

ژئوشیمی و پتروژنر سری‌های بازالتی-آندزیتی افیولیت‌های سیه‌چشم، شمال باختر خوی

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

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۳۰

چکیده

مجموعه افیولیتی سیه‌چشم ادامه بخش شمال-شمال باختری افیولیت‌های خوی است که شامل واحدهای دگرگونی، توالی گوشه‌ای، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی به همراه سنگ‌آهک‌های پلازیک و چرت‌های کرتاسه بالایی هستند. گدازه‌های بازالتی-آندزیتی این مجموعه افیولیتی رامی توان به دو دسته گدازه‌های قلایی و گدازه‌های کلسیمی-قلایی تقسیم‌بندی کرد. وجود منشورهایی از آمفیولویت‌های غنی از تیتان به همراه کلینوپیروکسن‌های تیتان‌دار خاص گدازه‌های قلایی موجود در افیولیت‌های سیه‌چشم است. گدازه‌های کلسیمی-قلایی با غنی شدگی در LREE و HFSE مشخص می‌شوند. واکنش یک پلوم گوشه‌ای با پشتۀ میان اقیانوسی می‌تواند برای منشأ بازالت‌های قلایی در نظر گرفته شود در حالی که عملکرد یک زون فروزانش می‌تواند مسئول پیدایش بازالت‌های کلسیمی-قلایی باشد.

کلمات کلیدی: افیولیت‌های سیه‌چشم، بازالت‌های قلایی، بازالت‌های کلسیمی-قلایی، پلوم گوشه‌ای، زون فروزانش.

E-mail: hadishafaii@du.ac.ir

*نویسنده مسئول: هادی شفائی مقدم

۱- مقدمه

ناپیوستگی قرار گرفته‌اند و بنابراین دامنه سنی، کرتاسه بالایی تا پالوسن (و حتی ائوسن) است. این توربیدیات‌ها، قطعات سنگی بازالتی با گرایش T-MORB (تولیت‌های جزایر کمانی و/یا کلسیمی-قلایی) دارند.

۲- زمین‌شناسی منطقه سیه‌چشم

افیولیت‌های سیه‌چشم، امتداد شمال-شمال باختری افیولیت‌های خوی هستند که تا مرز ترکیه امتداد دارند و به افیولیت‌های خاوری ترکیه می‌پیوندد (شکل ۱). واحد دگرگونی خاوری در بخش خاوری افیولیت‌های سیه‌چشم می‌باشد که در قابله پیکری و شامل فیلیت‌ها، آمفیولویت‌ها، میکاشیست‌ها، گرافیت‌شیست‌ها، گرانیت‌های گنیسی، مرمرها به همراه متاچرخ‌ها است. پریدوتیت‌ها و سرپانتینیت‌ها از چیره‌ترین تشکیل‌دهنده‌گان توالی گوشه‌ای افیولیت‌های سیه‌چشم هستند که در برخی موارد، باندهایی از کلینوپیروکسنیت و پاکت‌هایی از پگماتیت گابرو دارند. دایک‌های دیابازی و حتی گابرویی در شدت‌دانه نیز گاهه ریشه در این پریدوتیت‌ها و سرپانتینیت‌ها از توالی گوشه‌ای دارند. لیستونیت‌ها از دیگر واحدهایی هستند که در امتداد زون‌های برخی موجود در سرپانتینیت‌های منطقه دیده می‌شوند. گدازه‌های مافیک در این مجموعه افیولیتی شامل جریان‌های گدازه‌ای بازالتی (گاه با ترکیب آنکارامیتی) و یا آندزیتی و گدازه‌های بالشی هستند (شکل ۳-۴). این توالی سنگی، در برخی موارد با دگرسانی بالا و گسترش کانی‌های ثانویه در سنگ (متابازالت‌ها و یا متا آندزیت‌ها) 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، آفریکی، ولی در بیشتر موارد، پپروکسن‌فریک و کمتر پلازیو کلاز فریک هستند. سطح خارجی این گدازه‌ها حفره‌دار است که در بیشتر موارد، توسط کلسیت، کوارتز و در مواردی نیز اپیدوت پرشدگی نشان می‌دهند. گدازه‌های بالشی به صورت ناپیوستگی بر روی توف‌ها، چرت‌ها و توالی‌های مولاسی قرار گرفته و خود توسط برش‌های تالوس مانند (کنگلومراهایی با سیمان کربناتی) پوشیده می‌شوند. در فضای خالی بین این گدازه‌های بالشی، آهک‌های پلازیک کرتاسه بالایی قرار می‌گیرند. برش‌های سرد، از دیگر واحدهایی هستند که همراه با گدازه‌های بالشی قرار می‌شوند (شکل ۳-۴). آهک‌های پلازیک کرتاسه بالایی به همراه چرت‌ها به صورت میان‌لایه‌ای (گاه

به طور کلی افیولیت‌های تیسی، به عنوان بقاپایی از یک سنگ‌کرده اقیانوسی (Nicolas, 1989; Ernewein et al., 1988) و با مراکز در حال گسترش مرتبط با زون‌های فروزانش (برای مثال Beccaluva et al., 2004) فرض شده‌اند. از یک دیدگاه کلی، افیولیت‌های مزوژویک ایران هم به عنوان بقاپایی از یک پوسته اقیانوسی بزرگ، مانند حوضه نوتیس (برای مثال Takin, 1972; Ricou, 1974; Stocklin, 1977; Lensch et al., 1977) و یا به عنوان 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) کمرنند افیولیت‌های کرمانشاه-نیریز و ۲-زیر کمرنند داخلی (یا کمرنند افیولیت-ملاث ایران مرکزی شامل افیولیت‌های خوی) تقسیم کرده است. افیولیت‌های سیه‌چشم در بخش شمال-شمال باختر افیولیت خوی واقع شده و تاکنون مطالعات سیستماتیک ژئوشیمیایی و سنگ‌شاختی بر روی آن صورت نگرفته است.

به طور کلی افیولیت‌های خوی توسط Hassanipak & Ghazi (2000) و Juteau (2004) Khalatbary Jafary et al. (2003)، Ghazi et al. (2003) 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 ۲-N-MORB-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 متالافیولیتی قدیمی ۲- توربیدیات‌های سوپر افیولیتی (Supraophiolite) و نهشته‌های آتشفسانی-رسوبی ۳- افیولیت‌های دگرگون‌نشده کرتاسه بالایی ۴- واحد دگرگونی‌های باختری.

واحد دگرگونی‌های خاوری، دامنه سنی ژوراسیک زیرین تا کرتاسه بالایی و گرایش ژئوشیمیایی SSZ تا MORB (Supra-Subduction Zone) دارند. واحد افیولیت‌های دگرگون‌نشده، دامنه سنی کرتاسه بالایی تا پالوسن زیرین دارند که بیشتر، گرایش T-MORB را نشان می‌دهند. از طرف دیگر، واحد توربیدیات‌ها و نهشته‌های آتشفسانی-رسوبی بر روی افیولیت‌های دگرگون نشده کرتاسه به صورت

کمتر بولیتیتی شده هستند.

۵- ژئوشیمی سری‌های بازالتی

۵-۱. ژئوشیمی بازالت‌ها-آندزیت‌های کلسیمی-قلایایی

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 به نسبت پاییتی را نشان می‌دهد (۰/۵ تا ۱/۱ درصد وزنی). به طور کلی میزان اکسید تیتان سری‌های مافیک مرتب با زون‌های فروراش، کمتر از ۱ درصد وزنی است (Gill, 1981; Peate et al., 1997; Woodhead et al., 1998).

در نمودار Zr/TiO₂ در برابر Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977) این سری‌های مافیک در محدوده بازالت‌ها واقع شده‌اند و نسبت Nb برابر با ۰/۳ تا ۰/۹ دارند (شکل ۴). این سری از بازالت‌ها با یک الگوی عناصر خاکی کمیاب بهشت تفرقی‌یافته و با غنی شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک مشخص می‌شوند (شکل ۵).

غنی شدگی در Rb, Ba, Th, U, Pb, U, Sr, K درNb, Ta, Ti از ویژگی‌های این سری‌های سنگی است (شکل ۵)، که این ویژگی‌های ژئوشیمیایی همانند سری‌های کلسیمی-قلایایی جزایر کمانی است. به طور کلی، تهی شدگی در HFSE و نسبت بالای LILE/HFSE از ویژگی سری‌های سنگی مرتب با زون‌های فروراش است (Hawkesworth et al., 1991; McCulloch and Gamble, 1991).

در نمودار Th-Hf-Nb (Wood, 1980) نیز، این سری‌های سنگی در محدوده سری‌های کلسیمی-قلایایی واقع شده‌اند، هر چند برخی از نمونه‌های سنگی به سبب درجه تفرقی بالاتر مانند مادر این سری‌های سنگی می‌توان از نمودار Nb/Th-Yb در برابر Nb/Yb (Pearce, 2007) استفاده نمود (شکل ۶). عنصر Yb یک عنصر به نسبت سازگار است در حالی که Th و Nb به صورت بهشت ناسازگار عمل می‌کند، افزون بر این، این دو عنصر در ناحیه منشأ (Source) زون‌های فروراش به ترتیب غنی شدگی و تهی شدگی نشان می‌دهند (Gill, 1981). در این نمودار، نمونه‌های کلسیمی-قلایایی از روند سری‌های سنگی کمان‌های آتش‌فشنای پیروی می‌کنند و از منشأ گوشه‌ای MORB-OIB متمایز می‌شوند.

۵-۲. ژئوشیمی بازالت‌های قلایایی

این توالی‌های سنگی با میزان LOI و اکسید سیلیسیم به ترتیب برابر ۲/۲ تا ۵/۳ و ۴۲ تا ۴۸ درصد وزنی مشخص می‌شوند. میزان اکسید تیتان آنها نسبت به سری‌های کلسیمی-قلایایی، بالا بوده و مقادیر ۱/۱ تا ۱/۸ درصد وزنی را نشان می‌دهند. میزان بالای اکسید تیتان در این نوع از سنگ‌ها با وجود کانی‌های تیتان‌داری همچون آمفیولهای تیتان‌دار، اوژیت‌های غنی از تیتان و تیتانومگنتیت‌ها سازگاری دارد. در نمودار Zr/TiO₂ در برابر Nb/Y، این بازالت‌ها در محدوده بازالت‌های قلایایی می‌گیرند (شکل ۴). در نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت، غنی شدگی در عناصر خاکی کمیاب سبک و یک الگوی بهشت تفرقی‌یافته برای این بازالت‌ها دیده می‌شود. در مقایسه با سری‌های کلسیمی-قلایایی، این نوع از بازالت‌ها با بی‌هنجری‌های مثبت در HFSE مشخص می‌شوند، افزون بر این، در LILE نیز غنی شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵).

این ویژگی‌های ژئوشیمیایی یعنی غنی شدگی در LREE و HFSE، مشابه با سری‌های قلایایی نوع OIB (Oceanic-island basalts)، یعنی همانند آنچه که در برجستگی‌های اقیانوسی (Seamounts) (اقیانوس آرام (برای مثال Batiza et al., 1990) و یا اقیانوس اطلس (برای مثال 1989) (Batiza et al., 1990) دیده می‌شوند، است. در نمودار Th-Hf-Nb (Wood, 1980) نیز این بازالت‌ها در محدوده بازالت‌های

لایه‌هایی با ستبرای چند صد متری همراه با توالي‌های بازالتی دیده می‌شوند و یا اینکه از نظر چینه‌نگاری برروی گدازه‌های بالشی قرار می‌گیرند (شکل A-۳). بر روی تمامی توالي‌افیولیتی کرتاسه بالايي، سری‌های توربیدیاتی مشکل از شل‌ها و ماسه‌سنگ‌های توفی، برش‌های آتش‌فشنای حاوی قطعات بازالتی به همراه آهک‌های اؤسن (زیرین) قرار می‌گیرند. برای نشان دادن ارتباط بین واحدهای سنگی (به سن کرتاسه بالايي) موجود در مجموعه افیولیتی سیله‌چشم و تفکیک این واحدها از جوان‌تر اؤسن (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 پتروزئن سری‌های بازالتی-آندزیتی کرتاسه بالايي افیولیت‌های سیله‌چشم (بجز قطعات بازالتی درون برش‌ها) است. با توجه به اینکه بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی، این سری‌های بازالتی، ویژگی‌های قلایایی (OIB) و یا کلسیمی-قلایایی (OIB) در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه لویی پاستور استراسبورگ فرانسه (Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg) 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 (Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg) صورت بدیرفته است.

۴- سنگ‌نگاری سری‌های بازالتی

۴-۱. سنگ‌نگاری بازالت‌ها-آندزیت‌های کلسیمی-قلایایی

بافت این سنگ‌ها بیشتر، پورفیری است و افزون بر این، با اباحت‌های گلومروپورفیریتیک پلازیوکلاز و کلینوپیروکسن مشخص می‌شوند. پیروکسن و پلازیوکلاز از اصلی ترین درشت‌بلورهای این سنگ‌ها هستند، در آندزیت‌ها درشت‌بلورهای آمفیبول نیز از دیگر فازهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها هستند. پلازیوکلازها به طور بخشی به سریسیت، اسفن و اپیدوت دگرسان، و کلینوپیروکسن‌ها در اطراف، اورالیتی و یا کلریتی شده‌اند. خمیره این سنگ‌ها شامل میکرولیت‌های دانه‌ریز پلازیوکلاز به همراه دانه‌های کوچک کلینوپیروکسن (به صورت بافت اینترگرانولر) و دانه‌های تیتانومگنتیت است (شکل ۳-E). الیون از دیگر فازهای فرعی است که به صورت درشت‌بلورهای دانه‌ریز در برخی از این بازالت‌ها دیده می‌شود. اسفن، کلریت، کلسیت و اپیدوت از فازهای ثانویه این سری‌های سنگی هستند. در نمونه‌هایی که بهشت اسپیلیت شده‌اند (متا‌بازالت‌ها و متا‌آندزیت‌ها)، کلینوپیروکسن‌ها بهشت به کلریت و کلسیت و پلازیوکلازها و خمیره‌سنگ به طور کامل به کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند.

۴-۲. سنگ‌نگاری بازالت‌های قلایایی (OIB)

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

۲- بازالت‌های با سرنشست کلسیمی-قلیابی که از نظر ژئوشیمیابی با تهی شدگی در HFSE مشخص شده و پیدایش آنها به عملکرد زون‌های فروراش نسبت داده می‌شود. به طور کلی پیدایش سری‌های قلیابی در بسیاری از افیولیت‌ها موردن بحث بوده است. وجود و پیدایش سری‌های قلیابی در افیولیت‌های سیه‌چشممه مرتبط با سری‌های جوان‌تر اثوسن (با ترکیب قلیابی) در منطقه نبوده (با توجه به ستون سنگ‌شناسی بین شده) و در ارتباط با مجموعه افیولیتی هستند. در این مورد باید دو نکته را مد نظر قرار داد: ۱- سری‌های جوان‌تر منطقه (به سن اثوسن) که از نظر ژئوشیمیابی قلیابی هستند، بیشتر در ترکیب کانی‌شناسی خود فروشید دارند، افزون بر این، ستون سنگ‌شناسی که در شکل ۲ ارائه شده است، این احتمال را منتفی می‌سازد. ۲- در بسیاری از افیولیت‌ها نیز وجود این سری‌های قلیابی یاد شده‌اند (برای مثال Aldanmaz et al., 2007) در بحث این سری‌های قلیابی دو نکته اهمیت دارد: ۱- برخی از بازالت‌های موجود در افیولیت‌ها که از نظر ترکیبی قلیابی هستند، از نظر سنی متعلق به تریاس و مرتبط با کافت‌شیوه اولیه اقیانوس نوتیس هستند مانند بازالت‌های قلیابی موجود در سری پیچاکون افیولیت‌های نیریز (Arvin, 1982). ۲- بسیاری از بازالت‌های قلیابی موجود در افیولیت‌ها سنی برابر کرتاسه دارند که می‌توان به بازالت‌های قلیابی موجود در افیولیت Xigaze بخش جنوبی بت (Xia et al., 2008) و همچنین سری‌های قلیابی در افیولیت Masirah عمان (کرتاسه میانی) (Meyer et al., 1996) اشاره کرد. لازم به یادآوری است که واحد Salahی در افیولیت عمان نیز ترکیب قلیابی و گرایش OIB دارند (Alabaster et al., 1982).

جدول ۱- ترکیب شیمیابی واحدهای سنگی مافیک در افیولیت‌های سیه‌چشممه.

Rock	Acidic	Subacidic	Neutral	Basic	Alkaline	Basic	Mafic	ultramafic	peridotite	peraluminous	basic
	Abundance	Abundance	Abundance	Abundance							
Number	000-10	000-127	000-101	000-112	000-1246	000-1248	000-141	000-141	000-141	000-1408	000-139
SiO ₂	45.9	42.5	40.2	40.0	42.0	42.1	44.3	41.3	41.3	40.6	44.5
Al ₂ O ₃	18.6	14.7	17.2	18.6	19.5	15.0	15.6	15.1	18.3	18.0	
MgO	8.81	6.89	5.71	2.77	4.78	6.86	6.86	6.86	6.07	3.78	
CaO	9.19	12.0	11.2	9.56	9.89	13.7	10.7	15.5	8.65	9.34	
FeO _T	13.5	11.0	0.31	12.7	12.0	9.47	12.6	9.04	10.1		
MnO	0.198	0.180	0.233	0.206	0.288	0.210	0.215	0.195	0.146	0.180	
TiO ₂	1.44	1.78	1.28	1.23	1.74	1.78	1.11	1.78	0.899	0.787	
Nd ₂ O ₃	2.26	2.82	5.26	3.24	2.13	2.82	4.05	2.96	2.42	4.21	
K ₂ O	1.45	0.202	0.098	2.20	4.11	0.629	1.79	0.343	3.30	2.62	
P ₂ O ₅	0.843	0.325	0.026	0.827	1.12	0.630	0.570	0.408	0.714	0.709	
LOI	2.21	4.92	5.27	3.73	3.54	3.43	3.12	3.91	1.96	5.61	
Total	100.25	98.71	99.01	99.69	99.06	99.30	100.01	99.32	100.31	99.96	
Sr	509	459	1823	1873	1096	711	1849	605	1570	1643	
Ba	490	347	378	441	764	504	727	228	1719	708	
V	134	244	234	127	162	257	181	218	252	145	
Ni	22.6	86	31	9.71	6.84	84.7	107	90	20.2	25.5	
Cr	12.9	128	12	-	3.63	118	230	138	65.8	6.91	
Zn	82.1	102	109	90.6	120	100	89.4	98	90.9	83.6	
Cu	87.5	107	83	12.3	33.2	86.5	42.3	110	216	21.8	
Sc	38.0	30	8	8.19	4.39	24.2	15.1	25	17.8	7.78	
Y	23.8	22	28	29.8	31.6	24.0	25.8	23	26.7	28.3	
Zr	47.4	120	186	319	213	121	164	129	169	133	
Ca	38.6	42.5	27.8	16.7	31.3	47.6	29.7	41.9	28.0	24.1	
Rb	32.5	241	17.0	27.0	74.5	7.70	34.6	2.99	49.6	36.2	
Nb	28.5	23.4	81.8	93.4	74.8	31.1	86.8	20.1	17.9	24.1	
Sn	0.738	0.474	0.200	1.76	2.60	2.82	0.795	0.394	2.11	1.80	
Se	0.033	0.185	0.047	0.245	0.277	0.173	0.088	0.048	0.106	0.052	
Cs	0.417	0.063	0.068	0.883	0.363	0.316	0.128	0.318	0.312		
La	23.7	30.3	78.0	98.4	87.2	41.4	91.9	40.4	66.4	55.7	
Ce	48.4	62.0	148	176	173	94.3	152	78.1	163	110	
Pr	6.62	7.35	10.3	18.1	19.7	10.3	17.1	9.50	18.4	13.1	
Nd	22.1	30.5	98.3	93.3	71.3	30.5	68.6	38.9	66.7	48.8	
Sm	4.48	5.94	8.74	9.03	11.1	7.17	8.87	8.78	11.4	8.27	
Eu	1.38	1.795	2.295	2.51	3.17	2.10	2.48	2.020	3.26	2.39	
Gd	3.26	5.441	6.802	7.12	8.60	5.55	8.82	5.818	6.54	6.81	
Tb	0.883	0.269	0.833	1.02	1.19	0.869	0.935	0.799	1.69	0.970	
Dy	4.25	4.58	5.15	5.62	6.06	4.70	8.20	4.47	5.36	5.15	
Ho	0.932	0.020	0.869	1.11	1.21	0.962	1.04	0.954	0.905	1.01	
Er	2.45	2.26	2.58	3.06	3.03	2.45	2.72	2.20	2.38	2.62	
Tm	0.404	0.259	0.408	0.496	0.500	0.406	0.428	0.359	0.382	0.417	
Tb	2.42	2.05	2.33	2.87	2.78	2.14	2.58	1.98	2.09	2.35	
Lu	5.503	0.289	0.943	0.431	0.398	0.317	0.362	0.278	0.294	0.347	
Hf	1.47	3.54	3.39	0.30	3.04	2.93	3.00	2.63	3.61	2.02	
Ta	1.28	1.25	3.77	3.34	3.05	1.99	3.22	1.54	0.857	1.12	
W	3.128	0.199	1.46	0.664	1.07	0.89	0.491	0.836	0.68	0.198	
Pb	2.06	2.45	5.34	7.24	0.32	4.82	8.21	1.87	11.3	4.66	
Th	1.21	2.46	0.10	15.1	7.13	5.10	5.59	2.34	13.9	4.24	
U	1.269	0.637	1.09	2.84	1.85	0.815	1.53	0.709	3.21	2.20	

قلیابی نوع OIB واقع می‌شوند (شکل ۶). از طرف دیگر در نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb نیز این سری‌های سنگی از روند MORB-OIB پیروی می‌کنند و یک منشأ غنی شده نوع OIB را نشان می‌دهند (شکل ۷).

۶- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در نمودارهای تکتونوماگمایی و نمودارهای عنکبوتی دیده‌می‌شود، در سری سنگی با گرایش کلسیمی-قلیابی و قلیابی در افیولیت‌های سیه‌چشممه قابل تشخیص هستند. در نمودار_N (Ta/Th_N) در برابر_N (La/Sm_N) (Dupuis, 2005) (Ta/Th_N) بالا همانند سری‌های OIB و -۲ نمونه‌های با نسبت_N (Ta/Th_N) پایین تر همانند سری‌های کلسیمی-قلیابی بود. به طور کلی نسبت_N La/Sm_N در همان‌دنه سرنشست منشأ گوشه‌های این سری‌های مافیک است: ۱- نمونه‌های با نسبت_N (Ta/Th_N) بالا همانند سری‌های OIB و -۲ نمونه‌های با نسبت_N (Ta/Th_N) پایین تر همانند سری‌های کلسیمی-قلیابی مافیک است. با توجه به این نمودار می‌توان دو نوع منشأ گوشه‌های این سری‌های مافیک از این سری‌های مافیک می‌داند. از طرف دیگر در نمودار Th/Ta در برابر_N (La/Yb_N) (Xia et al., 2008) آندزیتی افیولیت‌های سیه‌چشممه در محدوده بازالت‌های مرتبط با فروراش (SZB) (آندزیتی افیولیت‌های سیه‌چشممه در محدوده بازالت‌های OIB) (Xia et al., 2008) (E-MORB) نیز پیشنهاد شده است (Khalatbary Jafary et al., 2004; 2005). از طرف دیگر سری‌های کلسیمی-قلیابی با نسبت_N (Ta/Th_N) نیز می‌تواند در ارتباط با مطالعه میدانی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیابی دو نوع گدازه بنابراین با توجه به مطالعات میدانی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیابی در حال گسترش اقیانوسی نسبت داده می‌شود.

سری‌های قلیابی را می‌توان به واکنش بین پلومهای گوشه‌های گوشه‌های این سری‌های مافیک در حال گسترش اقیانوسی نسبت داد. این فرضیه برای پیدایش توالي‌های بازالت‌های افیولیت‌های خوی-سیه‌چشممه باشد. بنابراین با توجه به مطالعات میدانی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیابی در حال گسترش اقیانوسی نسبت داده می‌شود.

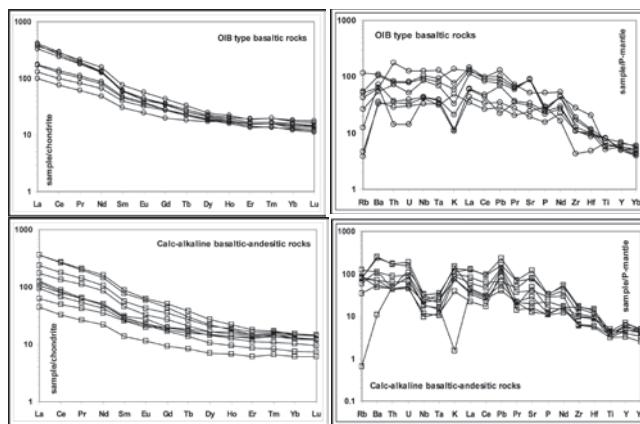
ادامه جدول ۱

Rock	Mineral																		
Ability	Catocalcium																		
Number	M88-181	M88-182	M88-183	M88-184	M88-185	M88-186	M88-187	M88-188	M88-189	M88-190	M88-191	M88-192	M88-193	M88-194	M88-195	M88-196	M88-197	M88-198	M88-199
SH02	54.6	61.2	55.1	54.0	54.5	55.1	54.0	54.5	55.7	55.7	54.5	55.7	54.5	55.7	54.5	55.7	54.5	55.7	54.5
AB03	17.3	15.2	13.4	15.6	16.4	12.2	12.2	12.2	15.4	15.4	16.4	15.4	16.4	15.4	16.4	15.4	16.4	15.4	16.4
MgO	2.40	1.94	1.37	3.73	2.43	2.69	5.73	5.73	3.03	3.03	2.43	2.69	5.73	5.73	2.43	2.69	5.73	5.73	2.43
CaO	8.74	3.71	16.6	8.07	10.02	7.62	7.14	13.5	7.62	7.62	7.14	7.14	13.5	13.5	7.14	7.14	7.14	7.14	7.14
Fa04	5.91	7.73	7.73	8.64	6.96	7.53	11.1	6.20	6.96	6.96	7.53	11.1	6.20	6.20	6.96	6.96	7.53	7.53	6.20
MnO	0.081	0.093	0.002	0.128	0.133	0.100	0.210	0.187	0.093	0.093	0.100	0.210	0.187	0.187	0.093	0.093	0.100	0.100	0.187
TiO2	1.00	0.668	0.477	0.691	0.800	0.885	0.944	0.783	0.668	0.668	0.800	0.885	0.944	0.944	0.668	0.668	0.800	0.800	0.783
Na2O	4.62	3.61	0.000	2.35	3.76	3.76	3.76	3.76	4.62	4.62	3.76	3.76	3.76	3.76	4.62	4.62	3.76	3.76	3.76
K2O	2.28	4.45	0.007	2.23	2.82	1.15	4.03	0.047	2.23	2.23	2.82	1.15	4.03	4.03	2.23	2.23	2.82	2.82	1.15
P2O5	0.483	0.251	0.237	0.246	0.614	0.237	0.600	0.242	0.483	0.483	0.614	0.237	0.600	0.600	0.483	0.483	0.614	0.614	0.242
Li2O	2.90	1.85	4.05	2.93	2.21	6.74	3.78	8.19	2.90	2.90	4.05	2.21	6.74	6.74	2.90	2.90	4.05	4.05	2.21
Total	100.01	98.74	99.08	99.33	100.20	98.92	100.50	98.77	100.01	100.01	99.08	99.33	100.20	100.20	98.74	98.74	99.08	99.08	98.74
Sr	41.7	56.0	22.09	103.4	84.4	300	2517	205	41.7	41.7	56.0	22.09	103.4	103.4	84.4	84.4	56.0	56.0	22.09
Ba	33.8	77.4	7.15	48.9	48.1	374	1503	75.2	33.8	33.8	77.4	7.15	48.9	48.9	48.1	48.1	77.4	77.4	7.15
V	16.6	96.6	17.8	24.9	29.8	129	299	129	16.6	16.6	96.6	17.8	24.9	24.9	29.8	29.8	129	129	17.8
Ni	16.9	2.47	22.1	13	9.37	12	23.8	74.9	16.9	16.9	2.47	22.1	13	13	9.37	9.37	22	22	13
Cr	0.401	-	10.5	9	-	-	-	-	0.401	0.401	10.5	9	-	-	10.5	10.5	9	9	-
Zn	22.6	49.4	21.2	72	69.6	126	84.9	60.1	22.6	22.6	49.4	21.2	72	72	69.6	69.6	126	126	84.9
Co	62.9	27.1	4.80	120	66.9	20	146	74.6	62.9	62.9	27.1	4.80	120	120	66.9	66.9	20	20	146
Sr	12.5	9.33	14.6	26	21.4	18	21.0	26.3	12.5	12.5	9.33	14.6	26	26	21.4	21.4	18	18	21.0
Y	17.5	21.1	10.7	15	21.8	24	30.7	21.2	17.5	17.5	21.1	10.7	15	15	21.8	21.8	24	24	30.7
Zr	11.3	18.0	31.7	69	67.0	106	189	70.4	11.3	11.3	18.0	31.7	69	69	67.0	67.0	106	106	189
Co	13.0	9.26	19.3	17.7	17.7	9.07	32.4	26.9	13.0	13.0	9.26	19.3	17.7	17.7	17.7	17.7	9.07	9.07	32.4
Pb	53.0	78.8	22.0	51.6	48.1	21.6	49.5	41.9	53.0	53.0	78.8	22.0	51.6	51.6	48.1	48.1	21.6	21.6	49.5
Nb	15.9	17.5	6.81	8.29	12.9	6.78	22.5	12.4	15.9	15.9	17.5	6.81	8.29	8.29	12.9	12.9	6.78	6.78	22.5
Sr	1.42	1.78	0.544	0.379	0.826	0.761	1.26	0.704	1.42	1.42	1.78	0.544	0.379	0.379	0.826	0.826	0.761	0.761	1.26
Sb	0.233	0.223	0.264	0.133	0.141	0.368	0.059	0.070	0.233	0.233	0.223	0.264	0.133	0.133	0.141	0.141	0.368	0.368	0.059
Cr	0.250	0.316	0.066	0.401	0.151	-	-	-	0.250	0.250	0.316	0.066	0.401	0.401	0.151	0.151	-	-	-
La	20.4	30.4	10.5	22.5	40.8	14.9	84.9	28.1	20.4	20.4	30.4	10.5	22.5	22.5	40.8	40.8	14.9	14.9	84.9
Ce	47.9	53.8	20.0	41.3	62.7	30.1	60.0	30.0	47.9	47.9	53.8	20.0	41.3	41.3	62.7	62.7	30.1	30.1	60.0
Pt	5.73	5.59	2.46	4.91	10.2	3.87	19.4	6.79	5.73	5.73	5.59	2.46	4.91	4.91	10.2	10.2	3.87	3.87	19.4
Nd	22.9	22.0	9.96	19.4	39.4	16.2	73.2	21.9	22.9	22.9	22.0	9.96	19.4	19.4	39.4	39.4	16.2	16.2	73.2
Sm	4.82	4.18	2.62	3.90	8.67	3.80	13.0	4.30	4.82	4.82	4.18	2.62	3.90	3.90	8.67	8.67	3.80	3.80	13.0
Eu	1.56	1.20	0.646	1.169	1.85	1.126	3.91	1.26	1.56	1.56	1.20	0.646	1.169	1.169	1.85	1.85	1.126	1.126	3.91
Gd	3.94	3.57	1.84	3.306	5.40	3.921	9.96	3.99	3.94	3.94	3.57	1.84	3.306	3.306	5.40	5.40	3.921	3.921	9.96
Tb	0.614	0.553	0.201	0.484	0.753	0.867	1.37	0.620	0.614	0.614	0.553	0.201	0.484	0.484	0.753	0.753	0.867	0.867	1.37
Dy	3.50	3.65	1.70	2.57	4.09	4.08	6.65	3.50	3.50	3.50	3.65	1.70	2.57	2.57	4.09	4.09	4.08	4.08	6.65
Ho	0.691	0.756	0.372	0.515	0.855	0.893	1.19	0.752	0.691	0.691	0.756	0.372	0.515	0.515	0.855	0.855	0.893	0.893	1.19
Er	1.79	2.12	0.964	1.36	2.23	2.37	2.87	2.00	1.79	1.79	2.12	0.964	1.36	1.36	2.23	2.23	2.37	2.37	2.87
Tm	0.277	0.263	0.166	0.211	0.346	0.402	0.427	0.351	0.277	0.277	0.263	0.166	0.211	0.211	0.346	0.346	0.402	0.402	0.427
Yb	1.67	2.31	0.981	1.22	2.08	2.42	2.43	1.99	1.67	1.67	2.31	0.981	1.22	1.22	2.08	2.08	2.42	2.42	2.43
Lu	0.235	0.343	0.148	0.181	0.304	0.346	0.355	0.295	0.235	0.235	0.343	0.148	0.181	0.181	0.304	0.304	0.346	0.346	0.355
Hf	2.78	4.53	0.863	1.70	1.82	2.66	4.18	3.50	2.78	2.78	4.53	0.863	1.70	1.70	1.82	1.82	2.66	2.66	4.18
Ta	0.983	1.24	0.359	0.430	0.603	0.482	1.43	0.654	0.983	0.983	1.24	0.359	0.430	0.430	0.603	0.603	0.482	0.482	1.43
W	0.796	1.01	0.705	0.577	0.849	0.914	0.200	0.581	0.796	0.796	1.01	0.705	0.577	0.577	0.849	0.849	0.914	0.914	0.200
Pb	2.87	9.02	3.46	5.93	9.68	7.98	16.5	4.05	2.87	2.87	9.02	3.46	5.93	5.93	9.68	9.68	7.98	7.98	16.5
Th	3.77	7.57	1.53	3.65	5.29	3.77	14.5	4.24	3.77	3.77	7.57	1.53	3.65	3.65	5.29	5.29	3.77	3.77	14.5
U	1.07	1.89	0.654	0.665	1.42	1.03	3.88	1.77	1.07	1.07	1.89	0.654	0.665	0.665	1.42	1.42	1.03	1.03	3.88

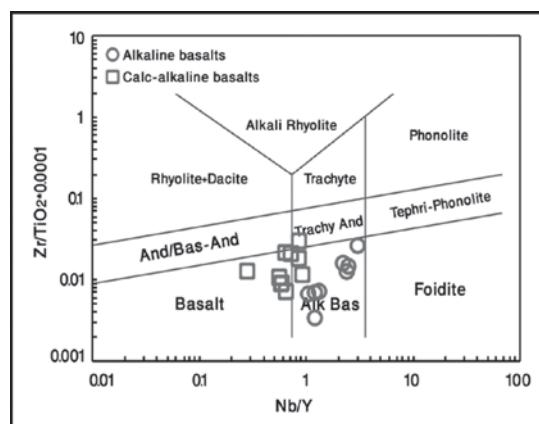
شکل ۲- ستون سنگ‌شناسی و ارتباط واحدهای سنگی موجود در افیولیت‌های سیه‌چشم. (A) قطعات بازالتی دگرسان شده و زاویدار در خمیره کربناتی (برش‌های سرد). (B) قطعات بازالتی دگرسان شده و زاویدار در خمیره کربناتی (برش‌های سرد). (C) رخمنون گدازه‌های بالشی افیولیت‌های سیه‌چشم در نزدیکی روستای مزرعه. (D) منشورهای آمفیبولیت غنی از تیتان (کرسوتیت) با چند رنگی شدید در گدازه‌های بازالتی قلبایی. (E) درشت‌بلورها و میکروولیت‌های کلینوپیروکسن در خمیره‌ای مشکل از میکروولیت‌های پلازیوکلاز در بازالت‌های کلسیمی-قلبایی. (F) درشت‌بلورها و ماکل دار کلینوپیروکسن همراه با درشت‌بلورها و پلازیوکلاز در بازالت‌های سیه‌چشم.



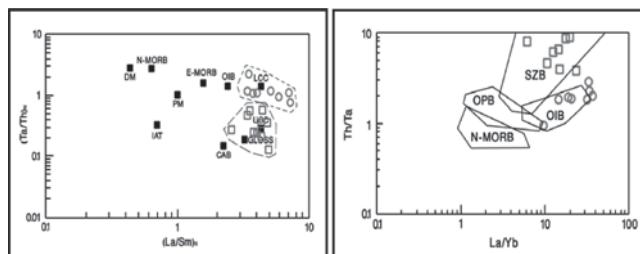
شکل ۳- (A) توالی سنگ‌آهک‌های پلازیک کرتاسه‌بالای همراه با پیولواهای افیولیت‌های سیه‌چشم. (B) قطعات بازالتی دگرسان شده و زاویدار در خمیره کربناتی (برش‌های سرد). (C) رخمنون گدازه‌های بالشی افیولیت‌های سیه‌چشم در نزدیکی روستای مزرعه. (D) منشورهای آمفیبولیت غنی از تیتان (کرسوتیت) با چند رنگی شدید در گدازه‌های بازالتی قلبایی. (E) درشت‌بلورها و میکروولیت‌های کلینوپیروکسن در خمیره‌ای مشکل از میکروولیت‌های پلازیوکلاز در بازالت‌های کلسیمی-قلبایی. (F) درشت‌بلورها و ماکل دار کلینوپیروکسن همراه با درشت‌بلورها و پلازیوکلاز در بازالت‌های سیه‌چشم.



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

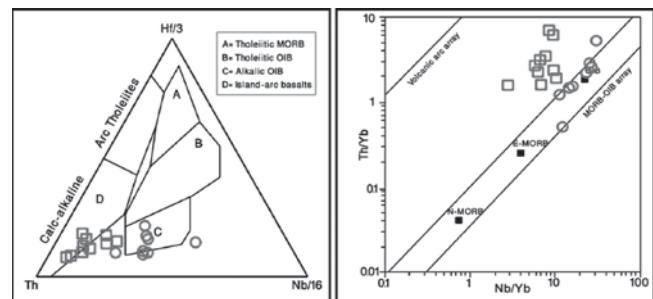


شکل ۴- تقسیم‌بندی ژئوشیمیابی واحدهای افیولیت‌های سیه‌چشم در نمودار Zr/TiO₂ در برابر Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977). در این نمودار، نمونه‌های قلیابی نسبت Y/Nb بالاتری دارند و در محدوده آکالای بازالت‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۷- نمودارهای (Ta/Th)_N در برابر (La/Sm)_N (با تغییرات از Dupuis, 2005) و (Th/Yb) در برابر (La/Yb) (با تغییرات از Xia et al., 2008) برای سری های مافیک قلیابی و کلسیمی- قلیابی افیولیت‌های سیه‌چشم. (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 سری های کلسیمی- قلیابی و قلیابی افیولیت‌های سیه‌چشم. علایم به کار رفته در این شکل، همانند شکل ۴ است.

کتابنگاری

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ 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. & Nelson, 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 mesozoïques Tethysiennes reliées 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 für 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., Mercalli, I. & Immenhauser, A., 1996- Off-ridge alkaline magmatism and seamount volcanoes 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'étude géologique de la région de Neyriz (Zagros Iranien) et l'évolution structurale des Zagrides. These d'Etat, Orsay, 321p.
- Sabzehei, M., 1974- Les mélanges ophiolitiques de la région 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-Servé No.8 dela Societe Géologique 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.