

تعیین ماهیت میانبارهای ماگمایی گرانیت‌های مجموعه پلوتونیک ملایر با تکیه بر روش‌های ژئوشیمیایی و آماری

رضا دیوسالار^۱، محمدولی ولی‌زاده^۲ و وحید احدنژاد^۳

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

^۲ پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۸/۰۸ تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۶/۱۷

چکیده

گرانیت‌های مجموعه پلوتونیک ملایر دارای میانبارهای (انکلاو) ماگمایی با تنوع اندازه، شکل ظاهری، کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی است. تفسیر نمودارهای دومتغیره ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب با توجه به محتوای بالاتر برخی از اکسیدها مانند FeO ، CaO ، MgO ، TiO_2 ، MnO در نمونه‌هایی از میانبارها نسبت به سنگ میزبان و همین‌طور روندهای خطی مشاهده شده از این اکسیدها و برخی از عناصر کمیاب همچون V ، Ni ، Cr نشان‌دهنده ماهیت متفاوت و در واقع منشأ مافیک‌تر این دسته از میانبارها (نوع مافیک) نسبت به سنگ میزبان و دیگر میانبارهای فلسیک است. مطالعه ترکیب شیمیایی میانبارها در مقایسه با سنگ میزبان، بهره‌گیری از روش‌های آماری دو و چندمتغیره (رگرسیون دومتغیره، ضرایب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه‌های اصلی) بیانگر تباین مشخص ترکیب شیمیایی بین میانبارهای مافیک با فلسیک و سنگ میزبان و از طرفی شباهت بین میانبارهای فلسیک و سنگ میزبان است. این ویژگی به صورت پراکندگی مشخص بیشتر اکسیدها نسبت به خط رگرسیون و ضریب R^2 پایین در رگرسیون دومتغیره، ضریب همبستگی ناچیز اکسیدهای عناصر اصلی و اغلب عناصر کمیاب میانبارهای مافیک در برابر سنگ میزبان، قرارگیری نمونه‌ها در دو گروه متفاوت و مجزا در الگوی شاخه درختی و جهت‌گیری بردار متغیرها و نمونه‌ها در نمودار دومتغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) قابل مشاهده است و تأییدکننده روندهای ژئوشیمیایی متفاوت مشاهده شده برای عناصر مختلف در میانبار و سنگ میزبان در نمودارهای دومتغیره ژئوشیمیایی (هارکر) است.

کلید واژه‌ها: میانبار، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ضرایب همبستگی، روش‌های آماری

*نویسنده مسئول: رضا دیوسالار

E-mail: Reza_dsalar@yahoo.com

۱- مقدمه

با توجه اهمیت گرانیت به عنوان سنگی که بخش بزرگی از پوسته نواحی قاره‌ای کره زمین را به خود اختصاص داده و همواره مورد توجه زمین‌شناسان قرار داشته است، باید از جنبه‌های متفاوت مطالعه شود و همه عوامل مؤثر در مطالعه دقیق آنها در نظر گرفته شود. مطالعه میانبارهای موجود در گرانیت‌ها یکی از بخش‌های مهم در مطالعه آنهاست، که حضور و دسترسی به آنها فرصت مناسبی را برای درک تحولات در مقیاس یک رخمون تا کل توده‌های نفوذی در یک منطقه خاص فراهم می‌کند. این مقاله به بررسی وضعیت میانبارها در گرانیت‌های مجموعه پلوتونیک ملایر می‌پردازد. مجموعه پلوتونیک ملایر در شمال باختر زون سنندج-سیرجان، محدوده گیلپایگان-سنندج (افتخارنژاد، ۱۳۶۰) در عرض جغرافیایی $34^{\circ} 18' - 34^{\circ} 00'$ و طول $48^{\circ} 52' - 48^{\circ} 30'$ قرار دارد. این مجموعه به دلیل قرار گرفتن در یکی از مهم‌ترین و فعال‌ترین مناطق ساختاری ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به عنوان محصولی از ماگماتیسم مرتبط با فعالیت‌های زمین‌ساختی، می‌تواند همراه با دیگر توده‌های نفوذی زون سنندج-سیرجان، در تحلیل تحولات ماگمایی آن مؤثر واقع باشد. در همین راستا، مطالعاتی در این محدوده انجام شده است، از آن جمله: فرقانی (۱۳۴۸)، مدنی‌ایوری (۱۳۵۹)، گودرزی (۱۳۷۴)، که هر یک از دیدگاه‌های متفاوت به مطالعه پرداخته و بخشی از ابهامات را بر طرف کرده‌اند. در این مقاله، ماهیت میانبارهای گرانیتوئیدهای مجموعه پلوتونیک ملایر با استفاده از اطلاعات ژئوشیمیایی بر اساس روش‌های آماری بررسی شده است. پیش از این نیز در قالب دو مقاله، به بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این میانبارها (دیوسالار و همکاران، ۱۳۸۸) و استفاده از شواهد صحرایی و ریزساختاری در تعیین ماهیت آنها پرداخته شده است (دیوسالار و ولی‌زاده، ۱۳۸۹). افزون بر این، مقالاتی نیز در مورد آمیختگی ماگمایی و میانبارهای مافیک در منطقه سنندج-سیرجان، به ویژه بر روی

۲- ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری

بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، مجموعه پلوتونیک ملایر را می‌توان در حالت کلی به سه بخش عمده (۱) گرانیتی (شامل مونزوگرانیت و سینوگرانیتی)؛ (۲) گرانودیوریتی (شامل گرانودیوریت، تونالیت و کوارتز دیوریت)؛ (۳) گابرو-دیوریتی (شامل گابرو، دیوریت، مونزودیوریت و مونزوکابرو) تقسیم کرد. بخش عمده این مجموعه را گرانودیوریت‌ها تشکیل می‌دهند که دارای ترکیب کانی‌شناسی تقریباً مشخصی مانند: کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی (میکروکلین و ارتوکلاز)، بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت، زیرکن، اسفن و آلانیت هستند و نسبت حجمی هر یک از آنها در نمونه‌های مختلف اندکی متفاوت است. در این بخش، بیوتیت یک فاز شاخص و در برخی مناطق جهت‌یافته است و با آرایش خطی و منظم خود، ظاهری متورق به سنگ‌ها داده است. مونزو-سینوگرانیت‌ها که مرز مشخصی با یکدیگر ندارند، نسبت به گرانودیوریت‌ها، رخمون محدودتر و گسترش کمتری دارند و در چند نقطه محدود با آن سطح تماس مشخصی دارند. تفاوت‌های کانی‌شناسی آن با بخش گرانودیوریتی، فراوانی فلدسپار قلیایی (ارتوکلاز، میکروکلین) نسبت به پلاژیوکلاز، کاهش نسبت حجمی کانی‌های مافیک مانند آمفیبول و بیوتیت و حضور کانی تورمالین در برخی از نمونه‌هاست. فازهای فرعی آن، سوزن‌های آپاتیت، به صورت میانبار در ارتوکلاز و بیوتیت، زیرکن و اسفن است. بخش‌های دیوریتی تا گابرو-دیوریتی (با وسعت کمتر از ۲ کیلومتر مربع) به صورت چند توده با رخمون کشیده چندصد متری و رنگ کاملاً تیره حضور دارند. رخمون توده‌های مافیک گابرویی محدود به کوه تنگساران بوده و شامل گابرو-دیوریت اوژیت و الیون‌دار

افزوده می‌شود. در مرز بین میانبار و میزبان جهت یافتگی مشخص کانی‌های بیوتیت و پلاژیوکلاز و انحراف، جدایش و کنده شدن برخی درشت بلورهای میزبان مانند پلاژیوکلاز و حضور آنها در درون میانبار شایان توجه است که نشانگر حضور میانبار و میزبان به صورت مذاب یا نیمه مذاب در کنار هم است (Silva et al., 2000) (شکل ۲-۱).

مشاهدات صحرایی و بررسی شکل این میانبارها و ناحیه مرزی میانبار-سنگ میزبان نشان می‌دهد که اختلاف گرانروی مناسبی بین این دو وجود داشته و شکل‌های کروی، بیضوی و دوکی شکل... محصول این اختلاف هستند (شکل ۲-۲، c، d، e، چرا که تشکیل مرز محذب بین میانبار و میزبان، نیازمند مقاومت مذاب منشأ میانبار در برابر تنش‌های هیدروستاتیک و همین‌طور جهت‌دار وارد شده از طرف ماگمای در بر گیرنده است و نیروی مقاوم، گرانروی بالاتر مذاب میانبار در سطح تماسی است که در اثر همری با ماگمای میزبان به طور ناگهانی سرد شده است و به این ترتیب، پوسته‌ای مقاوم با گرانروی بالاتر از جنس ماگمای میانبار باعث ایجاد سطح تماس محذب می‌شود (Blake & Fink, 2000).

همچنین، شکل میانبارها در حاشیه توده آذرین کشیده بوده و به سمت درون توده به شکل کروی یا بدون شکل تغییر می‌کنند که از جمله شواهد رخداد جریان ماگمایی و حضور این میانبارها به صورت بسته‌های ماگمایی در ماگمای گرانیتی است.

در راستای تفکیک و تعیین منشأ میانبارهای مافیک (نوع دوم) از طریق ترکیب شیمیایی، تعداد بیست نمونه مناسب از میانبارها و سنگ‌های میزبان از نقاط مختلف توده، انتخاب شده و در آزمایشگاه XRF دانشگاه تربیت معلم تهران بر روی آنها تجزیه شیمی سنگ کل صورت گرفت (شکل ۱، جدول ۱).

۳- ژئوشیمی میانبارهای مافیک

مقایسه مقادیر عناصر اصلی میانبارهای ماگمایی گروه دوم (دیوریتی...) با سنگ میزبان، نشان می‌دهد که تنها روند تغییرات برخی از عناصر اصلی از مقادیر سنگ میزبان پیروی می‌کنند، باقیمانده آنها با مقادیر بالاتری دارند و یا زیر روند مشاهده شده در میزبان قرار می‌گیرند. محتوای بالاتر MnO ، TiO_2 ، MgO ، CaO و FeO و پایین‌تر SiO_2 در میانبارهای ماگمایی مافیک نسبت به میزبان گرانیتی با نسبت حجمی بالاتر کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند در آنها سازگار است (جدول ۱).

در حالت کلی، مقادیر و همبستگی‌های ظاهری مشاهده شده بین عناصر و اکسیدهای مختلف در نمودارهای دومتغیره ژئوشیمیایی (هارکر) با توجه به وضعیت کانی‌شناسی میانبارها و سنگ میزبان در قالب فرایندهایی مانند آمیختگی ماگمایی، آلاش ماگمایی، دگرسانی و متاسوماتیسم قابل توجه هستند (شکل‌های ۳ و ۴). از جمله شواهد برای رخداد پدیده آمیختگی ماگمایی و منشأ مافیک‌تر میانبارهای ماگمایی نوع دوم، می‌توان به روند خطی و نزولی الگوی تغییرات MgO ، MnO و FeO با افزایش SiO_2 از میانبار به سنگ میزبان، همبستگی ظاهری منفی مناسب موجود بین عناصر Cr ، Ni با FeO و SiO_2 در میانبارهای مافیک (شکل ۳) همراه با کاهش پیشرونده مقادیر Co و Cr از میانبار به میزبان با افزایش SiO_2 (Kumar & Rino, 2006) اشاره کرد. گفتنی است که کاهش مقادیر TiO_2 ، FeO و MgO با افزایش SiO_2 (شکل ۳) به وسیله جدایش بیوتیت در خلال تفریق درونی ماگمای میانبار و میزبان در اثر آمیختگی ماگمایی (Kumar & Rino, 2006) و کاهش نسبت حجمی کانی‌های روتیل، اسفن و ایلمنیت انجام شده است.

از جمله شواهد برای رخداد پدیده آلاش ماگمایی، می‌توان به مقادیر بالاتر اکسیدهای K_2O و Na_2O در سنگ میزبان نسبت به میانبارها، همبستگی ظاهری ضعیف Na_2O و K_2O با SiO_2 و روند نامشخص تغییرات آنها در برابر SiO_2 در میانبار و سنگ میزبان اشاره کرد. شباهت در مقادیر این دو اکسید بسیار متحرک در

(بخش اعظم دامنه شمالی) و گابرو-دیوریت دارای اوژیت و فاقد الیون (سراسر بخش جنوبی و قسمتی از دامنه شمالی) است.

مجموعه کانی‌شناسی مشاهده شده در دیوریت‌ها شامل پلاژیوکلاز (۵۸٪)، آمفیبول (۱۷/۸٪)، بیوتیت (۸/۴٪)، کوارتز (۳/۳٪)، ارتوکلاز (۳/۱۶٪)، آپاتیت، اسفن و زویسیت و کانی‌های تیره و کلریت و سرپسیت و گاه درشت بلورهای آندالوزیت با بافتی ریزدانه تا پورفیری است.

گرانیت‌های مجموعه پلوتونیک ملایر دارای میانبارهای ماگمایی و بیگانه‌سنگ‌های (زینولیت) دگرگونی متنوعی هستند. بر اساس مشاهدات صحرایی (شکل، رنگ، بافت، ریخت‌شناسی مرز آنها با سنگ میزبان) و بر اساس میزان شباهت‌های کانی‌شناختی با سنگ میزبان میانبارهای ماگمایی موجود در گرانیت‌های مجموعه نفوذی ملایر، به دو دسته فلسیک و مافیک قابل تقسیم هستند (شکل ۲-۲، g، f، e). میانبارهای فلسیک با شکل‌های متنوع و غیرهندسی، بافت و کانی‌شناسی مشابه سنگ میزبان دارند، اما رنگ روشن‌تری نسبت به میانبارهای مافیک دارند و به نظر می‌رسد از جنس سنگ‌میزبان هستند، هضم شدگی مشخص در حاشیه و نداشتن شکل و مرز مشخص با سنگ میزبان در آنها، بیانگر حضور آنها به صورت قطعات جامد گرانیتی در ماگمایی از جنس خود است و در واقع این میانبارها، بیگانه‌سنگ‌های ماگمایی یا سنگ‌های فلسیک در جا هستند (نوع اول). اشاره به نداشتن مرز کاملاً مشخص به این معنی نیست که روی زمین قابل تشخیص نیستند، بلکه اساساً در مقایسه با میانبارهای مافیک تشخیص آنها دشوارتر است. افزون بر این، وجه تمایز میانبارهای ریزدانه مافیک (نوع دوم) با ترکیب کانی‌شناختی دیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت و کوارتز مونزونیت و میانبارهای فلسیک با ترکیب کانی‌شناختی گرانودیوریت و سینوگرانیت با بیگانه‌سنگ‌های متاپلیتی مجموعه پلوتونیک ملایر بافت هورنفلسی و غیرماگمایی بیگانه‌سنگ‌ها و حضور برخی کانی‌های خاص رخساره‌های دگرگونی در بیگانه سنگ‌هاست. کانی‌های موجود در میانبارهای ماگمایی مافیک در قالب مجموعه‌های دیوریتی، کوارتز دیوریتی، مونزودیوریتی و کوارتز مونزودیوریتی شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت، زیرکن، کانی تیره است. سوزن‌های آپاتیت به صورت بیگانه بلور (زینوکریست) در بیوتیت و فلدسپارها، به فراوانی دیده می‌شوند و افزون بر اینها کانی‌های خود شکل و مستقل آپاتیت نیز حضور دارند. فاز فرعی دیگری که به صورت میانبار، بیشتر در بیوتیت‌ها دیده می‌شود، زیرکن است. ساختار پویکیلیتی، بافت اسفنجی و میرمکتی و حضور پرتیت و میکروپرتیت و رگچه‌های کوارتزی دوباره تبلور یافته در آنها قابل تشخیص است. در اغلب نمونه‌های دگرسان شده میانبارها، دگرسانی‌های پتاسیک و سدیک همگام با سنگ میزبان انجام شده است و تشکیل بیوتیت‌های ثانویه (شکل ۲-۲، k، d، کلریت، سرپسیت، اسفن، اکسیدهای آهن و روتیل به رخداد این نوع دگرسانی‌ها در کانی‌های اولیه مانند آمفیبول، بیوتیت، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی و رهایی Na ، Ca ، Fe ، Mg و انتقال برخی از آنها (عناصر متحرک) به وسیله سیال‌های ماگمایی یا جوی مربوط است. کانی مافیک آمفیبول در این نمونه‌ها، ابعاد مختلفی دارد و در نمونه‌های ماکروسکوپی، سوزن‌ها و باگت‌های کوچک-متوسط (۱-۲ mm) سبزرنگ آنها قابل مشاهده است و در مقاطع میکروسکوپی اغلب بی‌شکل و گاه نیمه‌شکل‌دار هستند و اغلب به بیوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۲-۲، h، g)، به‌ویژه در حاشیه‌ها و درزه‌ها و ترک‌های سطحی و ادخال‌ها، آپاتیت، اسفن و اکسید آهن دارند. تبدیل هورنبلند سبز به بیوتیت (بیوتیت‌های ثانویه) نتیجه عملکرد سیال‌های ماگمایی پتاسیم‌دار بر روی بلورهای هورنبلند است و بر اثر این واکنش‌ها، اکسیدهای آهن و تیتانیم آزاد شده و در نهایت کانی‌هایی مثل اسفن و روتیل تشکیل شده‌اند (متاسوماتیسم پتاسیک).

میانبارهای ریزدانه مافیک، مرز مشخص‌تری با سنگ میزبان دارند و در مشاهدات میکروسکوپی با حرکت از سمت میانبار به میزبان، در محدوده میزبان، اندازه بلورها

۴- بحث

به منظور درک ماهیت میانبرهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه از طریق شیمی سنگ کل، از تلفیق نتایج به دست آمده از تحلیل‌های ژئوشیمیایی در بخش قبل و نتایج حاصل از برخی روش‌های آماری استفاده می‌شود. هدف مشترک این دو بخش شناخت، رده‌بندی و تعیین ماهیت میانبرهای ماگمایی از طریق ترکیب شیمیایی آنها است.

همان‌گونه که می‌دانیم به منظور بررسی تغییراتی که در متغیرهای ژئوشیمیایی (اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی) در طی مراحل قبل از سرد شدن ماگمای والد یک نمونه سنگی روی می‌دهد و با هدف درک فرایندهای مؤثر بر تحولات ماگمایی از نمودارهای دومتغیره عناصر اصلی و فرعی استفاده می‌شود. روند‌های مشاهده شده در نمودارهای پراکندگی را می‌توان به عنوان معیاری از رابطه بین متغیرهای مورد مطالعه تلقی کرد. مطالعات ژئوشیمیایی بر تفسیر چشمی این پراکندگی‌ها استوار بوده و روند‌های مشاهده شده بر این اساس تفسیر می‌شوند، اما از دیدگاه آماری، داده‌های ژئوشیمیایی مانند هر داده دیگر قابلیت تحلیل عددی نیز دارند، به شکلی که در مطالعات اکتشافی منابع معدنی به صورت گسترده استفاده می‌شوند و با شناخت و رعایت محدودیت‌های این اطلاعات، می‌توان به آنها به دید یک جامعه آماری نگریست و به نتیجه‌گیری پرداخت. بنابراین لازمه انجام تحقیقات از دیدگاه آماری روی داده‌های ژئوشیمیایی، رعایت ضوابط حاکم بر این روش‌ها و توجه به ماهیت داده‌های ژئوشیمیایی است. بدین ترتیب به منظور تحلیل رابطه بین میانبرهای ماگمایی و سنگ میزبان از روش‌های آماری، که خروجی آنها نمایش ترسیمی، رابطه بین داده‌ها در قالب نمودارهای دومتغیره است، بهره می‌گیریم. بدیهی است به این دلیل که هدف، تشخیص وجوه تمایز دو مجموعه است، به همین علت از روش‌های آماری متمایزکننده بهره می‌گیریم.

شرط اولیه در محاسبه پارامترهای آماری، فرض نرمال بودن توزیع داده‌هاست. تعیین منحنی توزیع هر اکسید یا عنصر کمیاب در یک جامعه آماری، به وسعت نمونه‌های تجزیه شده یا تقسیم‌بندی داده‌ها به دسته‌های مختلف و تعیین فراوانی مقادیر موجود در هر بازه و رسم نمودار مستطیلی (هیستوگرام) انجام می‌شود، که معمولاً داده‌های ژئوشیمیایی الگوی توزیع نرمال نشان می‌دهند. در حالت کلی، برای تعیین رابطه بین دومتغیره، می‌توان از روش‌های همبستگی و رگرسیون بهره برد. این روش‌ها به منظور جستجوی رابطه بین متغیرهایی است که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند یعنی اول: از قبل از وجود رابطه بین متغیرها آگاهی نداشته و دوم: متغیرها برهم اثر نمی‌گذارند و مستقل باشند.

۴-۱. روش‌های آماری متمایزکننده

- روش‌های آماری دومتغیره

الف) رگرسیون دومتغیره: به منظور پیش‌بینی رابطه بین دو متغیر تصادفی که یکی از آنها متغیر مستقل و دیگری وابسته است، از روش رگرسیون استفاده می‌شود. در روش رگرسیون دومتغیره، امکان برازش یک خط یا منحنی به داده‌ها، بررسی می‌شود. خط یا منحنی که بیشترین تطابق را با نقاط موجود در نمودار دومتغیره دارند و نماینده بهترین خطی است که می‌توان از بین نقاط عبور داد. در این روش اگر برازش خط یا منحنی به نقاط، بر اساس روش کمترین مربعات انحراف نقاط از خط یا منحنی (Least square) استوار باشد، عامل R^2 را می‌توان به طور غیرمستقیم به عنوان معیاری از همبستگی بین نقاط به شمار آورد. با توجه به اینکه عناصر اصلی موجود در یک نمونه، متغیرهای وابسته هستند (در گزارش نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی بر حسب درصد بیان می‌شوند، پس مقادیر هر یک از آنها بر دیگری تأثیر می‌گذارد)، تحلیل الگوی پراکندگی‌ها براساس خط رگرسیون و R^2 برای عناصر اصلی میانبر و سنگ میزبان هر کدام به صورت مجزا، به منظور جستجوی رابطه بین عناصر اصلی آنها نمی‌تواند به یک نتیجه واقعی از هماهنگی یا عدم هماهنگی

میانبر و سنگ میزبان، و پراکندگی‌های مشاهده شده را می‌توان به آرایش ماگمایی یا دگرسانی‌ها و در کل تحرک بالای این عناصر نسبت داد (Zorpi et al, 1991). افزون بر این، فرایند فلدسپارزایی و بیوتیت‌زایی در اثر متاسوماتیسم پتاسیک نیز عاملی برای تغییر مقادیر K_2O و Na_2O در این میانبرهاست. همان‌گونه که پیش از این بیان شد، تشکیل بیوتیت‌های ثانویه به ویژه در ناحیه مرزی میانبر و سنگ میزبان از جمله شواهد این فرایند است. به همین ترتیب همبستگی ضعیف SiO_2 با Sr و Rb پراکندگی بالای مقادیر آنها را می‌توان به واکنش با ترکیبات پوستره‌ای نسبت داد (Kumar & Rino, 2006). مقدار TiO_2 در میانبر و سنگ میزبان نسبت به هم تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد، زیرا اغلب کانی‌های تیتانیم‌دار در این نمونه‌ها ثانویه بوده و محصول دگرسانی بیوتیت و آمفیبول و آزاد شدن Ti هستند.

از دیگر فرایندهای مهم که در مقیاس کوچک و در ناحیه مرزی میانبر و میزبان روند‌ها و مقادیر را تحت تأثیر قرار داده، تعادل و همگن‌شدگی اولترامیکروسکوپی است. از شواهد این فرایند می‌توان به وجود همبستگی بالای بین مقادیر Ba و SiO_2 در سنگ‌های میزبان و روند نامشخص تغییرات Ba در میانبرها اشاره کرد. از آنجا که شیب نزولی تغییرات Ba در سنگ‌های میزبان با توجه به سازگاری Ba با K در ساختار فلدسپارهای قلیایی پتاسیک و بیوتیت غیرعادی است، می‌توان آن را به برقراری تعادل شیمیایی با میانبر در حالت مذاب یا نیمه‌مذاب و در نتیجه به حجم‌های متفاوت مبادله شده از این عنصر بین میانبرها و میزبان‌ها مربوط دانست. افزون بر این، بررسی نمودار عنکبوتی بهنجار شده میانبر و سنگ میزبان (شکل ۵)، بیانگر شباهت‌های کلی بین آنها و افت مقادیر عناصر Ta , Sr , Nb و Ti و غنی‌شدگی عناصر بزرگ یون (LILEs) شامل Rb , Th , K و Ba است، در حالی که عناصر HFSEs شامل Ta , Nb , Zr , Y , Yb نسبت به La ، Ce و Nd مقادیر پایین‌تری نشان می‌دهند. بنابراین، همگن‌شدگی وسیع ترکیبی در مقیاس برخی از عناصر متحرک‌تر (LILEs) بین سنگ میزبان و میانبرها، شواهدی از تبادل در حالت مذاب یا نیمه‌مذاب است. غنی‌شدگی عناصر LILEs در میانبرهای ماگمایی مذکور، شبیه به سنگ میزبان و شباهت‌های مشاهده شده بین عناصر فرعی بین آنها از یک سو تأییدکننده تبادلات انجام شده است و از سوی دیگر، نشان‌دهنده آهنگ و سرعت بالای رسیدن به تعادل در مقایسه با HFSEs است.

دیگر روند‌های مشاهده شده از عناصر را نیز می‌توان در قالب مجموعه‌های کانی‌شناسی آنها توجیه کرد. Al_2O_3 به عنوان اکسیدی ناسازگار و کم تحرک، الگوی تغییرات یکسان و مقادیر مشابه بین میانبر و سنگ میزبان نشان نمی‌دهد و صرفاً در مورد میانبرها، روندی با شیب مثبت و همبستگی مناسبی با SiO_2 دارد. همبستگی ظاهری نسبتاً مناسب و روند صعودی درجه اشباع از آلومینیم در میانبرها در برابر افزایش SiO_2 و افزایش نسبت حجمی پلاژیوکلاز، با این وضعیت هماهنگ است. همبستگی منفی مقادیر وانادیم با SiO_2 در سنگ میزبان را می‌توان به جدایش کانی‌های آهن منیزیم‌دار و کاهش نسبت حجمی آنها در نمونه‌های تفریق یافته‌تر و روند نزولی تغییرات وانادیم همراه با افزایش Nb در برابر SiO_2 در میانبرها، بیانگر روند عمومی تفریق ماگمایی است (Arvin et al., 2004). عناصر Y , Yb تطابق ضعیف و روندی پراکنده با افزایش میزان SiO_2 نشان می‌دهند، این روند نامنظم وابسته به حضور مقادیر متفاوتی از کانی آپاتیت بوده و در نتیجه مانند P_2O_5 در میانبرها، نظم خاصی در تغییرات آنها دیده نمی‌شود.

Th , Zr در ترکیب کانی‌هایی مانند آلانیت و منازیت و زیرکن حاضر هستند و مقدار آنها تابعی از فراوانی این فازها در نمونه‌هاست و با توجه به حضور پراکنده این کانی‌ها در نمونه‌های سنگ میزبان و همبستگی پایین تغییرات Th و Zr ، روند نامشخص تغییرات آنها در برابر SiO_2 وابسته به تفریق ماگمایی نیست. تطابق بالا و روند صعودی تغییرات Th , Zr در میانبرها با افزایش SiO_2 را می‌توان به حضور میانبرهای زیرکن (و احتمالاً مونازیت) در بیوتیت‌ها و فلدسپارهای قلیایی این نمونه‌ها نسبت داد.

(ب) تجزیه مؤلفه‌های اصلی: نمایش رابطه بین متغیرها و نمونه‌ها در یک نمودار دومتغیره از طریق بردارهایی که جهت‌گیری آنها نسبت به هم ملاک ارزیابی و تحلیل‌هاست (Gabriel, 1971; Buccianti & Peccerillo, 1999). آرایش موازی و هم‌جهت این بردارها بیانگر همبستگی بالای بین متغیرهایی است که تغییرات آنها به وسیله بردارها نمایش داده شده و قاعدتاً آرایش موازی و جهت مخالف آنها بیانگر همبستگی ناچیز است. متعام بودن این بردارها نشانه عدم تأثیرگذاری این دو متغیر یا پارامتر بر یکدیگر است (Buccianti & Peccerillo, 1999). همان‌گونه که در نمودار شکل ۹ دیده می‌شود آرایش بردارها بیانگر تمایز مشخص در ترکیب عناصر اصلی بین میانبرها و میزبان بوده و اکسیدهای مانند Na_2O ، K_2O و SiO_2 روندی متمایز از CaO ، FeO ، MnO ، TiO_2 دارند و همچنین نمونه‌های سنگ میزبان (دایره‌های توخالی) و میانبر (نمونه‌های توپر) در دو سمت متفاوت از بردارها قرار گرفته‌اند، در حالی که میانبرهای فلسیک و سنگ‌های میزبان در کنار هم دیده می‌شوند.

بنابراین بر مبنای روش‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره، اختلاف ترکیب شیمیایی میانبرهای ماگمایی مافیک و سنگ میزبان و منشأ متفاوت آنها مشخص شده و افزون بر این، شباهت بین انکلاوها فلسیک و سنگ میزبان و احتمالاً هم منشأ بودن آنها را تأیید می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

- مقادیر بالاتر اکسیدهای TiO_2 ، MnO ، CaO ، MgO ، FeO در میانبرهای مافیک نسبت به سنگ میزبان و مقادیر بالاتر SiO_2 در سنگ میزبان، همسان بودن تقریبی مقادیر اکسیدهای Na_2O و K_2O و اغلب عناصر کمیاب بین سنگ میزبان و میانبرهای ماگمایی، روندهای خطی مشاهده‌شده در الگوی تغییرات اکسیدهای CaO ، MgO ، FeO و همبستگی مناسب بین عناصر Cr ، Ni و SiO_2 در میانبرها و شیب منفی تغییرات آنها، کاهش پیش‌رونده مقادیر Cr ، V و CO از میانبر به سنگ میزبان با افزایش SiO_2 و شباهت الگوی نمودار عنکبوتی آنها، نشانه‌ای برای منشأ مافیک میانبرهای ماگمایی مذکور است.

- روش‌های آماری دو و چندمتغیره بر اساس شیمی میانبرها در مقایسه با سنگ میزبان دو دسته متفاوت بین آنها مشخص کرده‌اند که بیانگر ماهیت متفاوت آنهاست. یکی از این دو دسته، خویشاوندی مشخصی با سنگ میزبان نشان می‌دهد (میانبرهای فلسیک) و دسته دیگر وضعیت متفاوتی دارد (میانبرهای مافیک). قرارگیری نمونه‌ها در دو گروه متفاوت و مجزا در الگوی شاخه درختی و جهت‌گیری بردار متغیرها و نمونه‌ها در نمودار دومتغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PAC) از جمله این موارد است. پراکندگی مشخص بیشتر اکسیدهای عناصر اصلی و اغلب عناصر کمیاب، در نمودار دومتغیره میانبرهای مافیک در برابر سنگ میزبان، نسبت به خط رگرسیون و ضریب R^2 پایین در رگرسیون دومتغیره همراه با ضریب همبستگی ناچیز آنها، تأییدکننده روندهای ژئوشیمیایی متفاوت مشاهده‌شده برای عناصر مختلف در میانبر و سنگ میزبان در نمودارهای دومتغیره ژئوشیمیایی است.

- بنابراین، از مقایسه شیمی میانبرها و سنگ میزبان با روش‌های آماری و تحلیل نمودارهای ژئوشیمیایی می‌توان به این نتیجه رسید که: (۱) این میانبرها به دو نوع فلسیک و مافیک قابل تقسیم هستند. (۲) با توجه به شباهت‌های کانی‌شناختی و بافتی و ژئوشیمیایی میانبرهای فلسیک به سنگ میزبان تشکیل آنها، به گسیختگی در حاشیه سریع متبلور شده توده گرانیتی در اثر فشار ناشی از تزریق‌های متوالی مذاب، نسبت داده شده است و در واقع باور بر این است که این میانبرها به حالت جامد (بیگانه سنگ ماگمایی) در مذاب از جنس خود جای گرفته‌اند. (۳) با توجه به تفاوت مشخص ویژگی‌های ظاهری، ماهیت شیمیایی و وضعیت کانی‌شناختی محتمل‌ترین منشأ برای میانبرهای مافیک آمیختگی دو ماگمای فلسیک و مافیک است.

ژئوشیمیایی منجر شود. اما هنگامی که اکسیدهای یکسانی از دو نمونه مجزا (میانبر و سنگ میزبان) در برابر هم در یک نمودار دومتغیره رسم شوند، همبستگی محاسبه شده بر مبنای خط رگرسیون و R^2 را می‌توان به عنوان خویشاوندی ژئوشیمیایی یا عدم خویشاوندی ژئوشیمیایی تفسیر کرد (شکل ۶).

(ب) بهره‌گیری از ضرایب همبستگی: ضریب همبستگی دومتغیره، معیاری از همبستگی متغیرها بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌هاست. ضریب همبستگی رابطه بین دو متغیری را نشان می‌دهد که هر دو تحت تأثیر عوامل مشترکی قرار گرفته‌اند و روند تغییرات آنها هم جهت با هم یا در دو جهت متفاوت است (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). این عامل معیاری است از درجه تمایل دومتغیره به رابطه خطی با یکدیگر، که ما در اینجا به منظور نمایش میزان همبستگی عناصر مختلف در ترکیب میانبر و میزبان آنها از نمودار دومتغیره‌ای با محور طولی متشکل از اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب در برابر ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای هر یک از این عناصر در میانبر و سنگ میزبان استفاده کرده‌ایم.

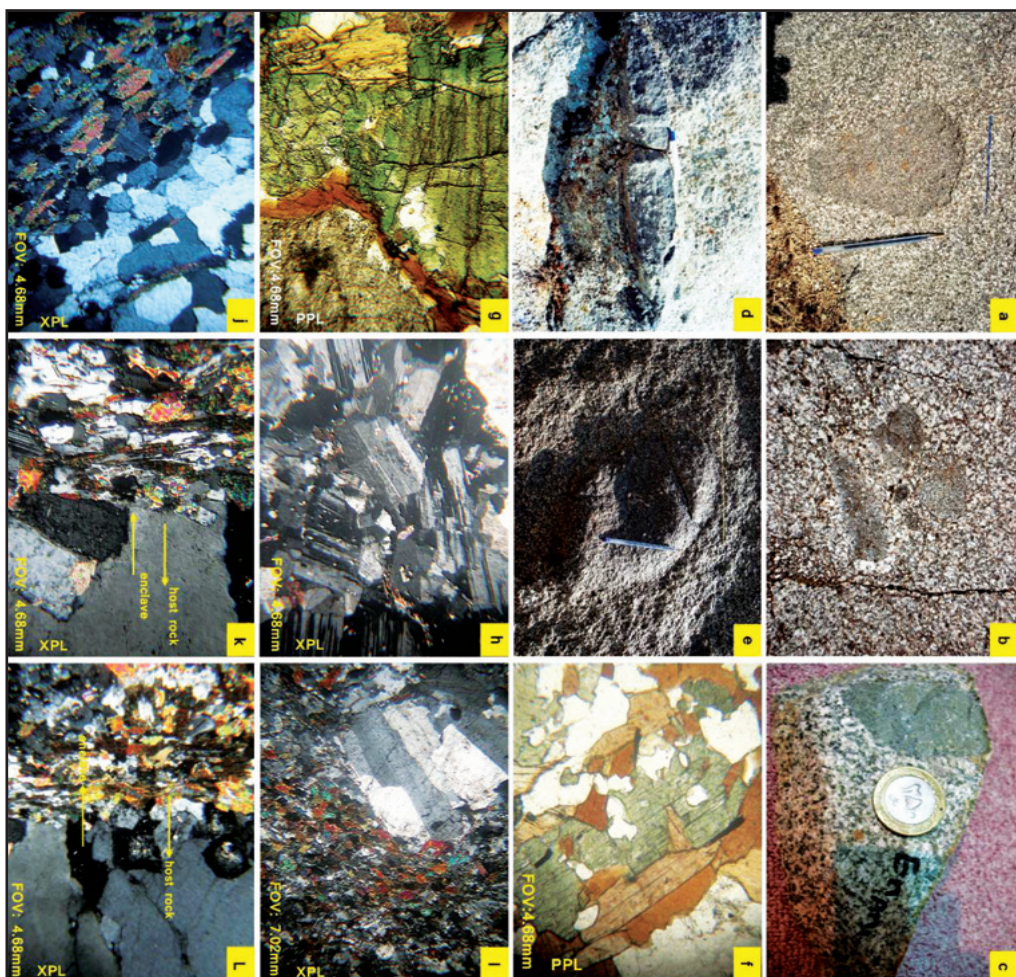
مقایسه روندهای مشاهده‌شده برای تغییرات ضریب همبستگی اکسیدهای اصلی و کمیاب سنگ میزبان در برابر میانبر در هر دو حالت ذکر شده، بیانگر اختلاف مشخص در یک سری عناصر و هماهنگی در پاره‌ای دیگر از آنهاست (شکل ۷).

- روش‌های آماری چندمتغیره: همان‌گونه که مشخص است این روش‌ها به بررسی همزمان تغییرات چندمتغیره پرداخته و نتایج حاصل از آن اغلب نسبت به تحلیل‌های آماری، بر اساس روش‌های دومتغیره مناسب‌تر هستند. از جمله روش‌های آماری چندمتغیره تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه‌های اصلی هستند که می‌توان به وسیله آنها روابط بین نمونه‌ها و یا روابط بین متغیرها را بررسی کرد. اساس تحلیل هر دو روش بر ماتریس ضرایب همبستگی متغیرها و نمونه‌ها، استوار است.

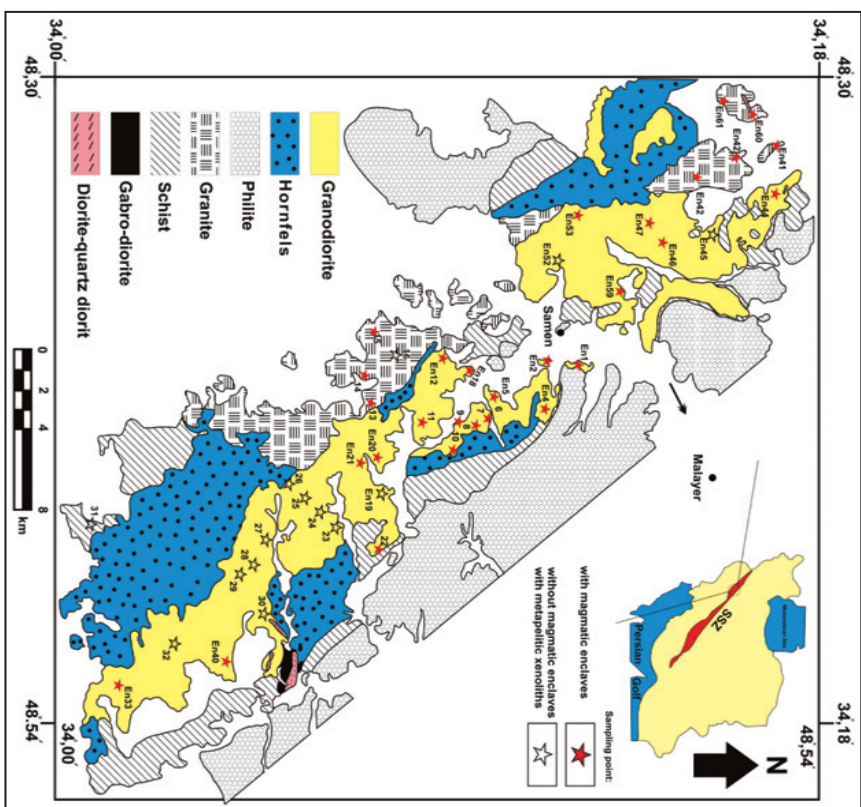
(الف) تحلیل خوشه‌ای: در تحلیل خوشه‌ای، هدف، دستیابی به ملاکی برای رده‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه درون‌گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است و نتیجه آن تقسیم‌بندی متغیرها به گروه‌هایی است که بیشترین تشابه را درون خود و بیشترین اختلاف را بین یکدیگر دارند. برای رسم نمودار درختی برای متغیرهای شیمیایی نمونه‌های میانبر و میزبان، با بهره‌گیری از ماتریس شباهت بین متغیرها، از ضرایب فاصله (یا ضرایب اختلاف) به عنوان معیاری از شباهت و هماهنگی بین آنها استفاده شده است. بدیهی است کمترین فاصله، بیانگر بیشترین شباهت دومتغیره در میانبر و میزبان است.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل خوشه‌ای، اهمیت بسیاری دارد، چرا که برای اثبات وجوه تمایز اغلب میانبر با میزبان در مراحل قبلی، باید، در این مرحله نمونه‌ها به دو سری نمونه با قرابت اندک و تمایز اساسی تقسیم شوند، و در گروه‌هایی مجزا قرار گیرند (شکل ۸).

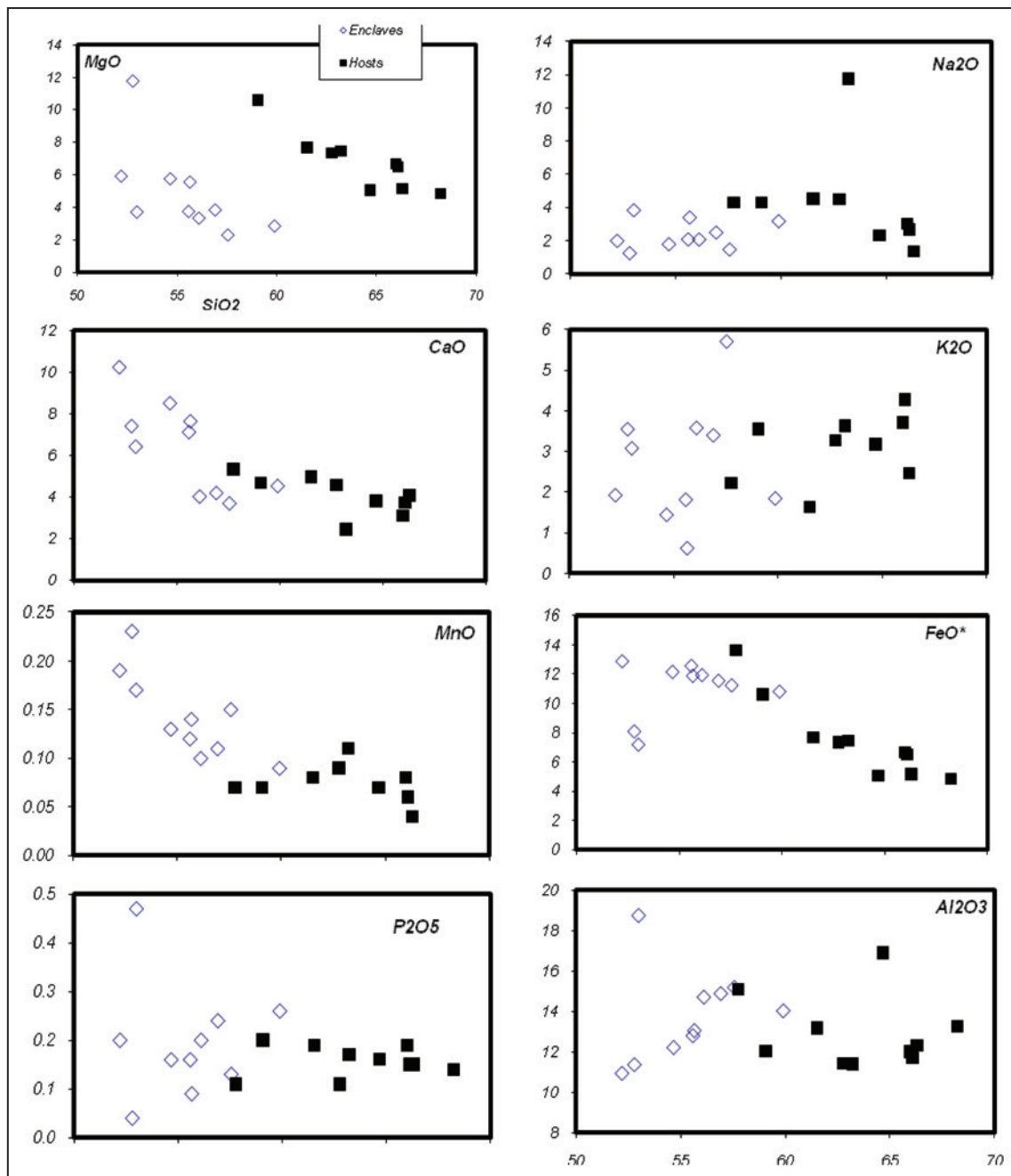
همان‌گونه که در الگوی درختی به‌دست آمده بر اساس خویشاوندی‌های ژئوشیمیایی میانبرها و میزبان آنها مشاهده می‌شود، نمونه‌ها به دو گروه کاملاً مجزا تقسیم شده‌اند که شامل سنگ‌های میزبان در یک نیمه و میانبرهای مافیک در نیمه دیگر است. در واقع، این حالت تأییدی است بر روندهای ژئوشیمیایی مشاهده‌شده از عناصر مختلف، هنگامی که میزبان و میانبر در یک نمودار دومتغیره ژئوشیمیایی در کنار هم بررسی می‌شوند و مسیرهای ژئوشیمیایی از هم گسیخته‌ای را نشان می‌دهند. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که هر کدام از گروه‌های میانبرهای مافیک و سنگ‌های گرانیتی میزبان، بیشترین شباهت ژئوشیمیایی را بین خود و بیشترین تمایز را با یکدیگر دارند. نکته قابل تأمل و مهم قرارگیری میانبرهای فلسیک (یا میکروگرانیتی‌دیدی) در گروه سنگ‌های میزبان است که بیانگر خویشاوندی و هم‌جنس بودن آنها با میزبان‌های گرانیتی است و این امر با منشأ در نظر گرفته شده برای آنها، به عنوان محصول گسیختگی در فازهای اولیه تزریق ماگمایی توده گرانیتی (به عنوان مثال: Donaire et al., 2005) به خوبی هماهنگی دارد.



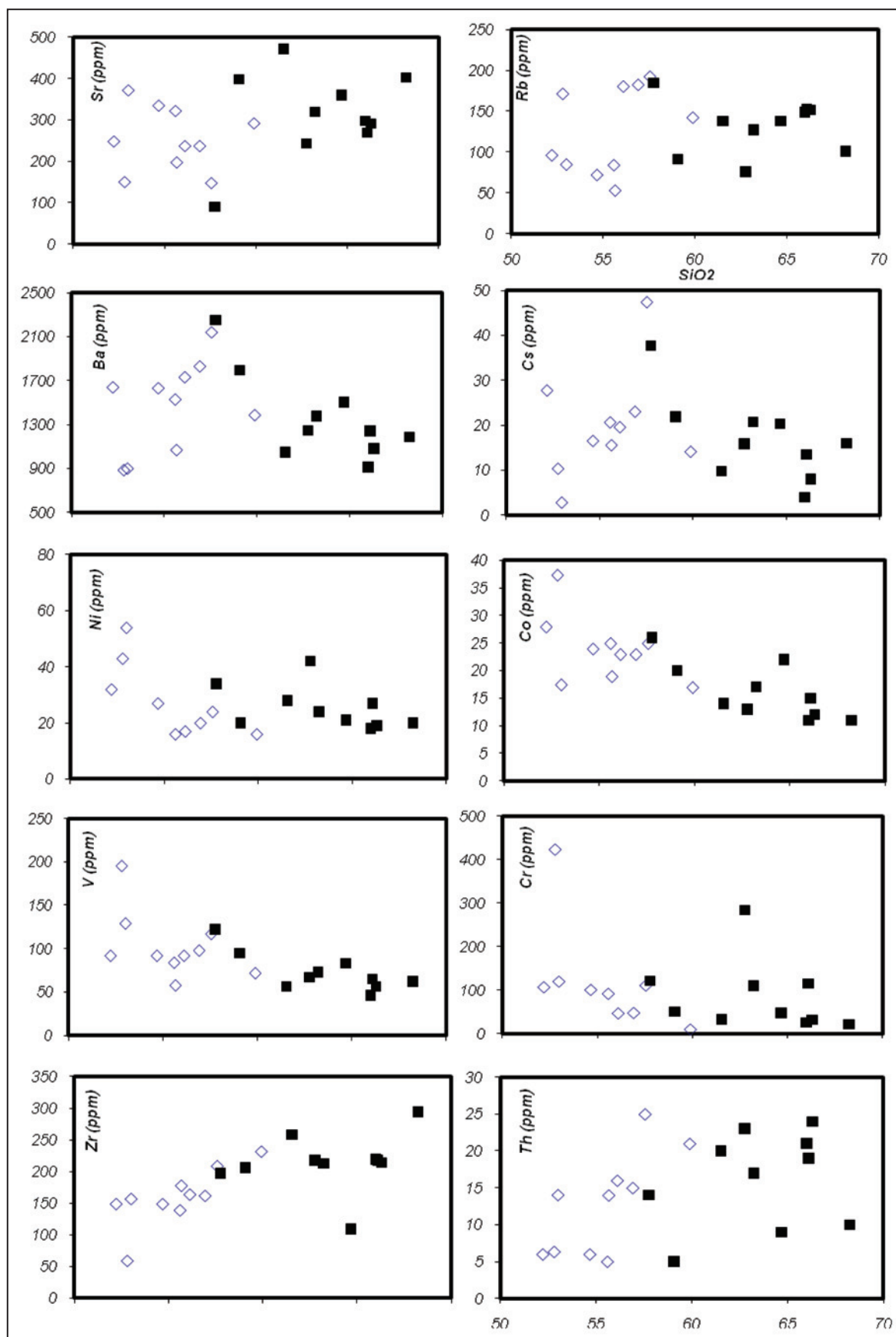
شکل ۷- (a-b) تصاویری از میانبرهای ماگمایی فسیک؛ (c) میانبر ماگمایی به شدت دگرسان‌شده که بیروتیت‌های آن کریستی و فلیدسپارها سرپستی شده‌اند؛ (d-f) میانبرهای ماگمایی مافیک؛ (g-i) دگرسانی هورزنبلد در امتداد درزه و ترک‌ها و حاشیه‌ها و تبدیل آن به بیروتیت ثانویه؛ (h-l) تصاویری که همگی بیانگر هم راستا شدن کانی‌ها بدون رخداد دگرشکلی پلاستیک و دگرشکلی حالت جامد هستند و آرایش خطی کانی‌های کوآرتز و فلیدسپار در ناحیه موزی بین میانبر و سنگ میزبان در آنها نشان‌دهنده تأثیر رخداد جریان ماگمایی است؛ (i) تصویری از موزی میانبر و سنگ میزبان که به نظر می‌رسد درشت‌بلور پلاژیوکلار سنگ میزبان تحت تأثیر جریان ماگمایی دچار چرخش و جدایش از محدوده اصلی خود شده است؛ (l) به تبلور بیروتیت و آرایش موزی کانی‌های کوآرتز، پلاژیوکلار در ناحیه موزی توجه شود. این حالت بیانگر حالت مذاب میانبر و تبادلات صورت گرفته در ناحیه موزی است (دیوسالار و همکاران، ۱۳۸۸).



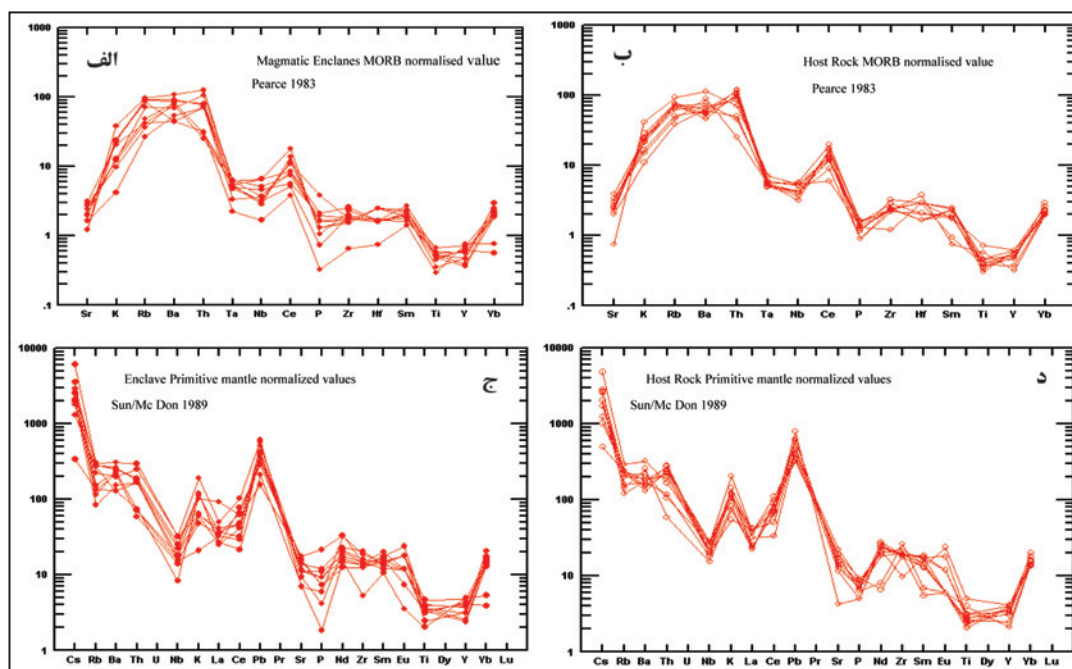
شکل ۸- برآیند کانی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه مورد مطالعه به همراه نمایش محل نمونه برداری‌ها (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مایکرو، تهیه‌شده در سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، با اندکی تغییر)



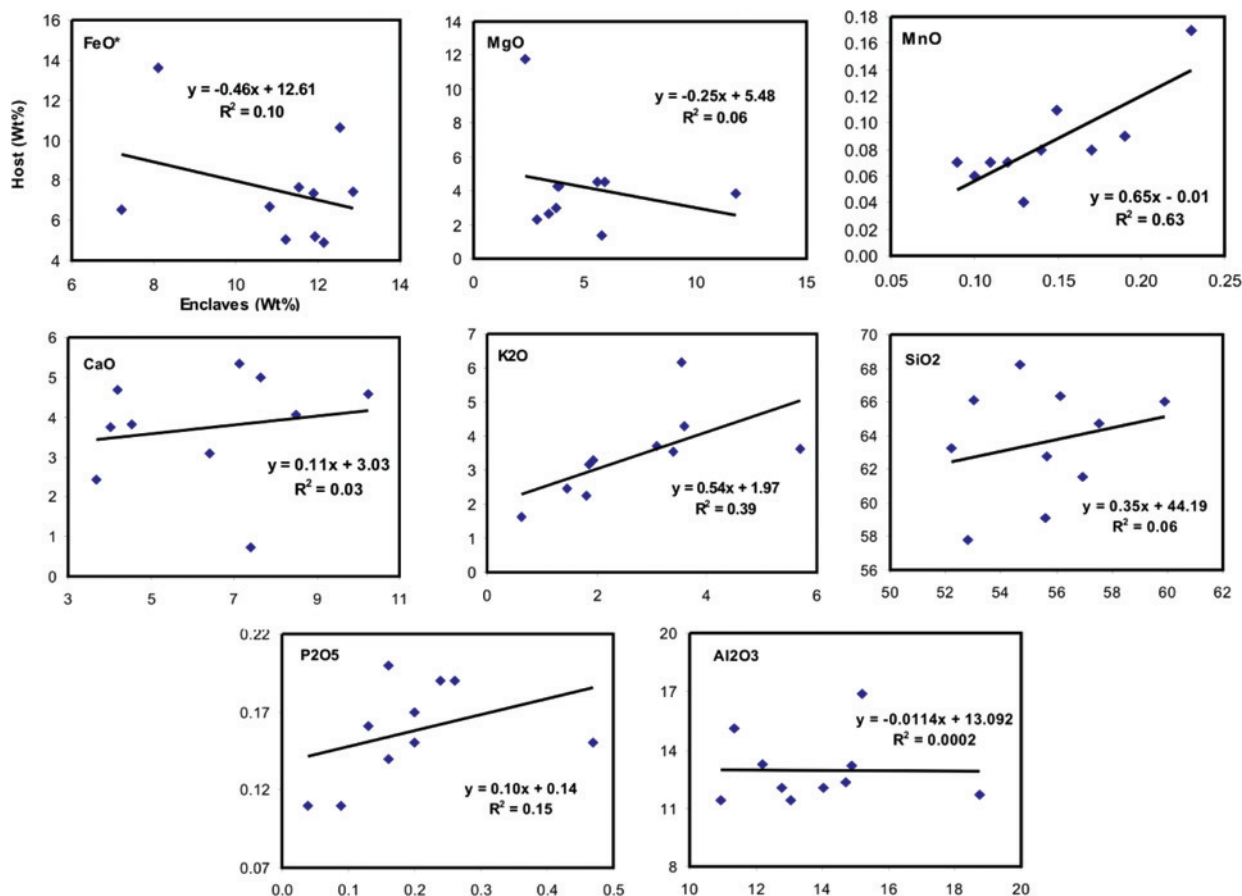
شکل ۳- نمودارهای دومتغیره تغییرات مقادیر عناصر اصلی در برابر افزایش SiO₂ در میانبارها و میزبان همان گونه که در روند تغییرات همه اکسیدها دیده می‌شود (مربع توپر: سنگ میزبان؛ مربع توخالی: میانبار مافیک).



شکل ۴- نمودارهای نشان‌دهنده تغییرات عناصر کمیاب در برابر افزایش SiO_2 در میان‌بارها و میزبان (نمادها مانند شکل ۳)

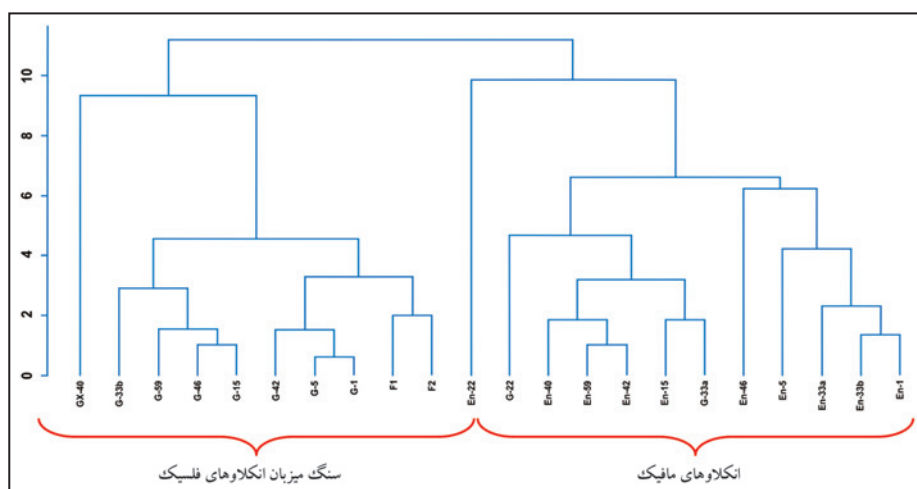
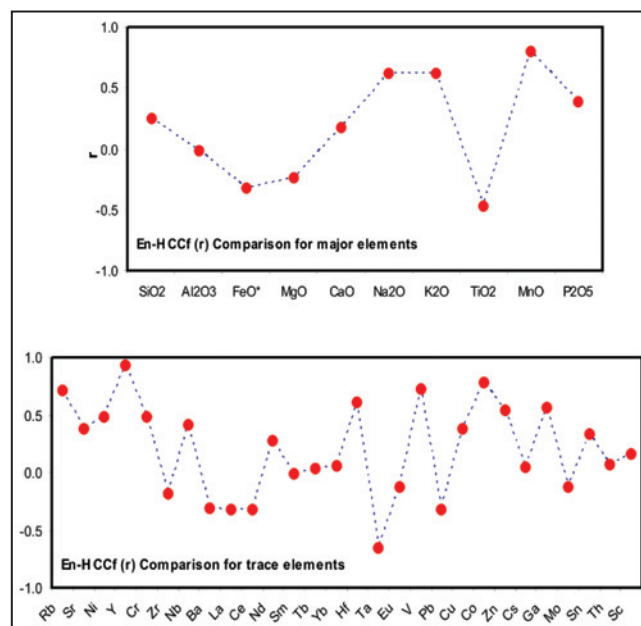


شکل ۵- شباهت زیاد بین الگوی تغییرات عناصر اصلی و فرعی به تبادلات واکنش‌های متقابل بین میانبارها (نمودارهای الف و ج) سنگ میزبان (نمودارهای ب و د) در حالت مذاب یا نیمه مذاب مربوط است. شکل‌های الف و ب نمودار عنکبوتی بهنجارشده بر اساس مقادیر بازالت‌های پشته میان اقیانوسی (Pearce, 1983)، شکل‌های ج و د) نمودار عنکبوتی بهنجارشده بر اساس مقادیر گوشته اولیه (Sun & Mc Don, 1989) (به عنوان مثال: Yilmaz, 2005; Barbarin, 2005; Vernon, 1983; Coloun et al., 1984; Debon, 1991).



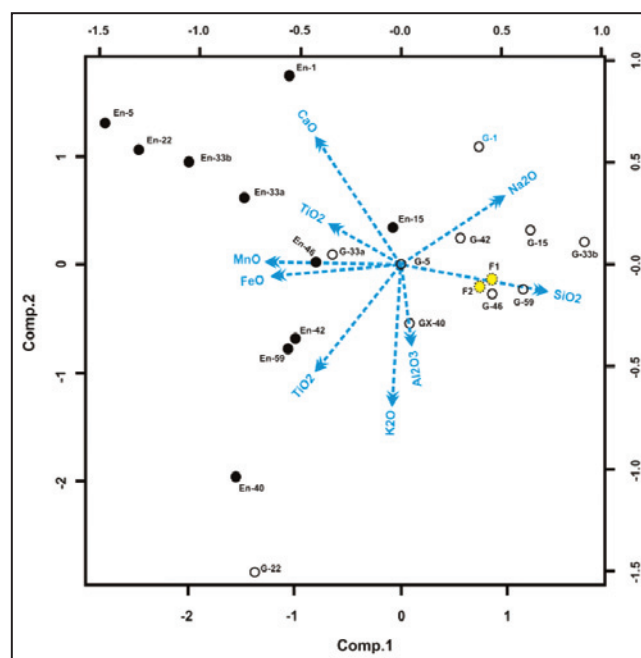
شکل ۶- محاسبه ضریب تعیین (R^2) و خط رگرسیون برخی از اکسیدهای عناصر اصلی بین میانبار و میزبان. همان گونه که در نمودارها قابل مشاهده است، تقریباً همه اکسیدها پراکندگی مشخصی نسبت به خط رگرسیون نشان می‌دهند (و ضریب R^2 پائینی دارند) که بیانگر تمایز مشخص در محتوای بیشتر اکسیدهای مذکور بین میانبار و سنگ میزبان است.

شکل ۷- نمایش ترسیمی تغییرات ضرایب همبستگی محاسبه شده برای هر جفت از اکسیدهای عناصر اصلی و عناصر کمیاب بین میانبار و سنگ میزبان



شکل ۸- الگوی شاخه درختی به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای که نمونه‌های میانبار و سنگ میزبان را بر اساس ضرایب همبستگی بین متغیرهای مختلف به دو دسته کلی و زیر شاخه‌های جدا از هم تقسیم کرده است (مد Q). در رسم این الگو اکسیدهای عناصر اصلی با بیشترین درصد، بالاترین (در رأس آنها SiO_2) درجه تأثیرگذاری را دارند و گروه‌بندی اصلی بر اساس آنها انجام شده است.

شکل ۹- آرایش بردارها در نمایش ترسیمی تحلیل مؤلفه‌های اصلی. همان گونه که در این نمودار دیده می‌شود آرایش بردارها بیانگر تمایز مشخص در ترکیب عناصر اصلی بین میانبارها و سنگ میزبان بوده و اکسیدهایی مانند Na_2O ، K_2O ، SiO_2 ، FeO ، MnO ، CaO ، TiO_2 روندی متمایز از سنگ میزبان بوده و همچنین نمونه‌های سنگ میزبان (دایره‌های توخالی) و میانبار (نمونه‌های توپر) در دو سمت متفاوت از بردارها قرار گرفته‌اند، در حالی که میانبارهای فلسیک (دایره توپر زرد رنگ) و سنگ‌های میزبان در کنار هم دیده می‌شوند.



جدول ۱- نتیجه تجزیه شیمیایی میانبارها و سنگ میزبان

	میانبارهای مافیک										سنگ میزبان			
	EN- 46	EN-40	EN-59	EN-15	EN-5	EN-42	EN33-b	EN33a	EN-22	En-1	G- 46	G-59	G-42	G-15
SiO ₂	53.00	57.56	56.11	59.90	52.21	56.92	54.67	55.59	52.80	55.66	66.1	66.3	61.5	66.0
Al ₂ O ₃	18.75	15.18	14.70	14.02	10.92	14.88	12.20	12.79	11.35	13.04	11.7	12.3	13.2	12.0
FeO*	7.22	11.23	11.92	10.81	12.86	11.54	12.14	12.55	8.11	11.88	6.5	5.2	7.7	6.7
MgO	3.73	2.32	3.36	2.87	5.94	3.86	5.78	3.77	11.80	5.58	3.0	2.7	4.3	2.3
CaO	6.42	3.69	4.02	4.53	10.24	4.19	8.51	7.12	7.41	7.64	3.1	3.8	4.7	3.8
Na ₂ O	3.85	1.49	2.09	3.19	2.01	2.51	1.81	2.10	1.27	3.41	2.5	2.6	3.0	3.0
K ₂ O	3.08	5.70	3.58	1.85	1.93	3.40	1.45	1.82	3.55	0.63	3.7	4.3	3.6	3.2
TiO ₂	0.73	1.01	0.84	0.67	0.79	0.88	0.79	0.73	0.44	0.53	1	1	1	0
MnO	0.17	0.15	0.10	0.09	0.19	0.11	0.13	0.12	0.23	0.14	0.1	0.1	0.1	0.1
P ₂ O ₅	0.47	0.13	0.20	0.26	0.20	0.24	0.16	0.16	0.04	0.09	0.2	0.2	0.2	0.2
Rb	118	192	180	142	96	182	72	84	171	53	153	152	138	149
Sr	406	147	237	292	248	237	335	322	150	197	269	291	471	298
Ni	19	24	17	16	32	20	27	16	263	43	27	19	28	18
Y	13.41	21.72	17.50	19.67	14.11	16.91	11.65	10.93	22.90	14.24	16.4	16.4	15.0	18.4
Cr	30	111	47	10	107	48	101	92	1060	423	115	32	33	26
Zr	218	209	164	232	149	162	149	139	59	178	218	214	258	219
Nb	17	23	18	23	13	16	11	10	5.90	11	15	15	20	18
Ba	899	2141	1732	1387	1640	1831	1632	1529	885	1068	1242	1082	1046	913
La	63.40	34.34	17.40	28.41	25.25	25.54	23.24	17.49	18.60	22.37	17.3	26.3	25.9	16.2
Ce	110.00	180.68	73.98	84.22	84.75	56.47	117.39	136.62	38.30	51.54	117.1	158.9	196.6	124.6
Nd	35	44	27	31	22	24	20	17	20.10	29	25	37	27	29
Sm	7.18	6.60	5.32	5.88	7.70	8.88	6.27	7.07	4.67	6.43	5.7	7.8	6.3	6.4
Tb	0.74	3.44	3.10	2.22	3.93	3.26	3.44	3.55	0.74	2.46	2.0	1.6	1.8	1.5
Yb	6.81	7.50	6.49	6.37	8.50	6.93	7.84	6.39	2.62	10.11	7.8	6.8	8.0	6.6
Hf	3.80	4	4	4	6	4	6	6	1.80	4	7	4	5	4
Ta	0.6	1.0	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	1.0	0.40	0.85	0.98	0.91	0.99	1.08
Eu	1.24	3	2	2	4	2	3	2	0.59	3	1.00	1.00	1.00	1.00
V	129	117	92	72	92	98	92	84	195	58	65	56	56	46
Pb	11	43	25	36	30	28	23	20	15	40	45	44	28	42
Cu	43	9	10	6	23	10	23	24	47	7	27	10	12	8
Co	18	25	23	17	28	23	24	25	37	19	15	12	14	11
Zn	63	107	78	71	84	76	77	80	93	73	72	63	69	65
Cs	2.67	47.50	19.54	14.05	27.76	23	16.47	20.62	10.25	15.51	13.5	8.0	9.7	3.9
Ga	5.99	21	22	23	22	22	21	21	14.40	26	23	24	23	24
Mo	2	3	4	3	4	4	4	4	2	3	3	3	3	3
Sn	1	6	6	6	6	6	6	6	2	6	6	6	6	6
Th	14.05	25	16	21	6	15	6	5	6.34	14	19	24	20	21
Sc	3	2	3	3	2	3	4	3	2	3	3	2	3	2

ادامه جدول ۱

	میانبرهای مافیک							سنگ میزبان	
	G-1	G-33b	G-22	GX-40	X-22	G-33a	G-5	F1	F2
SiO ₂	62.76	68.23	57.76	64.68	60.39	59.07	63.22	64.2	62.3
Al ₂ O ₃	11.42	13.26	15.09	16.90	12.14	12.05	11.41	15.7	16.7
FeO*	7.34	4.86	13.61	5.06	10.57	10.61	7.46	6.0	6.2
MgO	4.51	1.35	3.82	11.75	3.83	4.31	4.49	1.8	2.4
CaO	4.98	4.07	0.72	2.44	5.82	5.34	4.58	3.6	3.4
Na ₂ O	4.04	3.18	0.95	2.30	3.1	2.12	2.03	3.3	3.3
K ₂ O	1.64	2.46	6.18	3.64	2.4	2.23	3.28	2.2	2.7
TiO ₂	0.61	0.57	1.08	0.69	0.68	0.86	0.67	0.7	0.6
MnO	0.08	0.04	0.17	0.11	0.12	0.07	0.09	0.1	0.1
P ₂ O ₅	0.11	0.14	0.11	0.16	0.15	0.20	0.17	0.3	0.1
Rb	76	101	185	138	136	91	127	162.5	142.5
Sr	243	402	90	360	357	398	319	260.0	294.0
Ni	42	20	34	21	22	20	24	22.0	19.0
Y	14	11	19	18	18	9.62	15.63	27.2	17.1
Cr	284	22	121	48	63	51	110	100.0	100.0
Zr	218	294	197	109	130	206	213	235.0	145.5
Nb	14	13	19	19	17	11	14	19.0	12.0
Ba	1246	1184	2249	1502	1393	1793	1376	353.0	250.0
La	28.62	15.51	26.18	21.96	19.67	15.28	27.95	37.3	37.7
Ce	89.88	157.50	130.32	59.37	64.20	172.04	121.97	74.7	71.3
Nd	33	11	35	29	36	9	32	27.2	27.1
Sm	7.56	3.08	5.84	7.75	5	2.45	8.16	5.4	4.7
Tb	1.77	1.52	3.93	3.93	4	2.71	3.93	0.8	0.6
Yb	9.87	7.02	8.79	7.03	7	6.91	7.44	3.1	1.6
Hf	4.00	7.00	5.00	7.00	7	9	7	7.0	5.0
Ta	0.95	0.89	1.26	1.01	1	0.96	0.91	1.7	0.9
Eu	2	1	4	3	2	1	2	1.1	0.8
V	67	62	122	83	77	95	73	64.0	130.0
Pb	34	25	56	32	30	23	34	—	—
Cu	7	32	17	31	27	42	32	—	—
Co	13	11	26	22	20	20	17	14.2	14.2
Zn	70	75	98	77	75	79	75	56.0	53.0
Cs	16	16	38	20	18	21.91	20.70	9.5	7.0
Ga	24	25	21	22	22	22.00	22.00	24.0	20.0
Mo	3	3	3	4	4	3	3	—	—
Sn	6	6	6	6	6	6	6	2.0	2.0
Th	23	10	14	9	11	5	17	17.0	18.0
Sc	3	4	3	3	3	2	3	—	—

کتابنگاری

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۶۰- تقسیم بندی تکنیکی ایران با توجه به حوضه های رسوبی. مجله انجمن نفت ایران، شماره ۸۲، ۱۹-۲۸.
- حسینی پاک، ع.ا.، شریف الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران.
- فرقانی، ع.، ۱۳۴۸- مطالعه کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی گرانودیوریت سامن (ملایر)، نشریه شماره ۱۵ دانشکده فنی، دوره دوم.
- گودرزی، ح.ا.، ۱۳۷۴- ماگماتیسیم و متامورفیسیم منطقه ملایر- بروجرد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.
- دیوسالار، ر.، ولی‌زاده، م.، ۱۳۸۹- منشأ انکلاوها و زینولیت‌های متاپلیتی مجموعه پلوتونیک ملایر، فصلنامه علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۶، ص ۹-۱۷.
- دیوسالار، ر.، ولی‌زاده، م.، ۱۳۸۸- مطالعه‌ی انکلاوهای ماگمایی مجموعه‌ی پلوتونیک ملایر، "مجله علوم دانشگاه تهران"، ۳۵، ۲، ص ۸۵-۷۱.
- صادقیان، م.، ۱۳۸۳- پترولوژی سنگ های نفوذی و دگرگونی منطقه چشمه قصابان همدان. رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- قلمقاش، ج.، محمدیها، ک.، رشید، ح.، قهرایی پور، م.، ۱۳۸۴- امتزاج و اختلاط ماگمای مافیک و فلسیک در باتولیت الوند، شاهی بر همزیستی ماگمایی. چکیده بیست و سومین همایش علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- مدنی ایوری، ح.، ۱۳۵۹- پتروگرافی و پترولوژی توده آذرین گرانودیوریتی منطقه سامن و سنگ‌های همبر آن. پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی دانشگاه تهران.
- هاشمی، س. م.، ۱۳۸۵- مطالعه فرآیندهای تحول ماگمایی مجموعه پلوتونیک الوند. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

References

- Arvin, M., Dargahi, S., Babaei, A. A., 2004- Petrogenesis and origin of the chenar granitoid stock , NW of Kerman, IRAN: Evidence of neotectonic subduction related arc magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences* 24: 105-113.
- Barbarin, B., 2005 - Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: nature, origin, and relations with the hosts., *Lithos* 80 155:- 177.
- Blake, S., Fink, J. H., 2000- On the deformation and freezing of enclaves during magma mixing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 95:1-8.
- Buccianti, A., Peccerillo, A., 1999- The complex nature of potassic and ultrapotassic magmatism in Central-Southern Italy: a multivariate analysis of major element data. In: Lippard S J, Naess A, Sinding-Larsen R (eds) *Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology*. Tapir, Trondheim, p. 145-150
- Coulon, C., Clocchiatti, R., Maury, R. C., Westercamp, D., 1984- Petrology of basaltic xenoliths in andesite to dasite host lava from Martinique, evidence for magma mixing. *Bull. Volcano*, 47, 705-734.
- Debon, F., 1991- Comparative major element chemistry in various "microgranular enclave-plutonic host" pairs. In: Didier, J., Barbarin B. (Eds.), *Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology*, vol. 13. Elsevier, Amsterdam, pp. 293-312.
- Donaire, T. , Pascual. E. , Pin, C. , Duthou, J. L., 2005- Microgranular enclaves as evidence of rapid cooling in granitoid rocks: the case of the Los Pedroches granodiorite, Iberian Massif, Spain,. *Contrib Mineral Petrol.* 149: 247-265.
- Gabriel, K. R., 1971- The biplot graphical display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Ghalamghash, J., Mirnejad, H., Rashid, H., 2009- Magma mixing and mingling pattern along Neo-Tethys continental margin, Sanandaj-Sirjan zone, NW Iran: a case study from Alvand pluton, *Neues Jahrbuch Fur Minealogie*. Accepted paper for 2009.
- Kumar, S., Rino, V., 2006- Mineralogy and geochemistry of microgranular enclaves in Palaeoproterozoic Malanjkhanda granitoids, central India: evidence of magma mixing, mingling, and chemical equilibration. *Contrib. Mineral. Petrol* (2006) 152:591-609.
- Pearce, J. A., 1983- Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, p. 230-249
- Sepahi, A. A., 2007- Syn-plutonic dykes and magma mingling: An example from the Alvand plutonic complex, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran. – *Geochim. Cosmochim. Acta*. (Goldschmidt Conference) 71: A916.
- Sepahi, A. A., 2008- Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: with emphasis on the Alvand plutonic complex. – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 247:295-312.
- Silva, M. M.V.G., Neiva, A. M. R., Whitehouse M. J., 2000- Geochemistry of enclaves and host granites from the Nelas area, Central Portugal. *Lithos* 50, 153-170.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: Implication for mantle composition and processes, In: Saunders, A. D. and Norry, M. J., Ed., *Magmatism in Ocean Basins*, Geological Society of London Special Publication, 42, p. 313-345.
- Vernon, R. H., 1983- Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites (Clarke Memorial Lecture). *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, **116**, 77-103.
- Yilmaz, S. S., 2005- Geochemistry of mafic microgranular enclaves in the Tamdere Quartz Monzonite, south of Dereli/Giresun, Eastern Pontides, Turkey. *Chemie der Erde*. 2005 in press.
- Zorpi, M. J., Coulon, C., Orsini, J. B., 1991- Hybridization between mafic and felsic magma in calc – alkalin granitoids – a case study northern Sardina, Italy. In: A, Peccerillo (Guest – Editor) *Geochemistry of granitoid rocks* , *chem. Geol.* 92, 42-86.

Reducing Atmospheric Water Vapor Effects on the Interferogrametric SAR Products using MERIS-FR and GPS (Case Study: Mashhad Subsidence)

S. Adham Khiabani^{1*}, M. R. Mobasher¹, M. J. Valadan-zoej¹ & M. Dehghani²

¹Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

²Dept. of Civil and Environmental Engineering, School of Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2009 October 11

Accepted: 2010 October 30

Abstract

SAR interferometry has shown its abilities in measuring the surface deformation in various applications. Atmospheric signals as an important factor affecting the interferometric measurements have temporally uncorrelated and complicated behavior. In this paper, a model based on the error source is presented to reduce the atmospheric contributions on the interferometric measurements in Mashhad subsidence area. In this model, the Full-Resolution (RF) MODIS data and meteorological information were used in order to estimate the water vapor and reduce the pressure effect, respectively. Moreover, water drops as well as the clouds effects were considered in the proposed model. Utilizing error propagation, model error was estimated as 7.2 mm. The Root Mean Square Error (RMSE) as a quantitative comparison between GPS measurements and interferometric results showed an improvement from 9 mm (before atmospheric correction) to 2 mm after applying the correction model.

Keywords: Remote sensing, SAR interferometry, MERIS, GPS.

For Persian Version see pages 123 to 128

*Corresponding author: S. Adham Khiabani; E-mail:Adham@IEEE.org

The Determining of the Nature of Magmatic Encalves in Granites of Malayer Plutonic Complex based on Geochemical and Statistical Methods

R. Deevsalar^{1*}, M. V. Valizadeh² & V. Ahadnejad³

¹ Faculty of Basic Sciences, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² College of Science, Faculty of Geology, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 2009 September 08

Accepted: 2010 October 30

Abstract

Granitic rocks of Malayer plutonic complex contain varieties of enclaves with different shapes, sizes, mineralogy and chemical composition. The interpretation of bivariate geochemical diagrams of major oxides and trace elements with respect to higher values of some of oxides such as MnO, TiO₂, MgO, CaO & FeO₂ than host rocks in one groups of enclaves and moreover linear trend of these oxides and some of trace elements such as Ni, Cr, V indicate to different nature and mafic source of these enclaves (Mafic type) than host rocks and other enclaves (Felsic type). The study of chemical composition of this enclaves by using of univariate and bivariate statistical methods (bivariate regression analysis, correlation coefficients, cluster analysis and principle component analysis) indicate clear chemical contrast between mafic enclaves with felsic enclaves and granitic host rocks and in other side chemical affinity of felsic enclaves and their host rocks. Distinctive distribution of the majority of oxides and trace elements of mafic enclaves and host rocks and low values for R² in regression analysis, low value of correlation coefficient of major element oxides and trace elements between enclaves and their host rocks, separate position of samples in cluster pattern and special direction of variants and samples of vectors in bivariate diagram of principle component analysis (PCA) are outputs of different geochemical characteristics of enclaves and host rocks. Moreover this correlates with different trends of each major oxides and trace elements in bivariate geochemical diagram (Harker diagram).

Keywords: Enclave, Host Rock, Mineralogy, Geochemistry, Correlation Coefficient, Statistical Methods

For Persian Version see pages 129 to 140

*Corresponding author: R.Deevsalar; E-mail: Reza_dsalar@yahoo.com