

# ژئوشیمی و محیط تشکیل سری‌های سنگی مافیک در کمربند افیولیتی بلورد-بافت

نوشته: هادی شفائی مقدم<sup>\*\*\*</sup>، محمد رهگشای<sup>\*</sup>، هوبرت وایت چرچ<sup>\*\*</sup>، ایمان منصف<sup>\*</sup> و اعظم سلطان محمدی<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> دانشگاه علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>\*\*</sup> دانشگاه علوم زمین، دانشگاه علوم پایه دامغان، دامغان، ایران

<sup>\*\*\*</sup> مدرسه علوم زمین، دانشگاه لوئی پاستور، استراسبورگ، فرانسه

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۲/۳۰

## چکیده

سنگ‌های بازالتی، گابروها، توف‌ها، دایک‌های دیابازی، آگلومراها و برش‌ها و قطعات سنگی داخل برش‌ها از مهم‌ترین سنگ‌های مافیک افیولیتی‌های بلورد-بافت است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها حاکی از تهی‌شدگی در HFSE و غنی‌شدگی در LILE و حضور دوسری ماگمایی تولیت‌های جزایر کمائی و کلسیمی-قلیایی است. این رفتار ژئوشیمیایی با نشأت گرفتن ماگمای والد این سنگ‌ها از یک محیط مرتبط با فرورانش سازگاری دارد. این ویژگی‌ها همراه با قرارگیری این مجموعه افیولیتی در پشت کمان ماگمایی مزوزوییک زون سنندج-سیرجان حاکی از گسترش یک حوضه پشت کمان (در حاشیه فعال بلوک ایران مرکزی) در طی کرتاسه میانی، در نتیجه فرورانش مایل نئوتیس به زیر بلوک ایران مرکزی می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** سری تولیت جزایر کمائی، سری کلسیمی-قلیایی، کرتاسه میانی، حوضه پشت کمانی.

## ۱- مقدمه

افیولیتی‌های بلورد-بافت بخشی از کمربند افیولیتی نائین-بافت است که در نقشه‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ بافت و بلورد رخنمون دارند. این افیولیت‌ها به عنوان یک آمیزه رنگین (ملانژ) زمین‌ساختی متشکل از بلوک‌هایی از سنگ‌کره اقیانوسی که در طی کرتاسه بالایی بر روی سنگ‌کره قاره‌ای رانده شده است، در نظر گرفته شده‌اند (برای مثال، Davoudzadeh, 1972; Berberian and King, 1981; Desmons and Beccaluva, 1983). این کمربند افیولیتی توسط زمین‌شناسان متعددی مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان ۱- یک محیط اقیانوسی باریک همانند دریای سرخ که در بین بلوک لوت و حاشیه فعال بلوک ایران مرکزی یا زون سنندج-سیرجان (یعنی شاخه‌ای از نئوتیس) باز شده است (برای مثال Berberian & King, 1981)، ۲- یک محیط مرتبط با فرورانش تیس به سن کرتاسه (برای مثال Ghazi & Hassanipak, 2000; Desmons & Beccaluva, 1983) و ۳- یک حوضه پشت کمان (Back-arc basin) به سن کرتاسه پایانی (برای مثال Shahabpour, 2004; Agard et al., 2006)، در نظر گرفته شده است. افیولیتی‌های ناحیه بلورد-بافت اولین بار توسط Dimitrijevic (1973) در طی نقشه‌برداری و بازسازی چینه‌شناسی ناحیه کرمان معرفی شد. فرض این‌که این افیولیت‌ها بین سنگ‌های دگرگونی زون سنندج-سیرجان در جنوب و جنوب باختر و کمربند ماگمایی دهج-ساردوئیه در شمال و شمال خاور ساندوویچ شده است (شکل ۱)، توسط وی ارائه شده است. کمربند ماگمایی دهج-ساردوئیه نیز یک حوضه فعال از کرتاسه به بعد بوده است که توسط نهشته‌های فلیش مانند کرتاسه-ائوسن پر شده و افزون بر این با فعالیت آتشفشانی ائوسن-الیگوسن نیز همراه است. کمربند دهج-ساردوئیه از طرف شمال به کمربند رفسنجان خاتمه می‌یابد (شکل ۱). مطالعه سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی گدازه‌های بالشی (پیلولاوا) منطقه بافت توسط Arvin and Robinson (1994) و همچنین گدازه‌های بالشی منطقه گوغر توسط Arvin and Shokri (1996) صورت پذیرفته است. این زمین‌شناسان دو نوع بازالت تولیتی و تولیتی حدواسط (Transitional tholeiite) را تشخیص داده و تشکیل آنها را به یک محیط سوپراسابداکشن (Supra-subduction zone) نسبت داده است. در این مطالعه به معرفی واحدهای سنگی این منطقه به همراه ژئوشیمی و محیط ژئودینامیکی سنگ‌های مافیک مرتبط با این افیولیت‌ها پرداخته خواهد شد.

## ۲- روش مطالعه

برای تعیین میزان عناصر اصلی و خاکی کمیاب نمونه‌های سنگی مافیک، ابتدا نمونه‌هایی که کمتر دگرسانی نشان می‌دادند، انتخاب شده و توسط آگات پودر شده‌اند. تعیین عناصر اصلی و برخی عناصر کمیاب توسط دستگاه ICP-AES و عناصر کمیاب خاکی به همراه برخی دیگر از عناصر کمیاب همانند سرب، توریم، اورانیم، روییدیم و غیره توسط ICP-MS در استراسبورگ فرانسه (Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg) صورت پذیرفته است.

## ۳- زمین‌شناسی منطقه بلورد-بافت و تعیین روابط سنگی بین واحدهای افیولیتی

به طور کلی افیولیتی‌های بلورد-بافت در دو نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ بلورد و بافت رخنمون داشته (شکل ۲A و ۲B) و ادامه شمال باختری آن افیولیتی‌های شهرباک است. گدازه‌های بالشی، جریان‌های بازالتی (Basaltic flows)، آگلومراها (Agglomerate)، برش‌های آتشفشانی به همراه برش‌های سرد، توف‌ها، ماسه‌سنگ‌های توفی، دایک‌های دیابازی، گابروهای ایزوتروپ، گابروهای پگماتی، پردوتیت‌ها، سنگ‌آهک‌های پلاژیک و چرت‌ها از مهم‌ترین واحدهای تشکیل دهنده این افیولیت‌ها هستند. ماسه‌سنگ‌های توفی به همراه توف‌ها (و توفیت‌ها) در اکثر موارد دارای لایه‌بندی بوده، افزون بر این، ماسه‌سنگ‌های توفی را می‌توان به انواع دانه درشت و دانه ریز تقسیم‌بندی نمود. برش‌ها و آگلومراها دارای قطعات سنگی با ترکیب بازالتی و آندزیتی و حتی تفریق یافته‌تر در یک خمیره بازالتی و یا آندزیتی بوده که در این خمیره علاوه بر قطعات سنگی، کانی‌هایی همچون پلاژیوکلاز نیز دیده می‌شوند. دایک‌های کوچک ریولیتی-ریوداستیتی در برخی موارد برش‌ها و آگلومراها را قطع می‌نمایند. تناوب آگلومراها، چرت‌ها، سنگ‌آهک‌های پلاژیک سرخ رنگ و توفیت‌های سیلیسی در برخی موارد دیده می‌شود. قطعات سنگی برش‌ها و آگلومراها از بازالت‌های آفیرییک تا بازالت‌های پورفیری (پلاژیوکلاز پورفیر و کمتر پیروکسن) و همچنین آندزیت‌های پورفیری در تغییر هستند. رخنمون‌های بزرگی از بازالت‌های توده‌ای با مقادیر کمی از درشت بلورهای پلاژیوکلاز در ورقه بلورد (شکل ۲A) رخنمون داشته که حاوی لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های پلاژیک نیز هستند. در این افیولیت‌ها در بیشتر موارد، برش‌ها و آگلومراها همراه با میان‌لایه‌هایی از بازالت‌های آفیرییک تا پلاژیوکلاز-پیروکسن

به عنوان سیمان در بین قطعات سنگی دیده شده و یا این که حاصل از تبدیل شدن گدازه‌های شیشه‌ای (با حفظ فرم شارد) است. بلورهای شکسته شده و زاویه‌دار کوارتز به همراه تیغه‌های پلاژیوکلاز از دیگر تشکیل‌دهندگان این سنگ‌ها است. قطعات سنگی آندزیتی موجود در آگلومراها و برش‌های آتشفشانی با حضور فنوکریست‌های درشت (< ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر) و کوچک (> ۲ میلی‌متر) پلاژیوکلاز مشخص می‌شوند. فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز از درشت‌بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار با ساختمان منطقه‌ای نوسانی، و گاه عادی-معکوس، تا درشت‌بلورهایی با حاشیه‌های تحلیل رفته همراه با ساختمان منطقه‌ای عادی-نوسانی در تغییر است. این درشت‌بلورها به طور عموم در مرکز به شدت به کانی‌های رسی و به مقدار کمتر سریست دگرسان شده‌اند در حالی که حاشیه‌های کانی به نسبت سالم است. درشت‌بلورهای هورنبلند با حاشیه‌های اپاسیتیزه به صورت پسودومرف به کلریت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. خمیره این سنگ‌ها از کانی‌های رسی و کمتر کوارتزهای چندبلورین دانه‌ریز تشکیل یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها (قطعات سنگی آندزیتی) بیشتر پورفیری با خمیره شیشه‌ای تا اینترسرتال در تغییر است.

در مقابل، قطعات سنگی بازالتی فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز دارند که در حاشیه بافت Dusty نشان می‌دهند. این درشت‌بلورها در مرکز متحمل آلتراسیون رسی-اپیدوتی شده‌اند. درشت‌بلورهای کلینوپروکسن (۵/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر در طول) در این سنگ‌ها، نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل بوده و به طور عموم دارای ماکل هستند. خمیره سنگ به‌طور کامل به مواد رسی و اکسید آهن دگرسان شده‌اند. بازالت‌های توده‌ای و گدازه‌های بالشی از فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز (از ۱ میلی‌متر تا بیش از ۴ میلی‌متر) که تقریباً به طور کامل به کانی‌های رسی و سریست دگرسان شده‌اند، تشکیل شده‌اند. بلورهای بی‌شکل تا نیمه شکل دار کلینوپروکسن با منطقه‌بندی محسوس از دیگر تشکیل‌دهندگان این سنگ‌ها هستند. خمیره سنگ از ریزبلورهای آلیت به همراه کلریت و کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند که در مواردی میزان آلیت بالا رفته و کل سنگ از آلیت‌های دانه‌ریز ثانویه تشکیل شده است (آلیتوفیرها). لایه‌های بازالتی موجود در آگلومراها و برش‌ها با بافت پیلوتاکستیک و خمیره‌ای متشکل از میکروولیت‌های به شدت دگرسان شده (به کانی‌های رسی) پلاژیوکلاز مشخص می‌شوند. فضای بین میکروولیت‌های پلاژیوکلاز را کلریت و کانی‌های رسی پر می‌کند. ریزبلورهای کانی‌های کدر نیز در خمیره دیده می‌شوند. اپیدوت از دیگر فازهای ثانویه این سنگ‌ها است. گابروهای ایزوتروپ منطقه مورد مطالعه دارای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز است که به شدت رسی-سریستی شده‌اند. در فضای بین این پلاژیوکلازها، کلینوپروکسن‌ها به صورت بافت اینترگرانولر رشد کرده‌اند. شکل این کلینوپروکسن‌ها تابعی از فضای خالی بین پلاژیوکلازها بوده، بنابراین بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار هستند. کلریتی، اورالیتی و رسی شدن از محصولات دگرسانی این کلینوپروکسن‌ها است. در رخساره‌های دیوریتی در بین پلاژیوکلازهای به شدت دگرسان شده تیغه‌های سبز رنگ (سبز پریده) اکتیونیت، به صورت بی‌شکل و یا به صورت فیبرهای کشیده، رشد کرده است.

#### ۵- ژئوشیمی واحدهای مافیک افیولیت‌های بلورد-بافت

در نمودار مجموع قلیایی‌ها در برابر اکسید سیلیسیم (شکل ۳A)، نمونه‌های مورد مطالعه، از نظر ترکیبی محدوده بازالت، تراکی بازالت و آندزیت بازالتی، نمودار را اشغال می‌نمایند. برخی از نمونه‌هایی که دارای میزان LOI بالا و در نتیجه از دست دادن اکسید سیلیسیم می‌باشند، از این روند مستثنی هستند. افزون بر این، برش‌ها و آگلومراها ترکیب آندزیتی و نمونه گدازه‌های بالشی ترکیب تراکی آندزیتی با

فیریک هستند. گدازه‌های بالشی از دیگر واحدهای سنگی این افیولیت‌ها هستند که به شدت اسپیلیتی شده و در برخی موارد به آلیتوفیر تبدیل شدن نشان می‌دهند. گابروهای ایزوتروپ ریزبلور تا متوسط بلور (در اکثر موارد با رخساره‌های دیوریتی در اثر دگرسانی)، به صورت توده‌های کوچکی، بویژه در ورقه بافت (شکل ۲B)، با همبری تک‌توزیه با دیگر واحدهای افیولیتی دیده می‌شوند. دایک‌های دیابازی (رودزیتی شده) در این مجموعه افیولیتی در درون پریدوتیت‌ها رخنمون داشته و در بیشتر موارد بودیناز شده‌اند. سنگ‌آهک‌های پلاژیک همراه با چرت‌ها و با سن کرتاسه پسین (سنونین-مایستریتین) به صورت ناپیوستگی بر روی برش‌ها و آگلومراها (و حتی سرپانتینیت‌ها) واقع شده‌اند. سنگ‌آهک‌های پلاژیک سفید رنگ در برخی موارد همراه با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های رسی قهوه‌ای رنگ دیده می‌شوند. توالی‌های ائوسن در این مجموعه افیولیتی توسط توالی از کنگلومراهای دانه‌ریز تا دانه درشت، ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌آهک‌های نریتیک نومولیت دار مشخص می‌شوند که به صورت ناپیوستگی توالی افیولیتی را می‌پوشاند (شکل ۲A).

#### ۴- سنگ‌نگاری و روابط کانیایی در واحدهای مافیک افیولیت‌های بلورد-بافت

توف‌ها و لایلی توف‌ها دارای فنوکریست‌های به نسبت درشت (> ۱ میلی‌متر) کوارتز بوده که این دانه‌ها توسط حاشیه‌های خورده شده و گرد شده مشخص می‌شوند. قطعات سنگی موجود در این نمونه‌ها اکنون به کوارتزهای چندبلورین (پلی کریستالین) ریز بلور تبدیل شده‌اند. برخی از قطعات سنگی با حضور تیغه‌های بسیار کوچک آلیت و کلریت مشخص می‌شوند. فضاهای خالی بین قطعات سنگی توسط کلریت پر شده است. افزون بر این، در خمیره سنگ کلریت (حاصل از دگرسانی شارد‌های شیشه‌ای و با حفظ فرم پیشین شارد) نیز حضور دارد. از طرف دیگر آگلومراها دارای قطعات سنگی بازالتی-آندزیتی و حتی داسیتی بوده که در این قطعات سنگی، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در خمیره‌ای متشکل از کانی‌های رسی تیره رنگ به همراه کلریت شناورند. برخی از این قطعات سنگی دارای بادامک‌هایی پر شده از کلریت است. کلریت به صورت بی‌شکل به همراه کوارتزهای دانه‌ریز چندبلورین به عنوان سیمان در بین قطعات سنگی دیده شده و یا این که حاصل از تبدیل شدن شارد‌های شیشه‌ای (با حفظ فرم شارد) است. بلورهای شکسته شده و زاویه‌دار کوارتز به همراه تیغه‌های پلاژیوکلاز از دیگر تشکیل‌دهندگان این سنگ‌ها است. قطعات سنگی آندزیتی موجود در آگلومراها و برش‌های آتشفشانی با حضور فنوکریست‌های درشت (< ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر) و کوچک (> ۲ میلی‌متر) پلاژیوکلاز مشخص می‌شوند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز از درشت‌بلورهای شکل دار تا نیمه‌شکل دار با ساختمان منطقه‌ای نوسانی، و گاه عادی-معکوس، تا درشت‌بلورهای با حاشیه‌های تحلیل رفته همراه با ساختمان منطقه‌ای عادی-نوسانی در تغییر است. این درشت‌بلورها اغلب در مرکز به شدت به کانی‌های رسی و به مقدار کمتر سریست دگرسان شده‌اند در حالی که حاشیه‌های کانی به نسبت سالم است. درشت‌بلورهای هورنبلند با حاشیه‌های اپاسیتیزه به صورت پسودومرف به کلریت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. خمیره این سنگ‌ها از کانی‌های رسی و کمتر کوارتزهای چندبلورین دانه‌ریز تشکیل یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها (قطعات سنگی آندزیتی) بیشتر پورفیری با خمیره شیشه‌ای تا اینترسرتال در تغییر است.

قطعات سنگی بازالتی-آندزیتی و حتی داسیتی بوده که در این قطعات سنگی، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز در خمیره‌ای متشکل از کانی‌های رسی تیره رنگ به همراه کلریت شناور است. برخی از این قطعات سنگی دارای بادامک‌هایی پر شده از کلریت است. کلریت به صورت بی‌شکل به همراه کوارتزهای دانه‌ریز چندبلورین

HFSE و غنی‌شدگی در LILE و علاوه بر این حضور توأم سری کلسیمی - قلیایی و تولیت جزایر کماتی مشخص می‌شوند. تهی‌شدگی در Nb در نمودار Hf-Nb-Th (Wood, 1980) نیز مشهود است (شکل B ۳). در این نمودار بیشتر نمونه‌ها در حوضه تولیت‌های جزایر کماتی و حوضه کلسیمی - قلیایی قرار می‌گیرند. اساس تهی‌شدگی در HFSE به گدازه‌های مشتق شده از مناطق مرتبط با کمان آتشفشانی نسبت داده می‌شود (برای مثال McCulloch & Gamble, 1991). از طرف دیگر غنی‌شدگی در LILE با ذوب یک گوشه آلوده شده توسط سیال‌ها حاصل از ورقه فرورانش سازگار است (برای مثال Taylor & Martinez, 2003). به طور کلی بازالت‌های حوضه‌های پشت کمان هم در محیط‌های اقیانوسی مانند Mariana Trough (Stern et al., 1990) و یا حوضه Lau (برای مثال Frenzel et al., 1990) و هم در محیط‌های قاره‌ای همانند Brainsfield Strait (برای مثال Weaver et al., 1982) به خوبی مطالعه شده‌اند. از نظر ژئوشیمیایی بازالت‌های مرتبط با حوضه‌های پشت کمان حدواسط بین IAT و MORB هستند (Saunders and Tarney, 1991)، یعنی آنچه که در مورد افیولیت‌های بلورد - بافت نیز صدق می‌کند.

#### ۶- تکامل ساختاری و جایگاه تشکیل افیولیت‌های بلورد - بافت

با شروع فرورانش نئوتیس به زیر بلوک ایران مرکزی در تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین، زون سندج - سیرجان به عنوان حاشیه فعال بلوک ایران مرکزی عمل نموده است. حضور آتشفشانی‌ها و نفوذی‌هایی با همین سن، با گرایش کلسیمی - قلیایی در زون سندج - سیرجان حاکی از تکامل کمان آتشفشانی مزوزوییک در این زون دارد (Berberian and King, 1981). اساساً فرورانش نئوتیس از نوع مورب بوده (Berberian and King, 1981; McClay et al., 2004)، که در طی کرتاسه میانی شدت گرفته و باعث بالآمدگی (Exhumation) شیب‌های آبی منطقه اسفندقه شده است (Agard et al., 2006). به دنبال این فرورانش مورب، یک حوضه پشت کمان کششی باریک (Narrow transtensional back-arc basin)، در امتداد گسل‌های امتداد لغز (Transcurrent faults)، در حاشیه فعال ایران مرکزی یا زون سندج - سیرجان، در پشت کمان مزوزوییک ایران، شروع به باز شدن نموده است. تعیین سن‌های پتاسیم - آرگون بر روی بلورهای آمفیبول موجود در گابروها و آمفیبولیت‌های کمر بند افیولیتی نائین - بافت دامنه سنی برابر کرتاسه میانی تا کرتاسه بالایی (۶۷ تا ۱۱۳ میلیون سال) را به دست داده است (Shafaii Moghadam et al., 2007). این دامنه سنی با نتایج سنی حاصل از میکروفسیل‌های آهک‌های پلاژیک این کمر بند افیولیتی، یعنی سنونین تا ماستریشین، مطابقت دارد. بنابراین، زمان باز شدن و تکامل حوضه پشت کمان نائین - بافت به کرتاسه میانی نسبت داده می‌شود. با توجه به شواهدی همچون نبود رسوبگذاری در ائوسن زیرین و وجود کنگلومراها و رسوبات تخریبی پالتوسن میانی - همراه با رسوبگذاری آهک‌های تخریبی (Detritic limestones) به سن پالتوسن میانی - ائوسن زیرین، زمان بسته شدن این حوضه را می‌توان به پالتوسن زیرین نسبت داد. بنابراین ماگمای سازنده این حوضه اقیانوسی (نائین - بافت)، از ذوب بخشی یک گوه گوشته‌ای که متأثر از سیال‌های ناشی از صفحه فرورانش شده نئوتیس بوده، حاصل شده است.

#### ۷- نتیجه‌گیری

به طور کلی سنگ‌های ماگمایی مافییک - حدواسط افیولیت‌های بلورد - بافت را می‌توان به چند دسته شامل سنگ‌های بازالتی، گابروها، توف‌ها، برش‌ها و آگلومراها، قطعات سنگی داخل برش‌های آتشفشانی و دایک‌های دیابازی تقسیم کرد. تهی‌شدگی در HFSE و غنی‌شدگی در LILE و همچنین حضور همزمان دو سری تولیت

میزان اکسید سیلیسیم به نسبت بالا (۶۰/۸ درصد وزنی) دارند.

#### ۵-۱. قطعات سنگی موجود در برش‌ها و آگلومراها

با توجه به میزان اکسید سیلیسیم (همراه با مطالعات سنگ‌شناسی) قطعات سنگی را می‌توان به انواع بازالتی (با اکسید سیلیسیم برابر حدود ۴۳ تا ۴۷) و انواع آندزیتی - آندزیت بازالتی (با اکسید سیلیسیم برابر ۵۵ تا ۵۷ درصد وزنی) تقسیم‌بندی نمود. در نمودار REE بهنجار شده نسبت به کندریت (شکل ۴) دو روند برای این سنگ‌ها قابل مشاهده است. ۱- روند کم و بیش مسطح ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=1.7-2.1$ ) و ۲- یک روند تفریق یافته، با غنی‌شدگی در REE ها ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=4.1-5.2$ ). تهی‌شدگی در Ta و Nb همراه با غنی‌شدگی در عناصر LILE ها برای این دو روند به ترتیب بیانگر سری‌های مرتبط با تولیت‌های جزایر کماتی (IAT) و سری‌های کلسیمی - قلیایی است (شکل‌های ۳ و ۵).

#### ۵-۲. آگلومراها و برش‌های آندزیتی

همانند قطعات سنگی موجود در برش‌ها دارای دو روند در الگوی REE ها هستند. (شکل ۴): ۱- یک روند به شدت تفریق یافته با غنی‌شدگی در LREE ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=7.3$ ) و ۲- یک الگوی مشابه با MORB ها با تهی‌شدگی در LREE ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=0.6-0.7$ ). تهی‌شدگی در Ta, Nb, Ti همراه با غنی‌شدگی در LILE (و غنی‌شدگی در Th برای سری کلسیمی - قلیایی) به ترتیب وجود سری کلسیمی - قلیایی و تولیت جزایر کماتی را محرز می‌سازد (شکل ۵).

#### ۵-۳. سنگ‌های بازالتی

سنگ‌های بازالتی منطقه دارای یک روند REE کم و بیش مسطح ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=0.7-1.2$ ) همراه با تهی‌شدگی در Ta و Nb می‌باشند. در مقابل، نمونه گدازه‌های بالشی دارای یک غنی‌شدگی نسبی در LREE ها ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=1.5$ ) همراه با غنی‌شدگی در Th بوده (همراه با غنی‌شدگی در دیگر LILE و تهی‌شدگی در HFSE) که مشخصه سری کلسیمی - قلیایی است (شکل ۵).

#### ۵-۴. توف‌ها

با توجه به خواص ژئوشیمیایی این سنگ‌ها، یعنی الگوی REE بهنجار شده کم و بیش مسطح ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=0.6-1.9$ ) و تهی‌شدگی در HFSE می‌توان محیط تشکیل آنها را به یک زون مرتبط با فرورانش (SSZ) نسبت داد.

#### ۵-۵. دایک‌های دیابازی

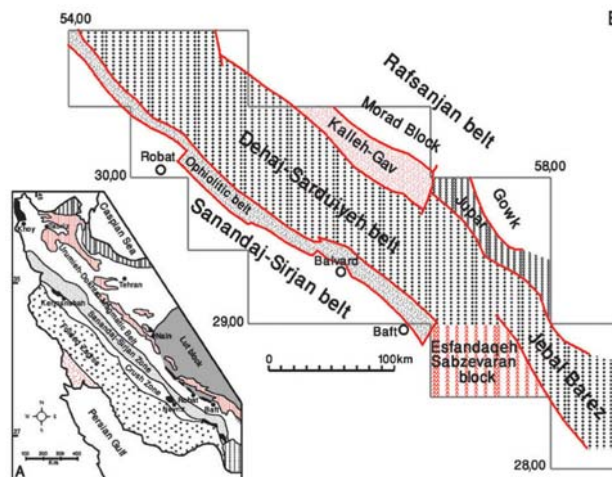
دو الگوی REE متفاوت یکی مسطح ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=0.8$ ) و دیگری با غنی‌شدگی محسوس در LREE ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=2.2$ ) را می‌توان برای دایک‌های دیابازی منطقه در نظر گرفت (شکل ۴). از طرف دیگر دایک‌های دیابازی تهی‌شدگی چشمگیری در HFSE نشان نداده و افزون بر این، پتاسیم نیز دارای بی‌هنجاری مثبتی نیست (شکل ۵). بنابراین این رفتار ژئوشیمیایی دایک‌های دیابازی مشابه با رفتار ژئوشیمیایی بازالت‌های تولیتی انتقالی (T-MORB) است.

#### ۵-۶. گابروها

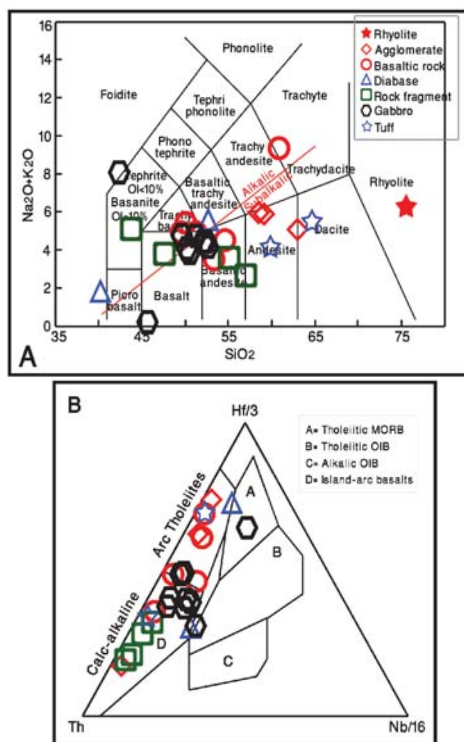
برای گابروهای این مجموعه افیولیتی با توجه به الگوی عناصر کمیاب خاکی (بهنجار شده نسبت به کندریت) و همچنین الگوی عناصر کمیاب (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) می‌توان به طور کلی سه روند را برشمرد (شکل ۴ و ۵): ۱- یک روند مسطح در الگوی عناصر نادر خاکی ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=1.1-1.8$ ) همراه با تهی‌شدگی در Ta و Nb که مشخصه IAT است. ۲- یک روند مسطح ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=1.8-2.2$ ) و بدون تهی‌شدگی در Ta و Nb (برای نمونه‌های BT05-5; BT05-3) همانند T-MORB ها. ۳- روند تهی‌شدگی در عناصر کمیاب خاکی سبک ( $La_{(N)}/Yb_{(N)}=0.7$ ) و بدون تهی‌شدگی در HFSE که این رفتار ژئوشیمیایی (برای نمونه BT06-22) همانند رفتار N-MORB است. همانطور که از نمودارهای چند عنصری (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) برمی‌آید (شکل ۵) سنگ‌های مافییک مجموعه افیولیتی بلورد - بافت توسط تهی‌شدگی در

مختلف غنی‌شدگی/تهی‌شدگی در ناحیه گوشته‌ای منشأ است. در حقیقت افیولیت‌های بلورد-بافت (و یا نائین-بافت) مرتبط با گسترش یک حوضه پشت کمان، در پشت کمان مزوزوییک سندج-سیرجان، در حاشیه فعال بلوک ایران مرکزی در نتیجه فرورانش مایل نئوتیس است. با توجه به سن‌های پتاسیم-آرگون به دست آمده ایجاد و تکامل این حوضه مربوط به کرتاسه میانی بوده است.

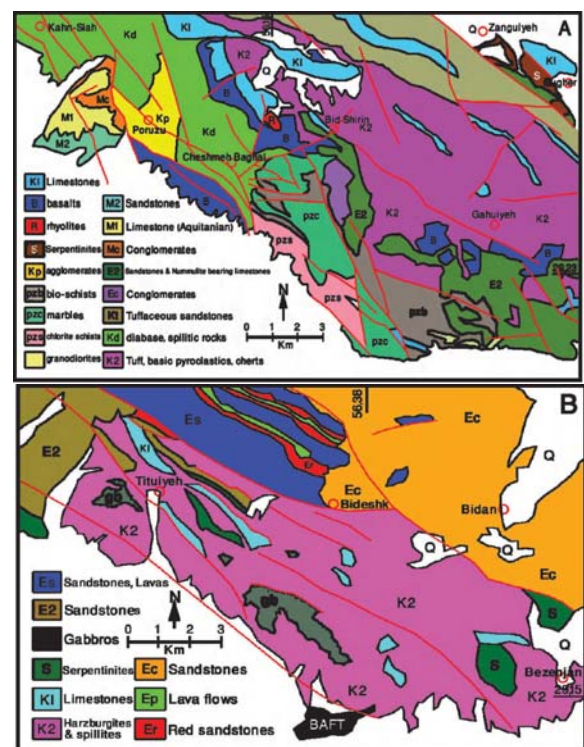
جزایر کمانی و سری کلسیمی-قلیایی از مهم‌ترین ویژگی‌های سنگ‌های مافیک این مجموعه افیولیتی است. با تکیه بر رفتار ژئوشیمیایی این سنگ‌ها می‌توان برای تشکیل آنها یک محیط مرتبط با کمان ماگمایی یا سوپراساداکنش زون را پیشنهاد شد. الگوی بهنجارشده REE ها برای سنگ‌های مافیک این افیولیت‌ها متنوع بوده و در ارتباط با درجات متفاوت ذوب بخشی (با الگوی مسطح و یا تهی‌شدگی در LREE)، تبلور جزء به جزء (غنی‌شدگی تدریجی در کل REEها) و یا درجات



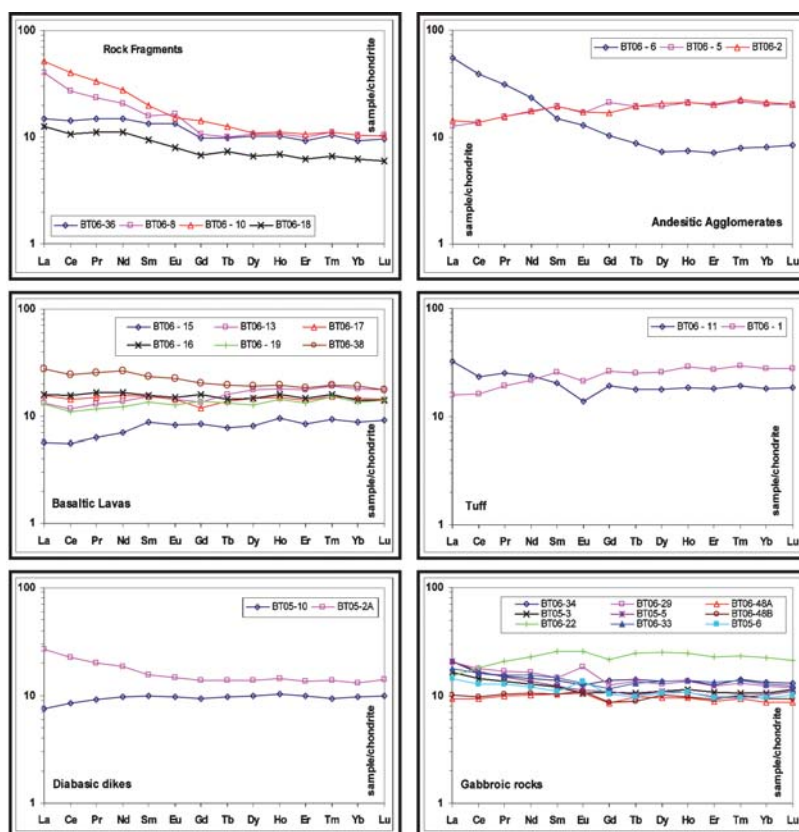
شکل ۱-۱) پراکندگی افیولیت‌های ایران با تأکید بر موقعیت افیولیت‌های بلورد-بافت و (B) همچنین تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه شامل نوار افیولیتی بلورد-بافت (با تغییرات از Dimitrijevic, 1973).



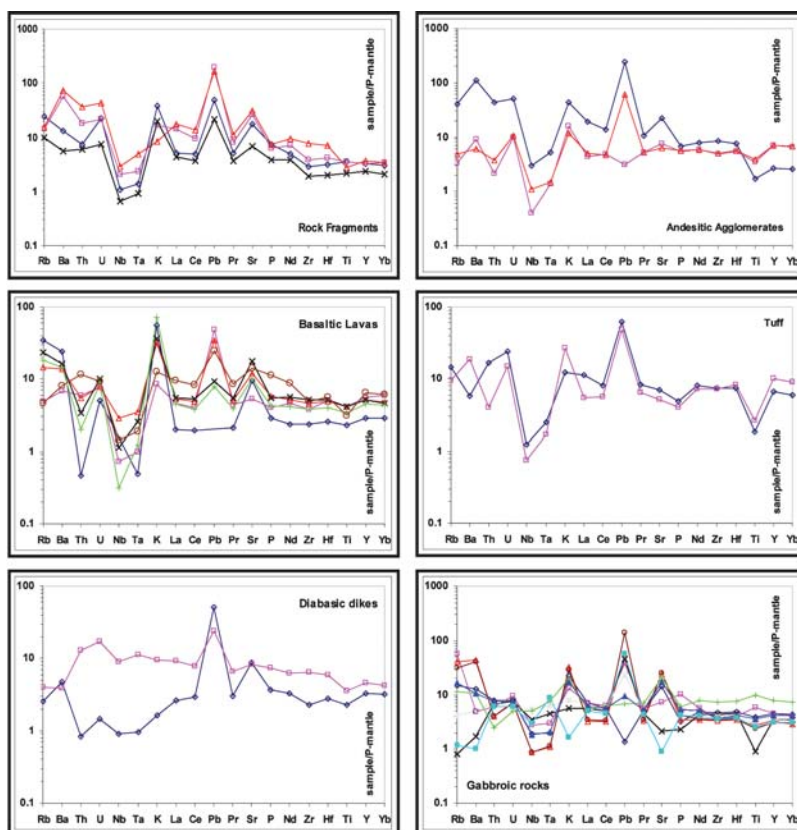
شکل ۳-۱) نمودار مجموع قلیایی‌ها در مقابل اکسید سیلیسیم (Le Bas et al., 1986) و (B) نمودار Hf-Nb-Th (Wood, 1980) برای سری‌های سنگی مجموعه افیولیتی بلورد-بافت.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و پراکندگی واحدهای سنگی در افیولیت‌های منطقه بلورد و بافت (با تغییرات از نقشه زمین‌شناسی بلورد ورقه ۷۲۴۸ و نقشه زمین‌شناسی بافت ورقه ۷۳۴۸).



شکل ۴- نمودارهای عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت برای سری های سنگی نوار افیولیتی بلورد-بافت.



شکل ۵- نمودارهای چند عنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه برای سری های سنگی نوار افیولیتی بلورد-بافت.

**References**

- Agard, P., Monie, P., Gerber, W., Omrani, J., Molinaro, M., Meyer, B., Labrousse, L., Vrielynck, B., Jolivet, L. & Yamato, P., 2006- Transient, synobduction exhumation of Zagros blueschists inferred from P-T, deformation, time, and kinematic constraints: Implications for Neotethyan wedge dynamics, *J. Geophys. Res.*, 111: B11401, doi: 10.1029/2005JB004103.
- Arvin, M. & Robinson, P. T., 1994 - The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic mélange, southwest of Kerman, Iran, *Can. J. Earth Sciences*, 31: 824-834.
- Arvin, M. & Shokri, E., 1997- Genesis and eruptive environment of basalts from the Gogher ophiolitic mélange, southwest of Kerman, Iran, *Ofioliti*, 22: 175-182.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Can. J. Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Davoudzadeh, M., 1972- Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran, Geological Survey of Iran, report No.14.
- Desmons, J. & Beccaluva, L., 1983- Mid-ocean ridge and island arc affinities in ophiolites from Iran: paleographic implications, *Chemical Geology*, 39: 39-63.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman Region, Geological Survey of Iran, No. Yu/52.
- Frenzel, G., Muhe, R. & Stoffers, P., 1990- Petrology of the volcanic rocks from the Lau Basin, southwest Pacific, *Geol. Jb.*, 92: 395-479.
- Geological Map of Baft, 1972- 1/100000 series, Geological Survey of Iran, sheet 7348.
- Geological Map of Balvard, 1972- 1/100000 series, Geological Survey of Iran, sheet 7248.
- Ghazi, A. M. & Hassanipak, A. A., 2000- Petrology and geochemistry of the Shahr-Babak ophiolite, Central Iran, Geological Survey of America, Special paper, 349: 485-497.
- McClay, K. R., Whitehouse, P. S., Dooley, T. & Richards, M., 2004 - 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence, *Marine Petrol. Geol.*, 21: 857-877.
- McCulloch, M. T. & Gamble, J. A., 1991- Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 102: 358-375.
- Saunders, A. & Tarney, J., 1991- Back-arc basins. in: Floyd, P.A. (ed.), *Oceanic basalts*, Blackie and Son Ltd., 219-263.
- Shafaii Moghadam, H., Rahgoshay, M., Whitechurch, H. & Montigny, R., 2007- A geochemical scenario for evolution of the Nain-Baft back-arc basin, *Goldschmidt Conference Abstracts*, A920.
- Shahabpour, J., 2004 - Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz, *J. Asian Earth Sci.*,
- Stern, R. J., Lin, P. N., Morris, J.D., Jackson, M.C., Fryer, P., Bloomer, S.H. & Ito, E., 1990- Enriched back-arc basin basalts from the northern Mariana Trough: implications for the magmatic evolution of back-arc basins, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 100: 210-225.
- Taylor, B. & Martinez, F., 2003- Back-arc basin basalt systematics, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 210: 481-497.
- Weaver, S. D., Saunders, A. D., Pankhurst, R. J. & Tarney, J., 1979- A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading: Quaternary volcanics of Bransfield Strait, South Shetland Islands, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68: 151-169.

# Geochemistry and Eruptive Environment of the Mafic Rock Series in the Balvard-Baft Ophiolites

By: H. Shafaii Moghadam\* \*\*, M. Rahgoshay\*, H. Whitechurch\*\*\*, I. Monsef\* & A. Soltan Mohamadi\*

\*Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

\*\* Faculty of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

\*\*\*Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Universite de Louis Pasteur, Strasbourg, France

Received: 2007 November 04

Accepted: 2008 May 19

## Abstract

Basalts, gabbros, tuffs, diabasic dikes, agglomerates and breccias and the rock fragments of breccias are the main mafic constituents of the Balvard-Baft ophiolites. Geochemical signatures of these rocks reveal depletion in HFSE and enrichment in LILE and simultaneous occurrence of island-arc tholeiitic and calc-alkalic volcanisms. These geochemical behaviors are the evidences suggesting that these mafic rocks are of supra-subduction zone affinity. These special signatures associated with the position of the Nain-Baft ophiolitic belt behind the Mesozoic magmatic arc of the Sanandaj-Sirjan zone, suggest back-arc spreading (in the active margin of the Central Iranian block), during middle Cretaceous due to the oblique subduction of Neo-Tethys beneath the Central Iranian block.

**Keywords:** Island-arc tholeiites, Calc-alkaline affinity, Middle Cretaceous, Back-arc basin.

For Persian Version see pages 155 to 160

E-mail: hadiShafaii@dubs.ac.ir

# Geochemistry and Metallogeny of Calcalkaline , Shoshonitic and Adakiic Igneous Rocks Associated with Porphyry Cu-Mo Vein Type Deposits of Dehaj- Sarduih Volcano – Plutonic Belt, Kerman

By: H. Atapour\* & A. Aftabi\*\*

\*Geological Survey of Iran, Kerman, Iran

\*\*Dep. of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2008 February 12

Accepted: 2009 April 18

## Abstract

Magmatism in Dehaj- Sarduih volcanic belt has been occurred in three phases. The first magmatic phase consists of Eocene volcanic rocks (tephrite –phonolite, basalt, trachybasalt, tracyandesite, andesite, dacite, rhyolite and pyroclastic rocks) of Bahraseman, Razak and Hezar complex. With increasing angle of subduction, the acidic (Bahraseman complex), intermediate (Razak complex) and basic volcanism (Hezar complex) occurred in Dehaj – Sarduih volcanic belt. After ceasing the volcanism, the Oligo-Miocene granitoid rocks (gabbro-diorite, diorite, monzonite, quartz diorite, granodiorite, quartz monzonite and granite ) with calcalkaline, potassic calcalkaline and shoshonitic affinity intruded into the volcanic rocks, forming the first phase of porphyry copper mineralization. The second magmatic pulse includes Neogene volcanic rocks (dacite – rhyodacite- rhyolite ) and plutonic bodies ( diorite – quartz diorite ) of flat subduction- related calcalkaline-adakitic affinity, associated with the second phase of porphyry copper and polymetallic vein mineralization. Polymetallic vein type mineralization occurs in volcanic rocks, but genetically is related to porphyry mineralization and tectonomagmatic characteristics of the belt. The occurrence of ignimbrite strongly indicates a continental arc subduction setting. The high values of incompatible elements such as K, Rb and Ba show that porphyry copper and their host igneous rocks were developed by partial melting of metamorphosed oceanic crust and mantle wedge ( phlogopite eclogite and or phlogopite amphibolite ) in a continental arc setting. The third magmatic phase is characterized by the occurrences of postcollisional lamprophyres and basaltic lavas of potassic and alkaline affinity. The final postmagmatic activity was related to the vast occurrences of Quaternary travertine deposits.