

Petrography and Geochemistry of Tertiary Volcanic Rocks in the North and West of Birjand and Identification of Their Enclaves

M. H. Yousefzadeh¹, S. M. Pourmoafi², M. Sabzehei³,
M. VosooghiAbedini², M. H. Emami³

1- Department of Earth Sciences, Birjand University, Birjand, Iran

2- Department of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

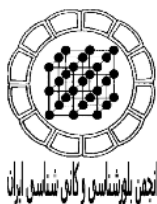
3- Department of Geology, Geology Survey of Iran, Tehran, Iran

E-mail: mhyousefzadeh@yahoo.com

(Received: 14/4/2008, in revised form: 29/1/2009)

Abstract: The Tertiary volcanic rocks in the north and west of Birjand are dacite; andesite, basaltic andesite, trachyandesite and rhyolite. They belong to calc-alkaline from magmatic series. Mineralogical, petrographical and geochemical evidence show that they have formed in active continental margins. Most andesites and dacites are appeared as volcanic domes or subvolcanic dykes that injected older units containing Late Cretaceous ophiolite melange and Late Cretaceous and Paleocene flysch. One of the most important characteristic of these rocks is the presence of enclaves with various compositions. These enclaves are xenolithic types including pelitic hornfels, amphibolitic, tonalitic gneiss and autolithic types with andesite (diorite) or dacite (tonalite) compositions. The xenoliths are fragments of older flysch and ophiolite melange units that fall to ascending magma and at least bearing two type metamorphism. The first type of metamorphism is dynamothermal that can be related to emplacement of ophiolite upon continental crust. Along with this metamorphism, flysch units change to slate, phyllite and micaschist; basic units change to amphibolite and acidic unit change to granitic gneiss. Second type is contact metamorphism resulting from temperature of lava that caused these enclaves metamorphosed to medium or high grade.

Keywords: Volcanic rocks- Calc-alkaline, Enclave, Tertiary, Birjand.



سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری شمال و غرب بیرجند و شناسایی برونوم‌های آن

محمدحسین یوسف‌زاده^۱، سیدمحمد پورمعافی^۲، مسیب سبزه‌ئی^۳،
منصور وثوقی عابدینی^۲، محمد هاشم امامی^۳

۱- گروه پژوهشی علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

پست الکترونیکی: mhyousefzadeh@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۸۷/۱/۲۶، نسخه نهایی: ۸۷/۱۰/۹)

چکیده: سنگ‌های آتشفشانی ترشیری شمال و باختر بیرجند شامل داسیت، آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیتی و ریولیت بوده و به سری ماگمایی آهکی-قلیایی تعلق دارند. شواهد کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیائی نشان می‌دهد که محل تشکیل این سنگ‌ها با حاشیه فعال قاره‌ای مطابقت دارد. آندزیت‌ها و داسیت‌ها غالباً به صورت گنبد‌های آتشفشانی و یا به صورت دایکی، سنگ‌های قدیم تر منطقه، شامل افیولیت ملانژ اواخر کرتاسه و فلیش‌های اواخر کرتاسه و پالئوسن را قطع می‌کند. یکی از بارزترین ویژگی‌های این سنگ‌ها حضور برونوم‌های متفاوت در آن‌هاست. این برونوم‌ها شامل انواع زینولیتی و اتولیتی می‌شوند. زینولیت‌ها شامل هورنفلس‌های پلیتی، آمفیبولیتی و گنیس‌های تونالیتی و اتولیت‌ها از نوع آندزیتی (دیوریتی) و داسیتی (تونالیتی) می‌شوند. زینولیت‌ها قطعات کنده شده از واحدهای افیولیت ملانژ و فلیشی کرتاسه است که حین صعود ماگما به درون آن سقوط کرده و حداقل دستخوش دو نوع دگرگونی شده‌اند. دگرگونی اول از نوع گرما جنبشی بوده که به جایگیری افیولیت‌ها بر پوسته قاره‌ای وابسته است. طی این دگرگونی، واحدهای فلیشی به اسلیت، فیلیت و میکاشیست؛ واحدهای بازیک مجموعه افیولیتی به آمفیبولیت و واحدهای اسیدی آن به گنیس تونالیتی تبدیل شده است. دگرگونی دوم از نوع مجاورتی و ناشی از تاثیر گرمای ماگمای مادر گدازه‌ها بر برونوم‌ها بوده، به طوری که آن‌ها را تا درجات متوسط و شدید دگرگون کرده است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های آتشفشانی، آهکی-قلیایی، برونوم، ترشیری، بیرجند.

مقدمه

که سنگ نگاشت و ژئوشیمی آنها مورد بررسی قرار گیرد و انواع برونوم‌های آنها معرفی شوند. منطقه مورد بررسی در بخش شمال و باختر بیرجند (مرکز استان خراسان جنوبی) قرار دارد و راه‌های

یکی از ویژگی‌های گنبد‌های آتشفشانی منطقه بیرجند (شمال بلوک لوت)، حضور برونوم‌های فراوان در آن‌هاست. با توجه به این که تا به حال سنگ‌های یاد شده و بویژه برونوم‌های موجود در آن‌ها، مورد بررسی مطالعه قرار نگرفته‌اند، در این کار پژوهشی سعی بر آن است

ارتباطی آن جاده‌های اصلی بیرجند - مشهد، بیرجند - خوسف و راه‌های فرعی بیرجند به روستاهای اطراف است (تصویر ۱).



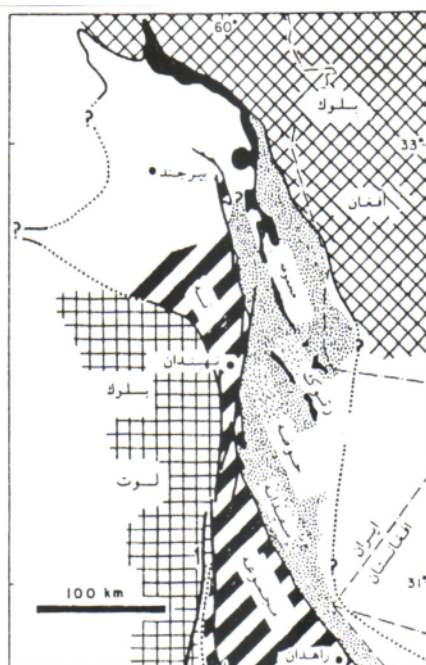
تصویر ۱ گستره مورد بررسی و نقشه راه‌های ارتباطی.

روش کار

پس از نمونه برداری دقیق در یک عملیات صحرایی دو ماهه، بیش از ۱۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی و برونوم‌های موجود در آنها تهیه و بررسی شدند. برای شناسایی نوع و ترکیب شیمیایی کانی‌ها، توسط دکتر گیلز دروپ در دانشگاه منچستر انگلستان، روی ۴ نمونه آنالیز نقطه‌ای به روش EPMA صورت گرفت. در راستای بررسی‌های ژئوشیمیایی، ۱۱ نمونه از عناصر اصلی و فرعی سنگ‌های یادشده، در شرکت کانساران بینالود به روش XRF با دستگاه مدل Philips PW 14800 مورد بررسی قرار گرفتند. در پایان برای ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی، از برنامه کامپیوتری New Pet و برای شناسایی کانی‌ها از برنامه Min Pet استفاده شد.

زمین‌شناسی منطقه

از نظر زمین‌شناسی ساختاری، منطقه بیرجند در حد فاصل بین بلوک لوت (در باختر) و زون جوش خورده سیستان (در خاور) واقع شده است (تصویر ۲) [۱، ۲]. در این منطقه، واحدهای سنگی مختلفی شامل بخش‌هایی از واحدهای مافیک و اولترامافیک افیولیت ملاثر با سن کرتاسه، تهنشست‌ها فلیشی کرتاسه، کنگلومرای نئوژن و سنگ‌های آتشفشانی ترشیری وجود دارند. سنگ‌های ترشیری به صورت واحدهای آذرآواری قدیم‌تر و سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر رخنمون دارد. جدیدترین واحدهای ترشیری، گنبد‌های داسیتی و آندزیتی حاوی برونوم است [۳، ۴].



تصویر ۲ ساختار کلی بخشی از زون سیستان در حد بین بلوک لوت و بلوک افغان [۲]

تشکیل یافته است.

سنگ‌شناسی

بر اساس ترکیب کانی‌شناسی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نوع آندزیت، داسیت و ریولیت و برونوم‌ها بیشتر از نوع زینولیتی و کمتر از نوع اتولیتی را تشکیل داده‌اند که ذیلاً مورد بررسی قرار می‌گیرند.

آندزیت‌ها

آندزیت‌های منطقه معمولاً مزوکراتاند و به رنگ‌های خاکستری، سرخ و سبز روشن دیده می‌شوند. بافت اصلی این سنگ‌ها پورفیری با خمیره ریز دانه تا شیشه‌ای بوده و برخی از آنها با بافت‌های سری ایت، جریان‌ی، آفیریک و بادامکی نیز دیده می‌شوند. درشت بلورهای شکل-دار پلاژیوکلاز (اولیگوکلاز-آندزین) که معمولاً منطقه بندی نوسانی دارند، فراوان‌ترین سازهای آن هستند. درشت بلورهای نیمه شکل‌دار و شکل‌دار هورنبلند سبز، بیوتیت و کلینوپیروکسن به ترتیب فراوان‌ترین کانی‌های فرومنیزین این سنگ‌ها بوده به طوری که بر اساس فراوانی آنها می‌توان زیر رده‌های بیوتیت آندزیت، بیوتیت پیروکسن آندزیت، هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت را تشخیص داد. درشت بلورهای کلینوپیروکسن (اوژیت) دارای ماکل‌های ساده و نواری بوده (تصویر ۳) و کم و بیش، به کانی‌های رسی و کلسیت دگرسان شده‌اند. در هورنبلند آندزیت‌ها، هورنبلندهای سبز مایل به قهوه‌ای دارای کرانه‌های واکنشی کدری هستند. خمیره ریز دانه‌ای بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و در تراکی آندزیت‌ها از پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم

داسیت‌ها

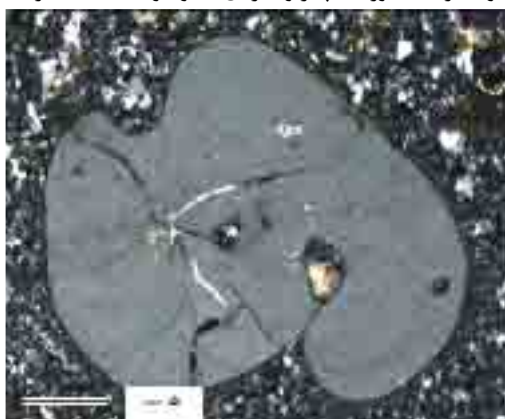
داسیت‌ها بیشتر به صورت گنبدی رخنمون داشته و در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن تا متوسط‌اند. بافت اصلی این سنگ‌ها پورفیری با خمیره ریز دانه (تصویر ۴) و گاهی بافت پوئی کیلیتیک نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود؛ به طوری که بلورهای ریز بیوتیت (فلوگوپیت) در درون فنوکریست‌های کوارتز قرار دارند. درشت بلورهای شکل دار و دارای منطقه بندی نوسانی پلاژیوکلاز، فراوان‌ترین سازا بوده و برخی از آنها دارای کرانه‌های گرد و یا خلیجی هستند. پلاژیوکلازها با ترکیب اولیگوکلاز و آندزین دیده می‌شوند (نمودار ۱). درشت بلورهای گرد و یا دارای کرانه‌های خلیجی کوارتز نیز، به طور به فراوانی مشاهده می‌شود (تصویر ۵). مهم‌ترین کانی‌های فرومنیزین این سنگ‌ها درشت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار هورنبلند سبز با حاشیه‌های واکنشی کدر و درشت بلورهای نیمه شکل‌دار بیوتیت هستند. هورنبلندها در بخش بالائی گستره ادنیت هورنبلند جای می‌گیرند (نمودار ۲) و میکاها در بخش پائینی گستره فلوگوپیت دیده می‌شوند (نمودار ۳). در برخی نمونه‌ها، بافت سری ایت نیز تظاهر می‌کند. از نظر ترکیب کانی‌شناسی تراکی داسیت‌ها تقریباً مشابه داسیت‌ها بوده ولی مقدار فلدسپات پتاسیم خمیره ریز دانه، بیشتر است.



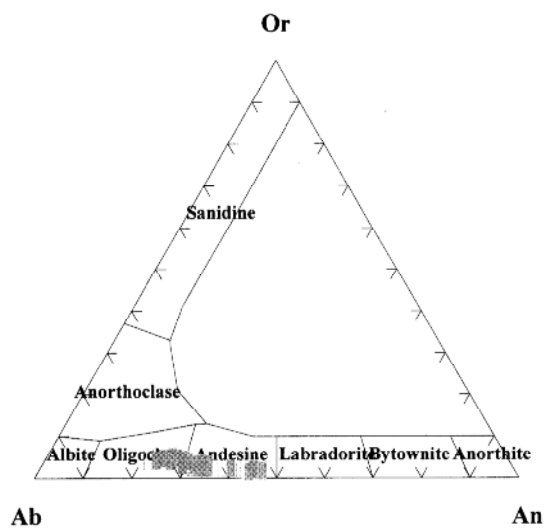
تصویر ۳ درشت بلورهای کلینوپیروکسن (Cpx) و پلاژیوکلاز (Plg) در آندزیت (XPL).



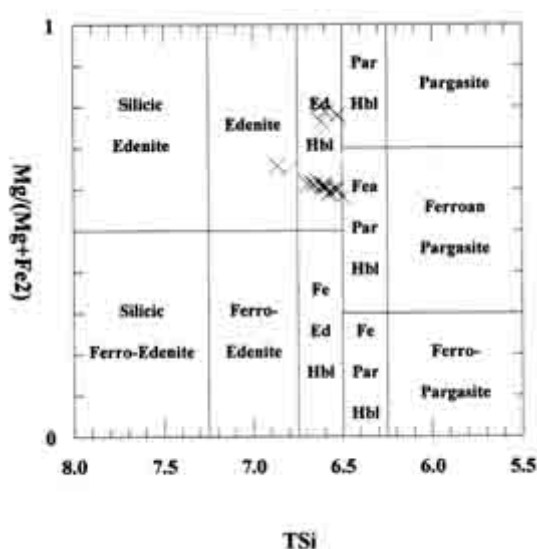
تصویر ۴ بافت پورفیری در داسیت حاوی درشت بلورهای پلاژیوکلاز (Plg) و بیوتیت (Bio) در خمیره ریز دانه تا مخفی بلور (PPL).



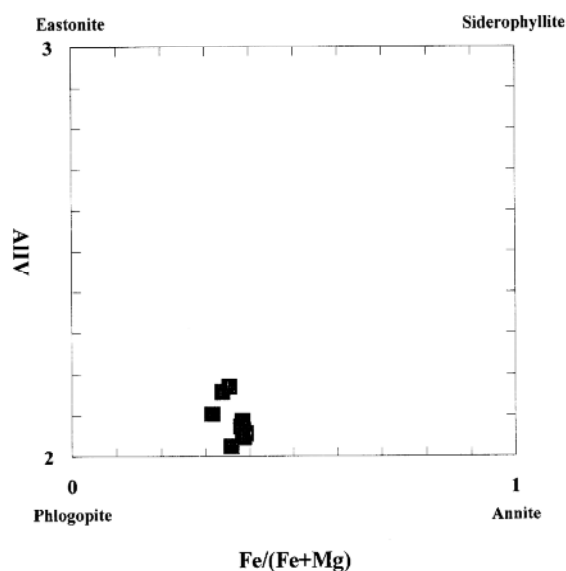
تصویر ۵ درشت بلورهای کوارتز (Qrt) با کرانه بلوری در خلیجی در داسیت (XPL).



نمودار ۱ ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در گستره اولیگوکلاز-آندزین.



نمودار ۲ ترکیب آمفیبول‌های موجود در داسیت‌ها در گستره‌های ادنیت و هورنبلند ادنیت.



نمودار ۳ ترکیب میکاها موجود در داسیت‌ها در گستره فلوگوپیت.

ریولیت‌ها

ریولیت‌ها ریز دانه و دارای رنگ خاکستری روشن هستند. درشت بلورهای شکل‌دار سانیدین با ماکل کارلسباد و نیز بلورهای کوچک‌تر آن در خمیره ریز دانه دیده می‌شوند. درشت بلورها و نیز ریز بلورهای کوارتز، دیگر سازهای اصلی ریولیت است. به مقدار کم درشت بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز ملاحظه می‌شود. خمیره متشکل از ریز دانه‌های کوارتز، سانیدین و میکروولیت‌های ظریف پلاژیوکلاز بوده و بافت جریانی را به نمایش می‌گذارد. بیوتیت، به طور کامل، پاسبیتی شده است.

برونوم‌ها

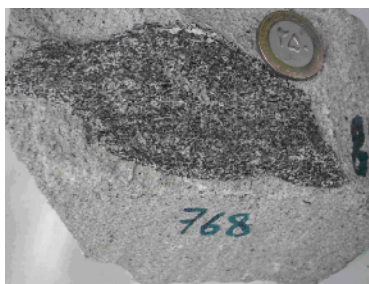
به طور کلی برونوم‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه، به دو نوع اصلی زینولیتی و اتولیتی تقسیم می‌شوند. زینولیت‌ها شامل انواع آمفیبولیتی، گنیس‌های تونالیتی و هورنفلس‌های برگه‌ای بوده و اتولیت‌ها ترکیب دیوریتی (آندزیتی) و تونالیتی (داسیتی) دارند.

زینولیت‌های نوع آمفیبولیتی

این زینولیت‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول کلینوپیروکسن بیوتیت آمفیبولیت‌های دانه متوسط و تیره رنگ بوده که به اشکال

اصلی این برونوم‌ها دانه‌ای است. گاهی ذرات هورنبلند و بیوتیت در درون پلاژیوکلاز بافت پوئی کیلوبلاستیک را به وجود آورده است. گروه دوم، آمفیبولیت‌های ریز دانه و سبز رنگی هستند که فاقد یا دارای مقادیر کمتری کلینوپیروکسن بوده و اندازه آن‌ها از کمتر از ۱ تا بیش از ۲۰ سانتیمتر است. هورنبلند سبز و پلاژیوکلاز دو سازای اصلی این زینولیت‌ها هستند که به نسبت‌های متفاوتی ملاحظه می‌شوند؛ به طوریکه برخی نمونه‌ها فقط از هورنبلند سبز تشکیل یافته‌اند. هورنبلندها در بخش پائین گستره ادنیت هورنبلند و نیز در گستره ادنیت و مرز ادنیت هورنبلند و فروئن پارگازیت هورنبلند جای می‌گیرند (نمودار ۲). برخی از این نمونه‌ها دارای کوارتزند. بافت اصلی این برونوم‌ها نماتوبلاستیک و گرانوبلاستیک‌اند. رخساره دگرگونی این سنگ‌ها نیز تا حد رخساره آمفیبولیت می‌رسد.

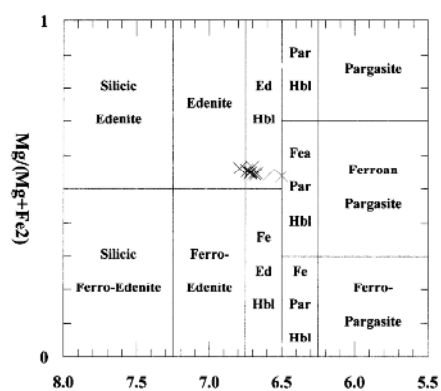
تقریباً بیضوی و حداکثر به قطر ۱۰ سانتی متر دیده می‌شوند (تصویر ۶). این زینولیت‌ها دارای مرز ناگهانی با سنگ میزبان بوده و تا حدودی بافت گنیسی را به نمایش می‌گذارند. بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار هورنبلند قهوه‌ای فراوان ترین کانی فرومنیزین آنها بوده و در بخش‌های کناری خود و حتی در راستای کلیواژها، به هورنبلند سبز تبدیل شده‌اند (تصویر ۷). داده‌های تجزیه نقطه‌ای، ترکیب ادنیت هورنبلند، فروئن پارگازیت هورنبلند و ادنیت را برای این آمفیبول‌ها نشان می‌دهند (نمودار ۴). بلورهای نیمه شکل‌دار بیوتیت (فلوگوپیت) دارای ترکیب فلوگوپیت‌اند (نمودار ۵). بلورهای نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز دارای ترکیبی در گستره اواسط آندزین تا اوایل بیتونیت هستند (نمودار ۶). بلورهای شکل‌دار کلینوپیروکسن دارای ترکیب دیوپسیدند (نمودار ۷). اسفن نیز دیده می‌شود. کانی‌های ثانویه از قبیل کلسیت و ذرات کدر نیز به طور پراکنده وجود دارند که به ترتیب از دگرسانی پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین به وجود آمده‌اند. بافت



تصویر ۶ برونوم آمفیبولیتی در داسیت.

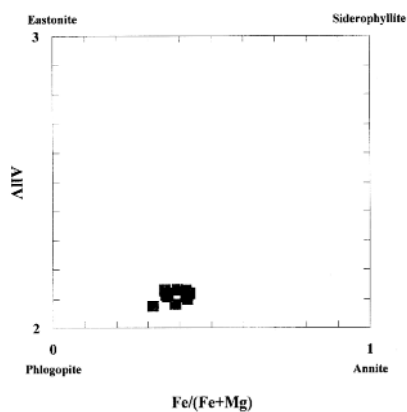


تصویر ۷ تبدیل هورنبلند قهوه‌ای (b.Hb) به هورنبلند سبز (gHb) در برونوم آمفیبولیتی (PPL).

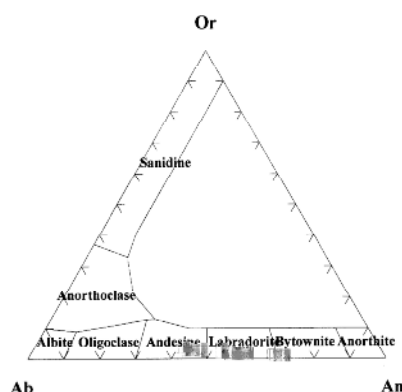


TSi

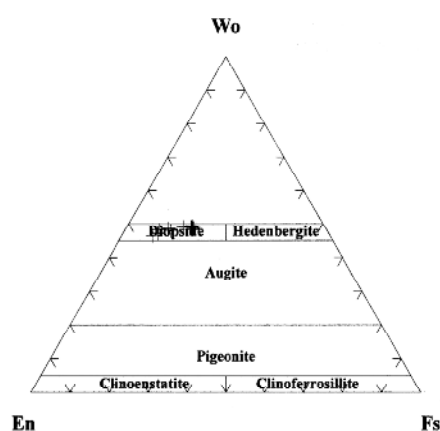
نمودار ۴ ترکیب آمفیبول‌های موجود در زینولیت آمفیبولیتی در محدوده‌های ادنیت و هورنبلند ادنیت.



نمودار ۵ ترکیب میکاهای موجود در زینولیت آمفیبولیتی در محدوده فلوگوپیت.



نمودار ۶ ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در زینولیت آمفیبولیتی در محدوده‌های آندزین تا بیتونیت.



نمودار ۷ ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در زینولیت آمفیبولیتی در محدوده‌های آندزین تا بیتونیت.

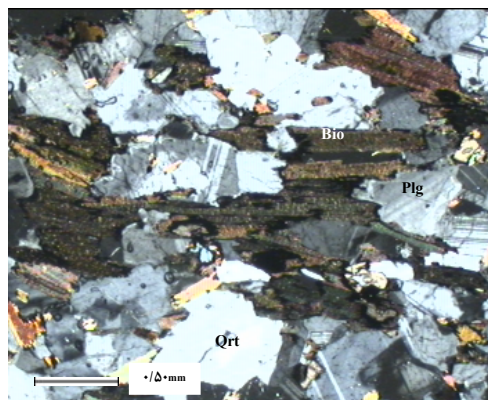
زینولیت‌های نوع گنیس تونالیتی

این برونوم‌ها متوسط دانه و به رنگ سبز روشن بوده و بیشتر به شکل بیضوی با قطر متوسط ۲۰-۱۰ سانتی متر دیده می‌شوند. این برونوم‌ها نیز دارای مرز ناگهانی با سنگ میزبانند (تصویر ۸). بلورهای بی شکل کوارتز فراوان‌ترین کانی فلسیک این نوع برونوم بوده و بافت‌های دانه‌ای و موزائیکی را نشان می‌دهند. حضور معدودی از بلورهای کرمی شکل کوارتز در پلاژیوکلازها معرف بافت میرمکیتی است. بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلازهای با به دام انداختن بلورهای بیوتیت بافت پوئی کیلیتیک را به نمایش می‌گذارند.

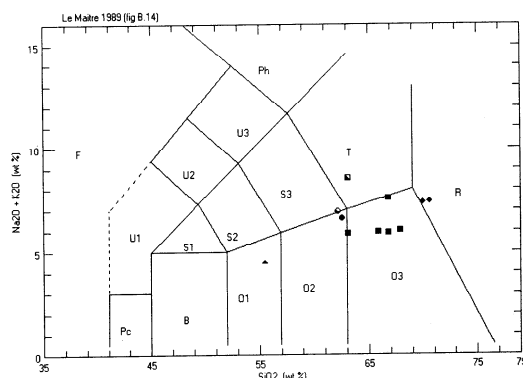
پلاژیوکلازها تا حدودی به کلسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند. پلاژیوکلازها دارای ترکیب آندزین‌اند (نمودار ۷). بلورهای نیمه شکل-دار بیوتیت قهوه‌ای به حالت سمت یافته و یا خمیده‌اند که حاکی از اعمال فشار بر آنها در طول دگرگونی گرما جنبشی است (تصویر ۹). برخی نمونه‌ها ترکیب کلینوپیروکسن پلاژیوکلاز گنیس داشته و حاوی پاراژنز کلینوپیروکسن (دیوپسید) (نمودار ۸)، پلاژیوکلاز (آندزین)، کوارتز، اسفن و کانی‌های کدر است. بافت آن‌ها دانه‌ای (گرانوبلاستیک) توأم با یافته‌های سمت یافته زمین ساختی است.



تصویر ۸ انکلاو گنیس تونالیتی در داسیت.



تصویر ۹ بیوتیت (Bio)، پلاژیوکلاز (Plg) و کوارتز (Qrt) در انکلاو گنیسی (XPL).



نمودار ۸ ترکیب پیروکسن‌های موجود در زینولیت آمفیبولیتی در محدوده یوپسید.

زینولیت‌های نوع هورنفلس برگه‌ای

این برونوم‌ها ریز دانه و به رنگ کاملاً تیره و با ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰ سانتیمتر و دارای مرز روشنی با سنگ میزبانند. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که این نوع برونوم‌ها دارای سمت و سوی ترجیحی ضعیفی هستند و از دو بخش متفاوت غنی از میکا و غنی از کانی‌های فلسیک تشکیل شده‌اند. در بخش غنی از بیوتیت بافت‌های لپیدوبلاستیک ملاحظه می‌شوند. کوارتز و پلاژیوکلاز در بخش روشن از فراوانی بیشتری برخوردارند. بررسی‌های میکروسکوپی و XRD حضور کراندوم، هرسی نیت و کردیریت را نشان می‌دهد. ذرات کدر نیز به مقدار کم وجود دارند (تصویر ۱۰).

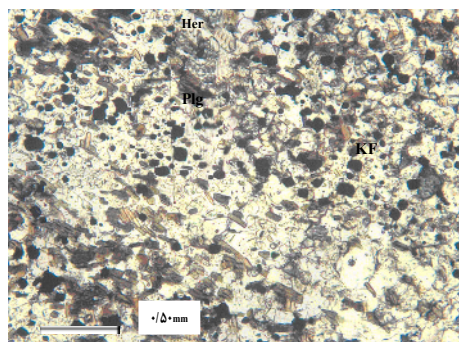
اتولیت‌ها

اتولیت‌ها، برونوم‌هایی هستند که از تبلور همان ماگما بوجود آمده‌اند. برخی از آنها حاصل تبلور ماگما در عمق نسبتاً زیاد بوده و بافت‌های دانه‌ای و ریز دانه‌ای دارند. این اتولیت‌ها بیشتر در حاشیه زینولیت‌های آمفیبولیتی و یا برونوم‌های غنی از بیوتیت تبلور یافته‌اند؛ به این معنی که زینولیت‌های یاد شده شبیه یک نطفه برای تبلور آنها عمل کرده‌اند.

بلورهای نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز فراوان‌ترین سازای آنها را تشکیل می‌دهند. بلورهای نیمه شکل‌دار و بی‌شکل بیوتیت کم و بیش اپاسیتی شده‌اند. کلینوپیروکسن غالباً به صورت نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. کانی‌های کدر و بلورهای ریز و بلند آپاتیت نیز دیده می‌شود. برخی دیگر از این اتولیت‌ها قطعات شکسته‌ای از حاشیه‌های زودتر متبلور شده ماگما هستند که به درون گدازه سقوط کرده و دارای بافت پورفیری با خمیره ریز دانه‌اند. این قطعات در بخش‌های حاشیه‌ای گنبد‌ها فراوان‌ترند. اندازه آنها به طور متوسط از ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر و رنگ آنها کمی تیره‌تر از سنگ میزبان است. مرز این برونوم‌ها با سنگ میزبان، ناگهانی است.

ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی

برای نامگذاری ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی و تعیین سری ماگمایی ماگماهای مادر آنها و نیز بررسی تغییر روند عناصر اصلی و فرعی حین جدایش بلوری، تعداد ۱۱ نمونه از سنگ‌های میزبان به روش XRF تجزیه شده‌اند که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.



تصویر ۱۰ بیوتیت (Bio)، پلاژیوکلاز (Plg)، کrandوم (Cor)، هرسی نیت (Her) و فلدسپات پتاسیم (KF) متشکله‌های زینولیت برگه‌ای (XPL).

جدول ۱ داده‌های تجزیه شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شمال و غرب بیرجند.

نمونه‌ها اکسیدها و عناصر	601 داسیت	618 ریولیت	623 داسیت	647 آندزیت بازالتی	658 داسیت	662 داسیت	664 تراکی آندزیت	963 تراکی داسیت	969 آندزیت	632-2 ریولیت	765A داسیت
SiO ₂	۶۷٫۸۹	۷۰٫۵۹	۶۵٫۸۸	۵۵٫۵۱	۶۶٫۸۲	۶۳٫۱۰	۶۲٫۱۵	۶۳٫۰۷	۶۲٫۵۵	۶۹٫۹۴	۶۶٫۸۲
Al ₂ O ₃	۱۵٫۰۸	۱۶٫۸۴	۱۴٫۴۷	۱۷٫۰۷	۱۵٫۲۳	۱۲٫۴۶	۱۴٫۹۱	۱۵٫۴۴	۱۴٫۵۷	۱۶٫۲۲	۱۵٫۰۷
Fe ₂ O ₃	۲٫۸۷	۱٫۶۴	۳٫۴۳	۶٫۴۷	۳٫۰۴	۴٫۷۲	۴٫۱۵	۳٫۶۴	۳٫۸۴	۱٫۵۷	۲٫۸۸
CaO	۳٫۸۶	۱٫۲۷	۴٫۴۵	۷٫۸۴	۴٫۱۷	۵٫۹۶	۳٫۹۵	۳٫۶۶	۴٫۴۰	۱٫۳۲	۳٫۷۲
Na ₂ O	۳٫۳۴	۴٫۷۸	۳٫۷۷	۳٫۴۱	۴٫۳۴	۴٫۶۵	۵٫۲۶	۶٫۱۸	۴٫۵۵	۴٫۲۵	۵٫۱۴
K ₂ O	۲٫۶۹	۲٫۶۲	۲٫۱۸	۱٫۰۹	۱٫۵۹	۱٫۲۴	۱٫۶۸	۲٫۳۵	۲٫۰۷	۳٫۱۲	۱٫۴۳
MgO	۱٫۴۲	۰٫۱۳	۳٫۰۵	۴٫۴۸	۲٫۸۲	۲٫۱۵	۴٫۸۲	۲٫۸۴	۴٫۸۶	۰٫۲۰	۲٫۱۷
TiO ₂	۰٫۲۹۶	۰٫۰۵۹	۰٫۳۵۸	۰٫۷۲۳	۰٫۳۶۲	۰٫۳۷۰	۰٫۴۹۲	۰٫۳۴۵	۰٫۴۱۹	۰٫۰۶۸	۰٫۳۰۵
MnO	۰٫۰۴۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۴۹	۰٫۱۱۰	۰٫۰۴۸	۰٫۰۵۰	۰٫۰۶۱	۰٫۰۶۵	۰٫۰۵۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۵۵
P ₂ O ₅	۰٫۱۳۳	۰٫۰۷۳	۰٫۲۲۵	۰٫۲۱۳	۰٫۱۰۱	۰٫۱۰۹	۰٫۱۲۶	۰٫۱۹۱	۰٫۲۶۵	۰٫۰۷۳	۰٫۲۴۵
L.O.I	۲٫۲۲	۱٫۳۳	۱٫۶۶	۲٫۵۴	۱٫۳۰	۴٫۷۷	۱٫۹۲	۱٫۳۸	۱٫۹۲	۲٫۸۱	۰٫۷۶
Cl(ppm)	۳۲	۶	۵۵	۳۳	۴	۱۲	۱۲۱	۸۶	۱۳۶	۶۲	۵۵
S	۲۴	۳۰	۱۶۶	۳۰	۲۶	۳۴	۴۱	۲۲	۲۷	۲۵	۳۳
Ba	۱۱۳۴	۴۴۵	۷۳۷	۱۷۸	۲۳۰	۱۸۸	۱۵۴	۴۴۳	۷۰۸	۲۳۹	۸۵۰
Sr	۱۱۴۸	۳۳۷	۷۴۸	۴۰۰	۴۹۷	۴۱۴	۵۴۳	۵۴۷	۱۲۷۱	۲۱۸	۹۹۰
Cu	۱۸	۱۴	۴۴	۴۱	۲۸	۲۲	۳۱	۳۹	۳۳	۱۵	۹
Zn	۸۰	۳۹	۶۹	۶۹	۶۱	۵۱	۶۱	۹۷	۷۳	۷۷	۵۰
P	۳۳	۲۱	۲۴	۱۷	۳۱	۱۰	۲۲	۲۷	۲۰	۴۰	۱۵
V	۷۰	۱۶	۷۲	۱۳۵	۶۵	۸۱	۸۷	۷۸	۹۵	۱۸	۶۷
Ce	۷۱	۵۵	۳۱	۳۴	۸	۴۲	۵۳	۴۹	۲۶	۵۶	۷۶
La	۳۳	۲۷	۱۴	۱۶	۴	۲۲	۲۴	۲۶	۱۰	۴۳	۳۲
Ga	۲۰	۲۳	۲۹	۲۶	۱۸	۲۱	۲۳	۲۱	۱۹	۲۴	۲۶
Hf	۲۰	۲۳	۱۹	۱۸	۱۸	۱۹	۱۵	۱۸	۱۵	۲۵	۲۰
W	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Mo	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Nb	۱۳	۲۱	۲	۴	۱۶	۱۰	۲	۱۳	۱۰	۲۶	۱۹
Zr	۱۹۱	۱۷۸	۱۹۷	۱۶۵	۳۰۱	۱۶۹	۱۶۸	۱۷۸	۲۱۳	۱۲۳	۲۰۹
Y	۱۴	۴	۱۳	۲۲	۳۹	۱۵	۱۳	۱۴	۱۳	۶	۱۱
Rb	۸۳	۱۲۷	۵۹	۴۴	۱۱۲	۳۹	۵۳	۵۹	۵۴	۱۴۵	۶۷
Ni	۶۴	۲۷	۵۸	۱۲۸	۳۶	۴۴	۱۲۱	۷۳	۷۸	۳۱	۵۰
Cr	۱۷	۱۵	۴۴	۱۴۶	۴۴	۱۴	۱۱۶	۵۸	۵۷	۹	۳۲
Co	۵	۳	۷	۲۹	۱۸	۳	۹	۱۲	۹	۴	۱۰
U	۱	۳	۲	۵	۲	۱	۳	۲	۳	۳	۲
Th	۴	۶	۶	۱۱	۹	۸	۱۳	۹	۶	۸	۵

نامگذاری ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه

در این بخش نامگذاری سنگ‌ها با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی، ارائه شده است:

۱- نمودار درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ نسبت به $[\delta] \text{SiO}_2$:

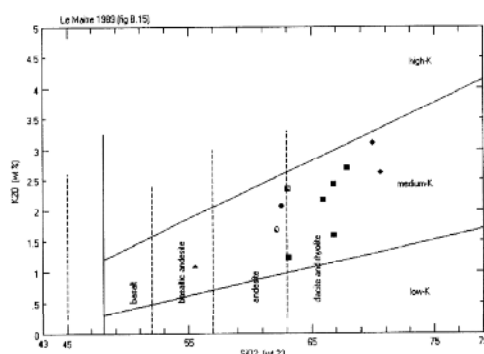
در این نمودار، دو نمونه از آتشفشانی‌های ترشیری منطقه، در گستره ریولیت (R)، پنج نمونه، در گستره داسیت (O3)، یک نمونه، در گستره تراکی داسیت (T)، یک نمونه، در گستره آندزیت (O2)، یک نمونه، در گستره تراکی آندزیت (S3) و یک نمونه، در گستره آندزیت بازالتی (O1) قرار می‌گیرد (نمودار ۹).

۲- نمودار درصد وزنی K_2O نسبت به $[\delta] \text{SiO}_2$:

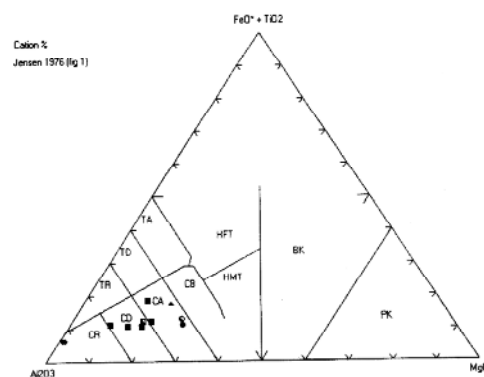
در این نمودار، هشت نمونه، در گستره داسیت و ریولیت، دو نمونه، در گستره آندزیت و یک نمونه، در گستره آندزیت بازالتی با K متوسط، جای گرفته‌اند (نمودار ۱۰).

۳- نمودار درصد وزنی Al_2O_3 , $\text{FeO}^* + \text{TiO}_2$, MgO نسبت به $[\delta] \text{SiO}_2$:

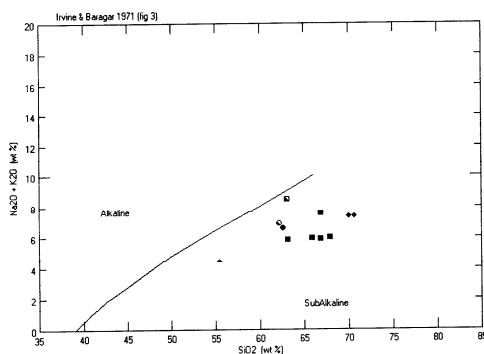
در این نمودار، دو نمونه از آتشفشانی‌های ترشیری، در گستره ریولیت آهکی-قلیایی، چهار نمونه، در گستره داسیت آهکی-قلیایی، پنج نمونه، در گستره آندزیت آهکی-قلیایی، جای می‌گیرد (نمودار ۱۱).



نمودار ۹ نمودار درصد وزنی K_2O در مقابل $[\delta] \text{SiO}_2$ (توضیح در متن).



نمودار ۱۰ نمودار درصد وزنی MgO و Al_2O_3 , $\text{FeO} + \text{TiO}_2$ نسبت به $[\delta] \text{SiO}_2$ (توضیح در متن).



نمودار ۱۱ نمودار $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل $[\delta] \text{SiO}_2$ (قرارگیری تمام نمونه‌ها در محدوده ساب آکالن).

تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه

برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نمودارهای متعددی استفاده شده است:

۱- نمودار درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ نسبت به $[\text{V}]\text{SiO}_2$:

در این نمودار همه نمونه‌های آتشفشانی ترسیری منطقه در گستره شبه قلیایی قرار می‌گیرند (نمودار ۱۲).

۲- نمودار درصد وزنی SiO_2 نسبت به $[\text{V}]\text{FeO}^*/\text{MgO}$:

در این نمودار همه نمونه‌های آتشفشانی در گستره آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (نمودار ۱۳).

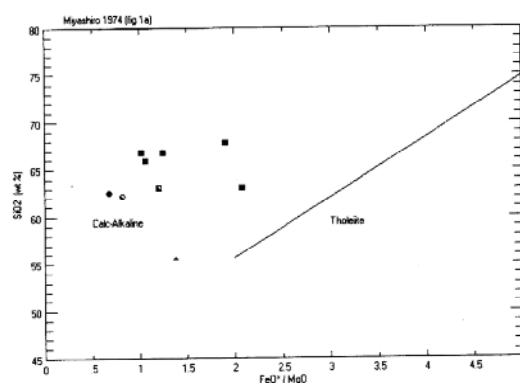
۳- نمودار $[\text{V}]\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, FeO^* , MgO :

در این نمودار همه نمونه‌ها در گستره آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (نمودار ۱۴).

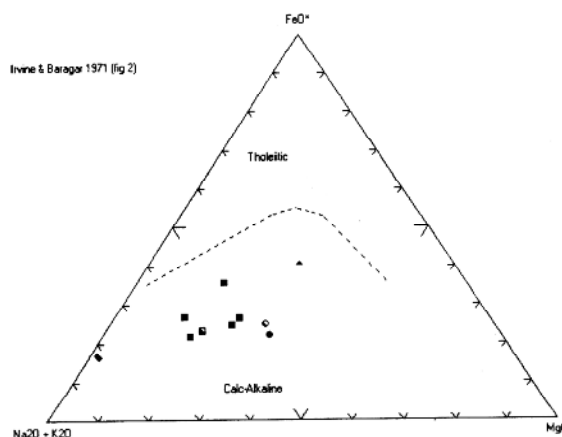
بررسی تغییر روند عناصر اصلی و فرعی نسبت به SiO_2

با افزایش مقدار سیلیس، مقادیر P_2O_5 , MnO , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO و نیز مقادیر Cr , Co , Ni کاهش می‌یابد (نمودار ۱۴).

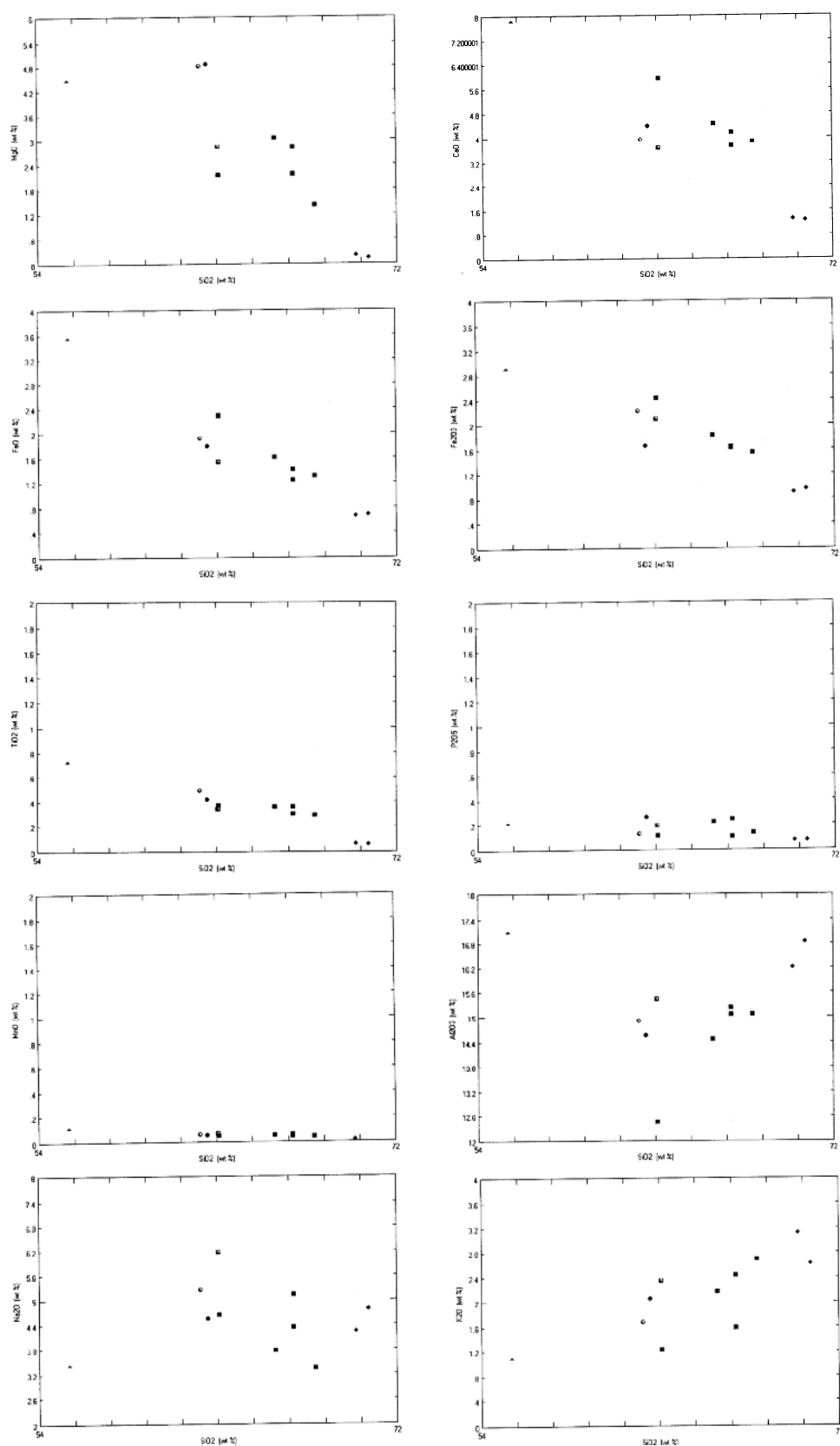
این امر با روند جدایش ماگمایی همخوانی دارد. تغییرات Al_2O_3 تا حدودی نامنظم است. به نظر می‌رسد که این تغییرات بیشتر تابع تبلور پلاژیوکلازهای موجود در این سنگ‌هاست. با این حال، به سمت سنگ‌های اسیدی مقدار آلومین افزایش می‌یابد. این موضوع، نشان می‌دهد که این سنگ‌ها به مناطق کوهزائی تعلق دارند. با افزایش مقدار سیلیس، مقادیر اکسیدهای آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی کاهش می‌یابد. از ترم‌های بازی‌تر به سمت ترم‌های اسیدی تر این کاهش سریع رخ می‌دهد (نمودار ۱۴). این امر مبین تفکیک اکسیدهای آهن در مراحل آغازین جدایش ماگمایی در سری‌های آهکی-قلیایی است. ارتباط مثبت بین TiO_2 و P_2O_5 و ارتباط منفی بین این اکسید و سیلیس از مشخصات آتشفشانی آهکی-قلیایی است [۱۰]. عنصر V رفتاری مشابه با Ti دارد و با جدایش ماگما مقدار آن کاهش می‌یابد (نمودار ۷). مقادیر روییدیم و استرانسیم با افزایش مقدار SiO_2 افزایش می‌یابد (نمودار ۷).



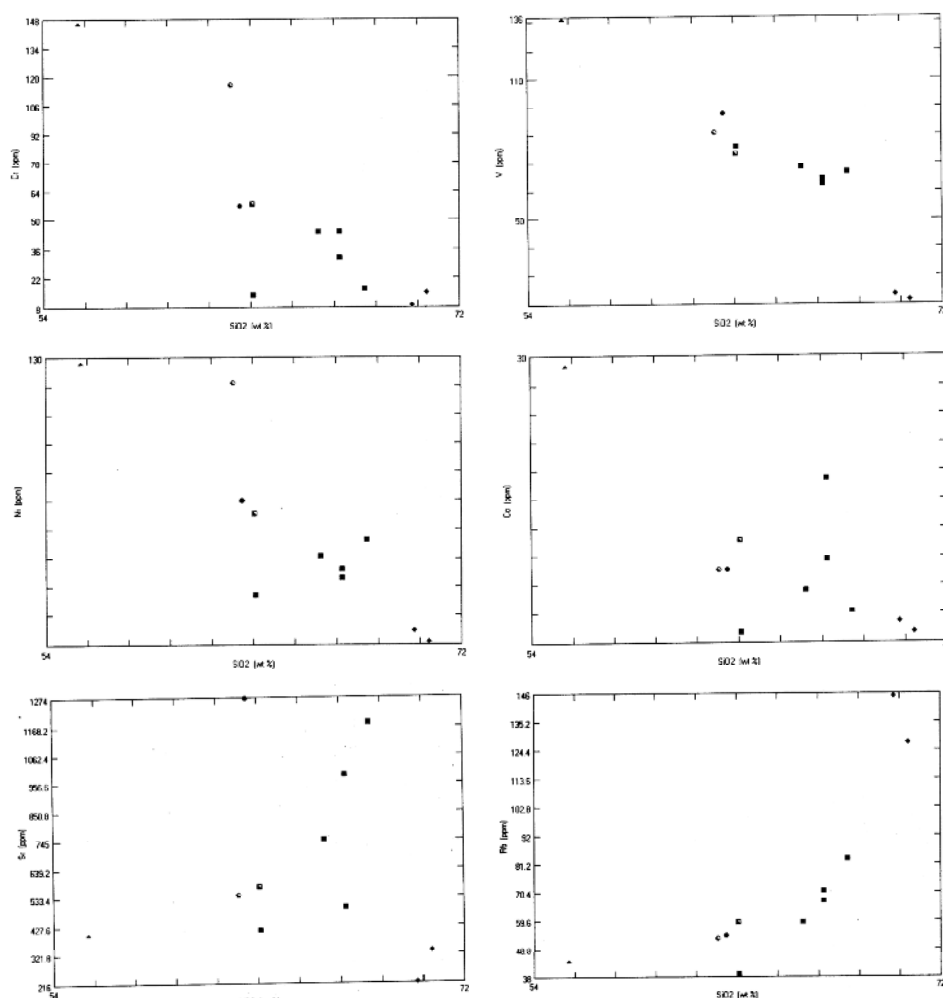
نمودار ۱۲: نمودار درصد SiO_2 در مقابل $[\text{V}]\text{FeO}^*/\text{MgO}$ (قرارگیری تمام نمونه‌ها در محدوده کالک آلکالن).



نمودار ۱۳: نمودار $[\text{V}]\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, FeO^* , MgO (قرارگیری تمام نمونه‌ها در محدوده کالک آلکالن).



نمودار ۱۴ نمودارهای هارکر [۹] مربوط به سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه (توضیح در متن).



ادامه نمودار ۱۴ نمودارهای هارکر مربوط به سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه (توضیح در متن).

بحث

فراوان‌ترین کانی فرومنیزین است که به صورت درشت بلور یافت شده و بنابر تقسیم بندی لیک [۱۱] به گروه آمفیبول‌های کلسیک تعلق دارند. در حالت عادی این کانی در خمیره سنگ یافت نمی‌شود. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که ماگماهای آندزیتی تولید کننده هورنبلند، حد اقل دارای ۳ درصد آب هستند [۱۲]. حضور کانی‌های آبدار از قبیل هورنبلند از یک سو و وجود مواد آذرآواری وابسته به مرحله انفجار اولیه این آتشفشانی‌ها، دلیل آبدار بودن ماگمای مولد این سنگ‌هاست. فلوگوپیت، دیگر کانی فرومنیزین این سنگ‌ها بوده و دارای هاله واکنشی متشکل از کانی‌های کدر (اکسیدهای آهن) است. تشکیل هاله‌های واکنشی کدر پیرامون هورنبلندهای سبز و یا فلوگوپیت در برخی از نمونه‌ها، به عدم تعادل این کانی‌های آبدار

چنانکه یادآور شدیم فراوان‌ترین سازای این سنگ‌ها درشت بلورهای پلاژیوکلاز (اولیگوکلاز- آندزین) است که نشان می‌دهد که این کانی در هنگام فوران ماگماها، به صورت فاز جامد بوده است. وجود منطقه بندی نوسانی در پلاژیوکلازها می‌تواند در اثر تغییر فشار بخار آب، حتی در دمای ثابت باشد؛ به طوریکه در فشار زیاد آب درصد آنورتیت پلاژیوکلاز بیشتر خواهد بود. دلیل دیگر وجود منطقه بندی در پلاژیوکلازها می‌تواند سرعت زیاد صعود ماگما باشد که باعث می‌شود بین بلورها و ماده مذاب تعادل برقرار نباشد. بنابر نظر گیل، این قبیل گونه گونی‌های ترکیبی، همراه با منطقه بندی پیچیده، از ویژگی‌های برخی از آندزیت‌های کوهزائی است [۱۰]. درشت بلورهای هورنبلند سبز

در محیط بی آب و افزایش دما بستگی دارد. وجود مقادیر زیادی از درشت بلورهای هورنبلند سبز و بیوتیت، مؤید سری آهکی-قلیایی حاشیه‌های فعال قاره‌ای است [۱۳]. کلینوپیروکسن‌ها (اوژیت-تیتان اوژیت) نیز، به مقدار کم، مشاهده می‌شوند. هر چند درشت بلورهای ارتوپیروکسن بسیار نادرند و این امر با توجه به حضور کانی‌های آبدار مثل هورنبلند و بیوتیت طبیعی است، ولی چنانکه خاطر نشان شده [۱۴] در خمیره سنگ‌های آتشفشانی سری آهکی قلیایی، همیشه ارتوپیروکسن وجود دارد. بلورهای ریز آپاتیت که سرشتی آندزیت‌های کوهزائی است تقریباً در تمام نمونه‌ها قابل رؤیت است. بیشتر آندزیت‌ها در جزایر قوسی و حاشیه‌های قاره‌ای فعال یافت می‌شود. بعضی از سنگ‌های حدواسط در جزایری مانند ایسلند و هاوایی و یا در بخش‌ها از کف اقیانوس یافت شده و آندزیت نام گرفته‌اند ولی شبیه آندزیت‌های کوهزائی نیستند؛ زیرا به ندرت در آنها هورنبلند یافت می‌شود و نیز نسبت به آندزیت‌های کوهزائی از Al_2O_3 فقیرترند [۱۵، ۱۰]. به طور کلی ایسلندیت‌ها نسبت به آندزیت‌های کوهزائی بسیار ریز بلورتر و دارای آلومین کمتر (متوسط = ۱۵ درصد) و نیز مقادیر TiO_2 ، MnO و مجموع آهن کل بسیار زیادترند و دارای مقادیر Na_2O ، K_2O ، SiO_2 مشابهی هستند. بر این اساس یک روش مناسب برای جداسازی این دو نوع آندزیت، بکارگیری رابطه $Al_2O_3/FeO + Fe_2O_3$ است، به طوری که این نسبت در آندزیت‌های کوهزائی بیشتر از ۲ و در ایسلندیت‌ها کمتر از ۲ است. در سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، این نسبت بین ۲/۶۳ تا ۱۰/۳۳ تغییر می‌کند. با این توضیحات به نظر می‌رسد که آندزیت‌های منطقه از نوع کوهزائی هستند. آندزیت‌های نوع کوهزائی و سنگ‌های وابسته به آن بیشتر در دو محیط مختلف جزایر قوسی و حاشیه‌های قاره‌ای تشکیل می‌شوند و هر یک سرشتی‌های ویژه‌ای دارند. چنانچه وجوه تمایز بین آندزیت‌های کوهزائی متعلق به جزایر قوسی و حاشیه‌های قاره‌ای فعال [۱۳] را مد نظر داشته باشیم (جدول ۲)، با توجه به فراوانی سنگ‌های داسیتی، آندزیت داسیتی، آندزیتی و ریولیتی و فقدان سنگ‌های بازالتی وابسته به ترشیری در منطقه، آهکی-قلیایی بودن تمامی آن‌ها، درصد بالای SiO_2 و وجود مقدار زیاد درشت بلورهای هورنبلند

و بیوتیت، می‌توان گفت که سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه، با ویژگی‌های حاشیه فعال قاره‌ای همخوانی بیشتری را نشان می‌دهند. همچنین مقایسه داده‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی این موضوع را تأیید می‌کند. مقادیر بالاتر U, K, Sr, Rb, Ba, Zr, Th و نسبت‌های بالاتر Fe/Mg و K/Rb نیز تایید کننده این برداشت است [۱۶]. همچنین مقایسه داده‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناختی (جدول ۲) مؤید آن است [۱۳]. نسبت بالای $^{87}Sr/^{86}Sr$ (برابر با ۰/۷۰۵۳) در سنگ‌های منطقه [۱۷] می‌تواند نشان از آلودگی ماگماهای حد واسط در اثر مواد پوسته‌ای و یا خاستگاه پوسته‌ای آن‌ها باشد. در این زمینه باور بر آن است که آتشفشانی پالئوژن شمال لوت و مغرب بیرجند مربوط به فروانش ورقه افغان به زیر بلوک لوت و ذوب پوسته اقیانوسی فرورانده در اعماق تقریباً ۱۰۰ کیلومتری است [۱۸].

بنابر تقسیم‌بندی ارائه شده [۱۹-۲۱] برونوم‌های آمفیبولیتی موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه از دو گروه تشکیل می‌شوند. گروه اول متشکل از هورنبلند سبز و پلاژیوکلاز بوده و بافت‌های نماتوبلاستیک و گرانوبلاستیک دارند. آنالیز شیمی این نوع برونوم و شباهت آن را با یک ترکیب بازی تولیتی نشان می‌دهد که تا حدودی شبیه شبه بازی‌های مجموعه افیولیتی منطقه است [۴]. گروه دیگر آمفیبولیت‌های غنی از هورنبلندهای قهوه‌ای کم و بیش تغییر یافته به هورنبلند سبز و پلاژیوکلاز است. با توجه به شواهد صحرائی از جمله وجود رخنمون‌های کوچکی از آمفیبولیت‌های حاصل از واحدهای بازی مجموعه افیولیتی در کنار توده‌های آتشفشانی، شباهت‌های کانی‌شناسی و تا حدودی شیمیایی، می‌توان گفت که این برونوم‌ها زینولیت‌های کنده شده از پی افیولیتی منطقه هستند که نخست طی دگرگونی ناحیه‌ای اواخر کرتاسه که منجر به جایگیری افیولیت ملانژ خاور کشور روی پوسته قاره‌ای شده، در حد واسط رخساره آمفیبولیت (حضور هورنبلند سبز) و یا اواخر آن رخساره (حضور هورنبلند قهوه‌ای و کلینوپیروکسن) دگرگون شده و سپس تحت تاثیر گرمای ناشی از گدازه هورنبلندهای قهوه‌ای دوباره به هورنبلند سبز تبدیل شده‌اند.

جدول ۲ مقایسه داده‌های شیمیایی جزایر قوسی و حاشیه‌های قاره‌ای فعال [۱۳] و آتشفشانی‌های شمال بیرجند.

شاخص	جزایر قوسی	حاشیه قاره‌ها	آتشفشانی‌های شمال بیرجند
SiO ₂	۵۰-۶۶	۵۶-۷۵	۵۵/۵۱-۷۰/۵۹
FeO/MgO	<۲	>۲	۱/۱۳-۱۲/۶
K ₂ O/Na ₂ O	۰/۸	۰/۶-۱/۱	۰/۴-۰/۸
Rb(ppm)	۳۰-۴۵	۶۶-۱۰۸	۴۴-۱۴۵
Sr(ppm)	۳۸۰-۴۶۰	۵۷۰-۸۶۰	۲۱۸-۱۱۴۸
Zr(ppm)	۱۰۰-۱۱۲	۱۸۴-۲۲۶	۱۲۳-۲۱۳
درشت بلورها	Cpx, Opx, Hb, Bio, Q	Cpx, Opx, Hb, Bio, Q	Cpx, Hb, Bio, Q, Plg
لیتولوژی	بازالت، آندزیت، داسیت، آذرآواری ریولیتی، ریولیت (حجم سنگ‌های آندزیتی و بازالتی بر ترم- های اسیدی مثل داسیت و ریولیت برتری دارد. ریولیت نایاب و یا دارای گسترش بسیار اندکی است)	آندزیت، داسیت، ایگنمبریت، ریولیت، بازالت (حجم داسیت‌ها و ریولیت‌ها بسیار زیاد می‌باشد)	داسیت، آندزیت، ریولیت، ندرتاً آندزیت بازالتی و آذرآواری‌های اسیدی و حدواسط
سری‌های ماگمایی	عمدتاً تولییتی، به مقدار کمتر کالکوالکالن و ندرتاً آلکالن	عمدتاً کالکوالکالن، به مقدار کمتر تولییتی و ندرتاً آلکالن	تماماً کالکوالکالن

برداشت

۱- سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه، شامل آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازالتی، آندزیت داسیتی، داسیت و ریولیت بوده و از نظر ماهیت، به سری ماگمایی آهکی - قلیایی دارای پتاسیم متوسط وابسته‌اند.

۲- گسترش گستره سنگ‌های آذرآواری که همراه با سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شوند و نیز فراوانی کانی‌های آبدار از قبیل هورنبلند سبز و فلوگوپیت در سنگ‌های آتشفشانی منطقه، دلالت بر آبدار بودن ماگمای حدواسط مادر آنها دارد.

زینولیت‌های گنیسی توانایی نیز با توجه به ترکیب کانی‌شناسی آن (کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، کلینوپیروکسن، بیوتیت و اسفن) قطعات کنده شده از پلاژیوگرانیت‌های وابسته به افیولیت‌های پی منطقه هستند.

زینولیت‌های نوع هورنفلس برگه‌ای، قطعاتی از سنگ‌های برگه‌ای هستند که نخست در حین دگرگونی ناحیه‌ای به بیوتیت شیبست تبدیل شده و سپس در اثر سقوط به درون ماگما و یا گدازه، تا حد رخساره پیروکسن هورنفلس دگرگون شده‌اند.

Survey of Iran, 1975, Final reserVISION: Eftekharnazhad, 1986.

[۴] یوسف‌زاده محمد حسین، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترسیری منطقه بیرجند-خوسف با نگرشی ویژه برانکلاوهای موجود در آن"، پایان‌نامه دوره دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی (در حال اجرا).

[5] Maitre R. W. Le, "A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms", Backwell. Oxford, 193pp., 1989.

[6] Jensen L. S., "A New cation plot for classifying subalkalic rocks", Ontario Division of Mines, MP 66, 22P. 1976.

[7] Irvine T., W., Baragar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 8, pp.523 – 548, 1971.

[8] Miyashiro A., "Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins", American Journal of Science, Vol. 247, pp 321 – 355, 1974.

[9] Harker A., "The natural history of igneous rocks", Macmillan, New York, 384pp, 1909.

[10] Gill J. B., "Orogenic Andesites and plate tectonics", Springer, Verlag, Berlin, 1981.

[11] Leake B. E., "Nomenclature of amphiboles", "Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature", American Mineralogist, Vol. 89 (2004) 883-887.

[12] Burnham C. W., "The importance of volatile constituents", Ch.16, pp. 439 – 82 in Yoder, H.S. (ed), The Evolution of Igneous Rocks, Fiftieth Anniversary Perspectives, Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, USA, 1979.

[13] Jakes P., White A. J. R., "Hornblendes from calcalkaline volcanic rocks of island arcs and continental margins", Am. Mineral. 57(1972) 887 – 902.

[14] Kuno H. "Petrology of Hankone volcano and the adjacent areas in Japan", Geol. Soc. Am., Bull. 61 (1950) 975 – 1020.

[15] Carmichael I. S. E., "The petrology of Thingmuli, a Tertiary volcano in Eastern Iceland", J. Petrol. 5(3) (1964) 435 – 60.

[16] Wilson, M., "Igneous petrogenesis", Academic Division of Unwin Hyman LTD (1989).

[۱۷] یونگ د. و همکاران، "سنگ شناختی فعالیت ماگمایی ترشیری در ناحیه لوت شمالی (خاور ایران)"، گزارش شماره ۵۱ سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۸۳).

۳- طبق شواهد کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی از جمله گونه گونی‌های ترکیبی و منطقه بندی در پلاژیوکلازها، حضور بلورهای آپاتیت در همه نمونه‌ها، مقدار نسبتاً زیاد Al_2O_3 (بیشتر از ۱۵ درصد) و نسبت $Al_2O_3/FeO+Fe_2O_3$ بیشتر از ۲ (برابر ۲/۶۳ تا ۱۰/۳۳)، آندزیت‌ها و داسیت‌های منطقه از نوع کوهزائی هستند.

۴- با توجه به حضور فراوان هورنبلند سبز و فلوگوپیت، محل تشکیل سنگ‌های یاد شده با حاشیه قاره‌ای فعال یعنی محل فرورائش ورقه افغان به زیر بلوک لوت، همخوانی دارد.

۵- هر چند شواهد موجود کافی به نظر نمی‌رسد ولی، دامنه گستره تغییرات عناصر کمیاب و نیز روندهای جدایش عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های آتشفشانی می‌تواند تا حدودی نشان‌دهنده جدایش ماگمایی باشد. فراوانی Zr و نسبت بالای $^{87}Sr/^{86}Sr$ (برابر با ۰/۷۰۵۳) برای آندزیت‌ها و داسیت‌های منطقه می‌تواند نشانه خاستگاه پوسته‌ای ماگما و یا آلوده شدن ماگمای در حال صعود به وسیله مواد پوسته‌ای باشد؛ به ویژه که در بیشتر توده‌ها شاهد حضور برونوم‌های آمفیبولیتی و شبه برگه‌ای هستیم. وجود حاشیه‌های خورده‌شده در برخی از پلاژیوکلازها و حاشیه‌های خلیجی در کوارتزها می‌تواند نشانگر اختلاط ماگمایی باشد. با عنایت به موارد یاد شده، شاید بتوان یک خاستگاه ترکیبی را برای آتشفشانی‌های ترسیری منطقه در نظر گرفت.

۶- برونوم‌های موجود در این سنگ‌ها بیشتر از نوع زینولیتی (آمفیبولیت‌ها، گنیس‌های تونالیتی و هورنفلس‌های پلیتی) و کمتر از نوع اتولیتی (تونالیتی- داسیتی و یا دیوریتی- آندزیتی) هستند.

۷- از بین رفتن بافت‌های با سمت یافتگی برتر و حضور کانی‌های حساس به گرما مثل کلدیریت در زینولیت‌های غنی از فلوگوپیت و تبدیل هورنبلندهای قهوه‌ای به هورنبلند سبز در زینولیت‌های آمفیبولیتی نشان از هورنفلسی شدن این زینولیت‌ها دارد.

مراجع

- [1] Camp V. E., Griffis R. J., "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in Sistan suture zone", LITHOS 15, (1981) PP. 221-239.
- [2] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., "The sistan suture zone of eastern Iran", Geological Soc. Of Amer. Bul. V. 94. (1989) pp. 134 – 150.
- [3] Ohanian T., Tatavoosian Sh., "Geological map of birjand, sheet No.7855, Scale 1: 100000", Geological

- [20] Didier J., *"Granites and Their Enclaves"*, The Bearing of Enclaves on the origin of granites. Development in petrology, 3 Elsevier, Amsterdam (1973)393p.
- [21] Didier j., Barbarin B. *"Enclaves and granite petrology"*, Elsevier Science Publishers (1991) 625p.
- [18] Lotfi M., *"Geological and geochemical investigation on the volcanogenic Pb, Zn, Cu, Sb ore mineralization in Shurab-Golechah and NW of Khur (Lut, East Iran)"*, Ph, D. Thesis. 151p. Uni.Humburg, (1982).
- [19] Didier J., *"Etue petrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central Francais"*, Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont – Ferrond, 23 (1964) 254p.