

## ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی گابروهای باختر آوج،

### شمال باختر ایران

نوشته: علی کنعانیان\*، ام‌البین مشهدی هاشمی\*، عباس آسیابانها\*\* و دکتر داریوش اسماعیلی\*

## Geochemistry and Tectonic Setting of Western Avaj Gabbros, Northwest of Iran

By: A. Kananian\*, O. Mashhadi-Hashemi\*, A. Asiabanha\*\* & Dr. D. Esmaeili\*

#### چکیده

توده‌های نفوذی باختر آوج واقع در زیر زون رزن با ترکیب عمده گابرویی، به صورت توده‌های کوچک و کشیده در داخل سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای درجه ضعیف مزوزوییک تزریق شده‌اند. بخشهای حاشیه‌ای توده‌ها تحت تأثیر دگرشکلی هم‌زمان با تزریق توده، حالت میلونیتی پیدا کرده‌اند. روند تزریق توده‌ها و سوگیری میلونیتها، تقریباً مشابه با روند دگرگونیهای میزبان، یعنی NW-SE است. در پی تزریق توده‌ها، هاله دگرگونی همبری با گسترش محدود در سنگهای میزبان به وجود آمده است. بررسیهای سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی حاکی از وجود ارتباط سنگ‌شناختی بین رخنمونهای متعدد گابرویی در منطقه است. نمودارهای ژئوشیمیایی و نمودارهای عنکبوتی نشانگر اهمیت بیش‌تر نقش تفریق بلوری در تحول توده‌های گابرویی باختر آوج نسبت به فرایندهای ذوب بخشی و آلودگی است. محیط زمین‌ساختی تشکیل گابروها بر اساس الگوی پراکندگی عناصر جزئی بر روی نمودارهای عنکبوتی، یک رژیم کششی بوده است. به نظر می‌رسد گابروهای مورد مطالعه احتمالاً در اثر ذوب بخشی گوشته‌ی سنگ کره‌ای غنی شده (EM) در ژرفای حدود ۵۰ تا ۶۰ کیلومتری تشکیل شده باشند.

**کلید واژه‌ها:** گابرو، میلونیت، تکتونیک کششی، ژئوشیمی، آوج.

#### Abstract

The western Avaj intrusive bodies, composed mainly of gabbroic rocks, have intruded into low grade regional metamorphic rocks of Razan Subzone and formed small and elongated plutons. The gabbroic rocks in the marginal part of intrusions deformed during emplacement and show mylonitic texture. The foliation in the marginal mylonitic gabbro is parallel to the foliation of host metamorphic rocks with NW-SE direction. A narrow low grade metamorphic aureole was formed around these intrusions. Petrologic relationships and the origin of the different intrusive outcrops are demonstrated by petrography and geochemical studies. Geochemical signatures on spider diagram indicate that the role of fractional crystallization on the magma evolution was more important than the contamination or partial melting. Trace element pattern on the spider diagrams suggests an extensional regime for tectonic setting of the gabbroic rocks. Seemingly, these rocks were possibly generated by partial melting of an enriched lithospheric mantle source (EM) in depth of about 50 to 60 kilometers.

**Key words:** gabbro, mylonite, extensional tectonic, geochemistry, Avaj.

#### مقدمه

روستاهاى ماهیان و اروان است که از جاده اصلی قزوین- همدان در نزدیکی شهرستان آوج به سمت باختر منشعب می‌شوند (تصویر ۱). توده‌های نفوذی مورد بررسی در نزدیکی روستاهای مشانه، گرمک، پروان و قوزلو رخنمون یافته‌اند. این توده‌ها در محدوده‌ای واقع شده‌اند که از لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی، بخشی از زیر زون رزن، و در مقیاس

شهرستان آوج در انتهای جنوب باختری استان قزوین قرار دارد. توده‌های نفوذی مورد مطالعه در باختر شهرستان آوج، بین عرضهای جغرافیایی ۳۲° ۳۵' تا ۳۸° ۳۵' شمالی و طولهای جغرافیایی ۴۹° ۱۲' تا ۴۹° ۰۰' خاوری قرار گرفته‌اند. وسعت تقریبی محدوده مورد مطالعه، ۲۰۰ کیلومتر مربع است. مناسب‌ترین مسیر برای راهیابی به منطقه، جاده‌های فرعی

تورق خود را از دست داده و هورنفلسی شده‌اند. بخش حاشیه‌ای توده‌های گابرویی، به علت انجماد سریع ماگما، بافتی پورفیری و ریزدانه نشان می‌دهد. حضور حاشیه انجماد سریع در اطراف گابروها نشانه عمق کم جایگزینی توده است و احتمالاً این مسئله به همراه کم آب بودن ماگما، که از ویژگی ماگماهای بازی به شمار می‌آید و با عدم تشکیل کانیهای آبدار مانند آمفیبول در آنها تطابق دارد، باعث گسترش محدود هاله دگرگونی در این منطقه شده است. رخنمونهای مختلف توده‌های مورد نظر در تمامی بخشهای منطقه از لحاظ بافتی و ترکیب کانی‌شناسی مشابه بوده و تنها تفاوت رخنمونها، مربوط به حضور بخش حاشیه انجماد سریع در اطراف گابروهاست. آنکلاوهایی از حاشیه انجماد سریع با ترکیب عمده دولریتی، حاشیه‌های گرد شده و اندازه‌های تقریبی ۱۰ - ۵ سانتی‌متر در گابروها مشاهده می‌شود که در حین انجماد توده از دیواره‌ها جدا و در محفظه ماگمایی سقوط کرده‌اند. همچنین در مناطق مختلف، دایک‌هایی از جنس دولریت با بافت معمول پورفیری و دولریتی در گابروها تزریق شده‌اند.

### ۳- سنگ‌نگاری

از بخشهای مختلف توده‌های نفوذی باختر آوج، مجموعاً ۸۸ مقطع میکروسکوپی از گابروها، حاشیه انجماد سریع، آنکلاوه‌های دانه ریز و زونهای میلونیتی موجود در گابروها مطالعه شده که نتایج این بررسیها در ذیل شرح داده می‌شود:

### ۳-۱- گابروها

سنگهای گابرویی در نمونه دستی ظاهری تیره رنگ (خاکستری) و دانه متوسط داشته و بلورهای سیاه رنگ پیروکسن و تیغه‌های سفید فلدسپار در آنها قابل تشخیص است. کانیهای اصلی مقاطع گابرویی شامل پلاژیوکلاز و کلینوپیکروکسن است. پلاژیوکلازها با فراوانی ۵۰ تا ۸۰ درصد، عمده‌ترین کانی گابروها هستند. بلورهای ریز تا درشت پلاژیوکلاز با دو قلوئی پلی‌سنتیک به صورت خودریخت تا نیمه خودریخت بوده و به ندرت زون‌بندی نشان می‌دهند (تصویر ۳).

عدم وجود زون‌بندی و یکنواخت شدن ترکیب پلاژیوکلازها در حین تبلور، مستلزم تعادل بلور با ماگما و جایگزینی Na به جای Ca و هم‌چنین Si به جای Al برای حفظ توازن بین کاتیونها است. به عبارت دیگر زون‌بندی، نشانگر آهسته‌تر بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت تبلور است (Shelly, 1993). بنابراین نادر بودن زون‌بندی در پلاژیوکلازهای مقاطع گابرویی، نشانگر توقف نسبتاً دراز مدت بلورها در مذاب و ایجاد تعادل بین ماگما و بلور پیش از جایگزینی توده است. بلورهای درشت پلاژیوکلاز گاه در اثر تحمل دگر شکلی ساب سولیدوس

وسیع‌تر بخشی از زون سنندج- سیرجان به شمار می‌آیند (Bolourchi, 1979). نفوذیهای مورد نظر، اساساً ترکیب بازی داشته و به صورت چند توده کوچک و کشیده در سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای درجه ضعیف زیر زون رزن شامل اسلیت و فیلیت تزریق شده‌اند. از آنجا که مطالعه چگونگی تشکیل این توده‌ها روشنگر بخشی از سرگذشت زمین‌شناسی منطقه است، لذا در این مقاله تلاش شده تا با استفاده از نتایج مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری ۸۸ مقطع میکروسکوپی و تحلیل نتایج تجزیه شیمیایی ۱۲ نمونه از این توده‌ها و دو نمونه از سنگهای آتشفشانی منطقه که به روش ICP در آزمایشگاه ژئوشیمی Als-chemex کانادا و آزمایشگاه XRF سازمان زمین‌شناسی کشور تجزیه شده‌اند، به بررسی ویژگیهای سنگ‌نگاری و ژئوشیمی سنگهای نفوذی، ارتباط توده‌ها با یکدیگر و بررسی منشأ آنها پردازیم.

### ۲- موقعیت زمین‌شناسی ناحیه آوج

ناحیه آوج از لحاظ تقسیم‌بندی جغرافیایی در انتهای جنوب باختری استان قزوین واقع شده و از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی، در حد فاصل زونهای ایران مرکزی (در بخش شمالی) و سنندج- سیرجان (در بخش جنوبی) قرار گرفته است. این ناحیه براساس تقسیم‌بندی بلورچی (Bolourchi, 1979) از زیر زونهای آبگرم (بخشی از ایران مرکزی) و رزن (بخشی از سنندج- سیرجان) تشکیل شده است و گسل آوج با روند شمال باختر- جنوب خاور جدا کننده این دو زیر زون از یکدیگر است. براساس مشاهدات صحرایی توده‌های نفوذی مورد مطالعه با ترکیب عمده گابرویی در جنوب گسل آوج، در سنگهای دگرگونی درجه ضعیف ناحیه‌ای مزوزوییک تزریق شده‌اند (تصویر ۲) و آثاری از آنها در سنگهای جوان‌تر دیده نمی‌شود. اما سرفراز (۱۳۷۴) با انتساب این توده‌ها به فعالیتهای پلوتونیسیم میوسن تزریق آنها را سنگهای ژوراسیک، ائوسن و الیگوسن گزارش کرده است. توده‌های کشیده گابرو، رخنمونهای کوچک و پراکنده‌ای را با روند شمال باختر- جنوب خاور (تصویر ۲) در امتداد برگوارگی دگرگونیهای میزبان خود تشکیل داده‌اند و بر اثر تحمل دگرشکلی پلاستیک دما بالا به موازات برگوارگی سنگهای میزبان، میلونیتی شده‌اند. حضور دگرشکلی میلونیتی در حاشیه توده‌های گابرویی بویژه در بخش خاوری رخنمون اصلی، احتمالاً نشانه دگرشکلی سنگها در حین جایگزینی توده نفوذی است. روند عمومی توده‌های نفوذی هماهنگ با امتداد کلی دگرگونیهای زون سنندج- سیرجان است. در همبری گابروها با دگرگونیهای اطراف، سنگهای میزبان توده از محل همبری تا فواصل ۱ تا ۲ متری به مقدار کم دستخوش دگرگونی همبری شده‌اند و در اثر تبلور دوباره، کم و بیش

می‌دهند و از کانیه‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در یک زمینه دانه ریز تشکیل شده‌اند.

زمینه دانه ریز به طور عمده شامل بلورهای خودریخت تا نیمه خودریخت و دانه ریز پلاژیوکلاز با فراوانی ۵۰ تا ۸۰ درصد است. بلورهای پلاژیوکلاز، دوقلویی پلی‌سنتتیک و گاه زون‌بندی دارند. حضور زون‌بندی در این بلورها، نشانگر سرعت زیاد تبلور در گابروها و عدم برقراری تعادل بین بخش‌های مختلف هر یک از بلورها است. در این بخش، علاوه بر بلورهای پلاژیوکلاز، بلورهای دانه ریز نیمه خودریخت کلینوپیروکسن که عمدتاً از نوع اوژیت می‌باشند، مشاهده می‌شود.

درشت بلورها نیز شامل بلورهای درشت تا متوسط، خودریخت تا نیمه خودریخت پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن هستند. در این مقاطع بلورهای درشت پیروکسن با احاطه کردن کامل و یا ناقص بلورهای دانه ریز پلاژیوکلاز باعث ایجاد بافت افیتیک و ساب‌افیتیک شده‌اند (تصویر ۶). پلاژیوکلازها و پیروکسها در این نمونه‌ها، شبیه گابروها تا حدی دگرسان شده‌اند و دیگر کانیه‌های فرعی تشکیل دهنده بخش‌های انجماد سریع، مشابه با گابروها است.

### ۳-۳- آنکلاوها

آنکلاوهای چند سانتی‌متری و پراکنده موجود در گابروها، عمدتاً دانه ریز و از جنس حاشیه انجماد سریع اطراف توده‌های گابرویی می‌باشند. این سنگها دارای زمینه بسیار دانه ریز متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و کانیه‌های بسیار دانه ریز پیروکسن هستند. در زمینه دانه ریز، بلورهای درشت و خودریخت پلاژیوکلاز حضور دارند (تصویر ۷).

بافت بیشتر آنکلاوها، پورفیری است و چنانچه در بخش‌های پیشین ذکر گردید، این سنگها ترکیب دولریتی دارند. این آنکلاوها در واقع قطعاتی از حاشیه انجماد سریع گابروها هستند که از دیواره محفظه‌ای ماگمایی در آن سقوط کرده‌اند. دیواره بیرونی آنکلاوها گرد شده است که این امر حکایت از هضم شدن حاشیه این قطعات در هنگام سقوط در ماگما دارد.

### ۳-۴- میلیونتها

گابروهای بخش خاوری توده در اثر تحمل دگرگونی دینامیکی ناشی از عملکرد زونهای برشی متحمل دگرشکلی شده‌اند و بافت میلیونیتی نشان می‌دهند. گابروهای میلیونیتی در نمونه دستی جهت یافتگی مشخص دارند و برگراری آنها کم و بیش موازی با برگراری دگرگونیهای اطراف است. گابروها به دنبال تحمل دگرگونی دینامیکی، فابریکهای نوع S-C پیدا کرده‌اند، ولی تغییر کانیه‌شناسی قابل توجهی نشان نمی‌دهند. در گابروهای دگر شکل شده، به تبعیت از شدت دگرشکلی، انواع بافت‌های

شکسته شده‌اند و ترکها توسط بلورهای دگر شکل نشده آذرین، احاطه شده‌اند (بافت پروتوکلاستیک). سطح پلاژیوکلازها تا حدی دگرسانی نشان می‌دهد. در بعضی موارد دگرسانی در مرکز بلورها بیش‌تر از حاشیه است که این امر می‌تواند نشانه کلسیک‌تر بودن مرکز بلورها و وجود زون بندی عادی در پلاژیوکلازها باشد. کانیه‌های حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها شامل سریسیت، کلسیت، کلریت و اپیدوت است. کلینوپیروکسها با فراوانی ۲۰ تا ۵۰ درصد، پس از پلاژیوکلازها عمده‌ترین کانی تشکیل دهنده گابروها به‌شمار می‌آیند. کانیه‌های کلینوپیروکسن با بلورهای خودریخت تا نیمه خودریخت و خاموشی مایل، بطور عمده از نوع اوژیت هستند. سطح و حاشیه پیروکسها تا حدی دگرسانی نشان می‌دهد. کانیه‌های حاصل از دگرسانی پیروکسها شامل ترمولیت- اکتینولیت (اورالیتی شدن)، کلریت، اپیدوت و بیوتیت است. کانیه‌های فرعی گابروها شامل کانیه‌های آپاتیت، اسفن، مگنتیت، کمی ایلمنیت و هماتیت هستند. بافت‌های غالب موجود در مقاطع، بافت‌های اینترگرانولار، افیتیک و زیر افیتیک هستند که دلالت بر کم عمق بودن توده‌های نفوذی و حجم کم ماگمای سازنده گابروها دارند.

بافت‌های افیتیک (قرارگیری تیغه‌های پلاژیوکلاز در پیروکسها) در سنگهای آذرین، می‌تواند نشانگر تقدم تبلور تیغه‌های پلاژیوکلاز نسبت به پیروکسها باشد. هر چند گاهی این تفسیر درست است، اما ممکن است بافت افیتیک در حین تبلور همزمان دو کانی و صرفاً بر اثر اختلاف در سرعت هسته‌بندی و رشد دو کانی ایجاد شود (McBirney & Noyes, 1979) به این صورت که اگر سرعت رشد پیروکسها سریع‌تر از رشد پلاژیوکلازها و در عوض سرعت هسته‌بندی پلاژیوکلازها بیش از پیروکسها باشد، بلورهای درشت پیروکسن تیغه‌های پلاژیوکلاز را احاطه خواهند کرد. یک دلیل برای تأیید این تفسیر، افزایش اندازه فلدسپارها از مرکز بافت به سمت بیرون است (Shelly, 1993). بخش‌های مختلف توده‌های گابرویی از لحاظ ویژگیهای بافتی، کانی‌شناختی و سنگ‌شناختی تنوع چندانی ندارند و تنها تفاوت بافتی مربوط به حضور بخش‌های حاشیه انجماد سریع در اطراف گابروهاست.

### ۳-۲- گابروهای حاشیه انجماد سریع

حاشیه انجماد سریع با ضخامت چندین متر در محل همبری گابروها با سنگ میزبان دیده می‌شود. حضور بخش انجماد سریع، نشانه عمق کم جایگزینی توده‌ها و نیز سرد شدن سریع گابروها در همبری با سنگهای درونگیر است. بخش‌های حاشیه انجماد سریع، از گابروها به سمت سنگهای میزبان بافت‌های پورفیری (تصویر ۴) و اینترگرانولار (تصویر ۵) نشان

و کاهش تبلور آن با تحول ترکیب ماگما هماهنگ است. دامنه تغییرات آهن کل ( $FeO^*$ ) بین ۹ تا ۱۳ درصد وزنی است که با افزایش  $SiO_2$ ، روند صعودی نشان می‌دهد، این روند با تبلور اولیه کلینوپیروکسینها منطبق است.

محدوده تغییرات  $TiO_2$  که بین ۱ تا ۵ درصد وزنی متغیر است، با افزایش  $SiO_2$  روندی صعودی نشان می‌دهد. عنصر  $Ti$  دارای شعاع یونی مشابه  $Fe$  بوده و می‌تواند در کانیهای مافیک جانشین این عنصر شود،  $Ti$  به دلیل جانشینی به جای  $Fe$  روندی مشابه آن نشان می‌دهد.

$CaO$  با دامنه تغییر بین ۷ تا ۱۱ درصد وزنی با افزایش  $SiO_2$ ، کاهش می‌یابد که این روند منطبق بر تبلور پلاژیوکلاز و پیروکسینهای کلسیک از ماگما و ورود این عنصر به شبکه تبلور پلاژیوکلاز است.

$K_2O$  و  $Na_2O$  به ترتیب دارای دامنه تغییر بین ۰/۱ تا ۱/۵ و ۰/۵ تا ۴/۵ هستند که با افزایش  $SiO_2$  روند صعودی یا نزولی مشخصی نشان نداده و حالتی پراکنده دارند، این مسئله می‌تواند ناشی از فرایند ثانویه دگرسانی باشد.

دامنه تغییر  $P_2O_5$  سنگهای گابرویی بین ۰/۱ تا ۳/۵ بوده و با افزایش  $SiO_2$  روند افزایشی نشان می‌دهد که این مسئله می‌تواند ناشی از ناسازگار بودن سفر در مراحل اولیه تفریق ماگمای بازی و تبلور آپاتیت در مراحل تاخیری تر تفریق بلورین باشد.

با توجه به روندهای مشاهده شده در نمودارهای اکسید-اکسید تغییرات تدریجی ترکیب شیمیایی در نمونه‌های مورد بررسی می‌توان به وجود خویشاوندی و انجام تفریق بلورین در ماگمای تشکیل دهنده توده‌های گابرویی باختر آوج پی برد.

برای بررسی نقش ذوب بخشی یا تفریق بلورین در تشکیل سنگهای گابرویی، از الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب (REE) بر روی نمودارهای عنکبوتی استفاده شده است. هنگامی که ذوب بخشی صورت می‌گیرد، حجمهای کوچک مذاب تولید شده بطور پیوسته از مواد فرار و عناصر سبک و ناسازگار غنی می‌شود. با بررسی الگوی عناصر کمیاب خاکی مربوط به درصدهای مختلف ذوب بخشی و درجات متفاوت تفریق بلورین که نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند (Nelson, 2004) ملاحظه می‌شود که در مراحل اولیه ذوب بخشی عناصر کمیاب سبک با فراوانی بالا وارد مذاب می‌شوند، در حالی که عناصر سنگین تر فراوانی کمتری نشان می‌دهند (تصویر ۱۲)، به گونه‌ای که میزان عناصر  $Lu$  و  $Yb$  با درصدهای مختلف ذوب بخشی تقریباً ثابت می‌ماند، اما در تفریق بلوری، با افزوده شدن بر میزان تفریق بلوری، فراوانی همه عناصر کمیاب به طور مشابه افزایش می‌یابد و الگوی فراوانی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های مرتبط با فرایند تفریق، کم و بیش موازی می‌ماند. در مقایسه، بین الگوی

پروتومیلونیتی و میلونیتی (Passhier, 1996) دارای پورفیروکلاستهای پلاژیوکلاز توسعه یافته است (تصاویر ۸ و ۹).

در زمینه میلونیتها به علت چرخش سیالهای گرمایی، رگچه‌هایی از جنس اکسید آهن دیده می‌شود که برگوارگی را قطع نکرده‌اند و این مسئله می‌تواند نشانگر نفوذ سیالهای در امتداد برگوارگی گابروها باشد. عدم ایجاد تبلور دوباره در اطراف بلورهای پلاژیوکلاز نشان می‌دهد که دمای دگرشکلی، کمتر از ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است (Fitz Gerald & Stunitz, 1993). بنا بر این، بر اساس شواهد ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که دگرشکلی گابروهای میلونیتی در شرایط شکل‌پذیر صورت گرفته است.

#### ۴- ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی سنگهای گابرویی

در این بخش با استناد به نتایج تجزیه عناصر اصلی و جزئی موجود در ۱۴ نمونه از گابروها و سنگهای آتشفشانی که به روش ICP در آزمایشگاه ژئوشیمی Als-chemex کانادا و آزمایشگاه XRF سازمان زمین‌شناسی کشور تجزیه شده‌اند (جدول-۱)، به بررسی ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای آذرین منطقه می‌پردازیم. در ابتدا به منظور رده‌بندی و نام‌گذاری ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه، ترکیب آنها بر روی نمودار  $SiO_2$  در برابر مجموع قلیایها (Cox et al., 1979) پیاده شده است (تصویر ۱۰). چنانچه در تصویر ۱۰ ملاحظه می‌شود، همه نمونه‌های نفوذی با داشتن  $SiO_2$  بین ۴۵-۵۰ درصد در قلمرو گابروها قرار می‌گیرند و این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات سنگ نگاری مطابقت دارد. هم چنین در این نمودار، مطابق خط جدا کننده قلمروی قلیایی و نیمه قلیایی که توسط Wilson (1989) تکمیل شده است، تقریباً همه نمونه‌ها در محدوده قلیایی قرار می‌گیرند و مقدار  $Na_2O+K_2O$  بالایی را نشان می‌دهند.

فراوانی عناصر اصلی نمونه‌های گابرویی در تصویر ۱۱ بر روی نمودارهای تغییرات اکسید-اکسید در برابر تغییرات  $SiO_2$  رسم شده است. چنانچه در این تصویر دیده می‌شود، میزان  $Al_2O_3$  در نمونه‌های گابرویی باختر آوج به طور تقریبی بین ۱۴ تا ۱۷ درصد وزنی متغیر است و با افزایش  $SiO_2$ ، مقدار  $Al_2O_3$  نمونه‌ها، کمی افزایش می‌یابد. دلیل این روند تبلور و تفریق محدود کانیهای مافیک مانند پیروکسن در مراحل اولیه تفریق ماگمایی می‌باشد که باعث افزایش  $Al_2O_3$  به همراه افزایش  $SiO_2$  در ماگمای باقیمانده می‌شود. افزایش  $Al_2O_3$  ماگما منجر به تبلور و تفریق پلاژیوکلازها می‌شود.

میزان  $MgO$  در نمونه‌ها بین ۴ تا ۹ درصد وزنی متغیر است و فراوانی آنها با افزایش  $SiO_2$  کاهش می‌یابد. این روند نیز با تبلور کانی پیروکسن به عنوان مهم‌ترین کانی مصرف کننده  $MgO$  در مراحل اولیه تبلور گابروها

در نمودار عنکبوتی تصویر ۱۴ الگوی تغییرات فراوانی عناصر جزئی مربوط به توده‌های نفوذی باختر آوج با الگوی عناصر جزئی مربوط به سنگهای آتشفشانی سنوزوییک مربوط به کافت ناحیه Rohn در مرکز آلمان (Jung & Hoernes, 2000) مقایسه شده است.

همان‌گونه که در این تصویر ملاحظه می‌شود الگوی تغییرات فراوانی عناصر جزئی سنگهای منطقه، شباهتهای فراوانی را با منطقه ذکر شده در آلمان نشان می‌دهد که این شباهتها شامل غنی‌شدگی Ba، Zr، La، Nb و Ta حدی Ti است.

این مدل به نظر (Jung & Hoernes, 2000) شباهت بسیاری با بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) و سنگهای ولکانیک قلیایی در موقعیتهای قاره‌ای نشان می‌دهد. شباهتهای موجود در الگوی نمودارهای عنکبوتی سنگهای دو منطقه، می‌تواند بیانگر محیط زمین‌ساختی تقریباً مشابه حاکم بر تشکیل آنها باشد. نکته دیگری که می‌تواند تأیید‌کننده تشکیل سنگهای منطقه در یک موقعیت کششی باشد، فراوانی میزان  $TiO_2$  در سنگهای گابرویی است که میانگینی در حدود ۲٫۴ درصد وزنی نشان می‌دهند.  $TiO_2$  بیش‌تر از ۲ درصد یکی از ویژگیهای سامانه‌های کافت قاره‌ای به شمار می‌آید.

برای ارزیابی دقیق‌تر محیط زمین‌ساختی تشکیل گابروهای آوج، مقایسه‌ای دیگر بین الگوی پراکندگی عناصر جزئی این سنگها با طرحهای بازالت‌های قلیایی (CVZ) (Central volcanic zone) منطقه فرورانشی آند که در خاور CVZ در یک رژیم زمین‌ساختی کششی فوران کرده‌اند صورت گرفته است (تصویر ۱۵). بر اساس این تصویر، سنگهای مورد مطالعه از لحاظ فراوانی عناصر ناسازگار Y و Yb و همچنین از لحاظ نبود بی‌هنجاری منفی Nb با سنگهای مورد مقایسه شبیه بوده و این شباهتها، نظریه تشکیل سنگهای گابرویی را در موقعیت کششی تأیید می‌کند.

چنانچه اشاره شد، پژوهشگران پیشین بر اساس مطالعات صحرایی تزریق توده‌های نفوذی آوج را به ماگماتیسم ترشیری نسبت داده‌اند (Bolourchi, 1979) و سرفراز، (۱۳۷۴). به‌همین دلیل، ضروری است ضمن مرور علل وقوع ماگماتیسم ترشیری ایران، به مقایسه ویژگیهای گابروها با اختصاصات بارز ماگماتیسم ترشیری در ایران بپردازیم. در خصوص ماگماتیسم ترشیری در ایران، تاکنون مدل‌های مختلفی از سوی محققان ارائه شده است. عده‌ای از محققان (به عنوان مثال؛ Karig, 1971; Takin, 1972; Nowroozi, 1971; Moine-Vaziri, 1985; Jung and et al., 1975) معین‌وزیری، (۱۳۸۳) منشأ ماگماتیسم زون ارومیه-دختر ایران را ناشی از فرورانش نئوتیس و برخورد دو بلوک ایران و عربستان می‌دانند در

فراوانی عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه با نمودارهای پایه‌ای که (Nelson, 2004) ارائه کرده است، می‌توان مشاهده نمود که الگوی فراوانی عناصر در سنگهای گابرویی منطقه باختر آوج، شباهت بسیاری به الگوی مربوط به تفریق بلورین نشان می‌دهند.

عامل ژئوشیمیایی دیگر مورد مطالعه، درجه اشباع‌شدگی از آلومینیم است. درجه اشباع مذاب از Al، به‌خصوص در تعیین منشأ ماگمایی سنگهای آذرین درونی، به‌عنوان یک عامل مهم پذیرفته شده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عقیده چاپل و وایت (Chappel & white, 1974) درجه اشباع از آلومینیم در سنگها نشانه ماهیت موادی است که از آن منشأ گرفته‌اند. اساس تعیین این عامل، مقادیر ملکولی  $Al_2O_3$ ،  $Na_2O$ ،  $K_2O$  و CaO است. برای تعیین این عامل، از نمودار تغییرات نسبت ملکولی  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$  در برابر  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  (Maniar & Piccol, 1989) که دو محدوده اصلی پر آلومین و متا آلومین را از هم مجزا کرده است، استفاده شده است. براساس تصویر ۱۳ کلیه نمونه‌ها در وضعیت متا آلومین قرار دارند.

وضعیت متا آلومین سنگهای آذرین نشانه منشأ گرفتن سنگهای نفوذی از گوشته است (Middlemost, 1985). هم‌چنین قرارگیری تمام نمونه‌ها در وضعیت متا آلومین مسئله آلودگی ماگمای سنگهای نفوذی گابرویی با پوسته قاره‌ای میزان را تقریباً منتفی می‌سازد.

برای تشخیص محیط زمین‌ساختی ماگمایی تشکیل گابروها به بررسی فراوانی عناصر جزئی نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده با کندریت و گوشته اولیه می‌پردازیم. در این نمودارها وجود یا نبود بی‌هنجاری مثبت و یا منفی عناصر ناسازگار راهنمایی برای تشخیص محیط زمین‌ساختی سنگهای آذرین است. سنگهای مناطق مختلف زمین‌ساختی از لحاظ فراوانی عناصر جزئی دارای الگوهای خاص هستند، مثلاً نمودارهای مربوط به بازشدگی مثل مورب نمودارهای یکنواخت (Smoth trend) یعنی بدون برجستگی و فرورفتگی و نمودارهای عنکبوتی مربوط به سنگهای آذرین مناطق فرورانش دارای برجستگی و فرورفتگی (Spikey trend) می‌باشد (Wilson, 1989 ; Kampunzu et al., 2003). در مناطق فرورانش، مشخص‌ترین ویژگی ژئوشیمیایی سنگها، مربوط به تهی‌شدگی یا بی‌هنجاری منفی Nb، Ta، Hf، Ti است، که می‌تواند با نقش آب در تشکیل ماگما و باقی ماندن این عناصر در سنگ منشأ آنها در ارتباط باشد. اما، وجه مشخصه مناطق کافتی یا کششی، غنی‌شدگی یا بی‌هنجاری مثبت Ti و Nb است (Esawi, 2004) و (Ballever et al., 2001).

(Macdonald et al., 2000) را نشان می‌دهند. این در حالی است که گابروها از لحاظ ژئوشیمیایی، مشخصات مناطق کشتی را دارند. بنابراین می‌توان اذعان کرد که الگوی فراوانی عناصر جزئی سنگهای آتشفشانی ترشیری، نظریه فرورانش نئوتیس به زیر ایران مرکزی را تأیید می‌کند و آشکارا دلالت بر تفاوت ژنتیکی گابروها با بازالتها دارد.

علاوه بر این، مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که توده‌های گابرویی مورد بررسی به صورت توده‌های کشیده با روندی موازی با امتداد برگواری دگرگونیهای میزبان، صرفاً در دگرگونیهای تزریق شده‌اند، سنگهای گابرویی در بخشهای حاشیه‌ای توده‌های گابرویی، میلیونیته شده‌اند و برگواری این میلیونتها نیز کم و بیش به موازات روند برگواری دگرگونیها یعنی NW-SE قرار دارد. لذا با شواهد موجود می‌توان این احتمال را نیز در نظر گرفت که ممکن است توده‌های گابرویی مورد بررسی، قدیمی‌تر از سنگهای آتشفشانی باختر آوج باشند و این گابروها هم‌زمان با فاز دگرگونی ناحیه‌ای درجه ضعیف مزوزوییک در سنگهای دگرگونی میزبان تزریق شده باشند. به هر حال، رد یا اثبات این فرضیه نیاز به داده‌های سن سنجی ایزوتوپی دارد. با این وجود، در صورت پذیرش انتساب این توده‌ها به ماگماتیسیم ترشیری و پذیرش هم‌زمانی نفوذ آنها با تشکیل دیگر سنگهای آتشفشانی و نفوذی منطقه، باید گفت که گابروهای مورد مطالعه، احتمالاً در مناطق کشتی موضعی ناشی از حرکات گسلی در بالای یک محیط فشاری فرورانشی به وجود آمده‌اند.

#### ۵- خاستگاه گابروها

از دیگر ویژگیهای ژئوشیمیایی که در این مطالعه به آنها توجه شده، ناحیه منشاء ماگماهای مورد بحث می‌باشد. در این خصوص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) به‌طور کلی ماگماهای اولیه‌ای که در تعادل با کانی‌شناسی شاخص گوشته بالایی او (اولیوین + ارتوپروکسن + گارنت + اسپینل) قرار دارند، باید دارای مقادیر  $Mg\# = MgO/(MgO+FeO)$  یا عدد منیزیم بالا ( $Mg\# = 0.7$ )، Ni، بالا ( $500-1400$  ppm)، Cr، زیاد ( $> 1000$  ppm) و مقدار  $SiO_2$  کمتر از ۵۰٪ باشند. با این حال، اگر ماگمای بازی به جای مشتق شدن از یک گوشته عادی از مناطق منشاء متاسوماتیزه مشتق شده باشند، این معیارها دیگر کاربرد نخواهند داشت (Wilson, 1989). هم‌چنین به‌تناسب افزایش تحولات ماگمایی از میزان عدد Mg آنها کاسته می‌شود. ماگمای سازنده نمونه‌های تجزیه شده، که از بخشهای مختلف توده‌های گابرویی برداشت شده‌اند، با داشتن مقدار عدد Mg بین ۰/۴ تا ۰/۶۵، میزان میانگین کروم ۱۷ppm و مقدار میانگین نیکل ۵۹ppm، جزو ماگماهای اولیه در تعادل با گوشته بالایی قرار نمی‌گیرند و لذا با پس

حالی که (Lescuyer and et, Amidi, (1975), Sabzehei, (1974), al., (1979) و امامی (Emami, 1981) معتقدند که ماگماتیسیم ایران در ترشیری (به‌خصوص ائوسن) به علت وجود تیغه‌های گرمایی در زیر بلوک ایران انجام گرفته و پدیده‌ای شبیه به آنچه که اکنون در خاور آفریقا جریان دارد عامل شکل‌گیری سنگهای آذرین این بخش از کشور بوده است. به عبارت دیگر، براساس نظریه این محققان، در ترشیری، یک مجموعه کافت درون قاره‌ای در حال تشکیل بوده اما به علت فازهای فشاری پیرنن و استیرین، پیش از تشکیل اقیانوس، بسته شده است (نقل از معین وزیری، ۱۳۷۵).

بنا به نظر بلورچی (Bolourchi, (1979) پس از آتشفشانی ائوسن، در الیگومیوسن نیز فعالیت آتشفشانی در منطقه آوج صورت گرفته است لذا سنگهای آتشفشانی مورد مقایسه متعلق به فاز آتشفشانی الیگومیوسن هستند. وی بر این باور است که نفوذ توده‌های کوچک نیمه آتشفشانی با ترکیب گابرویی، در میان اسلیتهای تریاس بالایی و در بعضی موارد سازند قم، می‌تواند مبین فعالیتهای آذرین درونی در زمان الیگومیوسن باشد که تزریق آنها توسط شکستگیها و یا دیگر ساختارهای زمین‌شناسی (مانند برگواری یا شکستگیهای مناطق خمیده چینها) کنترل شده است. هم‌چنین به‌نظر سرفراز (۱۳۷۴)، توده‌های نفوذی آوج، سنگهای آتشفشانی و رسوبی الیگومیوسن را قطع کرده‌اند و بنابراین به پلوتونیسیم میوسن تعلق دارند.

لازم به ذکر است که گابروهای باختر آوج، صرفنظر از آن که واقعاً در چه زمانی در دگرگونیهای مزوزوییک منطقه تزریق شده باشند، از لحاظ ژئوشیمیایی با سنگهای آتشفشانی ترشیری آوج تفاوتی قابل توجهی را نشان می‌دهند. چنانچه در تصویر ۱۴ دیده می‌شود، نتایج تجزیه شیمیایی دو نمونه از سنگهای آتشفشانی باختر آوج که شامل آندزیت بازالتی و تراکیت است برای مقایسه با گابروها به نمایش در آمده است. این سنگها که از نظر سنی متعلق به آتشفشانی ترشیری منطقه (یک نمونه متعلق به ماگماتیسیم ائوسن و دیگری با توجه به موقعیت چین‌شناسی آن که بر روی آهکهای سازند قم قرار دارد، متعلق به ماگماتیسیم میوسن) می‌باشند، به‌رغم فاصله مکانی کمی که با رخنمونهای گابرویی مورد مطالعه دارند، در مقایسه با گابروها از لحاظ فراوانی عناصر ناسازگار با شدت میدان بالا (HFS) به مراتب فقیرتر از گابروها و از نظر فراوانی عناصر با شدت میدان پایین (LFS) به‌طور چشمگیر غنی‌تر از گابروها هستند. بنابراین، سنگهای آتشفشانی آوج از نظر فراوانی عناصر جزئی و الگوی پراکندگی این عناصر بر روی نمودارهای عنکبوتی، با گابروها تفاوت داشته و با توجه به ویژگیهای ژئوشیمیایی، به‌خصوص داشتن بی‌هنجاری منفی Nb, Ti, P، ویژگیهای شاخص سنگهای آتشفشانی مناطق فرورانش

برگوارگی گابروهای میلونیتی، تقریباً موازی با روند برگوارگی اسلیتهای میزبان توده‌ها است.

۴- بر اساس نمودارهای ژئوشیمیایی مورد استفاده، ترکیب سنگ‌شناسی همه نمونه‌ها در محدوده گابروهای قلیایی قرار می‌گیرند و از بررسی نمودارهای اکسید-اکسید هارکر، در کنار بررسی رفتار عناصر کمیاب می‌توان به وجود رابطه تفریقی بین نمونه‌های مختلف پی برد. نمونه‌های مورد نظر از لحاظ درجه اشباع بودن از آلومین، همگی در محدوده متاآلومین قرار می‌گیرند که این مسئله به همراه عدم وجود دیگر نشانه‌های آلودگی (وجود آنکلاو با منشاء خارجی، اجتماع بلورهای نامتعادل، وجود بافتهای نامتعادل در بلورها، بافت غربالی، وجود کانیه‌های دگرگونی در سنگهای آذرین و...) احتمالاً مبین عدم وجود آلودگی در توده‌های نفوذی باختر آوج بوده است.

۵- با استفاده از مقایسه نمودارهای عنکبوتی حاصل از سنگهای گابرویی با نمودارهای عنکبوتی شاخص ذوب بخشی و تفریق بلورین، این نتیجه حاصل می‌شود که از بین دو عامل تفریق و ذوب بخشی، تحول توده‌های نفوذی باختر آوج و ماهیت ژئوشیمیایی این نمونه‌ها بیشتر مربوط به تفریق بلورین است.

۶- بررسی نمودارهای عنکبوتی منطقه و مقایسه این نمودارها با نمودارهای مناطق شناخته شده زمین‌ساختی، غنی شدگی Nb, Ta, Zr و تا حدی Ti، میزان میانگین  $TiO_2$  بالای ۲ درصد نشان می‌دهد که ماگمای مولد گابروهای مورد بررسی، احتمالاً در یک رژیم زمین‌ساخت کشتی به وجود آمده است و از این لحاظ با ماگمای سازنده سنگهای آتشفشانی ترشیری هم‌جوار خود که بی‌هنجاریهای منفی Nb, Ti, P نشان می‌دهند، کاملاً متفاوت هستند.

۷- ماگمای مولد توده‌های گابرویی باختر آوج با توجه به مطالعات انجام شده، احتمالاً از ذوب بخشی گوشته سنگ کره‌ای غنی شده (EM) در ژرفای حدود ۵۰-۶۰ کیلومتری منشاء گرفته است.

۸- مشابهت ویژگیهای میکروسکوپی و ژئوشیمیایی در همه نمونه‌های توده‌های مختلف نفوذی باختر آوج بیانگر محیط، شرایط و منشاء تشکیل یکسان و به طور کلی وابستگی زایشی توده‌ها با یکدیگر است.

### قدردانی

این پژوهش حاصل طرح تحقیقاتی "پروژن و نحوه جایگزینی توده‌های گابرویی باختر آوج" به شماره پرونده "۶۱۰۵۰/ک/۱۲۵" است که با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است. لذا بدینوسیله از همکاری ارزنده آن معاونت قدردانی می‌گردد.

از منشاء گیری از گوشته عادی متحمل تحولات ماگمایی شده‌اند و یا این که ماگماهایی هستند که از گوشته متاسوماتیزه مشتق شده‌اند. این نکته با بررسی نمودار تغییرات La/Nb در برابر Zr/Nb (Weaver, 1991) که برای تعیین منشاء ماگماها به کار می‌رود، مورد تأیید قرار می‌گیرد. همان طور که در تصویر ۱۷ دیده می‌شود، کم بودن محتوی Nb نمونه‌ها باعث شده که تقریباً تمامی نمونه‌ها در محدوده EM یعنی گوشته غنی شده قرار گیرند.

ب) فراوانی FeO کل در سنگهای بازی می‌تواند دلالت بر عمق تولید مذاب سازنده آنها داشته باشد. چنانچه در تصویر ۱۸ دیده می‌شود، میزان FeO نمونه‌ها در مقادیر  $Mg \# = 0.16$  برابر ۹-۱۰ درصد است که این مقدار بر اساس نتایج مطالعات تجربی Hirose & Kushiro (1993) با ذوب شدگی در ژرفا حدود ۵۰-۶۰ کیلومتری مطابقت دارد. لازم به ذکر است که ضخامت پوسته از ۳ کیلومتر در بعضی از نواحی اقیانوسی تا حدود ۸۰ کیلومتر در برخی نواحی قاره‌ای در تغییر است و ضخامت سنگ کره بین ۵۰ تا ۲۰۰-۱۵۰ کیلومتر متغیر است.

ج) چنانچه در بحث پیش اشاره شد، ماگماهای سنگهای گابرویی با قرار گرفتن در وضعیت متاآلومینوس منشاء گوشته‌ای را نشان می‌دهند (Middlemost, 1985).

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که ماگمای سازنده توده‌های نفوذی باختر آوج، احتمالاً از ذوب بخشی یک منشاء گوشته سنگ کره‌ای غنی شده (EM) در ژرفای حدود ۵۰-۶۰ کیلومتری تشکیل شده‌اند.

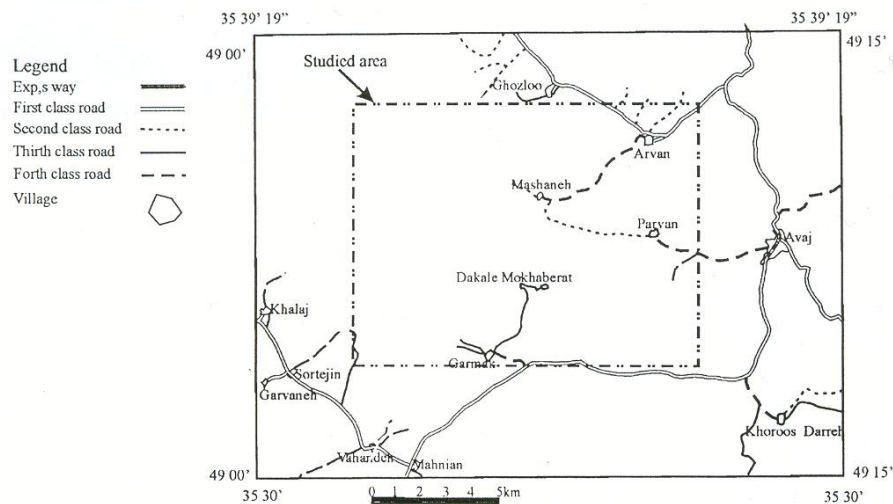
### ۶- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه روابط صحرائی، سنگ‌نگاری و ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای گابرویی باختر آوج، به شرح زیر است:

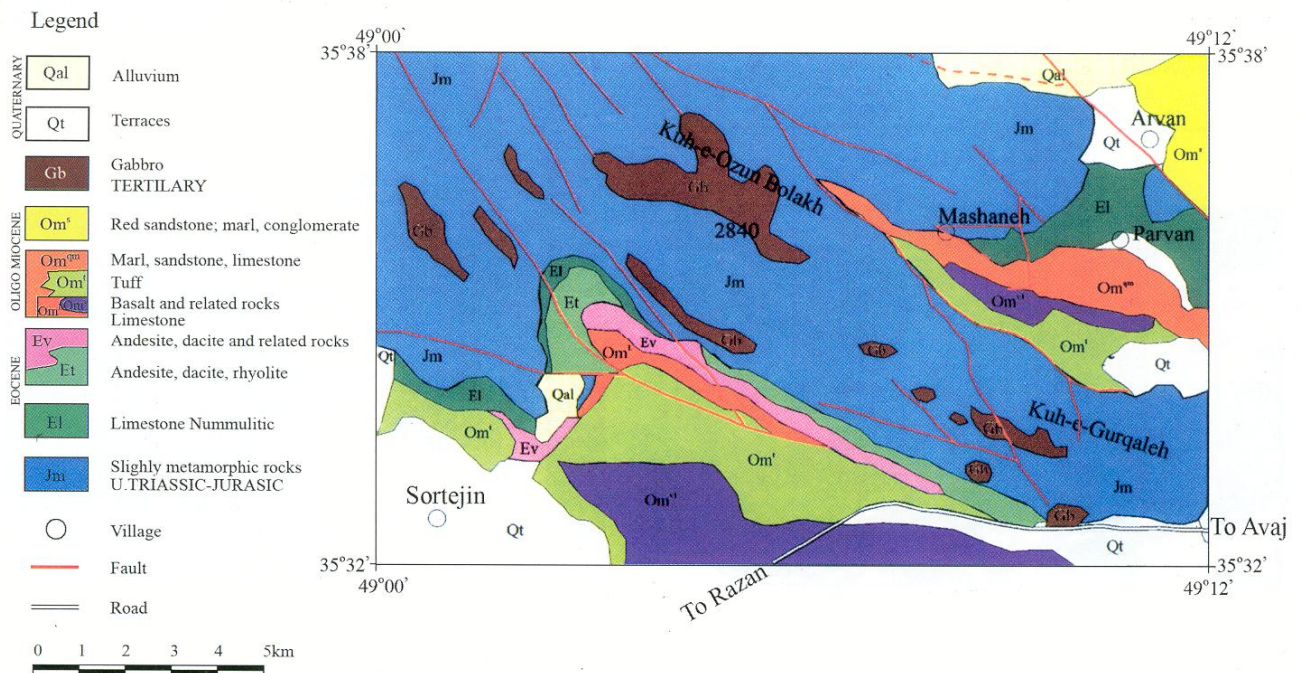
۱- بررسیهای صحرائی نشان می‌دهند که توده‌های نفوذی گابرویی در سنگهای دگرگونی درجه ضعیف تا خیلی ضعیف ناحیه‌ای مزوزوییک با روندی مطابق روند برگوارگی دگرگونیها، یعنی NW-SE تزریق شده‌اند.

۲- هاله دگرگونی با گسترش محدود و درجه خیلی ضعیف در حاشیه بلافضل توده‌های نفوذی قابل مشاهده است.

۳- تشکیل ناحیه انجماد سریع در اطراف گابروها، نشانه عمق کم جایگزینی توده‌ها و سریع سرد شدن ماگما در محل تماس با سنگهای میزبان است که احتمالاً این مسئله خود باعث گسترش محدود هاله دگرگونی بوده است. بخشهای حاشیه‌ای توده در اثر تحمل دگرگونی دینامیکی ناشی از عملکرد زونهای برشی میلونیتی شده‌اند که روند

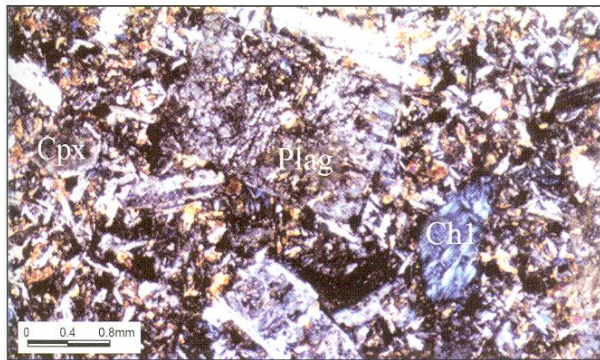


تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به منطقه مورد مطالعه.

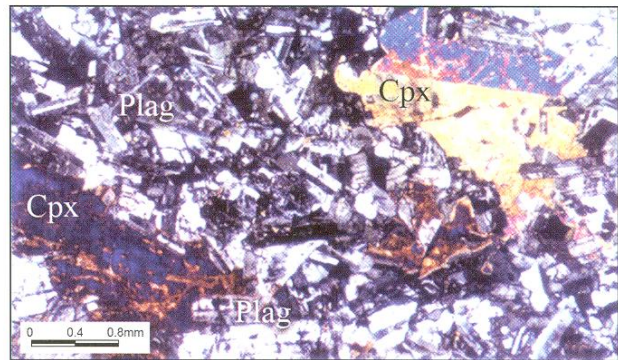


تصویر ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بخشی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش کبودرآهنگ است (Bolourchi, 1979)

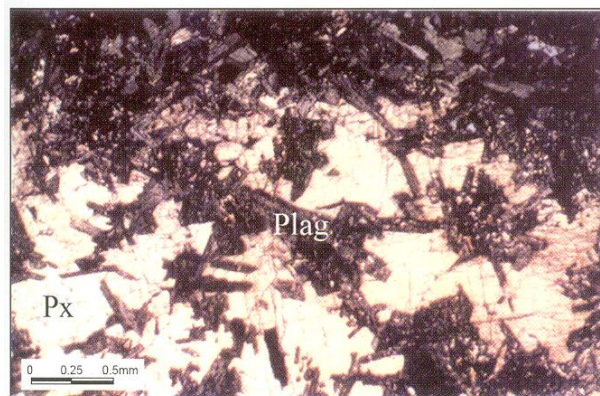




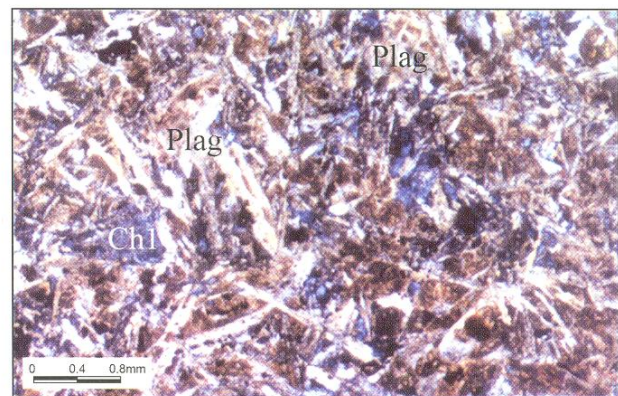
تصویر ۴- تصویر میکروسکوپی از گابروهای حاشیه انجماد سریع با بافت پورفیری (نورپلاریزه، بزرگنمایی ۲۵).



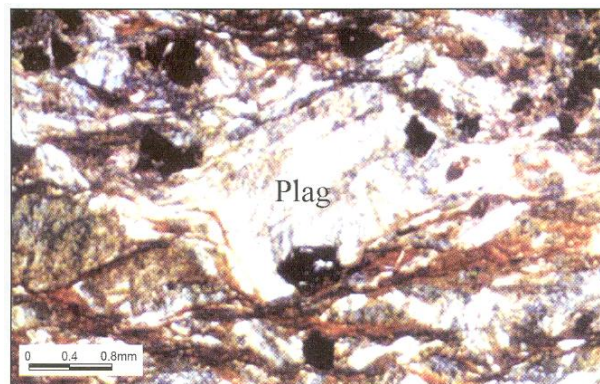
تصویر ۳- تصویر میکروسکوپی از بافت افیتیک در گابروهای باختر آوج (نورپلاریزه، بزرگنمایی ۲۵).



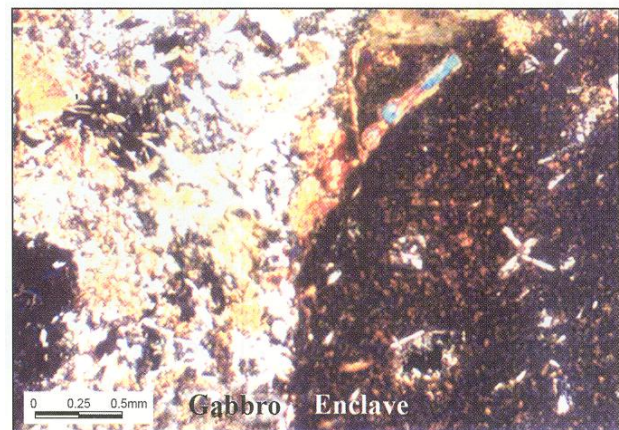
تصویر ۶- تصویر میکروسکوپی حضور تیغه‌های پلاژیوکلاز در درشت بلور پیروکسن و تشکیل بافت افیتیک در گابروها (نور پلاریزه-بزرگنمایی ۴۰).



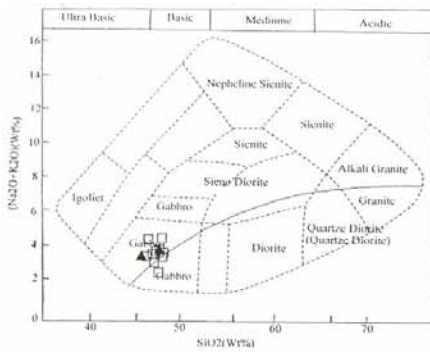
تصویر ۵- تصویر میکروسکوپی از سنگهای حاشیه انجماد سریع گابروها با بافت اینترگرانولار (نورپلاریزه، بزرگنمایی ۲۵).



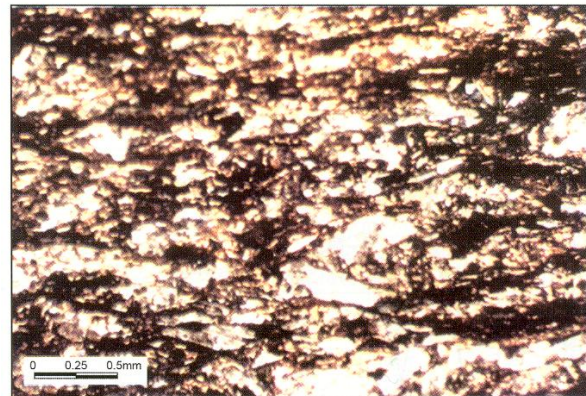
تصویر ۸- تصویر میکروسکوپی گابروهای مبلونیتی واقع در زونهای برشی توده‌های نفوذی باختر آوج، به تبلور دوباره دنباله‌های فلدسپار در امتداد مناطق سایه فشاری توجه شود (نورپلاریزه، بزرگنمایی ۲۵).



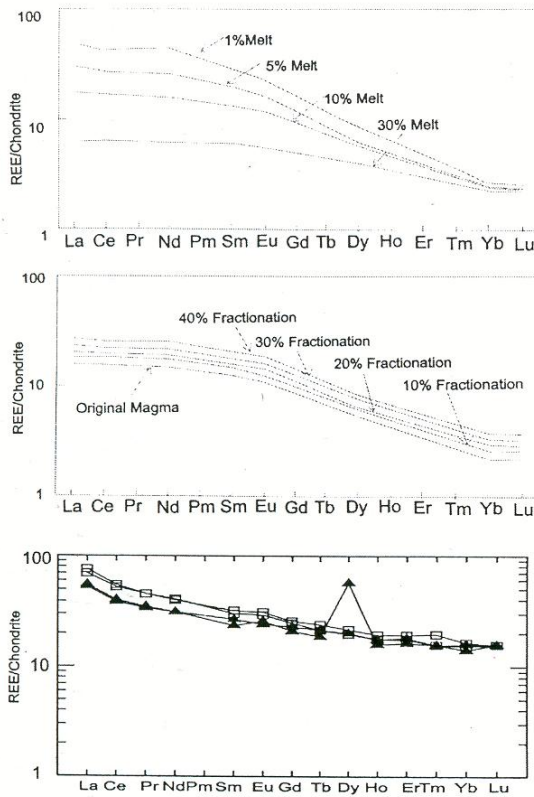
تصویر ۷- تصویر میکروسکوپی از حضور آنکلاو حاشیه انجماد سریع (سمت راست) در داخل گابروها (بخش سمت چپ)، (نورپلاریزه).



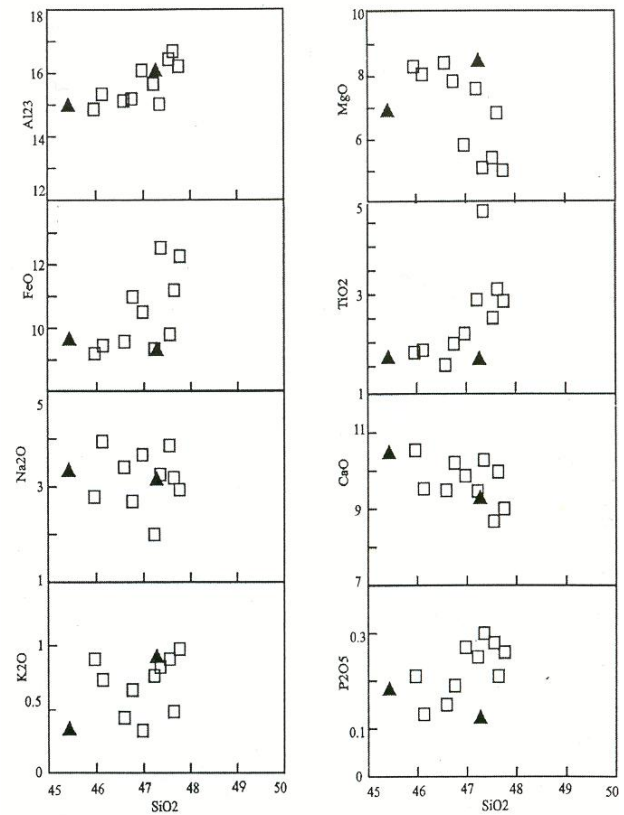
تصویر ۱۰- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات مجموع قلیایی در برابر سیلیس (Wilson, 1989 و Cox et al., 1979) مثلتهای توپر، نمونه‌های مربوط به حاشیه انجماد سریع گابروها و مربعهای توخالی نمونه‌های مربوط به گابروها است.



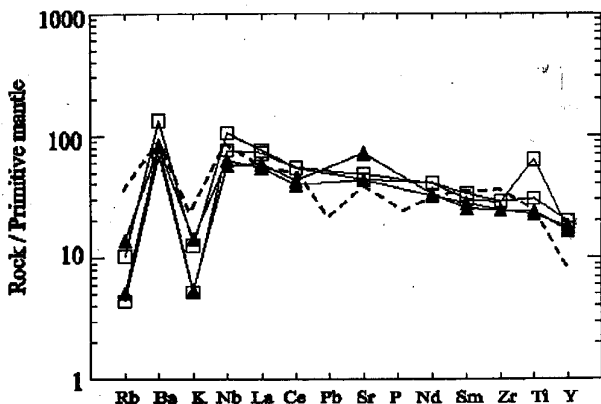
تصویر ۹- تصویر میکروسکوپی گابروهای میلوئیتی دانه ریز در مناطق با دگرشکلی شدیدتر (نورپلاریزه، بزرگنمایی ۴۰).



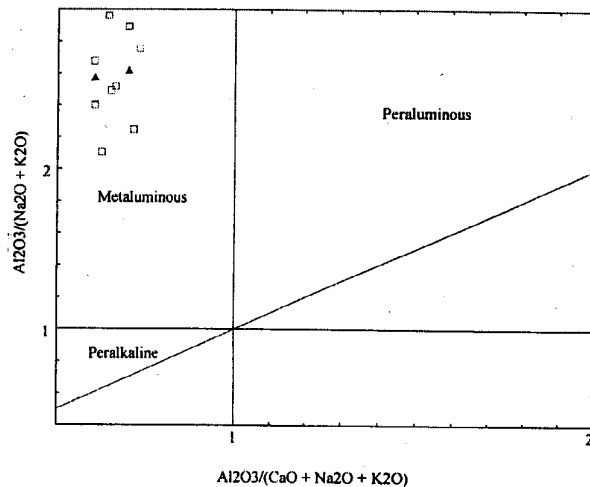
تصویر ۱۲- مقایسه الگوی حاصل از سنگ‌های گابرویی غرب آوج که بر اساس عناصر نادر خاکی و نسبت به کندریت نورمالیزه شده‌اند با الگوی مربوط به درجات مختلف ذوب بخشی و درصدهای مختلف تفریق بلورین (Nelson, 2004). علائم مشابه تصویر ۱۰ است.



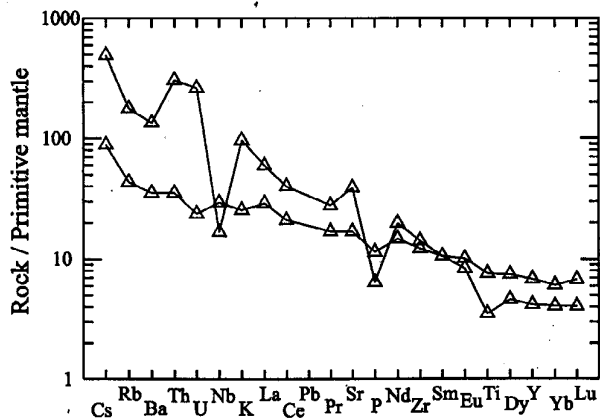
تصویر ۱۱- نمودار تغییرات درصد وزنی تعدادی از اکسیدهای اصلی در برابر درصد وزنی  $SiO_2$ . علائم مشابه تصویر ۱۰ است.



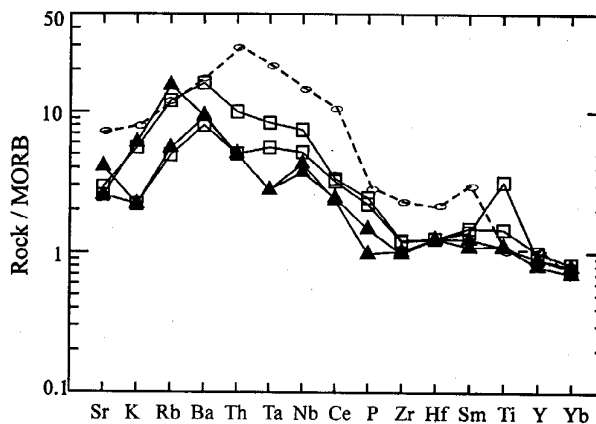
تصویر ۱۴- مقایسه الگوی تغییرات عناصر جزئی سنگهای گابروی باختر آوج با هورنبلند بازالتیهای منطقه روغن آلمان. فراوانی عناصر نسبت به گوشته اولیه (Primitive mantle) بهنجار شده است. خطوط پیوسته مربوط به گابروهای آوج و خط چین‌ها مربوط به Rohn آلمان است. علائم مشابه تصویر ۱۰ است.



تصویر ۱۳- نمودار تعیین درجه اشباع شدگی Al نمونه‌های مورد مطالعه (Maniar & Piccol, 1989). علائم مشابه تصویر ۱۰ است.



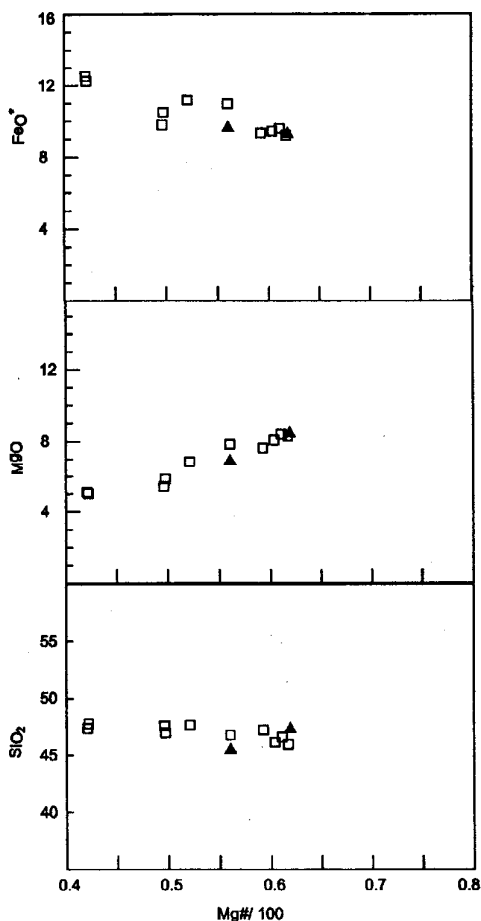
شکل ۱۶- الگوی حاصل از گدازه‌های منطقه آوج که براساس عناصر ناسازگار و نسبت به گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند (مثلث‌های توخالی مربوط به گدازه‌ها می‌باشد).



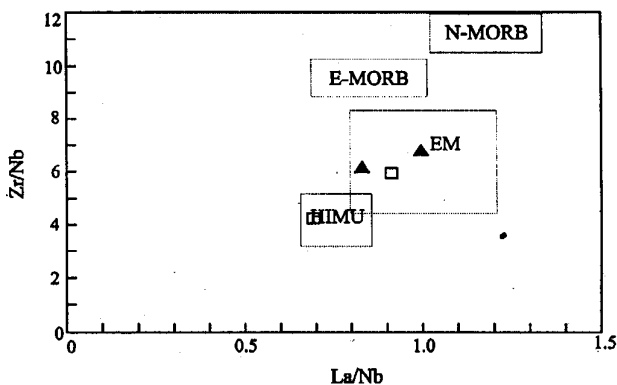
تصویر ۱۵- مقایسه الگوهای حاصل از سنگ‌های گابروی غرب آوج که بر اساس عناصر ناسازگار و نسبت به MORB نرمالیزه شده‌اند با الگوی مذکور حاصل از آلکالی بازالت‌های CVZ منطقه ANDES (خطوط ممتد مربوط به گابروهای آوج و خط چین مربوط به CVZ می‌باشند). علائم مشابه تصویر ۱۰ است.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های گابروها، حاشیه انجماد سریع آتشفشانیهای باختر آوج

نمونه	ولکانیک		انجماد سریع		گابرو									
	A32V	A10V	A12	A24	A14	A23	A100	A131	A162	A121	A144	A105	A116	A127
SiO <sub>2</sub>	48.71	58.74	47.27	45.43	47.35	46.97	45.96	46.13	46.58	46.75	47.22	47.55	47.64	47.76
TiO <sub>2</sub>	1.65	0.76	1.63	1.66	4.74	2.18	1.79	1.84	1.53	1.97	2.89	2.51	3.11	2.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.91	16.79	16.03	14.94	15.02	16.09	14.86	15.34	15.13	15.19	15.65	16.43	16.68	16.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.69	2.16	2.91	2.88	3.96	3.28	2.96	2.79	3.21	3.08	2.96	3.65	3.02	3.85
FeO	6.81	4.38	6.66	7.02	8.96	7.55	6.54	6.94	6.69	8.21	6.68	6.52	8.47	8.79
MnO	0.16	0.09	0.17	0.16	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17
MgO	5.1	4.13	8.44	6.87	5.11	5.83	8.31	8.06	8.42	7.84	7.61	5.42	6.83	5.02
CaO	10.42	4.48	9.26	10.44	10.28	9.87	10.54	9.53	9.49	10.21	9.47	8.68	9.98	9.01
Na <sub>2</sub> O	3.31	3.18	3.13	3.31	3.26	3.67	2.79	3.95	3.41	2.69	2	3.86	3.19	2.94
K <sub>2</sub> O	0.77	2.9	0.9	0.33	0.83	0.33	0.89	0.73	0.43	0.65	0.76	0.89	0.48	0.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.14	0.12	0.18	0.3	0.27	0.21	0.13	0.15	0.19	0.25	0.28	0.21	0.26
Total	97.78	97.75	96.52	93.22	99.99	96.21	95.03	95.61	95.22	96.96	95.66	95.96	99.77	97.84
Ba	247	940	187.5	182	320	160								
Ce	37.5	71	23.5	24.5	33.5	32								
Co	34	15	37.5	39.5	47	35.5								
Cs	0.7	3.9	1.3	2	0.6	1.5								
Cr	100	30	370	210	10	120								
Dy	5.5	3.4	5.1	14.5	5	5.5								
Er	3.4	2.1	3	2.7	2.9	3.2								
Eu	1.7	1.4	1.4	1.5	1.7	1.8								
Ga	19	20	18	17	20	20								
V	235	160	240	280	645	305								
W	2	3	3	1	2	2								
Y	31	19	27	24	27	30								
Yb	3	2	2.7	2.4	2.6	2.8								
Zn	95	120	115	90	125	105								
Zr	136.5	158.5	92	88	110	107.5								
Rb	27.6	112.5	30.8	11	24	9.8								
Sm	4.7	4.7	4.1	3.6	4.6	4.9								
Sn	2	2	2	1	1	1								
Sr	358	821	304	487	350	306								
Ta	1	0.5	0.5	0.5	1.5	1								
Tb	0.9	0.6	0.8	0.7	0.8	0.9								
Th	3	26	1	1	2	1								
Tm	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5								
U	0.5	5.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5								
Gd	5.3	4.4	4.7	4.3	5.1	5.3								
Hf	4	5	3	3	3	3								
Ho	1.1	0.7	1	0.9	1	1.1								
La	20	41	12.5	13	18	16.5								
Lu	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4								
Nb	21	12	15	13	26	18								
Nd	20	27	14.5	14.5	19	18.5								
Ni	35	15	120	70	10	35								
Pr	4.7	7.7	3.2	3.3	4.3	4.3								



شکل ۱۸- نمودار تغییرات  $FeO^*$ ،  $MgO$ ،  $SiO_2$  در برابر  $Mg\#$  برای سنگهای گابرویی باختر آوج. علائم مشابه شکل ۱۰ است.



شکل ۱۷- موقعیت سنگهای نفوذی باختر آوج بر روی نمودار تغییرات نسبت  $Zr/Nb$  در برابر نسبت  $La/Nb$ . علائم مشابه شکل ۱۰ است. (E-MORB and N-MORB= Enriched and Normal Mid Oceanic Ridge Basalt, HIMU= a source with a high  $^{238}U/^{204}Pb$ , EM= Enriched Mantle)

### کتابنگاری

- سرفراز، ف.ؤ.، ۱۳۷۴ - پتروگرافی و ژئوشیمی سنگهای آذرین منطقه آوج (قزوین)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.  
 معین وزیری، ح.، ۱۳۷۵- دیباچه‌ای بر ماگماتیسیم ایران، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ صفحه.  
 معین وزیری، ح.، ۱۳۸۳- چند نقطه عطف در تاریخچه تکتونوماگمایی ایران. فصلنامه علوم زمین، سال یازدهم، شماره ۴۹-۵۰.

### References

- Amidi, S.M., 1975-Contribution a l'etude stratigraphique petrologique, et petrochimique de roches magmatiques de la region de Natanz-Nain -Surk (Iran central). These.Doct.Etat, Grenoble.  
 Ballever, M., Le Goff, E. and Hebert, R., 2001-The tectonothermal evolution of the Caledonian belt of northern Brittany, France: a Neoproterozoic volcanic arc. Tectonophysics, 331, 19-43.

- Bolourchi, M.H., 1979-KabudarAhang Geological Map 1:250000, Geological survey of Iran .
- Chappel, B.W. and white, A.J.R., 1974 - Two contrasting granite types. *Pac. Geol.* 8,173.174.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979- The Interpretation of Igneous Rocks. Allen and Unwin, London. 450p.
- Emami, M.H. 1981- Geologie de la region de Qom-Aran (Iran): Contribution a l'etude dynamique et geochemique du Volcanisme tertiaire de l'Iran central. These d'Etat. Univer. Grenoble. France.
- Esawi, E.K., 2004 - Evidence from the Farmington pluton for Early Devonian subduction-related magmatism in the Carolina zone of central North Carolina. *Journal of Geodynamics* 37, 531-548
- Fites Gerald, J.D. and Stunitz, H., 1993- Deformation of granitoids at low metamorphic grade I: Reactions and grain size reduction. *Tectonophysics*, 221: 269-297 p.
- Hirose, K. and Kushiro, I., 1993 - Partial melting of dry peridotites at high pressure: determination of compositions of melts segregated from peridotite using aggregates of diamond Earth planet Sci lett. 114, 477-489.
- Jung, S. and Hoernes, S., 2000 - The major and trace element and isotope (Sr, Nd, O) geochemistry of Cenozoic alkaline rift-type volcanic rocks from the Rohn area (central Germany): petrology, mantle source characteristics and implication for asthenospher interactions. *Journal of volcanology and Geochemical Research*, 27-53.
- Jung, D., Kursten, M. and Tarkian, M., 1975 - Post Mesozoic Volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian under the Eurasian plate. In Pilger, A. and Rosler, A. (eds)"Afar between continental and oceanic Rifting "I.G.C.Scient.Report, 116(2), 175-181.
- Kampunzu, A.B., Tombale, A.R. Zhai, M., Bagai, Z., Majaule, T. and Modisi, M.P., 2003- Major and trace element geochemistry of plutonic rocks from Francistown, NE Botswana: evidence for a Neoproterozoic continental active margin in the Zimbabwe craton. *Lithos*, 71, 431-460
- Karig, D.E., 1971- Origin and development of marginal basins in the Western Pacific. *Journ. Geophys. Res.*, 76, 2542-2561.
- Lescuyer, J.L. and Riou, R., 1979- Geologie de la region di Mineh (Azerbaijan), Contribution a l'etude du Volcanisme tertiaire l'Iran. These de 3e me cycle. Grenoble. 233.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989- Tectonic discrimination of granitoides. *Geol. Soc. Am. Bull.* 101, 635-643.
- McBirney, A.R. and Noyes, R.M., 1979- Crystallization and layering of the Skaergaard Intrusion. *J. Pet.*, 20, 487-554.
- Middlemost, E.A.K., 1985- Magmas and magmatic rocks. Longman, p 266.
- Middlemost, E.A.K., 1991- Towards a comprehensive classification of Igneous rocks and magmas. *Earth Sci. Rev.* 31, 73-87.
- Macdonald, R., Hawkesworth, C.J. and Heath, E., 2000- The Lesser Antilles Volcanic chain : a study in arc magmatism . *Earth Science Reviews*, 49, 1-76.
- Moine-Vaziri, H., 1985- Volcanisme tertiaire et quaternaire en Iran. These d'Etat. Univer. Paris-Sud, ORSAY.
- Nowroozi, A.A., 1971- Seismotectonics of the Persian plateau, Eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush regions. *Bull. of the Seismological society of America*, 61, 317-341.
- Nelson, S.A., 2004 - Magmatic Differentiation .Chemical variation in rock suites, EENS 212. Tulan University 15p.
- Passier, C.W. and Trouw, R.A.J., 1996 - Microtectonics, Springer, 286p.
- Rollinson, H.R., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. Jhon Wiley and sons, 325p.
- Sabzehei, M., 1974 - Les mélanges ophiolitiques de la region d'Esfandagheh (Iran meridional). Etude petrographique et structurale. These Doct. Etat, Univ. Grenoble, 306p.
- Shelly, D., 1993 - Igneous and metamorphic rocks under the microscope, Champan and Hall, 630p.
- Takin, M., 1972 - Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, 235, 147-150.
- Wilson, M., 1989 - Igneous petrogenesis: a global tectonic approach. Unwin Hyman, London, 466P.
- Weaver B.L. ,1991- Trace element evidence for the origin of ocean island basalts .*Geology* 19, 123-126.

\* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

\*\* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین

\*Department of Geology, Faculty of Science, University of Tehran, Iran

\*\*Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini international University, Qazvin, Iran