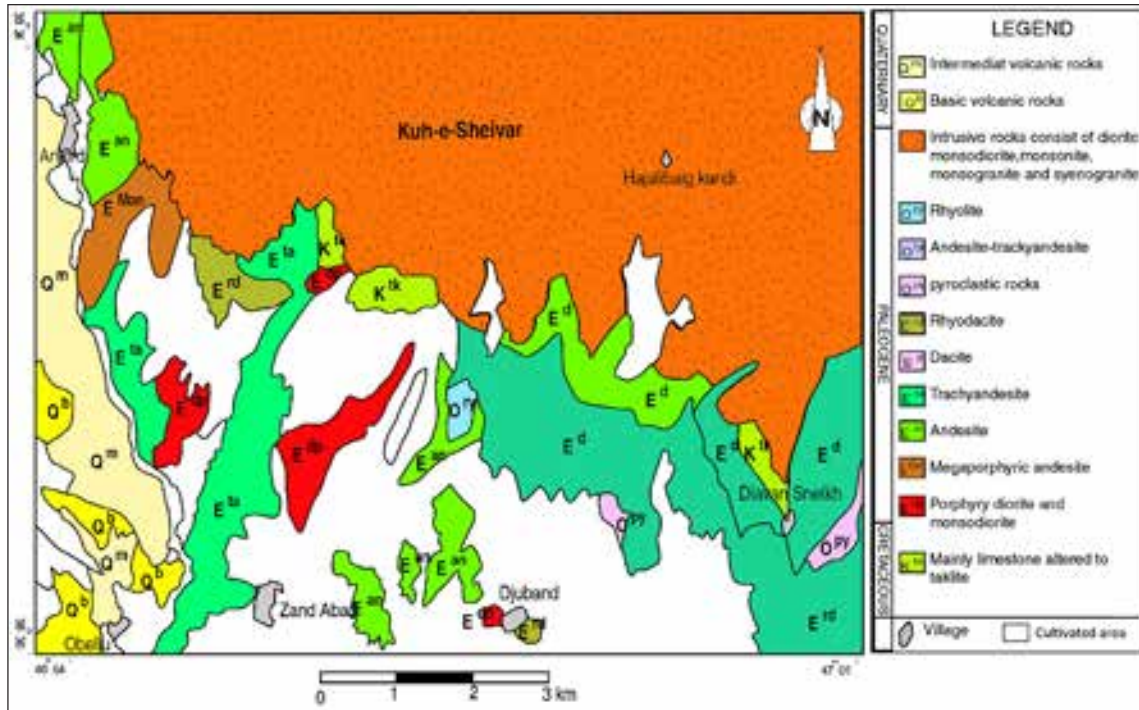
۵-۲- خاستگاه ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی

ترکیب شیمی سنگ‌های آتشفشانی زندآباد در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نمودار Gill (1981) سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده پتاسیم بالا قرار می‌گیرند (شکل ۵). بر مبنای عناصر کمیاب، نمودار Nb در برابر Zr (Ewart, 1979 ; Barker, 1984) و ویژگی پتاسیم بالای آندزیت‌های زندآباد را تأیید می‌کند. برای تمایز آندزیت‌های اسیدیک و بازیک و نیز تمایز آندزیت‌ها بر مبنای میزان پتاسیم از نمودار Gill (1981) استفاده شده است (شکل ۵). بر این اساس نمونه‌های مورد بررسی بیشتر در محدوده اسیدی واقع می‌شوند. ترکیب جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی زندآباد بر اساس نمودار $La-TiO_2-Hf^*100$ (Muller et al., 1992) در محدوده کمان قاره‌ای و پس از تصادم قرار می‌گیرند. بر مبنای نمودارهای (Pearce & Cann 1973)، نمونه‌های مورد بررسی در محدوده CAB ارزیابی می‌شوند (شکل ۶- a, b).

۶- شواهد آمیختگی ماگمایی

بررسی‌های سنگ‌نگاری، بررسی‌های صحرایی و تجزیه‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه مورد بررسی همگی شواهدی را دال بر آلاش و آمیختگی ماگمایی نشان می‌دهند. برخی از این شواهد عبارتند از:

- الف- شواهد سنگ‌نگاری، بافتی آمیختگی ماگمایی شامل آپاتیت سوزنی (شکل ۲- k)، حضور اپیدوت در درون و حاشیه پلاژیوکلاز (شکل ۲- c)، بافت آنتی راپاکیوی (شکل ۲- b)، عدم تعادل ترکیب شیمیایی ماگما به صورت ماکل درهم ریخته (شکل ۱- g)، دگرسانی انتخابی (شکل ۲- d)، حضور بیوتیت و هورنبلند با حاشیه کدر و اپاسیته شده و سوخته (شکل ۲- i, j)، بافت اسکلتی هورنبلند، پلاژیوکلاز با بافت غربالی (شکل ۲- f)، شیلرن‌های مافیک و شواهد حاکی از جریان یافتگی ماگما، بیگانه سنگ‌های (زینولیت‌های) ماگمای فلسیک درون ماگمای مافیک تر و تزیق رگه‌های ماگمای مافیک به درون ماگمای فلسیک است (شکل ۲- j).
- ب- شواهد صحرایی آمیختگی ماگمایی شامل حضور آنکلاوهای ماگمای مافیک درون ماگمای فلسیک و شیلرن‌های مافیک در درون سنگ‌های آتشفشانی است.
- ج- شواهد ژئوشیمیایی آمیختگی ماگمایی به صورت پراکندگی نمونه‌ها و نداشتن

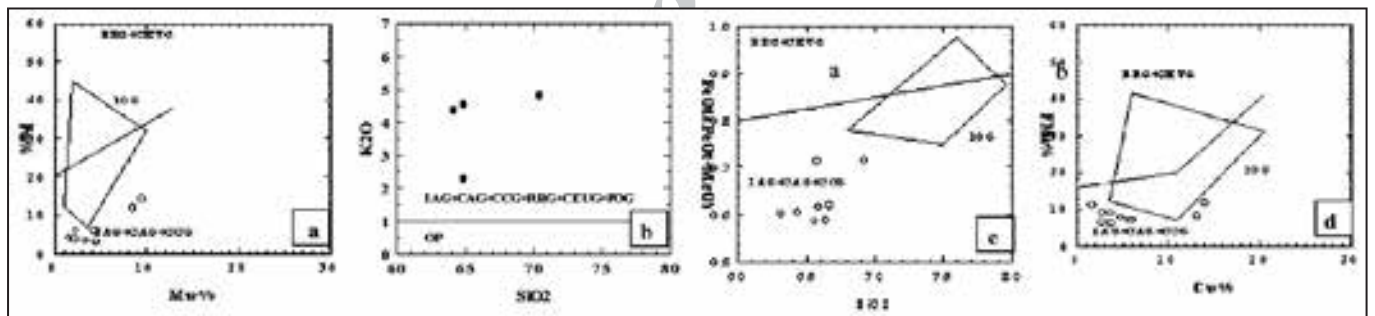


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰۰ زند آباد.

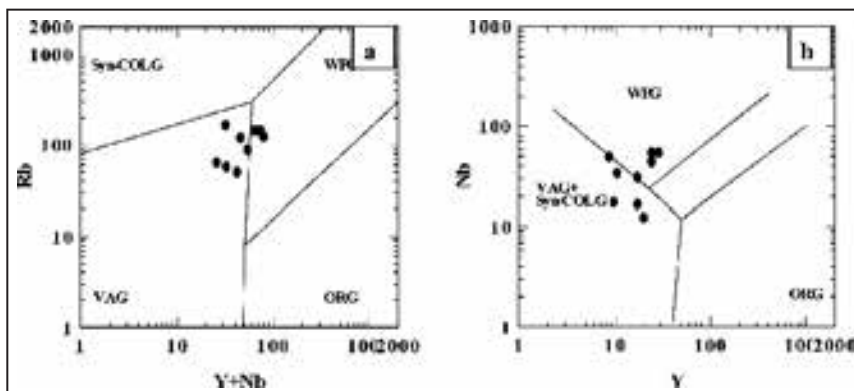




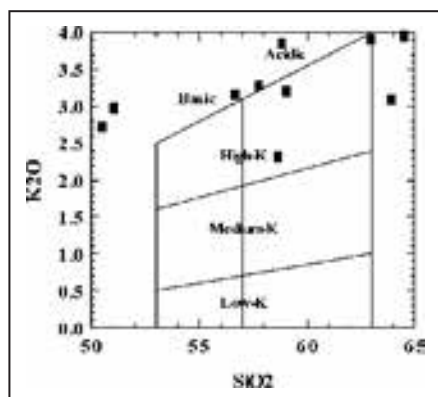
ادامه شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی سنگ‌ها



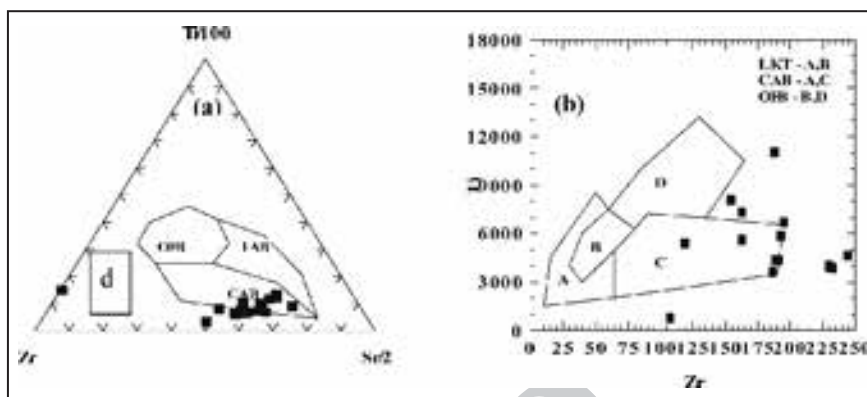
شکل ۳- نمونه‌های منطقه مورد بررسی در نمودارهای (Manier & Piccolo (1989; a-d) در محدوده‌های گرانیتوئیدهای جزایر کمانی، کمان قاره‌ای و تصادم قاره‌ای قرار می‌گیرند.



شکل ۴- (a, b) نمونه‌های منطقه مورد بررسی در نمودارهای (Pearce et al. (1984) در محدوده حد فاصل گرانیتوئیدهای درون صفحه‌ای و کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند.



شکل ۵ - نمونه‌های منطقه مورد بررسی در نمودار Gill (1981) در محدوده پتاسیم بالا و اسیدی واقع می‌شوند.



شکل ۶- (a-b) نمونه‌های منطقه مورد بررسی در نمودار Pearce & Cann (1973) در محدوده‌های بازالت‌های کمان قاره‌ای واقع می‌شوند.

جدول ۱- ترکیب شیمی انواع سنگ‌های آذرین درونی، نیمه ژرف و آتشفشانی زندآباد. (*سنگ‌های درونی، **سنگ‌های نیمه ژرف و بدون ستاره سنگ‌های آذرین بیرونی).

sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Hf	Co	Cr	Ce	V
9B	77.57	11.32	0.62	2.948	0.112	0.019	0.027	7	6	420	28	15
8B	65.76	16.23	1.56	4.033	0.584	0.039	0.242	14	7	31	45	83
6AA	64.58	14.55	1.7	4.143	0.707	0.068	0.404	11	12	90	66	92
5W	60.08	15.82	1.38	3.18	0.92	0.058	0.393	13	9	139	146	125
5AA	65.93	14.76	1.18	3.913	0.714	0.163	0.305	11	3	82	86	75
4H	56.74	17.19	2.59	4.164	1.206	0.167	0.466	6	24	11	44	229
3W*	64.24	15.93	2.31	4.743	0.476	0.065	0.287	10	6	195	77	78
3T	64.01	15.94	1.65	4.674	0.628	0.103	0.248	11	7	2	68	89
A*	64.95	15.26	2.28	4.583	0.471	0.059	0.255	9	9	19	24	66
3M**	61.87	17.28	1.95	4.827	0.753	0.056	0.303	9	2	0	61	111
J*	48.88	15.77	8.11	3.434	0.97	0.19	0.134	5	28	174	0	252
M*	57.22	16.33	3.9	4.852	0.798	0.103	0.439	12	17	48	61	129
H*	58.92	16.03	3.37	4.748	0.832	0.09	0.455	8	16	24	100	122
2R	57.83	16.08	2.29	4.441	0.963	0.111	0.399	11	18	14	67	130
2M*	56.75	16.51	3.84	4.147	0.895	0.123	0.326	11	22	53	51	170
2I	50.59	15.28	5.32	4.714	1.834	0.147	0.616	11	29	110	116	225
2A	64.01	16.04	0.64	3.644	0.757	0.08	0.322	13	11	45	129	163
1T	63.03	16.29	1.75	4.28	0.651	0.114	0.302	12	12	12	84	95
1R	58.91	16.19	1.52	4.443	1.099	0.142	0.441	26	19	93	85	147
1M**	54.76	17.81	3.04	4.725	1.137	0.122	0.4	13	21	28	5	206
1I	51.11	17.08	3.61	4.556	1.335	0.187	0.509	9	25	28	57	217
L*	64.96	15.28	2.27	4.588	0.469	0.058	0.255	8	9	19	26	65
E1	66.09	16.94	0.65	3.682	0.632	0.026	0.249	11	9	2	128	104
E2	57.85	15.88	3.25	4.014	0.888	0.094	0.323	11	14	58	49	136
B*	70.49	14.78	0.73	4.558	0.219	0.023	0.098	9	3	0	0	23
1A	59.15	16.01	3.18	4.045	0.921	0.103	0.327	6	20	67	52	155
F*	64.96	15.28	2.26	4.59	0.474	0.058	0.254	9	9	19	24	64

ادامه جدول ۱

Sample	Ba	La	Cl	Ni	Zr	Y	Sr	U	Rb	Th	Pb	Zn	Cu	W	Nb
9B	620	37	30	7	109	35	225	8	170	36	16	15	12	7	53
8B	1352	31	101	12	188	21	667	17	112	20	30	64	25	0	35
6AA	929	38	174	23	190	20	786	12	91	22	48	72	53	0	51
5W	1239	74	49	32	275	35	897	13	146	18	18	63	38	16	65
5AA	938	57	131	26	193	18	884	10	96	21	12	60	35	12	37
4H	1120	59	54	15	164	21	830	7	65	7	7	88	29	0	40
3W*	916	48	128	30	152	18	685	20	114	29	11	34	58	0	30
3T	1293	45	465	12	234	31	693	8	129	15	24	70	28	0	53
A*	940	52	110	30	165	25	684	7	137	20	11	32	11	5	36
3M**	1682	0	91	6	246	23	598	9	107	10	8	84	34	0	24
J*	170	0	600	26	90	10	381	15	61	12	19	138	7	3	17
M*	1173	29	234	30	184	9	978	20	85	16	14	67	51	4	48
H*	967	47	347	25	234	30	857	4	117	16	23	59	30	5	53
2R	1104	23	145	16	194	9	661	16	50	11	17	70	25	5	36
2M**	932	35	152	38	116	11	926	2	48	0	7	62	64	0	33
2I	1185	49	54	48	189	8	1109	12	25	7	19	100	70	0	52
2A	1043	111	111	12	270	36	776	9	129	25	23	62	46	7	49
1T	1207	87	102	11	231	23	788	12	96	16	7	70	12	0	25
1R	1108	30	94	26	196	14	863	15	92	16	19	100	2948	2	26
1M**	964	13	272	17	148	18	787	0	55	3	8	80	56	3	16
1I	1133	15	52	14	156	16	900	10	60	9	17	85	46	0	64
L*	838	53	105	29	164	25	684	8	137	19	10	31	10	7	42
E1	2365	74	91	6	256	46	773	9	115	24	19	59	22	8	46
E2	935	23	83	35	120	12	889	8	50	12	16	59	41	0	19
B*	488	3	79	16	110	21	420	8	159	27	12	17	13	3	12
1A	910	14	70	29	164	17	713	6	81	8	13	70	36	2	25
F*	841	52	101	29	166	25	683	8	137	20	10	30	11	7	44

جدول ۲- مقایسه سنگ‌شناسی و ترکیب شیمی گرانیتویدهای زندآباد با گرانیتویدهای تیپ IAG, CCG, CAG (Manier & Piccoli, 1989).

نوع ویژگی مورد بررسی	IAG	CAG	CCG	گرانیتوید زندآباد
طیف تغییرات درصدوزنی	W% ۶۰-۶۸	W% ۶۲-۷۶	W% ۷۰-۷۶	W% ۴۹-۷۰
وضعیت شاخص آلکالی کلسیک	کلسیمی - قلیایی تا قلیایی	کلسیمی - قلیایی	کلسیمی - قلیایی تا قلیایی	کلسیمی - قلیایی تا قلیایی
شاخص اشباع از آلومینیم	غالباً متاآلومین	متاآلومین - پرآلومین	پرآلومین	متاآلومین
Na ₂ O/CaO(wt%)	-۱	<۴	-۲-۱۰	-۰/۶-۳/۹
Na ₂ O/K ₂ O(wt%)	-۰/۴-۳	-۰/۴-۲	-۰/۴-۱/۵	-۰/۶-۱/۸
Na ₂ O/FeO*(wt%)	-۰/۳-۰/۸۵	-۰/۱-۰/۵	۰/۰۵-۰/۶	۰/۱-۰/۴۷
Na ₂ O/MnO(wt%)	۱۲-۲۸	۲۰-۳۸	۲۰-۴۵	۸-۳۷
Na ₂ O/(Na ₂ O+K ₂ O)(wt%)	>۱/۵	>۱/۱	>۱/۵	>۱/۱
نوع پلاژیوکلاز	الیگوکلاز - آندزین	الیگوکلاز	الیگوکلاز	الیگوکلاز - آندزین
وضعیت نمودار تغییرات درصد وزنی	تک قله‌ای	تک قله‌ای	تک قله‌ای	تک قله‌ای
کانی‌های متشکله	بیوتیت، هورنبلند و پروکسن	بیوتیت، هورنبلند و کلینوپیروکسن	بیوتیت، هورنبلند، تورمالین، کوردیریت، سیلمانیت و گرونا	بیوتیت، هورنبلند و کلینوپیروکسن

جدول ۳- مقایسه ترکیب سنگ‌شناسی توده پلوتونیک زندآباد با انواع سنگ‌های گرانیتیوییدی (ولی‌زاده، ۱۳۷۱).

نوع M	نوع (I) کوردیلریایی	نوع (I) کالدونیایی	نوع B	نوع A	توده نفوذی زندآباد
پلازیوگرانیت وابسته به گابرو	بیشتر توانالت دارای طیفی ترکیبی از دیوریت تا مونزونیت همراه با گابرو	گرانودیوریت، گرانیت	گرانیت‌های دارای SiO_2 بالا	بیوتیت، گرانیت در مجموعه‌های سری‌های آلکالی گرانیت	مونزونیت، مونزوگرانیت، سینوگرانیت و دیوریت
هورنبلند و بیوتیت پروکسن	هورنبلند، بیوتیت، مانیپیت و اسفن	بیشتر با بیوتیت، ایلمنیت و مانیپیت	مسکویت، کردیریت، بیوتیت قرمز، گرونا، موناژیت، ایلمنیت	بیوتیت، آمفیبول، پروکسن	بیوتیت، هورنبلند، مانیپیت، اسفن
فلدسپار پتاسیم به صورت بین دانه‌ای و میکروگرافی	فلدسپار پتاسیم به صورت بین دانه‌ای و بی‌شکل (زومورفی)	فلدسپار پتاسیم به صورت بین دانه‌ای و سرشار از کوارتز	فلدسپار پتاسیم به صورت مگا-کریست‌ها با سرگذشت تأخیری	پریت‌ها	فلدسپار پتاسیم به صورت بین دانه‌بندی‌ها و زومورفی
بیگانه‌سنگ‌های آذرین بازیگ	بیگانه‌سنگ‌های دیوریتی به احتمال از مواد باقیمانده	اجتماع بیگانه‌سنگ‌های مختلط	بیگانه‌سنگ‌های از جنس رسوبی قدیمی دگرگون شده	گرهک‌ها و بیگانه‌سنگ‌ها از جنس ماگمای بازیگ	بیگانه‌سنگ‌ها از جنس حاشیه (دیوریتی)
دارای نسبت‌های $^{87}Sr/^{86}Sr$ بنیادی ویژه و خاص >0.704	$Al(Na+K+Ca/2) <1.1 <0.706$	$Al(Na+K+Ca/2) <1.1 >0.705$	$Al(Na+K+Ca/2) <1.05 >0.708$	پرآلکالن به نسبت غنی از آهن، $^{87}Sr/^{86}Sr$ در محدوده 0.703 تا 0.712	$Al(Na+K+Ca/2) <1.1$
توده‌های نفوذی دیوریت، گابرو، کوارتز دیوریت به صورت قطعات مجزا	باتولیت‌های عظیم همراه با کالدون‌های مرکب	کمپلکس‌های پراکنده و جدا از هم توده‌های نفوذی	باتولیت و توده‌های نفوذی متعدد و ورقه‌های کم حجم و دیاپیر	کمپلکس‌های کالدون متعدد و متمرکز کوچک	باتولیت‌های عظیم
همراه با فعالیت آتشفشانی جزایر کماتی	همراه با حجم‌های عظیم آندزیت و داسیت	گاه همراه با گدازه بازالت آندزیتی	همراه با گدازه‌های کردیریت‌دار و بدون معادل‌های حجم آتشفشانی	همراه با گدازه‌های قلیایی در مرکز کالدون	همراه با حجم‌های عظیم آندزیت و داسیت
متحمل سرگذشت نفوذی کوتاه مدت	متحمل سرگذشت نفوذی طولیل مدت	متحمل سرگذشت نفوذی کوتاه مدت	متحمل سرگذشت نفوذی کوتاه مدت	متحمل سرگذشت نفوذی کوتاه مدت	متحمل سرگذشت نفوذی طولیل مدت
جزایر کماتی اقیانوسی	کمان حاشیه‌ای قاره‌ای نوع آندی	بالا آمدگی پس از تصادم نوع کالدونیایی	تصادم قاره‌ای از نوع هرسینین	وضعیت پس کوهزایی یا غیر کوهزایی	کمان حاشیه‌ای قاره‌ای نوع آندی
چین خوردگی با دگرگونی از نوع تدفینی	چینش‌های دائمی، اندک دگرگونی از نوع تدفینی	گسل خوردگی، دگرگونی قهقرایی	دگرگونی فشار پایین	گنبدی شدن	چینش‌های دائم
کانی‌زایی پورفیری Au و Cu	کانی‌زایی پورفیری Mo و Cu	به ندرت کانی‌زایی شدید	گریزن Mo و W و کانی‌زایی رگه‌ای	کلمبیت، کاسیریت و فلوئوریت	کانی‌زایی Mo و Cu

کتابکاری

عظیم‌زاده، ز.، ۱۳۷۸- بررسی پترولوژیکی سنگ‌های ولکانیکی و پلوتونیکی منطقه زندآباد (شمال‌غرب اهر) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی منطقه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهیدبهشتی، ۲۱۲ص.

لسکویه، جی. ال.، ریو، ار.، باباخانی، ا.، علوی‌تهرانی، ن.، نوگل، م. ا.، دیون، جی.، عمیدی، م.، ۱۳۶۹- نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ چهار گوش اهر. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

مهرپرتو، م.، امینی‌فضل، آ.، رادفر، ج.، امامی، م.، ۱۳۷۱- نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورزقان. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

ولی‌زاده، م. و.، ۱۳۷۱- پترولوژی تجربی و تکنیک کلی، جلد ۲، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۸ص.

References

- Barbarin, B., 1999- A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos* 46, 605–626.
- Barker, R. G. , 1984- Field investigation, Wharekirauponga Gold Prospect, Coromandel Peninsula, unpublished company report, KRTA for Amoco Minerals.
- Ewart, A., 1979- A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-recent dacitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks, in Barker, F., ed., *Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks*: Amsterdam, Elsevier, p. 13–121.
- Gill, J. B., 1981- Orogenic andesites and plate tectonics, pp390, Springer-Verlag, Berlin.
- Manier, P. & piccolo, Ph., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. *Geological society of America*, V101. P635-643.
- Muller, D., Rock, N. M. S. & Groves, D. I., 1992- Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology* 46, 259–289.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet science letter* 12, 239-349.
- Pearce, J. A., Harris, W. N. & Tindle, G. A., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Geology*, 25, 956-983.