

ژئوشیمی و پتروژنز سری‌های بازالتی - آندزیتی افیولیت‌های سیه‌چشمه، شمال باختر خوی

مهرداد پورمحسن^۱، محمد رهگشای^۲، عیسی آزادی^۱، هادی شفائی مقدم^{۳*}

^۱بخش زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور خوی، خوی، ایران

^۲آ دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳آ دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۳/۱۱

چکیده

مجموعه افیولیتی سیه‌چشمه ادامه بخش شمال-شمال باختری افیولیت‌های خوی است که شامل واحدهای دگرگونی، توالی گوشته‌ای، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی به همراه سنگ آهک‌های پلاژیک و چرت‌های کرتاسه بالایی هستند. گدازه‌های بازالتی - آندزیتی این مجموعه افیولیتی را می‌توان به دو دسته گدازه‌های قلیایی و گدازه‌های کلسیمی - قلیایی تقسیم‌بندی کرد. وجود منشورهایی از آمفیبول‌های غنی از تیتان به همراه کلینوپیروکسن‌های تیتان‌دار خاص گدازه‌های قلیایی موجود در افیولیت‌های سیه‌چشمه است. گدازه‌های کلسیمی - قلیایی با غنی‌شدگی در LREE و تهی‌شدگی در HFSE و گدازه‌های قلیایی با غنی‌شدگی در LREE و HFSE مشخص می‌شوند. واکنش یک پلوم گوشته‌ای با پشته میان اقیانوسی می‌تواند برای منشأ بازالت‌های قلیایی در نظر گرفته شود در حالی که عملکرد یک زون فرورانش می‌تواند مسئول پیدایش بازالت‌های کلسیمی - قلیایی باشد.

کلمات کلیدی: افیولیت‌های سیه‌چشمه، بازالت‌های قلیایی، بازالت‌های کلسیمی - قلیایی، پلوم گوشته‌ای، زون فرورانش.

E-mail: hadishafaii@du.ac.ir

*نویسنده مسئول: هادی شفائی مقدم

۱- مقدمه

به‌طور کلی افیولیت‌های تیتسی، به‌عنوان بقایایی از یک سنگ‌کره اقیانوسی (Nicolas, 1989; Ernewein et al., 1988) و یا مراکز در حال گسترش مرتبط با زون‌های فرورانش (برای مثال Beccaluva et al., 2004) فرض شده‌اند. از یک دیدگاه کلی، افیولیت‌های مزوزویک ایران هم به‌عنوان بقایایی از یک پوسته اقیانوسی بزرگ، مانند حوضه نوتیس (برای مثال، Ricou, 1974; Takin, 1972; Stocklin, 1977; Lensch et al., 1977) و یا به‌عنوان یک کافت باریک درون‌قاره‌ای همانند دریای سرخ (برای مثال، Sabzehei, 1974; Nabavi, 1976; Berberian and King, 1981) در نظر گرفته شده‌اند. از طرف دیگر، Stocklin (1977) کمربند افیولیتی کرتاسه ایران را به دو زیر کمربند شامل ۱- زیر کمربند خارجی (افیولیت‌های کرمانشاه- نیزب) و ۲- زیر کمربند داخلی (یا کمربند افیولیت- ملاژ ایران مرکزی شامل افیولیت‌های خوی) تقسیم کرده است. افیولیت‌های سیه‌چشمه در بخش شمال-شمال باختر افیولیت خوی واقع شده و تاکنون مطالعات سیستماتیک ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی بر روی آن صورت نگرفته است.

به‌طور کلی افیولیت‌های خوی توسط (Hassanipak & Ghazi (2000)، (Ghazi et al. (2003)، (Khalatbary Jafary et al. (2003) و (Juteau (2004) بررسی شده است. بر طبق مطالعات (Hassanipak & Ghazi (2000) دو نوع گدازه بازالتی در افیولیت‌های خوی تشخیص داده شده‌اند: ۱- واحد گدازه‌های بالشی زیرین با ترکیب E-MORB و N-MORB ۲- بازالت‌های توده‌ای بالایی با ترکیب E-MORB.

از طرف دیگر بر اساس مطالعات (Khalatbary Jafary et al. (2004; 2005)، ۴ واحد سنگی در منطقه خوی معرفی شده است: ۱- واحد دگرگونی‌های خاوری شامل مجموعه متافیولیتی قدیمی ۲- توربیدیت‌های سوپرافیولیتی (Supra-) ophiolite) و نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی ۳- افیولیت‌های دگرگون‌نشده کرتاسه بالایی ۴- واحد دگرگونی‌های باختری.

واحد دگرگونی‌های خاوری، دامنه سنی ژوراسیک زیرین تا کرتاسه بالایی و گرایش ژئوشیمیایی MORB تا SSZ (Supra-Subduction Zone) دارند. واحد افیولیت‌های دگرگون‌نشده، دامنه سنی کرتاسه بالایی تا پالئوسن زیرین دارند که بیشتر، گرایش T-MORB را نشان می‌دهند. از طرف دیگر، واحد توربیدیت‌ها و نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی بر روی افیولیت‌های دگرگون‌نشده کرتاسه به‌صورت

ناپوستگی قرار گرفته‌اند و بنابراین دامنه سنی، کرتاسه بالایی تا پالئوسن (و حتی ائوسن) است. این توربیدیت‌ها، قطعات سنگی بازالتی با گرایش SSZ و T-MORB (تولیت‌های جزایر کمانی و/یا کلسیمی - قلیایی) دارند.

۲- زمین‌شناسی منطقه سیه‌چشمه

افیولیت‌های سیه‌چشمه، امتداد شمال-شمال باختری افیولیت‌های خوی هستند که تا مرز ترکیه امتداد دارند و به افیولیت‌های خاور ترکیه می‌پیوندند (شکل ۱). واحد دگرگونی خاوری در بخش خاوری افیولیت‌های سیه‌چشمه نیز قابل پیگیری و شامل فیلیت‌ها، آمفیبول‌شیت‌ها، میکاشیت‌ها، گرافیت‌شیت‌ها، گرانیت‌های گنیسی، مرمرها به همراه متاچرت‌ها است. پریدوتیت‌ها و سیرپانتینیت‌ها از چیره‌ترین تشکیل‌دهندگان توالی گوشته‌ای افیولیت‌های سیه‌چشمه هستند که در برخی موارد، باندهایی از کلینوپیروکسنیت و پاکت‌هایی از پگماتیت گابرو دارند. دایک‌های دیابازی و حتی گابرویی درشت‌دانه نیز گاه، ریشه در این پریدوتیت‌های توالی گوشته‌ای دارند. لیستونیت‌ها از دیگر واحدهایی هستند که در امتداد زون‌های برشی موجود در سیرپانتینیت‌های منطقه دیده می‌شوند. گدازه‌های مافیک در این مجموعه افیولیتی شامل جریان‌های گدازه‌های بازالتی (گاه با ترکیب آنکارامیتی) و یا آندزیتی و گدازه‌های بالشی هستند (شکل ۳-C). این توالی سنگی، در برخی موارد با دگرسانی بالا و گسترش کانی‌های ثانویه در سنگ (متابازالت‌ها و یا متاآندزیت‌ها) مشخص می‌شود. در برخی موارد، این سری‌های سنگی (بویژه توالی گدازه‌های بالشی) توسط دایک‌ها یا سیل‌های بازالتی قطع می‌شوند. گدازه‌های بازالتی - آندزیتی در برخی موارد، آفیریک، ولی در بیشتر موارد، پیروکسن‌فیریک و کمتر پلاژیوکلاز فیریک هستند. سطح خارجی این گدازه‌ها حفره‌دار است که در بیشتر موارد، توسط کلسیت، کوآرتز و در مواردی نیز اپیدوت پرشدگی نشان می‌دهند. گدازه‌های بالشی به‌صورت ناپوستگی بر روی توف‌ها، چرت‌ها و توالی‌های مولاسی قرار گرفته و خود توسط برش‌های تالوس مانند کنگلومرایی با سیمان کربناتی پوشیده می‌شوند. در فضای خالی بین این گدازه‌های بالشی، آهک‌های پلاژیک کرتاسه بالایی قرار می‌گیرند. برش‌های سرد، از دیگر واحدهایی هستند که همراه با گدازه‌های بالشی دیده می‌شوند (شکل ۳-B). آهک‌های پلاژیک کرتاسه بالایی به‌همراه چرت‌ها به صورت میان‌لایه‌ای (گاه

کمر بولینزیتی شده هستند.

۵- ژئوشیمی سری‌های بازالتی

۵-۱. ژئوشیمی بازالت‌ها-آندزیت‌های کلسیمی-قلیایی

میزان LOI این سری‌های سنگی متغیر (۱/۹ تا ۸/۲ درصد وزنی) است. میزان اکسید سیلیسیم این سنگ‌ها نیز در طیف ۴۴ تا ۶۱ درصد وزنی تغییر می‌کند. میزان اکسید تیتان این سنگ‌ها نیز مقادیر به‌نسبت پایینی را نشان می‌دهد (۰/۵ تا ۱/۱ درصد وزنی). به‌طور کلی میزان اکسید تیتان سری‌های مافیک مرتبط با زون‌های فرورانش، کمتر از ۱ درصد وزنی است (Gill, 1981; Peate et al., 1997; Woodhead et al., 1998).

در نمودار Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977)، این سری‌های مافیک در محدوده بازالت‌ها واقع شده‌اند و نسبت Nb/Y برابر با ۰/۳ تا ۰/۹ دارند (شکل ۴). این سری از بازالت‌ها با یک الگوی عناصر خاکی کمیاب به‌شدت تفریق یافته و با غنی‌شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک مشخص می‌شوند ($La_{(N)}/Yb_{(N)} = 4.4 - 29.7$) (شکل ۵).

غنی‌شدگی در Nb, Ta, Ti همراه با تهی‌شدگی در $Rb, Ba, Th, U, Pb, U, Sr, K$ از ویژگی‌های این سری‌های سنگی است (شکل ۵)، که این ویژگی‌های ژئوشیمیایی همانند سری‌های کلسیمی-قلیایی جزایر کمانی است. به‌طور کلی، تهی‌شدگی در HFSE و نسبت بالای LILE/HFSE از ویژگی‌های سنگی مرتبط با زون‌های فرورانش است (Hawkesworth et al., 1991; McCulloch and Gamble, 1991).

در نمودار $Th-Hf-Nb$ (Wood, 1980) نیز، این سری‌های سنگی در محدوده سری‌های کلسیمی-قلیایی واقع شده‌اند، هر چند برخی از نمونه‌های سنگی به سبب درجه تفریق بالاتر ماگمای مادر آنها از Nb غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۶). برای تعیین منشأ مذاب مادر این سری‌های سنگی می‌توان از نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb (Pearce, 2007) استفاده نمود (شکل ۶). عنصر Yb یک عنصر به‌نسبت سازگار است در حالی که Nb و Th به‌صورت به‌شدت ناسازگار عمل می‌کنند، افزون بر این، این دو عنصر در ناحیه منشأ (Source) زون‌های فرورانش به‌ترتیب غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نشان می‌دهند (Gill, 1981). در این نمودار، نمونه‌های کلسیمی-قلیایی از روند سری‌های سنگی کمان‌های آتشفشانی پیروی می‌کنند و از منشأ گوشته‌ای MORB-OIB متمایز می‌شوند.

۵-۲. ژئوشیمی بازالت‌های قلیایی

این توالی‌های سنگی با میزان LOI و اکسید سیلیسیم به‌ترتیب برابر ۲/۲ تا ۵/۳ و ۴۲ تا ۴۸ درصد وزنی مشخص می‌شوند. میزان اکسید تیتان آنها نسبت به سری‌های کلسیمی-قلیایی، بالا بوده و مقادیر ۱/۸ تا ۱/۸ درصد وزنی را نشان می‌دهند.

میزان بالای اکسید تیتان در این نوع از سنگ‌ها با وجود کانی‌های تیتان‌داری همچون آمفیبول‌های تیتان‌دار، اوژیت‌های غنی از تیتان و تیتانومگنتیت‌ها سازگاری دارد. در نمودار Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y ، این بازالت‌ها در محدوده بازالت‌های قلیایی می‌گیرند (شکل ۴). در نمودار عناصر خاکی کمیاب به‌نسبت به‌کندریت، غنی‌شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک و یک الگوی به‌شدت تفریق یافته برای این بازالت‌ها دیده می‌شود. در مقایسه با سری‌های کلسیمی-قلیایی، این نوع از بازالت‌ها با بی‌هنجاری‌های مثبت در HFSE مشخص می‌شوند، افزون بر این، در LILE نیز غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵).

این ویژگی‌های ژئوشیمیایی یعنی غنی‌شدگی در LREE و HFSE، مشابه با سری‌های قلیایی نوع OIB (Oceanic-island basalts)، یعنی همانند آنچه که در برجستگی‌های اقیانوسی (Seamounts) اقیانوس آرام (برای مثال Batiza et al., 1990) و اقیانوس اطلس (برای مثال Batiza et al., 1989) دیده می‌شوند، است.

در نمودار $Th-Hf-Nb$ (Wood, 1980) نیز این بازالت‌ها در محدوده بازالت‌های

لایه‌هایی با سبزی چند صد متری) همراه با توالی‌های بازالتی دیده می‌شوند و یا اینکه از نظر چین‌نگاری بر روی گدازه‌های بالشی قرار می‌گیرند (شکل ۳-۸). بر روی تمامی توالی افیولیتی کرتاسه بالایی، سری‌های توریدابیتی متشکل از شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های توفی، برش‌های آتشفشانی حاوی قطعات بازالتی به همراه آهک‌های ائوسن (زیرین) قرار می‌گیرند. برای نشان دادن ارتباط بین واحدهای سنگی (به سن کرتاسه بالایی) موجود در مجموعه افیولیتی سیه‌چشمه و تفکیک این واحدها از واحدهای جوان‌تر ائوسن (که ارتباطی با مجموعه افیولیتی ندارند)، ستون چینه‌شناسی این افیولیت‌ها که با توجه به مطالعات میدانی در هر منطقه رسم شده است، در شکل ۲ نشان داده می‌شود. هدف اصلی در این مطالعه، بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پتروژنز سری‌های بازالتی-آندزیتی کرتاسه بالایی افیولیت‌های سیه‌چشمه (بجز قطعات بازالتی درون برش‌ها) است. با توجه به اینکه بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی، این سری‌های بازالتی، ویژگی‌های قلیایی (OIB) و/یا کلسیمی-قلیایی نشان می‌دهند، به‌صورت جداگانه به معرفی و شرح سنگ‌نگاری این واحدها پرداخته می‌شود.

۳- روش کار

پس از مطالعات صحرایی، از حدود ۶۰ نمونه، از واحدهای سنگی مقطع نازک تهیه شده است. تجزیه شیمیایی حدود ۱۸ نمونه سنگی به روش ICP-MS و ICP-AES در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه لویی پاستور استراسبورگ فرانسه و Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg) صورت پذیرفته است.

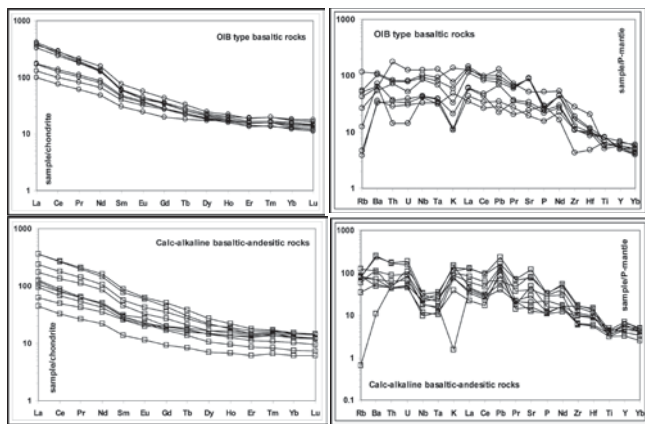
۴- سنگ‌نگاری سری‌های بازالتی

۴-۱. سنگ‌نگاری بازالت‌ها-آندزیت‌های کلسیمی-قلیایی

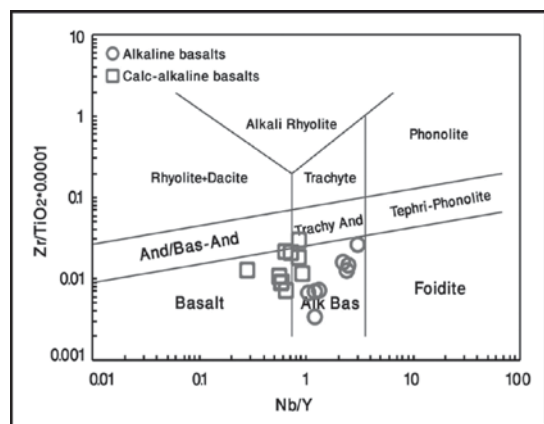
بافت این سنگ‌ها بیشتر، پورفیری است و افزون بر این، با انباشت‌های گلوپورفیریتیک پلاژیو کلاز و کلینوپیروکسن مشخص می‌شوند. پیروکسن و پلاژیو کلاز از اصلی‌ترین درشت‌بلورهای این سنگ‌ها هستند، در آندزیت‌ها درشت‌بلورهای آمفیبول نیز از دیگر فازهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها هستند. پلاژیو کلازها به‌طور بخشی به سرسیت، اسفن و اپیدوت دگرسان، و کلینوپیروکسن‌ها در اطراف، اورالیتی و یا کلریتی شده‌اند. خمیره این سنگ‌ها شامل میکروولیت‌های دانه‌ریز پلاژیو کلاز به‌همراه دانه‌های کوچک کلینوپیروکسن (به‌صورت بافت اینترگرانولر) و دانه‌های تیتانومگنتیت است (شکل ۳-۸). الیون از دیگر فازهای فرعی است که به‌صورت درشت‌بلورهای دانه‌ریز در برخی از این بازالت‌ها دیده می‌شود. اسفن، کلریت، کلسیت و اپیدوت از فازهای ثانویه این سری‌های سنگی هستند. در نمونه‌هایی که به‌شدت اسپیلیتی شده‌اند (متابازالت‌ها و متاآندزیت‌ها)، کلینوپیروکسن‌ها به‌شدت به کلریت و کلسیت و پلاژیو کلازها و خمیره سنگ به‌طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند.

۴-۲. سنگ‌نگاری بازالت‌های قلیایی (OIB)

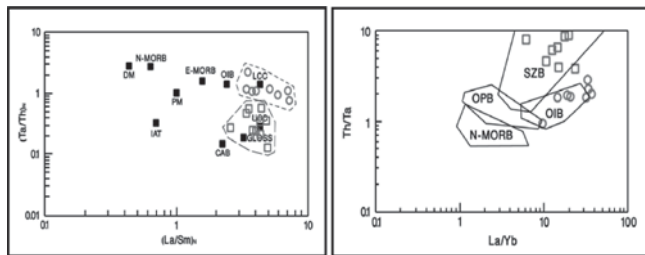
بافت این سنگ‌ها اینترسرتال، اینترگرانولار و هیالوفیتیک و در بیشتر موارد آفیریک تا به‌طورضعیفی فیریک (poorlyphyric) است. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها کلینوپیروکسن (با ترکیب اوژیت غنی از تیتان بر حسب مطالعات میکروپروب)، پلاژیو کلاز و آمفیبول‌های قهوه‌ای، با چند رنگی شدید هستند (شکل ۳-D). الیون و آپاتیت از دیگر فازهای فرعی تشکیل‌دهنده برخی از این سنگ‌ها هستند. کلینوپیروکسن‌ها در بیشتر موارد، ماکل‌دار (شکل ۳-F) و همانند آمفیبول‌ها دارای منطقه‌بندی هستند. خمیره این سنگ‌ها متشکل از میکروولیت‌های دانه ریز پلاژیو کلاز به‌همراه کلینوپیروکسن، آمفیبول، تیتانومگنتیت، آپاتیت و فاز شیشه‌ای است. میکروولیت‌های پلاژیو کلاز به‌طور محسوسی به کانی‌های رسی و خمیره شیشه‌ای این سنگ‌ها به کلریت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. الیون‌ها نیز به‌طور بخشی ایدینگزیتی و



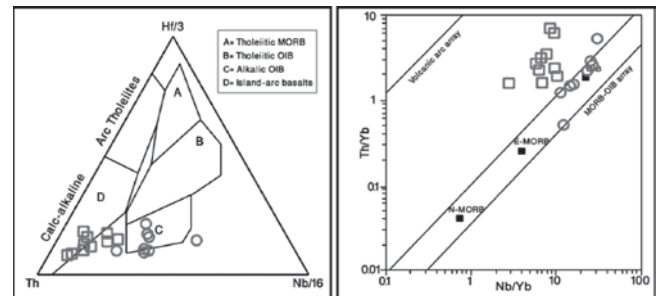
شکل ۵- نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (McDonough & Sun, 1995) و نمودار چند عنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) برای سری های بازالتی-آندزیتی کلسیمی-قلیایی و همچنین بازالت های قلیایی (OIB).



شکل ۴- تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی واحدهای مافیک افیولیت‌های سه‌چشمه در نمودار Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977). در این نمودار، نمونه‌های قلیایی نسبت Nb/Y بالاتری دارند و در محدوده آلکالی بازالت‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۷- نمودارهای $(Ta/Th)_N$ در برابر $(La/Sm)_N$ (با تغییرات از Dupuis, 2005) و Th/Ta در برابر La/Yb (با تغییرات از Xia et al., 2008) برای سری‌های مافیک قلیایی و کلسیمی-قلیایی افیولیت‌های سه‌چشمه (DM= depleted mantle, PM= primary mantle, NM= N-MORB, EM= E-MORB, OIB= oceanic island basalts, IAT= island-arc tholeiites, CAB= calc-alkaline basalts, LCC= lower continental crust, UCC= upper continental crust, GLOSS= global subducting sediments).
علایم مورد استفاده در این شکل، همانند شکل ۴ است.



شکل ۶- نمودار $Th-Hf-Nb$ (Wood, 1980) و نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb (Pearce, 2007) برای سری‌های کلسیمی-قلیایی و قلیایی افیولیت‌های سه‌چشمه. علایم به کار رفته در این شکل، همانند شکل ۴ است.

کتابنگاری

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش ماکو، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Alabaster, T., Pearce, J. A. & Malpas, J., 1982- The volcanic stratigraphy and petrogenesis of the Oman ophiolite complex. *Con. Min. Pet.*, 81, 168-183.
- Aldanmaz, E., Yaliniz, M. K., Guctekin, A. & Goncuoglu, M. C., 2007- Geochemical characteristics of mafic lavas from the Neotethyan ophiolites in western Turkey: implications for heterogeneous source contribution during variable stages of ocean crust generation. *Geol. Mag.*, 145, 37-54.
- Arvin, M., 1982- Petrology and geochemistry of ophiolites and associated rocks from the Zagros suture, Neyriz, Iran. PhD Thesis, London University, London.
- Batiza, R., Fox, P. J., Vogt, P. R., Cande, S.C., Grindlay, N. R. & Melson, W. G., 1989- Morphology, abundance and chemistry of near-ridge seamounts in the vicinity of the Mid-Atlantic Ridge~26S. *J. Geol.*, 97, 209-220.
- Batiza, R., Niu, Y. & Zayac, W. C., 1990- Chemistry of seamounts near the East Pacific Rise: implications for the geometry of sub-axial mantle flow. *Geology*, 18, 1122-1125.

- Beccaluva, L., Coltorti, M., Gunta, G. & Sena, F., 2004- Tethyan vs. Cordilleran ophiolites: a reappraisal of distinctive tectonomagmatic features of supra-subduction complexes in relation to the subduction mode. *Tectonophysics*, 393, 163-174.
- Berberian, M., King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Can. J. Earth Sciences* 18, 210-265.
- Dupuis, C., 2005- Petrologie et geochemie des provinces mesozoiques Tethysiennes reliees à la zone de suture Yarlung Zangbo, Tibet. Ph.D thesis, Faculte des Sciences et de Genie, Universite Laval.
- Ernewein, M., Pflumino, C. & Whitechurch, H., 1988- The death of an accretion zone as evidenced by the magmatic history of the Sumail ophiolite (Oman). *Tectonophysics*, 151, 247- 274.
- Ghazi, A. M., Pessagno, E. A., Hassanipak, A. A., Kariminia, S. M., Duncan, R. A., Babaie, H. A., 2003- Biostratigraphic zonation and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for the Neo-Tethyan Khoy ophiolite of NW Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, 311-323.
- Gill, J.B., 1981- Orogenic andesite and plate tectonics. Springer, Berlin Heidelberg.
- Hassanipak, A. A., Ghazi, A. M., 2000- Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, Northwest Iran. *J.Asian Earth Sci.*, 18, 109-121.
- Hawkesworth, C. J., Hergt, J. M., McDermott, F. & Ellam, R. M., 1991- Destructive margin magmatism and the contributions from the mantle wedge and subducted crust. *Australian J. Earth Sci.* 38, 577-594.
- Juteau, T., 2004- The ophiolites of Khoy (NW Iran): their significance in the Tethyan ophiolite belts of the Middle-East. *C.R. Geoscience*, 336, 105-108.
- Khalatbari Jafary, M., Juteau, T., Bellon, H. & Emami, H., 2003- Discovery of two ophiolite complexes of different ages in the Khoy area (NW Iran). *C. R. Geoscience*, 335, 917-929.
- Khalatbary jafary, M., Juteau, T., Bellon, H., Whitechurch, H., Cotton, J. & Emami, H., 2004- New geological, geochronological and geochemical investigations on the Khoy ophiolites and related formations, NW Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 23, 507-535.
- Khalatbary jafary, M., Juteau, T. & Cotton, J., 2005- Petrological and geochemical study of the late Cretaceous ophiolite of Khoy (NW Iran), and related geological formations. *J. Asian Earth Sci.*, 1-38.
- Lensch, G., Mihm, A. & Alavi-Tehrani, N., 1977- Petrography and geology of the ophiolite belt of Sabzevar, Khorassan (Iran). *Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen* 131, 156-178.
- McDonough, W. F. & Sun, S. S., 1995- The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-253.
- McCulloch, M. T. & Gamble, J. A., 1991- Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.* 102, 358-375.
- Meyer, J., Mercolli, I. & Immenhauser, A., 1996- Off-ridge alkaline magmatism and seamount volcanous in the Masirah island ophiolite, Oman. *Tectonophysics*, 267, 187-208.
- Nabavi, M. H., 1976- An introduction to the geology of Iran. Geological survey of Iran.
- Nicolas, A., 1989- Structure of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic Pub. 367p.
- Pearce, J. A., 2007- Geochemical fingerprinting of oceanic basalt with application to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Earth science* 68-52.
- Pearce, J. A., Alabaster, T., Shelton, A.W., Searle, M. P., 1981- The Oman ophiolite as a Cretaceous arc-basin complex: evidence and complications. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A300, 299-317.
- Peate, D. W., Pearce, J. A., Hawkesworth, C. J., Colley, H., Edwards C. M. H. & Hirose, K., 1997- Geochemical variations in Vanuatu Arc lavas: the role of subducted material and a variable mantle wedge composition. *J Petrol* 38:1331-1358.
- Ricou, L. E., 1974- L'etude geologique de la region de Neyriz (Zagros Iranien) et l'evolution structurale des Zagrides. These d'Etat, Orsay, 321p.
- Sabzehei, M., 1974- Les mélanges ophiolitiques de la region d'Sfandagheh (Iran meridional), Etude petrologique et Structurale, Interpretation dans le cadre Iranien. Thesis, Universite de Grenoble, Grenoble, 306p.
- Stocklin, J., 1977- Structural correlation of the Alpine range between Iran and Central Asia. *Memoire Hors-Serve No.8 dela Societe Geologique de France* 8, 333-353.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London 313-345.
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature* 235, 147-150.
- Winchester, J. A & Floyd, P. A., 1977-Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements, *Chemical geology*, 20325-343.
- Wood, D. A., 1980- 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 and Planetary Science Letters*, 50, 11-30.
- Woodhead, J. D., Eggins, S. M. & Johnson., R. W., 1998- Magma genesis in the New Britain island arc: further insight into melting and mass transfer processes. *J Petrol* 39:1641-1668.
- Xia, B., Chen, G. W., Wang, R. & Wang, Q., 2008- Seamount volcanism associated with the Xigaze ophiolite, Southern Tibet. *J. Asian Earth Sci.*, 32, 396-405.

New Results on Mineralogy and Crystal Chemistry of Magnetite and Pyrite at Baba-Ali & Galali Iron Deposits, West of Hamedan, Iran

Gh. Rostami Paydar^{1*}, M. Lotfi², M. Ghaderi³, A. Amiri¹ & M. Vossoughi-Abedini⁴

¹ Department of Geography, Ahvaz Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

² Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

³ Department of Economic Geology, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁴ Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2008 September 13

Accepted: 2009 May 05

Abstract

Baba-Ali and Galali iron deposits in west of Hamedan are emplaced within the Songhor volcano-sedimentary sequence of Sanandaj-Sirjan geological-structural zone. Mineralogy and SEM-EDAX analysis on magnetite iron ores at both deposits for better understanding of mineralogy and crystal-chemistry of the ores have shown some interesting results. Studies on concentrations of some trace elements such as V, Co, Ni, Cu, Cr, Ti, Au, PGE as well as S and P impurities in the ore indicate that only some of the primary pyrites have considerable concentrations of Pt. It seems that other generations of pyrite and magnetite are depleted in these trace elements. Late stage hydrothermal fluids that lead to mineralization of pyrite in calcite-quartz gangue veins, have also been important for gold mineralization and pyrite has actually acted as a favorable carrier for Au. Detection of abundant phlogopite and trace element concentration patterns at Galali iron ore have strengthened volcanogenic magnesian skarn hypothesis.

Key words: Mineralogy, Crystal-Chemistry, Scanning electron microscopy, Iron ore, Baba-Ali, Galali

For Persian Version see pages 121 to 130

* Corresponding author: Gh. Rostami Paydar; E_mail: rostamigsi2006@gmail.com

Geochemistry and Petrogenesis of Andesitic-Basaltic Series in Siah-Cheshmeh Ophiolite, NW of Khoy

M. Poormohsen¹, M. Rahgoshay², I. Azadi² & H. Shafaii Moghadam^{3*}

¹Department of Geology, Peyam-e-Noor University of Khoy, Khoy, Iran

²Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Faculty of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

Received: 2008 December 19

Accepted: 2009 June 01

Abstract

The Siah-Cheshmeh ophiolites at the north-northwest part of the Khoy ophiolites show a dismembered pile of metamorphic units, mantle sequence, and basaltic-andesitic lavas associated with Late Cretaceous pelagic limestones and cherts. The basaltic-andesitic lavas can be divided into alkaline and calc-alkaline varieties. The presence of Ti-rich amphibole prisms and Ti-bearing clinopyroxenes is characteristic of these lavas. The calc-alkaline lavas are characterized by enrichment in LREE and depletion in HFSE while the alkaline lavas display positive LREE and HFSE anomalies. The interaction between mantle plumes with a spreading center can be considered for generation of alkaline basalts while a subduction zone is responsible for the genesis of calc-alkaline basalts.

Keywords: Siah-Cheshmeh ophiolite, Alkaline basalts, Calc-alkaline basalts, Mantle plume, Subduction zone.

For Persian Version see pages 131 to 136

*Corresponding author: H. Shafaii Moghadam; E-mail: hadishafaii@du.ac.ir