

ژئوشیمی و پترولوژی سری‌های مافیک و اپی کلاستیت‌های

همراه در افیولیت‌های سیه‌چشمه، جنوب غرب ماکو

محمد رهگشای*، عیسی آزادی*، هادی شفایی مقدم** و مهرداد پورمحسن***

* گروه زمین شناسی دانشگاه شهید بهشتی

** گروه زمین شناسی دانشگاه علوم پایه دامغان

** گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور خوی

چکیده

کمپلکس افیولیتی سیه‌چشمه (جنوب ماکو) مشتمل بر گدازه‌های بالشی و توده ای، دایک‌های بازالتی و دیابازی، متابازالت‌ها، آندزیت‌ها، متاآندزیت‌ها، گابروها، پگماتیت گابروها و دایک‌های داسیتی بوده و علاوه بر این، اپی کلاستیک‌ها، هیالوکلاستیت‌ها و برش‌های سرد با ترکیب بازالتی و تفریق یافته‌تر در سکانس پوسته‌ای این افیولیت‌ها دیده می‌شوند. سری‌های مختلف سنگی در منطقه سیه‌چشمه از لحاظ خصوصیات پتروگرافی و ژئوشیمیایی با همدیگر متفاوت بوده و با توجه به نمودارهای مرتبط با عناصر کمیاب و نمودارهای تکتونوماگمایی در محیط‌های تکتونیکی متفاوتی تشکیل شده‌اند، بطوری که گدازه‌های جریانی و بالشی به همراه متابازالت‌ها، قلوه‌های بازالتی داخل اپی کلاستیت‌ها و دایک‌های بازالتی از لحاظ پتروگرافی و ژئوشیمیایی خصوصیات بازالت‌های آکالن را نشان داده و با غنی شدگی در LREE, Nb, Ta مشخص می‌شوند. خصوصیات ژئوشیمیایی این دسته از سنگ‌های بازالتی مشابه با بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) و همچنین حدواسط بین OIB و E-MORB می‌باشد. سری دیگر نمونه‌های مورد مطالعه شامل تعدادی از گدازه‌های جریانی، گدازه‌های بالشی، دایک‌های دیابازی، آندزیت‌ها، دایک‌های داسیتی، لاپیلی توف‌ها، پگماتیت گابروها و دایک‌های گابرویی با نسبت بالای LREE/HREE و همچنین تهی شدگی در Ta, Nb, Ti مشخص می‌گردند و خصوصیات تولیت‌های جزایر قوسی و یا سری کالکوآکالن را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که تشکیل بازالت‌های OIB و E-MORB مرتبط با واکنش بین پلوم گوشته‌ای و مراکز در حال گسترش اقیانوسی می‌باشد. از طرف دیگر تشکیل سنگ‌هایی با گرایش کالکوآکالن و تولیت‌های جزایر قوسی می‌تواند در ارتباط با یک محیط فرورانش (SSZ) باشد.

واژه‌های کلیدی: افیولیت‌های سیه چشمه، گدازه‌های بالشی، جریان‌های گدازه ای، بازالت‌های آکالن و کالکو - آکالن.

Geochemistry and Petrology of Mafic Rocks and Associated Epiclastites in the Siyah-Cheshmeh Ophiolite (SW of Maku)

M. Rahgoshay*, I. Azadi*, H. Shafaii Moghadam**, M. Pormohsen***

*Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran

**School of Earth Sciences, Damghan University of Basic Sciences, Damghan

***Department of Geology, Peyame-Noor University of Khoy, Khoy

Abstract

Pillow lavas, massive lava flows, basaltic and diabasic dikes, meta basalts, andesites, meta-andesites, gabbros, pegmatite gabbros, dacitic dikes along with epiclastites, hyaloclastites and cold breccias are the main constituents of the crustal unit of the Siyah-Cheshmeh ophiolite. The various rock units of the Siyah-cheshmeh ophiolite are petrographically and geochemically different and based on the trace elements and tectonomagmatic diagrams; they are considered to form in different environments. Some of pillow lavas, basaltic flows, meta-basalts, basaltic fragments in epiclastites and basaltic dikes display alkaline characteristics. They are marked by enrichment in LREE, Nb and Ta. These geochemical behaviors resemble exclusively both to oceanic island basalts (OIB) and to E-MORB-OIB basalts. On the other hand, some rock units including lava flows, pillow lavas, diabasic dikes, andesitic-dacitic dikes, lapilli tuffs, pegmatite gabbros and gabbroic dikes are characterised by high LREE/HREE ratio and depletion in Ti, Nb, Ta and therefore show either IAT or calc-alkaline affinity. It is clear that the formation of OIB-E-MORB basalts are related to the interaction between mantle plumes and an oceanic spreading center. Otherwise, petrogenesis of calc-alkaline and IAT rocks is thought to be related to supra-subduction zone.

Keywords: Siyah Cheshmeh ophiolites, Pillow lavas, Lava flows, Alkaline and calc-alkaline basalts.

مقدمه

ژئوشیمیایی E مورب را برای بازالت‌های توده‌ای و گرایش ژئوشیمیایی T مورب را برای بازالت‌های بالشی در نظر گرفته‌اند. مطالعه پترولوژی و ترموبارومتري دگرگونی‌های شرق افیولیت‌های خوی توسط عزیزى [2] بیانگر یک محیط برخوردی (برخورد صفحه عربی و بلوک آذربایجان-البرز) به عنوان محیط تشکیل این کمپلکس افیولیتی می‌باشد. از طرف دیگر مطالعات ژئوکرونولوژی و ژئوشیمیایی مجموعه افیولیتی خوی توسط خلعتبری جعفری و همکاران [3] نشان دهنده

افیولیت‌های سیه چشمه در طول جغرافیایی ۰۰' تا ۴۴° ۴۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰' تا ۳۹° ۰۰' شمالی رخنمون دارند و ادامه شمال غربی افیولیت‌های خوی می‌باشند. این افیولیت‌ها در شمال غرب ایران واقع شده و به عنوان آمیزه رنگین در نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ منطقه ماکو گزارش شده اند (شکل ۱). حسنی پاک و قاضی [1] برای نخستین بار بازالت‌های بالشی و توده ای کمپلکس افیولیتی خوی را مورد مطالعه قرار داده و گرایش

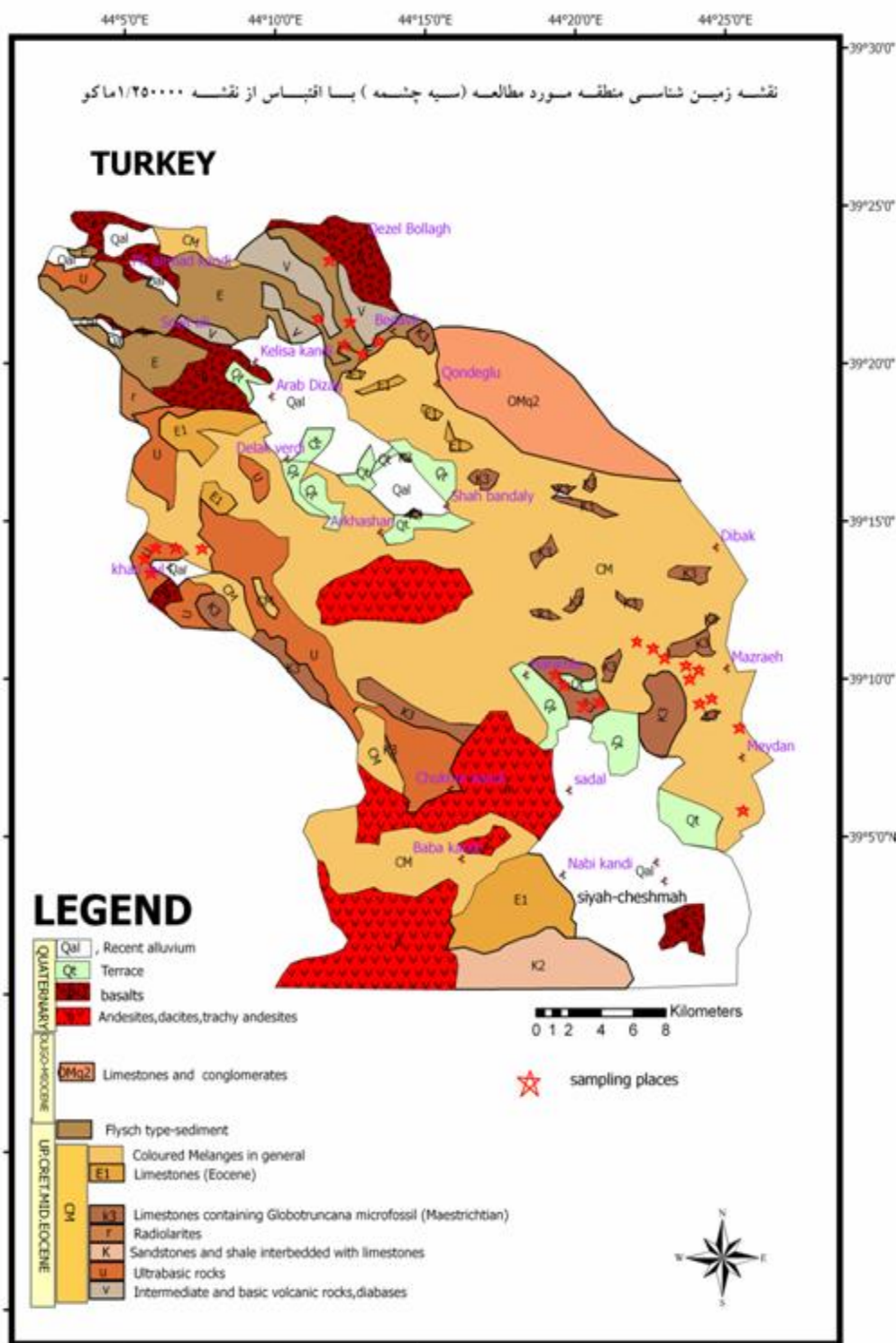
منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی بیشتر ویژگی پوخته اقیانوسی را داشته و بخشی از کمربند افیولیتی شمالغرب ایران را تشکیل می دهد که در حاشیه شمال باختری ایران در مرز با ترکیه گسترش داشته و ادامه آن در ترکیه افیولیت های تاروس نامیده می شود. این مجموعه افیولیتی بیشتر از گدازه های بازالتی زیر دریایی و رسوبات تیپ فلیش و آهک های پلاژیک کرتاسه فوقانی و آهک های پائوسن میانی - ائوسن همراه با بلوک هایی از سنگ های الترابازیک تشکیل شده است. همبری مجموعه افیولیتی با سنگ های آهکی پائوسن - ائوسن تکتونیکی بوده که نشان دهنده ادامه فرایند بهم ریختگی تا اوایل ائوسن می باشد. مجموعه فوق توسط رسولات الیگو - میوسن و سنگ های آتشفشانی اسیدی بطور دگرشیب پوشیده شده و در نهایت توده های نفوذی نیمه عمیق کوارتز دیوریتی مجموعه افیولیتی را قطع می کنند. آخرین تجلی فعالیت های ماگمایی در منطقه سیه چشمه - ماکو شامل یکسری از گدازه های آندزیتی - بازالتی جوان می باشند که در ارتباط با فعالیت آتشفشانی آرات بوده و بخش هایی از منطقه را پوشانیده اند. از لحاظ تکتونیکی منطقه مورد مطالعه بشدت تکتونیزه و بهم ریخته بوده و ارتباط بین واحدهای سنگی اغلب تکتونیکی و گسله است. رورانگی ها از دیگر ویژگی های ساختاری منطقه بوده که باعث رانندگی واحدهای افیولیتی بر روی یکدیگر و یا بر روی واحدهای جدیدتر می گردد.

وجود دو مجموعه افیولیتی با دو سن و دو تیپ متفاوت می باشد: کمپلکس دگرگونی شرقی با سن ژوراسیک زیرین تا ژوراسیک میانی و کمپلکس افیولیتی دگرگون نشده کرتاسه بالایی.

با توجه به مطالعات خلعتبری جعفری و همکاران [3] قطعات زاویه دار آتشفشانی^۱ در سری توریدایتی (به سن کرتاسه بالایی) و همچنین دایکهای دیابازی خصوصیات T مورب و همچنین خصوصیات سری کالکوالکالن را نشان داده و برشهای آنکارا میتی و متاولکانیک های کمپلکس دگرگونی شرقی خصوصیات سری کالکوالکالن را نشان می دهند. این خصوصیات ژئوشیمیایی برای گدازه ها نشان دهنده فوران از یک محیط Supra subduction zone می باشد [4]. به طور کلی هدف از این مطالعه بررسی ژئوشیمیایی و پترولوژیکی سری های مافیک در مجموعه افیولیتی سیه چشمه (جنوب ماکو) می باشد.

۲- روش مطالعه: بعد از مطالعات صحرایی از حدود ۱۰۰ نمونه سنگی مقطع نازک و صیقلی برای مطالعات پتروگرافی و آنالیزهای شیمیایی کانیایی تهیه شده است. تجزیه شیمیایی حدود ۲۰ نمونه سنگی به روش ICP-MS و ICP-AES در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه لوئی پاستور استراسبورگ فرانسه (Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg) صورت پذیرفته است.

۳- زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (سیه چشمه) با اقتباس از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ماکو [۲۰۱].

۴- پتروگرافی واحدهای سنگی

۴-۱- جریان‌های گدازه‌ای^۱: به طور کلی این جریان‌ات گدازه‌ای از لحاظ استراتیگرافی بالاتر از بازالت‌های بالشی قرار گرفته و عموماً بصورت لایه‌های بازالتی دیده می‌شوند (Basaltic sheet flows) که در برخی موارد بر روی برش‌های ولکانیکی قرار گرفته‌اند. از لحاظ پتروگرافی جریان‌های گدازه‌ای خصوصیات متفاوتی نشان می‌دهند. بافت این سنگ‌ها ایتترگرانولار، اینترسرتال و پورفیری با زمینه میکروکریستالین بوده و ترکیب بازالتی تا بازالت آندزیتی دارند. کانیهای اصلی تشکیل دهنده این گدازه‌ها کلینوپیروکسن (دارای زوناسیون)، پلاژیوکلاز (به شدت آتره شده) و آمفیبول می‌باشند.

در بین کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز مواد شیشه‌ای و مگنتیت به صورت بافت ایتترسرتال دیده می‌شوند. حضور فنوکریست‌های آمفیبول (با چند رنگی شدید قهوه‌ای) به همراه پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (دیوپسید و یا تیتانواوزیت) در خمیره‌ای متشکل از کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، آمفیبول، مگنتیت، آپاتیت و مواد شیشه‌ای نشان دهنده بازالت‌هایی با ترکیب آلکانل می‌باشند (شکل ۲- ب).

سری دیگر جریان‌های گدازه‌ای به صورت سیل مانند بوده و برش‌های ولکانیکی را قطع کرده‌اند. از لحاظ پتروگرافی بافت پورفیری داشته و کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آنها پلاژیوکلاز و پیروکسن می‌باشند که هم به صورت فنوکریست‌های درشت و هم به صورت میکروولیت‌های دانه‌ریزی در زمینه سنگ دیده می‌شوند.

اسفن و اپیدوت نیز به مقدار ناچیزی در این سنگ‌ها قابل مشاهده می‌باشند.

۴-۲- گدازه های بالشی: این گروه از سنگ‌ها به صورت رخنمون‌های بزرگی در اطراف روستای کرد کندی و مزرعه دیده می‌شوند. این پیلولاواها بافت بادامکی داشته که حفرات توسط کلسیت پر شده است. در فضای خالی بین بالش ها آهک های پلاژیک کرتاسه فوقانی دیده می‌شوند. از لحاظ پتروگرافی گدازه‌های بالشی دارای خصوصیات متفاوتی می‌باشند. یک‌سری از این گدازه‌های بالشی (اطراف روستای کرد کندی و مزرعه) از لحاظ پتروگرافی ترکیب بازالتی داشته و بافت اینترسرتال و گلومروپورفیری با زمینه میکروولیتی و در بعضی نمونه‌ها بافت به شدت پورفیری نشان می‌دهند. کانیهای اصلی تشکیل دهنده سنگ پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین (بیشتر به صورت ایدینگزیتی شده) می‌باشند. پیریت و مگنتیت به مقدار کمی در سنگ حضور دارند.

سری دیگر گدازه های بالشی شامل سکانس ضخیمی از گدازه های بالشی هستند که بر روی لایه های چرتی (با میانگین ضخامت دو متری) قرار گرفته و توسط برش‌های رسوبی پوشیده شده‌اند. برش‌های رسوبی خود میزبان دایک‌ها و سیل‌های بازالتی می‌باشند. از لحاظ پتروگرافی این گدازه‌ها ترکیب بازالتی داشته و با بافت ایتترسرتال مشخص می‌گردند. کانیهای اصلی تشکیل دهنده سنگ پلاژیوکلاز (به صورت فنوکریست و همچنین به صورت میکروولیت‌های ریز) و کلینوپیروکسن (به صورت زونه) می‌باشد. به همراه این کانی‌ها کلسیت و اکسیدهای آهن نیز در سنگ قابل مشاهده می‌باشند. زمینه شیشه‌ای سنگ به شدت به کانی‌های رسی تبدیل شده است (شکل ۲- الف).

رنگ دیده می‌شوند. در آندزیت‌ها پلاژیوکلازها هم به صورت فنوکریست و خود شکل و هم به صورت میکروولیت‌های دانه ریزی در زمینه یافت می‌شوند (شکل ۲-و) و در اکثر موارد تبدیل شدگی به کانی‌های رسی را نشان می‌دهند. در متاآندزیت‌ها پلاژیوکلازها به صورت میکروولیت‌های درشت بوده و به شدت به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. کلینوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌های به شدت کلریتی شده و به همراه مگنتیت و مواد شیشه‌ای در این نمونه‌ها دیده می‌شوند.

۴-۷- هیالوکلاستیت‌ها: پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست و همچنین به صورت میکروولیت‌های دانه ریز در هیالوکلاستیت‌ها دیده می‌شوند. کوارتز نیز در این سنگ‌ها به مقدار زیادی به همراه کلسیت و اکسیدهای آهن یافت می‌شود. از نظر پتروگرافی هیالوکلاستیت‌ها دارای ترکیب آندزیتی می‌باشند.

۴-۸- متابازالت‌ها: این گروه از گدازه‌ها به صورت جریان‌ات گدازه‌ای آلتزه شده بوده و همراه با بازالت‌ها و آندزیت‌ها دیده می‌شوند. بافت این سنگ‌ها به صورت هیالوفایتیک می‌باشد. در این سنگ‌ها پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست و میکروولیت‌های دانه ریز بوده و در امتداد حاشیه‌ها به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. کلینوپیروکسن‌ها نیز به صورت فنوکریست بوده و در برخی موارد کاملاً به کلسیتی شده‌اند. زمینه شیشه‌ای سنگ به شدت به کانی‌های رسی و کلریت تبدیل شدگی نشان می‌دهد.

۴-۹- ماسه سنگ توفی و لاپیلی توف: بیشتر در مسیر سیه چشمه به روستای مزرعه ضخامت زیادی از ماسه سنگ‌های توفی و لاپیلی توفها که دارای لایه بندی نیز می‌باشند، دیده می‌شوند. در این گروه از سنگ‌ها

۴-۳- قطعات بازالتی داخل برش‌های ولکانیکی: برش‌های ولکانیکی از حجم زیادی برخوردار بوده و عموماً بر روی بازالت‌های بالشی و بازالت‌های اسپیلیتی شده آلکالن قرار گرفته‌اند. این توالی‌های سنگی حاوی قطعات بازالتی هستند که در برخی مواقع شکل پیلویی خود را حفظ کرده‌اند.

از لحاظ پتروگرافی این گروه از سنگ‌ها ترکیب بازالتی داشته و بافت اینترسرتال نشان می‌دهند. پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ هستند در این سنگ‌ها میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در بین کلینوپیروکسن‌های دانه ریز قرار گرفته و آمفیبول‌های قهوه‌ای رنگ در اطراف کلینوپیروکسن‌ها دیده می‌شوند. مواد شیشه‌ای بین کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز به صورت بافت اینترسرتال پراکنده شده‌اند (شکل ۲-ه).

۴-۴- دایک‌های بازالتی: دایک‌های بازالتی یا به داخل گدازه‌های بالشی (با ترکیب آلکالن) و یا به داخل برش‌های ولکانیکی نفوذ کرده‌اند. این گروه از سنگ‌ها از لحاظ پتروگرافی ترکیب بازالتی داشته و بیشتر از پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن با بافت عموماً اینترسرتال تشکیل شده‌اند (شکل ۲-د).

۴-۵- دایک‌های دیابازی: این گروه از دایک‌ها در اطراف روستای خان گلی دیده شده و توده‌های بزرگ پریدوتیتی را قطع کرده‌اند. بافت این سنگ‌ها پورفیری تا اینترسرتال بوده و کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ پلاژیوکلاز و پیروکسن می‌باشند. به همراه این کانی‌ها هیدروگروسولار نیز دیده می‌شود.

۴-۶- آندزیتها و متاآندزیتها: این گروه از سنگ‌ها در اطراف روستای حرملو و همراه با توالی‌های آهکی قرمز

متمایل به بازالت های آلکالن داخل صفحه اقیانوسی می باشند. در این سری از این گدازه ها مقادیر اکسید های اصلی متغیر می باشد برای مثال $\text{SiO}_2=40-48 \text{ wt\%}$, $\text{MgO}=2.7-6.89 \text{ wt\%}$, $\text{TiO}_2=1.2-1.7 \text{ wt\%}$ این گروه از گدازه ها غنی شدگی بلایی در LREE ها ($\text{La}=30-98 \text{ ppm}$, $\text{Ce}=60-176 \text{ ppm}$) و عناصر ناسازگار دیگر نشان می دهند ($\text{Th}=2-15 \text{ ppm}$, $\text{Nb}=23-74 \text{ ppm}$, $\text{Zr}=120-313 \text{ ppm}$, $\text{Ti}=7300-10600 \text{ ppm}$) نسبت های LREE/HREE و سایر نسبت های عنصری (جدول ۱) مشابه نسبت های این عناصر در OIB [7] می باشند. الگوی پراکنش REE و عناصر کمیاب (نرمالایز شده به ترتیب نسبت به کاندیت و گوشته) (شکل ۵-الف) برای این جریان های گدازه ای، غنی شدگی در LREE, LILE, Nb, Ta و تهی شدگی در HREE ها را نشان می دهد که مشخصه بازالت های آلکالن داخل صفحه اقیانوسی می باشد [8]. مطابق این نمودار شیب منحنی از LREE به طرف HREE به صورت منفی و تند بوده و نشان می دهد که در منشاء این سنگها گارنت حضور داشته است [9,10] (ذوب بخشی گارنت لرزولیت).

با توجه به اطلاعات موجود می توان نتیجه گرفت که این گروه از گدازه های جریان جزو بازالت های آلکالن بوده و خصوصیات OIB و حد واسط بین OIB و E-MORB را نشان می دهند و در یک محیط تکتونیکی داخل صفحه اقیانوسی ایجاد شده اند.

(ماسه سنگ های توفی) کوارتز (به صورت تجمعات پلی کریستالین و منو کریستالین) به همراه پلاژیوکلاز، کانی های اپک، قطعات سنگی و کلریت دیده می شوند (شکل ۲-ج).

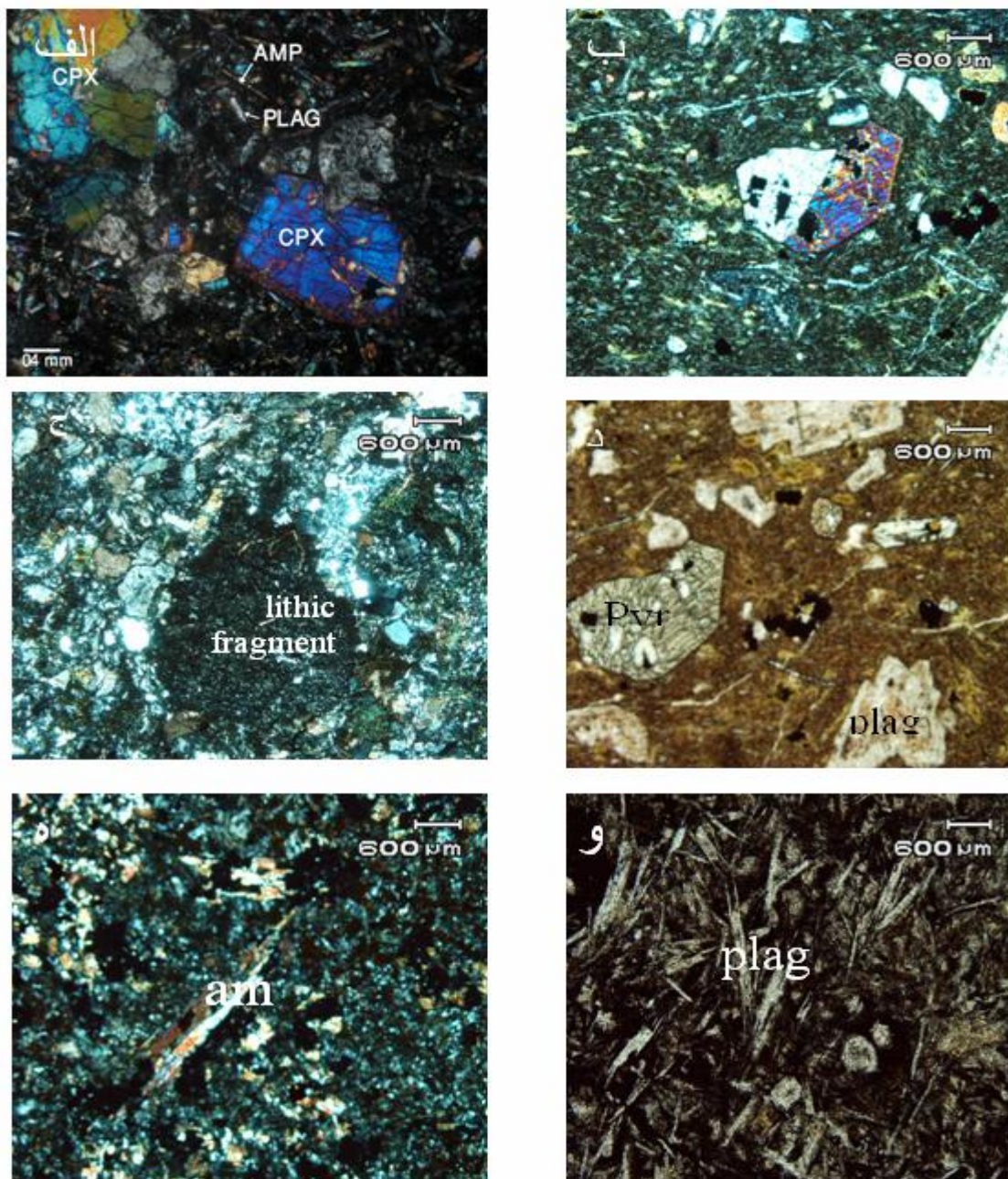
۴-۱۰- دایکهای داسیتی: این گروه از سنگها به صورت دایک هایی در داخل متاآندزیتها و متا بازالتها تزریق شده اند. بافت این سنگها به صورت پورفیری با زمینه دانه ریز می باشد. تنها کانی قابل تشخیص آنها، فنوکریست ها و میکرولیتهای ریز پلاژیوکلاز در زمینه کاملاً آتره شده سنگ می باشند که به کانیهای رسی تجزیه شده اند.

۴-۱۱- پگماتیت گابروها و دایکهای گابروی:

پگماتیت گابروها و دایکهای گابروی به صورت محدود در منطقه دیده می شوند. بافت این سنگها گرانولار و دانه درشت بوده و از نظر کانی شناختی پلاژیوکلازها (آتره شده به کانیهای رسی و اپیدوت) و پیروکسنها (تبدیل به اورالیت و کلریت) سازنده عمده این سنگها می باشند. کانیهای اپک در مجاورت کلینو پیروکسن های دگرسان شده نیز دیده می شوند.

۵- ژئوشیمی:

۵-۱- جریان های گدازه ای: گدازه های جریانی از لحاظ ژئوشیمیایی به دو دسته متفاوت تقسیم می شوند. یک سری از گدازه ها در طبقه بندی شیمیایی Zr/TiO_2 در مقابل Nb/Y (شکل شماره ۳) [5] در محدوده بازالت های آلکالن قرار گرفته و علاوه بر این در نمودار تکتونوماگمایی Th-Nb/16-Hf/3 (شکل شماره ۴) [6]



شکل ۲: تصاویر مقاطع میکروسکوپی از سنگ‌های مورد مطالعه. الف) فنوکریست‌های کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول در خمیره‌ای متشکل از کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، آمفیبول و مواد شیشه‌ای در اندازه‌های بالشی آلکالن ب) فنوکریست کلینوپیروکسن (دیوپسید) در جریان‌های اندازه‌ای در یک زمینه شیشه‌ای که تبدیل به کانی‌های رسی شده‌اند. ج) قطعات لیتیک همراه با میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، کلسیت و بلورهای کوارتز (بصورت پلی کریستالین و مونوکریستالین) در لایلی توف‌ها د) فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای در دایک‌های بازالته (ه) آمفیبول‌ها به صورت فنوکریست و همچنین به صورت میکرولیت در داخل زمینه در برش‌های ولکانیکی حاوی قطعات بازالته. و) بلورهای سوزنی پلاژیوکلاز (در آندزیت-ها) به صورت دم چلچله‌ای در یک زمینه شیشه‌ای و حفره دار.

Nb (22-24ppm), Zr (133-189ppm) و نسبت LREE/HREE در این سری از گدازه های بالشی پایین می باشند $[(La/Yb)_n=1.8, (La/Sm)_n=1.3]$. الگوی عناصر نادر خاکی (نرمالایز شده نسبت به کندریت) برای این سری از سنگها یک روند کاملاً سطح داشته (شکل ۵ ب) و در عناصر U, K, Cs, Pb دارای غنی شدگی و علاوه بر این تهی شدگی برای عناصر Nb, Ta را نشان می دهند. با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی ذکر شده این سری از سنگها خصوصیات بازالت های تو لیتی جزایر قوسی یا Tholeiites Island-arc را نشان می دهند [11].

سری دوم این گدازه های بالشی دارای SiO_2 بیشتر (49 wt%) و TiO_2 کمتر (0.86 wt%) می باشند. این گروه از گدازه ها غنی شدگی در LREE ها را نشان داده (La=86 ppm, Ce=163) و دارای مقادیر کمتری از عناصر ناسازگار بوده (Nb=17.9 ppm, Zr=169 ppm) و نسبت های LREE/HREE در این گروه از سنگها بالا می باشد $(La/Sm)_n=4.9$ و $(La/Yb)_n=29.6$. الگوی پراکنش عناصر کمیاب (نرمالایز شده نسبت به گوشته اولیه) برای این بازالت ها (شکل ۵ ب) دارای غنی شدگی از عناصر Pb, Th, K, Sr, Rb بوده در حالی که تهی شدگی شدیدی در Ti, Nb, Ta را نشان می دهند. با توجه به این خصوصیات ژئوشیمیایی می توان این گروه را به بازالت های کالکوالکالن جزایر قوسی نسبت داد. در سری سوم از این سنگ ها مقادیر $SiO_2=41.5$ wt%, $TiO_2=1.78$ wt%, $MgO=6.86$ wt% می باشند. این گروه از گدازه ها به طور کلی غنی شدگی در LREE

در سری دوم گدازه های جریانیه مقادیر $SiO_2=44$ wt%, $MgO=3.7-5.7$ wt%, $TiO_2=0.7-0.9$ wt% در تغییر می باشند. این گروه از گدازه ها غنی شدگی در عناصر نادر خاکی سبک را نشان می دهند به طوری که مقدار La=55-84ppm و مقدار Ce=110-167ppm در تغییر می باشد. علاوه بر این، این گروه از سنگها دارای مقادیر کمتری از عناصر ناسازگار (Nb=22-24ppm, Zr=133-189, Ti=4700-5600 ppm) بوده و نسبت های LREE/HREE در این سری از سنگها نسبت به سری قبلی گدازه های جریانیه کمتر می باشد به طوریکه نسبت $(La/Yb)_n$ بین 17-25 و نسبت $(La/Sm)_n$ برابر 4.2-4.3 می باشد. بر اساس دیاگرام های مرتبط با عناصر کمیاب (نرمالایز شده نسبت به گوشته اولیه) غنی شدگی در LILE ها و تهی شدگی در HFSE دیده می شود که نشان دهنده سری های کالکوالکالن جزایر قوسی می باشد (شکل ۵ الف).

۲-۵- گدازه های بالشی: از لحاظ ژئوشیمیایی گدازه های بالشی به سه گروه مختلف تقسیم می شوند. یک سری از این گدازه ها در رده بندی شیمیایی (شکل ۳) در محدوده بازالت قرار گرفته و علاوه بر این در نمودار تکتونوماگمایی Th-Nb-Hf (شکل ۴) در محدوده سری های تشکیل شده در جزایر قوسی قرار می گیرند.

در این سری از گدازه های بالشی مقادیر $SiO_2=46$ wt%, $MgO=7.64$ wt%, $TiO_2=1.11$ wt%, $Al_2O_3=17$ wt% در تغییر می باشند (بازالت های غنی از آلومینیم). این گروه از گدازه ها دارای مقادیر کم LREE ها می باشند (La=5.78 ppm, Ce=13.3 ppm) و از طرف دیگر مقادیر عناصر ناسازگار همچون

و نسبت‌های (Th/Yb, Y/Nb, Y/Ta, La/Y, Zr/Y,) مشابه این نسبتها در OIB و نسبت های Zr/Nb, Ti/Nb, Zr/Y, Ti/Zr, Ce/Th, Ta/Yb مشابه نسبت های این عناصر در E-MORB و OIB می‌باشد [(La/Yb)n=8.7-13, (La/Sm)n=3.2-3.7] (جدول شماره ۱).

بر اساس دیاگرام‌های مرتبط با پراکنش REE ها و عناصر کمیاب (شکل ۵ ج) غنی شدگی برای عناصر LREE, Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Nd, Ti می‌شود. با توجه به اطلاعات موجود می‌توان نتیجه گرفت که این گروه از سنگها بازالتی با ترکیب حدواسط OIB و E-MORB می‌باشد (شکل ۵).

۴-۵- متابازالت ها: الگوی پراکنش عناصر کمیاب و نادر خاکی در این گروه از سنگها متفاوت می‌باشد (شکل ۵ ج) در یک سری از این سنگها مقدار $\text{SiO}_2=45 \text{ wt\%}$, $\text{MgO}=6 \text{ wt\%}$, $\text{TiO}_2=1.7$ و در رده بندی شیمیایی (شکل ۳) در محدوده بازالت‌های آکالن قرار می‌گیرند. علاوه بر این متابازالت‌ها غنی شدگی در $\text{La}=23.7 \text{ ppm}$, $\text{Ce}=46.4$ (LREE) ($\text{Th}=1.21 \text{ ppm}$, و عناصر ناسازگار دیگر $\text{Nb}=29.5 \text{ ppm}$, $\text{Zr}=47.4 \text{ ppm}$) می‌دهند. نسبت LREE/HREE و نسبت‌های عنصری اندازه گیری شده در این سنگها ($\text{La/Y}(0.99)$, $\text{Zr/Nb}(1.6)$, $\text{Ti/Nb}(293.96)$, $\text{Y/Nb}(0.81)$, $\text{Y/Ta}(18.6)$) مشابه این نسبت‌ها در OIB می‌باشد. از طرف دیگر نسبت‌های $\text{Zr/Y}(1.9)$ و $\text{Th/Yb}(0.5)$ مشابه این نسبتها در E-MORB می‌باشد (جدول ۱).

در الگوی پراکنش عناصر کمیاب و نادر خاکی (شکل ۵ ج) غنی شدگی برای LREE ها و Nb و تهی شدگی در HREE ها و U, Th دیده می‌شوند و

ها ($\text{La}=40 \text{ ppm}$, $\text{Ce}=78 \text{ ppm}$) و عناصر ناسازگار دیگر $\text{Th}(2.94 \text{ ppm})$, $\text{Nb}(30 \text{ ppm})$, Zr (123 ppm) نشان می‌دهند. نسبت LREE/HREE [(La/Yb)n=14.7, (La/Sm)n=3.84] و سایر نسبت‌های عنصری مانند $\text{La/Y}(1.79)$, $\text{Zr/Y}(5.4)$, $\text{Zr/Nb}(4.08)$, $\text{Ti/Nb}(354.9)$, $\text{Th/Yb}(1.49)$, $\text{Y/Nb}(0.74)$, $\text{Y/Ta}(14.6)$ مشابه نسبت‌های این عناصر در OIB می‌باشد (جدول ۲). در نمودارهای عناصر نادر خاکی (شکل ۵ ب) این گروه از گدازه‌های بالشی با غنی شدگی در LREE ها مشخص می‌گردند بطوریکه این غنی شدگی برای LREE ها به ۲۰۰ برابر کندریت می‌رسد و به طرف HREE به ۲۰ برابر کندریت کاهش می‌یابد. همچنین غنی شدگی برای عناصر Nb, Ta, Th, Ba, Ti دیده می‌شود. با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی ذکر شده، این گروه از بازالت‌ها را می‌توان در گروه بازالت‌های آکالن قرار داد.

۳-۵- قطعات بازالتی درون برش‌ها: تغییرات اکسیدهای اصلی در این گروه از سنگها نسبتاً بالا می‌باشند برای مثال $\text{SiO}_2=33-40 \text{ wt\%}$, $\text{MgO}=3-5$ wt%, $\text{TiO}_2=0.8-1.7$ wt% این سنگها در رده بندی شیمیایی (شکل ۳) جزو بازالت‌های آکالن قرار می‌گیرند و در نمودار تکتونوماگمایی Th-Nb/16- Wood, 1980 (Hf/3) (شکل ۴) تمایل به سری بازالت‌های آکالن داخل صفحه اقیانوسی نشان می‌دهند. این گروه از سنگها غنی شدگی بسار بالایی در LREE ها ($\text{La}=19-39 \text{ ppm}$, $\text{Ce}=35-74 \text{ ppm}$) عناصر ناسازگار دیگر همچون $\text{Th}=2.5-3.6 \text{ ppm}$, $\text{Nb}=27.3-31.5 \text{ ppm}$, $\text{Zr}=90-118 \text{ ppm}$) را نشان می‌دهند. از طرف دیگر نسبت LREE/HREE

کندریت و گوشته اولیه) غنی شدگی در LREE, Nb, Ta, LILE و تهی شدگی در HREE مشابه با سری های آلکالن دیده می شوند (شکل ۵ د).

۵-۶- دایک های دیابازی: دایکهای دیابازی موجود در منطقه از لحاظ ژئوشیمیایی به دو صورت مختلف دیده می شوند در یک سری از این دایکها $\text{SiO}_2=44$ wt%, $\text{MgO}=6$ wt%, $\text{TiO}_2=0.6$ wt% و در رده بندی از نظر ترکیبی در محدوده بازالت قرار می گیرند.

در این سری از دایکها غنی شدگی در عناصر نادر خاکی سبک ($\text{La}=87.7$ ppm, LREE $\text{Ce}=164$ ppm) و تهی شدگی در عناصر ناسازگار ($\text{Zr}=158$ ppm, $\text{Nb}=17.7$ ppm) دیده می شود. علاوه بر این نسبت بالای LREE/HREE جزو مشخصات ژئوشیمیایی این گروه از سنگها می باشد [$(\text{La}/\text{Yb})n=30.7$, $(\text{La}/\text{Sm})n=4.4$].

دیاگرام های مرتبط با عناصر نادر خاکی (شکل ۵ د) غنی شدگی در عناصر U, Th, Ba, K, Pb, Zr و تهی شدگی برای عناصر Nb, Ta, Ti دیده می شود که نشان دهنده گرایش کالکوالکالن جزایر قوسی برای این گروه از سنگهاست. در سری دوم دایک های دیابازی میزان $\text{SiO}_2=44$ wt%, $\text{MgO}=21$ wt%, $\text{TiO}_2=0.8$ باشد مقدار LREE ($\text{La}=0.63$, $\text{Ce}=0.89$) نسبت

LREE/HREE و نیویوم در این گروه از سنگها پایین می باشد [$(\text{La}/\text{Yb})n=1.45$, $(\text{La}/\text{Sm})n=4.7$] و $[\text{Nb}=0.34$ ppm]. این گروه از دایکهای دیابازی در دیاگرام عناصر نادر خاکی شده (شکل ۵ د) یک روند U شکل را نشان می دهند که مشابه سری بونینیتی جزایر قوسی می باشد. غنی شدگی نسبی در عناصر Ba, K, Pb, U, Cs و تهی شدگی در عناصر

مشخص کننده بازالت هایی با ترکیب حدواسط بین OIB و E-MORB می باشند.

در سری دوم این گروه از گدازه ها مقدار $\text{MgO}=3.3$ wt%, $\text{TiO}_2=0.7$, $\text{SiO}_2=44$ wt% بوده و در رده بندی شیمیایی (شکل ۳) در محدوده بازالت قرار می گیرند. این گروه از سنگها غنی شدگی در LREE ($\text{La}=28$ ppm, $\text{Ce}=50$ ppm) و تهی شدگی در عناصر HFS ($\text{Nb}=12$ ppm) را نشان می دهند.

نسبت LREE/HREE در این سنگها نسبتاً بالاست, $[(\text{La}/\text{Yb})n=10.12]$, $(\text{La}/\text{Sm})n=4.2$. این سری از سنگها در دیاگرامهای مرتبط با عناصر کمیاب غنی شدگی در عناصر Th, U, Pb و تهی شدگی در Nb, Ta نشان می دهند و مربوط به سری کالکوالکالن جزایر قوسی می باشند.

۵-۵- دایک بازالتی: این گروه از سنگها دارای $\text{SiO}_2=45$ wt%, $\text{MgO}=5.8$ wt%, $\text{TiO}_2=1.1$ wt% بوده و در رده بندی شیمیایی (شکل ۳) جزو بازالتهای آلکالن می باشند. علاوه بر این در نمودار تعیین جایگاه تکتونیکی (شکل ۴) در محدوده بازالتهای آلکالن داخل صفحه اقیانوسی قرار می گیرند. غنی شدگی در عناصر نادر خاکی سبک LREE ها ($\text{La}=91.9$ ppm, $\text{Ce}=159$ ppm) ناسازگار ($\text{Zr}=144$ ppm, $\text{Nb}=66$ ppm) و نسبت بالای LREE/HREE جزو مشخصات ژئوشیمیایی این گروه از سنگها می باشد [$(\text{La}/\text{Sm})n=6.8$], $(\text{La}/\text{Yb})n=25$. مقادیر عنصری ذکر شده و همچنین نسبت های عنصری دیگر (جدول شماره ۱) مشابه این مقادیر در OIB می باشد. در نمودار های مرتبط با عناصر نادر خاکی و عناصر کمیاب (نرمالایز شده به

این سنگها بالاست (La=26.5ppm, Ce=46.1ppm) . بر اساس دیاگرامهای مرتبط با عناصر نادر خاکی نیز غنی شدگی برای LREE ها دیده می شود که به طرف HREE نمودار حالت مسطح به خود می گیرد. غنی شدگی در عناصر Th, U, K و LREE ها و تهی شدگی در Nb, Ta از مشخصات ژئوشیمیایی این گروه از سنگها می باشد که نشان می دهد این دایک های داسیتی مربوط به سری کالکوالکالن جزایر قوسی می باشد (شکل ۵ م)

۵-۱۰- لایلی توف ها: مقدار اکسید های تیتان، منیزیوم و سیلیسیم به ترتیب برابر 0.7, 4.7, 40 درصد وزنی می باشد. نسبت La(n)/Yb(n) در این گروه از سنگها برابر با ۲۶,۵ بوده که نشان دهنده غنی شدگی زیاد برای LREE ها می باشد. بر اساس دیاگرامهای مرتبط با REE ها و عناصر کمیاب غنی شدگی برای عناصر Rb, Pb, K, U, Th, Ba و تهی شدگی برای عناصر Nb, Ta دیده می شود این خصوصیات ژئوشیمیایی نشان دهنده یک محیط فرورانش برای تشکیل این گروه از سنگهاست (شکل ۵ م).

۵-۱۱- پگماتیت گابروها و دایک های گابرویی: تغییرات مقادیر اکسید های اصلی در این گروه از سنگها به صورت $\text{SiO}_2=48-49 \text{ wt\%}$, $\text{MgO}=9-18 \text{ wt\%}$, $\text{TiO}_2=0.1-0.19 \text{ wt\%}$ می باشد. این گروه از سنگها دارای مقادیر پایین LREE ها (La=0.6-1.11), $\text{Ce}=0.2-0.7$ عناصر ناسازگار (Zr=3-7ppm, Nb=0.06-0.4ppm) و نسبت های LREE/HREE نیز در این سنگها پایین می باشد (La/Yb)n=0.7-0.8, (La/Sm)n=1.4

Nb, Ta, Ti نشان دهنده یک محیط مرتبط با فرورانش برای پیدایش این سنگها می باشد.

۵-۷- آندزیتها: مقادیر اکسیدهای اصلی در این سنگها $\text{SiO}_2=54-61 \text{ wt\%}$, $\text{MgO}=1.3-3.7 \text{ wt\%}$, $\text{TiO}_2=0.6-1 \text{ wt\%}$ می باشد. در این گروه از سنگها مقدار LREE ها بالاست به طوریکه مقدار La و Ce به ترتیب بین 22-30ppm و 41-47ppm در تغییر می باشد و نسبت های LREE/HREE بالاست [(La/Sm)n=3.5-4.6] (La/Yb)n=7-13 که نشان دهنده غنی شدگی زیاد برای LREE می باشد. الگوی پراکنش عناصر کمیاب (نرمالایز شده نسبت به گوشته اولیه) غنی شدگی در عناصر Cs, Rb, Ba, K, Pb, Sr, U و تهی شدگی در عناصر Nb, Ta, Ti دیده می شود (شکل ۵ ل) با توجه به خصوصیات ژئوشیمیایی ذکر شده، این گروه از سنگها مربوط به سری کالکوالکالن می باشند.

۵-۸- هیالوکلاستیت ها: در الگوی عناصر نادر خاکی غنی شدگی زیاد در LREE ها و غنی شدگی کمتر برای HREE ها دیده می شود به طوری که نسبت La(n)/Yb(n) در این گروه از سنگها برابر با ۱۴/۰۷ می باشد با توجه به اطلاعات ژئوشیمیایی موجود (غنی شدگی در LREE ها و عناصر K, U, Ba, Rb, Th, Pb, Nb, Ta, Ti) می توان نتیجه گرفت که این سری از سنگهای موجود در منطقه مربوط به سری کالکوالکالن جزایر قوسی می باشند (شکل ۵ ل).

۵-۹- دایک های داسیتی: مقدار اکسید های تیتان، منیزیوم و سیلیسیم به ترتیب برابر 0.7, 1.1, 67 درصد وزنی می باشد. میزان عناصر نادر خاکی سبک در

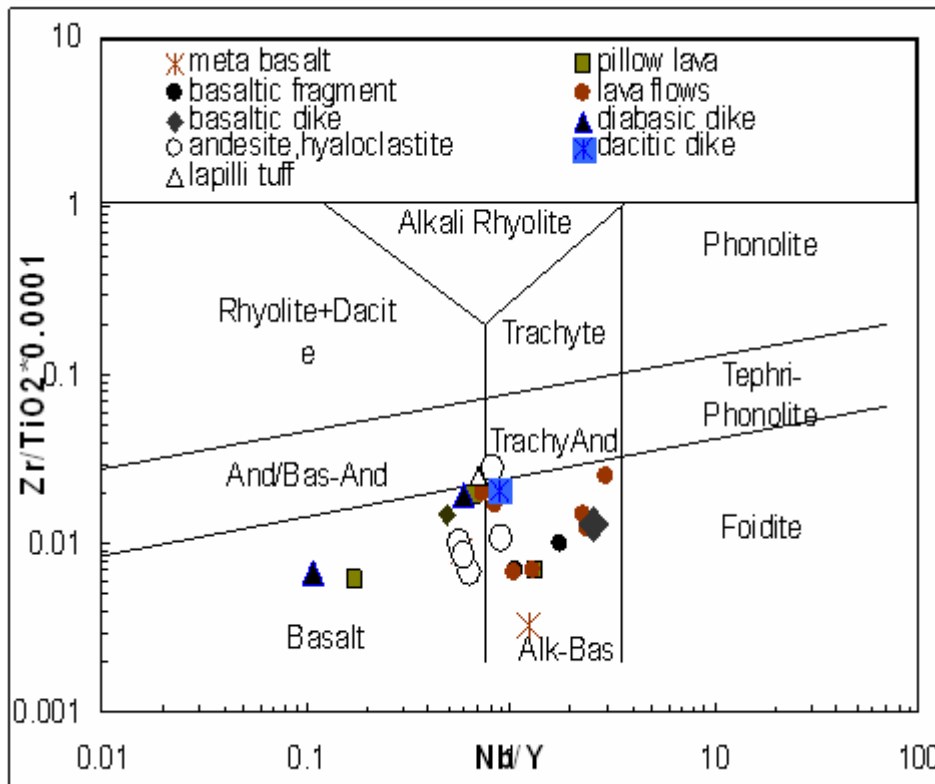
Ta,Nb,Th مشخصه این گروه از سنگها بوده و نشان دهنده این امر است که این گروه از سنگها از نظر ژئوشیمیایی مربوط به سری تو لئیتی جزایر قوسی یا Island arc می باشند.

۵-۱۲- میکرو گابروها: مقدار SiO₂ بالا و در حدود ۵۳ درصد وزنی می باشد. در این گروه از سنگها مقدار La=15ppm, Ce=30ppm و Nb=7ppm کمتری دارند. نسبت عناصر نادر خاکی سبک به عناصر نادر خاکی سنگین برابر $(La/Yb)_n=6.1$ [(La/Sm) $_n=2.6$] بوده و در دیاگرام های مرتبط با عناصر کمیاب غنی شدگی در LILE و تهی شدگی در HFSE دیده می شود که این خصوصیات مشخص کننده تشکیل در یک محیط مرتبط با قوس آتش فشانی می باشد. (شکل ۵ ن).

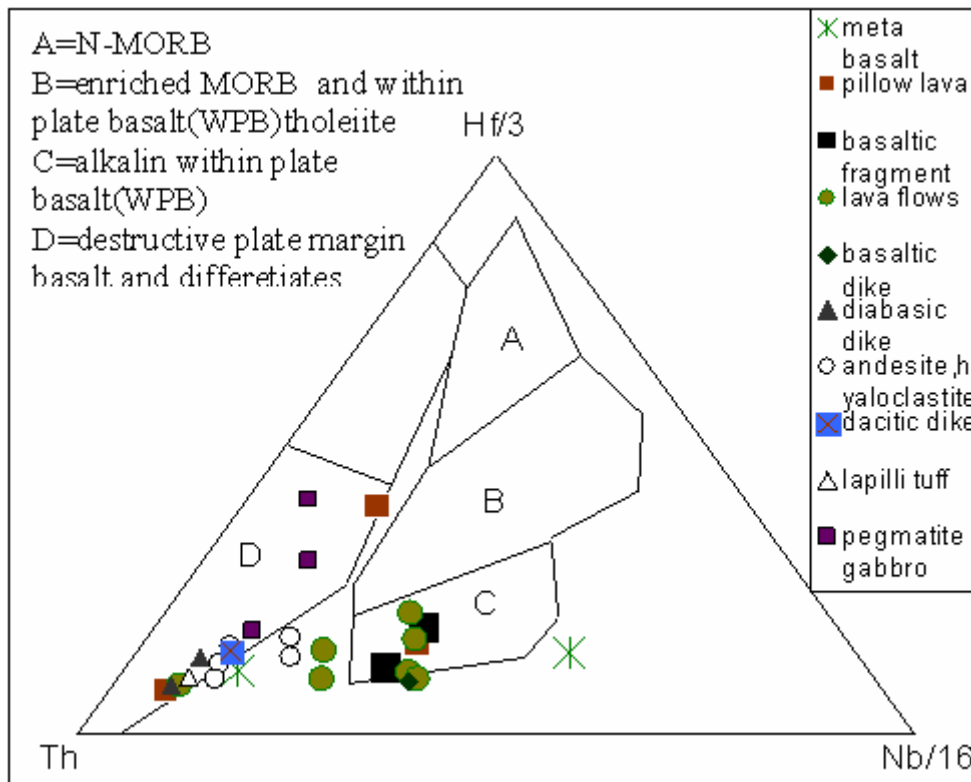
[4]. این خصوصیات نشان دهنده کانی شناسی ساده و خصوصیات کومولایی این سنگها می باشد. روند توزیع عناصر REE (نرمالایز شده به کندریت) در این دو نمونه شبیه به یکدیگر می باشد (شکل ۵ ن) و تنها تفاوت آنها در غنی شدگی بیشتر REE ها و LIL ها در پگماتیت گابرو نسبت به دایک گابرویی می باشد بنابراین گابروهای پگماتیته و دایکهای گابرویی می توانند دارای یک منشاء مشترک باشند از طرف دیگر با توجه به اینکه مقدار Mg, Ni, Cr در دایک گابرویی بالاتر است می توان نتیجه گرفت که تبلور بخشی در پگماتیت گابروها باعث غنی شدگی بیشتر REE, LILE شده است. روند کلی نمودار REE برای این سنگها U شکل بوده (شکل ۹) و مشابه روند سریهای بونینیتی می باشد. غنی شدگی زیاد در عناصر K, U, Ba و تهی شدگی در عناصر

جدول شماره ۱: نسبت های عنصری مختلف در نمونه های مورد مطالعه و مقایسه آن با این نسبت ها در N-MORB, E-MORB از MORB, OIB (Sun and McDonough, 1989)

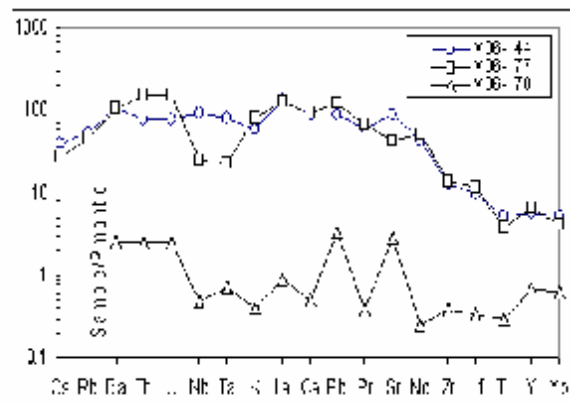
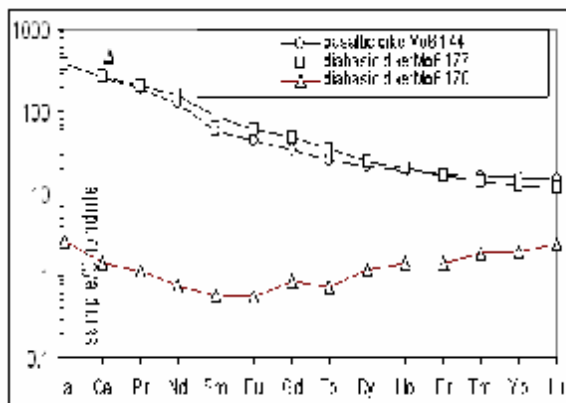
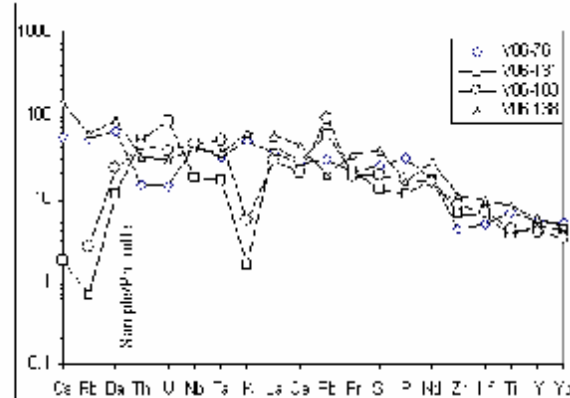
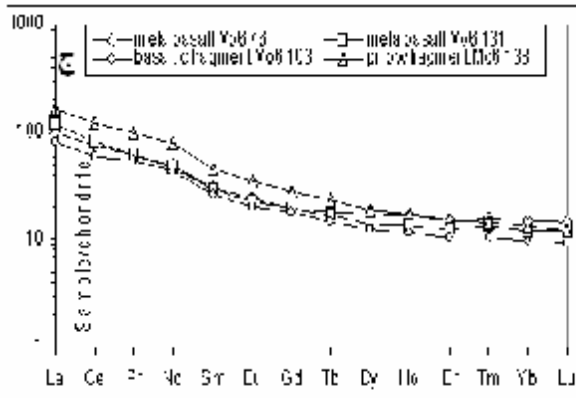
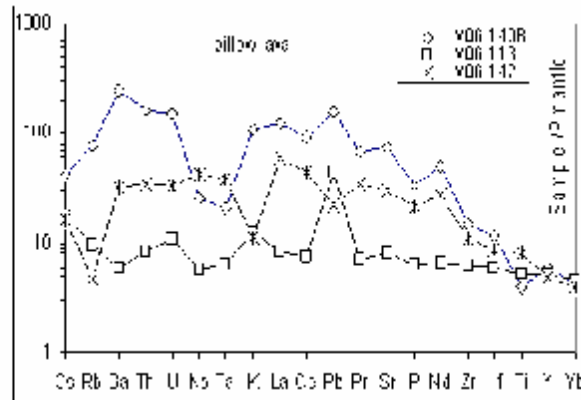
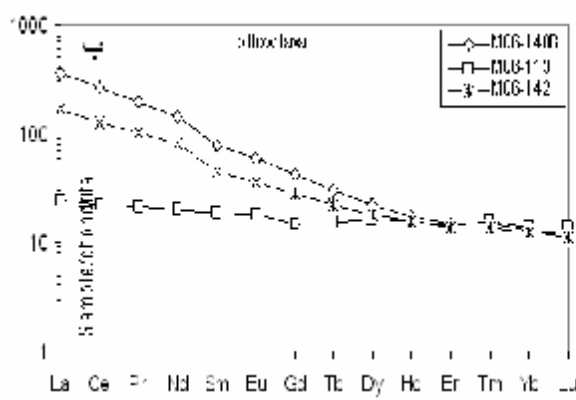
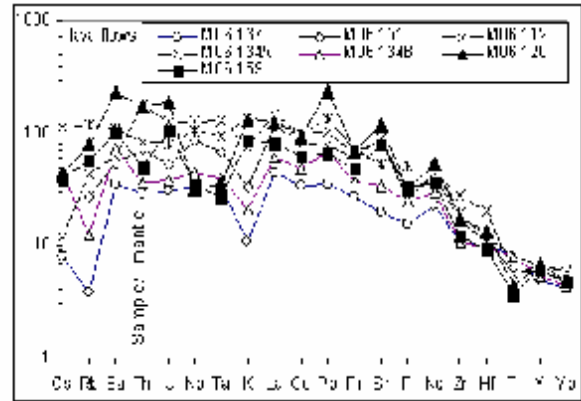
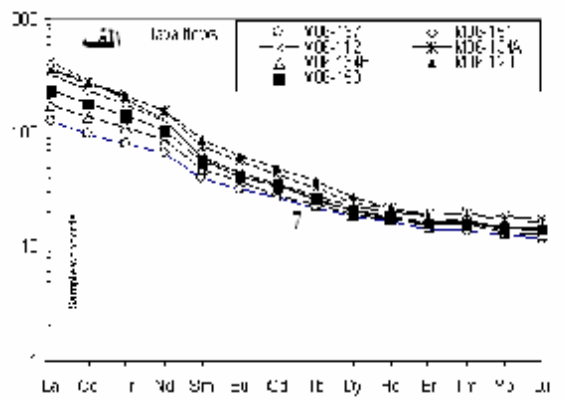
نسبتها	N-MORB	E-MORB	OIB	Lava flows	Basaltic fragment	Basaltic dike	Meta basalt
La/Y	0.09	0.29	1.27	1.3-3.2	1.08-1.53	3.54	7.03
Zr/Y	2.64	3.31	9.65	5.01-10.4	4.59-5.08	5.56	1.9
Zr/Nb	31.75	8.79	5.83	2.8-5.1	2.8-4.3	2.18	1.6
Ti/Nb	3261	722	358	82-455	171-374	100.69	291.96
Ti/Zr	103	82	61.4	23-89	59-87	64.03	182.78
Ce/Th	62.5	25	20	11.6-27.1	9.9-28.9	24.12	38.22
Ti/Yb	0.04	0.25	1.85	1.2-5.07	1.19-2.28	2.57	0.5
Ta/Yb	0.04	0.2	1.25	0.09-0.39	0.25-0.39	0.19	0.05
Y/Nb	12	2.65	0.6	0.33-0.95	0.56-0.93	0.39	0.81
Y/La	212.12	46.8	10.74	5.5-16.4	8.9-18.2	7.80	18.6
(La/Yb) _n	0.58	1.91	12.3	13.8-24	8.7-13	25.7	7.03
(La/Sm) _n	0.61	1.56	2.4	3.2-7.03	3.2-4.7	6.84	3.41
(Gd/Yb)	1	1.03	2.9	1.98-2.55	1.8-2.1	2.20	1.35

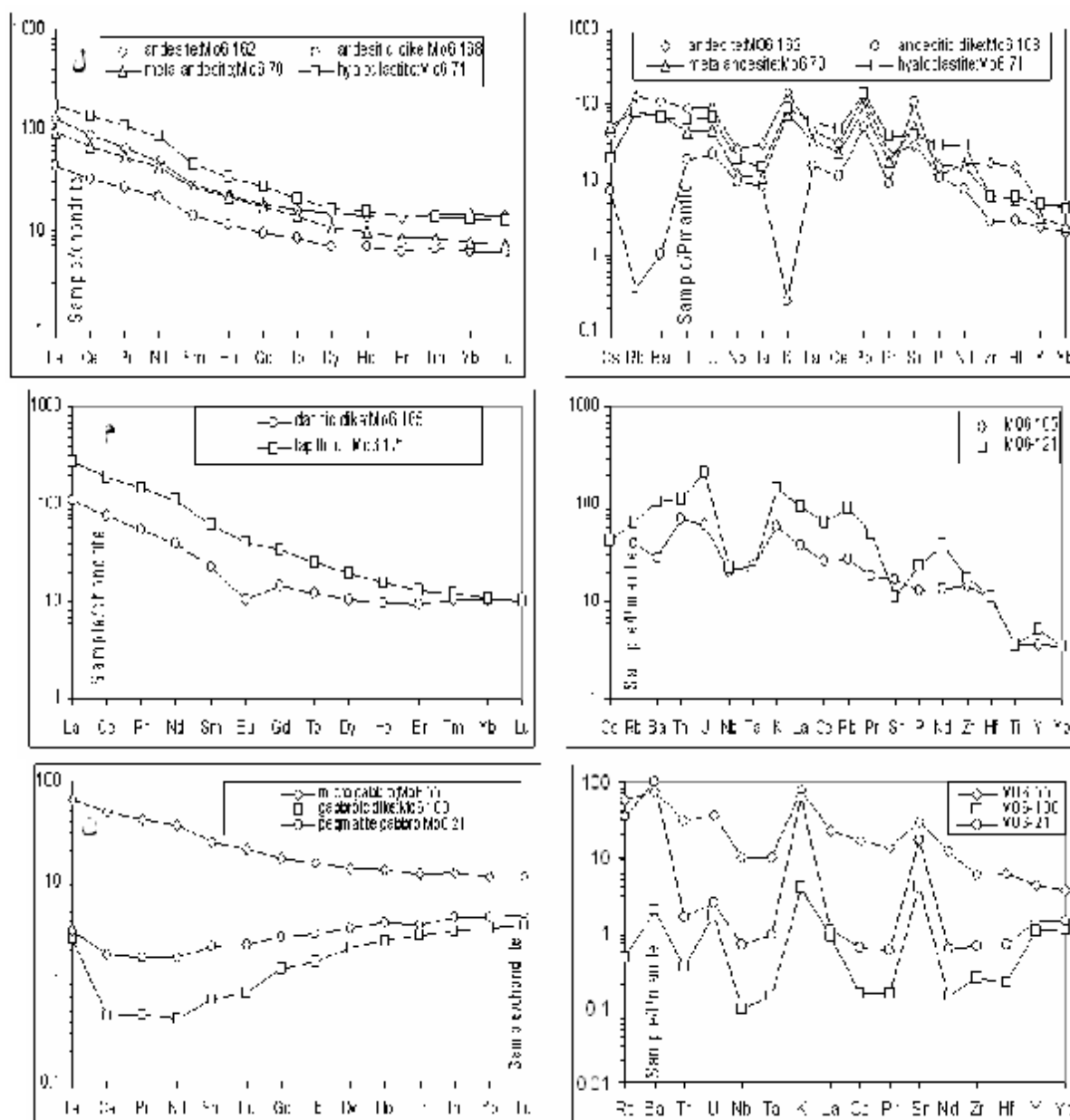


شکل ۳: طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه سیه چشمه بر اساس نمودار $(\text{Log}(\text{Nb}/\text{Y})-\text{Log}(\text{Zr}/\text{TiO}_2))$



شکل ۴: نمودار $\text{Th}-\text{Nb}/16-\text{Hf}/3$ برای تعیین محیط تکتونوماگمایی سری‌های مختلف سنگی در سیه چشمه





شکل ۵- دیاگرامهای REE (نرمالیزه به کندریت) ستون سمت چپ و دیاگرام چند عنصری (نرمالیزه به گوشته اولیه) ستون سمت راست، برای سنگهای مورد مطالعه در منطقه سیه چشمه: الف جریان های گدازه ای ب) گدازه های بالشی ج) متابازالتها و قلوه های بازالتی داخل برشهای ولکانیکی د) دایک های بازالتی و دیابازی ل) آندزیتها م) دایک داسیتی و لایلی توف ن) میکرو گابرو و پگماتیت گابرو

۶- نتیجه گیری

یک سری از نمونه ها (تعدادی از نمونه های جریانهای گدازه ای و گدازه های بالشی به همراه متابازالتها، قلوه های بازالتی داخل آپی کلاستیتها و دایکهای بازالتی) در دیاگرام های مرتبط با عناصر کمیاب الگویی مشابه با

با توجه به مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی انجام شده، سری های مختلف سنگی در منطقه سیه چشمه در محیط های تکتونیکی متفاوتی ایجاد شده اند بطوری که

سری های سنگی کالک-آلکان می تواند در رابطه با عملکرد یک زون فرورانش درون اقیانوسی در حوضه اقیانوسی خوی-سیه چشمه در نظر گرفته شود. به طور کلی از نظر استراتیگرافی بازالت های آلکان جدیدتر از انواع سری های سنگی کالک-آلکان می باشند. بنابراین می توان پیشنهاد نمود که با ادامه فرآیند گسترش پوسته اقیانوسی در پشته میان اقیانوسی حوضه خوی-سیه چشمه، ابتدا بازالت هایی با ترکیب T-MORB ایجاد شده اند. در بخش شرقی این حوضه اقیانوسی، نزدیک به بلوک ایران مرکزی، با عملکرد یک زون فرورانش درون اقیانوسی سنگ هایی با گرایش کالک-آلکان پدیدار شده اند. در اواخر کرتاسه فوقانی به دنبال واکنش بیشتر پلوم های های گوشته ای با مرکز در حال گسترش اقیانوسی بازالت هایی با گرایش OIB جایگزین گدازه های تیپ T-MORB شده اند.

منابع

- ۱- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش ماکو، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲- شرح نقشه زمین شناسی چهار گوش ماکو، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، شماره ۲A۱- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

3- A.A., Hassanipak, and M., Ghazi, Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest of Iran: implication for Tethyan tectonics. *J. Asian Earth Sci.*, 1-13, (1999).

4- H., Azizi, M., Moinevaziri, M., Mohajjel, and A., Yagobpoor, PTt path in metamorphic rock of Khoy region (northwest Iran) and their tectonic significance for Cretaceous-Tertiary continental collision. *J. Asian Earth Sci.*, 1-9, (2004).

5- M., Khalatbari-Jafari, T., Juteau, H., Bellon, H., Whitechurch, J., Cotton, and H., Emami, New

بازالت های جزایر اقیانوسی نشان داده و در نمودارهای تکتونوماگمایی خصوصیات بازالت های آلکان داخل صفحه اقیانوسی را نشان می دهند. با توجه به مطالعات انجام شده [12] از ذوب گارنت پیروکسنیت در فشارهای ۲-۵ کیگا پاسکال می توان مذاب های مشابهی با بازالت های جزایر اقیانوسی تولید کرد. به طور کلی تشکیل بازالت های آلکان را به ذوب بخشی پلوم گوشته ای (۵-۱ در صد) نسبت می دهند [13]. در نمونه های مورد مطالعه (نمونه های آلکان) نسبت (Sm/Yb)_n بیشتر از ۱ می باشد که نشان دهنده تشکیل این گروه از سنگ ها در محدوده پایداری گارنت می باشد [14].

یک سری از جریان های گدازه ای، گدازه های بالشی، متابازالتها به همراه آندزیتها، دایکهای دیابازی، پگماتیت گابروها، لاپیلی توف، دایکهای داسیتی و هیالوکلاستیت ها با نسبت بالای (LILE/HFSE) و همچنین تهی شدگی در HFSE مشخص می شوند که نشان دهنده تشکیل این سری از سنگها در مناطق مرتبط با فرورانش می باشد. به طوری که یک سری از گدازه های بالشی به همراه پگماتیت گابروها مربوط به سری تولییتی جزایر قوسی و میکرو گابروها، لاپیلی توف، دایک داسیتی، آندزیت ها، دایک های دیابازی و یک سری دیگر از جریان های گدازه ای مربوط به سری کالکوالکان جزایر قوسی می باشند.

بنابراین مطالعات ژئوشیمیایی نشان می دهند که مجموعه افیولیتی سیه چشمه همانند افیولیت های خوی [15] دارای دو گروه سنگی با ویژگیهای ژئوشیمیایی مختلف و مرتبط با دو محیط ژئودینامیکی متفاوت می باشند. بازالت های آلکان این مجموعه افیولیتی می توانند مرتبط با واکنش پلوم های گوشته ای با مرکز در حال گسترش اقیانوسی باشند. از طرف دیگر ایجاد و تشکیل

- 11- O., Neill., The Transition between spinel peridotite and garnet peridotit ,and its use as a geobarometr. *Con. Min. Pet.*, 77, 185-194, (1981).
- 12- D.O., Mckenzie and R.K., Nions, Partial melt distribution from inversion of rare earth element concentration. *J. Petrol.*, 32, 1021-1091, (1991).
- 13- V., Ramos, Southern Patagonian plateau basalt and deformation back-arc testimong of ridge collision. *Tectonophysics* 205, 261-282, (1992).
- 14- T., Kogiso, M., Hirschman, and D., Frost, High-pressure partial melting of garnet pyroxenit: possible mafic lithologies in the source of ocean island basalt. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 216, 603-617, (2003).
- 15- K.S., Harp, W.M., White, Tracing a mantle plume: isotopic and trace element variation of Galapagos seamount. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Gc00137, (2001).
- 16- K., Hrpp, V., Wanless R., Otto, K., Hoerenli and R., Werner, The Cocos and Carnegie Aseismic Ridge: a trace element rRecord of long-term plume spreading center interaction. *J. Petrol.*, 46, 110-133, (2004).
- 17- M., Khalatbari-jafri, T., Juteau, and J., Cotton, Petrological and geochemical study of the Late Cretaceous ophiolite of Khoy (NW Iran), and related geological formations. *J. Asian Earth Sci.*, 1-38, (2005).
- geological, geochronological and geochemical investigations on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 23, 507-535 ,(2004).
- 6- M.T., McCulloch and J.A., Gabble, Geochemical and geodynamic constraints on subduction zone magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 102, 358-374, (1991).
- 7- J.A., Winchester and P.A., Floyd, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343, (1977).
- 8- D.A., Wood, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, 11-30, (1980).
- 9- S.S., Sun, and W.F., McDonough, Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt:implication for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London, Spec.Publ.*, 42, 313-345, (1989).
- 10- E., Aldanmaz, N., Koprubasi, F., Garer, N., Kaymakci, and A., Gourgaurd., Geochemical constraints on the Cenozoic ,OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: Implication for mantle sources and melting processes. *Lithos* 86, 50-7, (2006).