

انکلاوهای مخروط اسکوری قزلبه کند (شمال قروه): زینولیت یا کومولا؟

سارا ویسی^۱، عباس آسیابانها^{۲*}، حسین شهبازی^۳ و محسن نصرآبادی^۴

۱. کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲. دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳. استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴. استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۲

چکیده

مخروط‌های آتشفشانی پلیوکواترنر شمال قروه، از نظر رخساره‌ای از سه رخساره پیروکلاست‌های پامیسی، نهشته‌های ریزشی اسکوری و روانه‌های گدازه ساخته شده‌اند که در این میان، اسکوری‌ها بیشترین حجم را به خود اختصاص می‌دهند. به همین دلیل به آنها مخروط اسکوری اطلاق می‌شود. در داخل پرتابه‌های اسکوری دو نوع انکلاو فلسیک (زینولیت‌های پوسته‌ای) و مافیک یافت می‌شود. انکلاوهای مافیک از نظر نوع و فراوانی کانی‌ها به سه گروه میکا-آپاتیت - هورنبلند (MAH)، میکا-آپاتیت-الیون (MAO) و هورنبلند - آپاتیت - پیروکسن (HAP) قابل تقسیم هستند. با توجه به همانندی ترکیبی و بافتی کانی‌ها انکلاوها با کانی‌ها اسکوری‌ها و گدازه‌ها، می‌توان آنها را کومولاهایی دانست که توسط فوران‌های انفجاری نوع استرومبولی به سطح زمین آورده شده‌اند. بالاخره با توجه به مقدار بالای منیزیم در ترکیب کانی‌ها مافیک مذکور و نیز همراهی کانی‌ها مافیک آبدار و بی‌آب، می‌توان علت ایجاد ماگمای سازنده مخروط‌های اسکوری را ذوب بخشی گوشته فوقانی دانست که متاسوماتیسم گوشته در آن تأثیر به‌سزایی داشته است.

واژه‌های کلیدی: زینولیت، کومولا، متاسوماتیسم گوشته، مخروط اسکوری قروه.

مقدمه

۱). این مخروط‌ها معمولاً ارتفاع کمی داشته و سازنده اصلی آنها قطعات اسکوری است. اگرچه هیچگونه اثری از فعالیت حرارتی جدید در آنها به چشم نمی‌خورد، ولی مشاهده چشمه گوگردی باباگر و اثرات فومرولی مجاور آن و نیز رسوبات تراورتنی در کل منطقه، می‌تواند نشانه

در شمال شهرستان قروه (کردستان)، تعدادی مخروط آتشفشانی جوان به موازات راندگی زاگرس و با فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری از آن وجود دارد (شکل

* نویسنده مرتبط: asiabanha@sci.ikiu.ac.ir

انکلاوهای مافیک نادیده انگاشته شده، مقایسه ترکیب شیمیایی کانی‌ها انکلاوها با سنگ میزبانان (اسکوری‌ها و گدازه‌های بازالتی) است. شاید درشت بودن نسبی کانی‌ها این گروه از انکلاوها باعث شده است که محققین یاد شده، نحوه تشکیل آنها را متفاوت از کانی‌ها گدازه‌ها بدانند.

لذا هدف مهم این مقاله، بررسی رابطه بین انکلاوها با مواد دربرگیرنده‌شان شامل اسکوری‌ها و گدازه‌ها از طریق مطالعات بافتی و شیمی کانی‌ها می‌باشند.

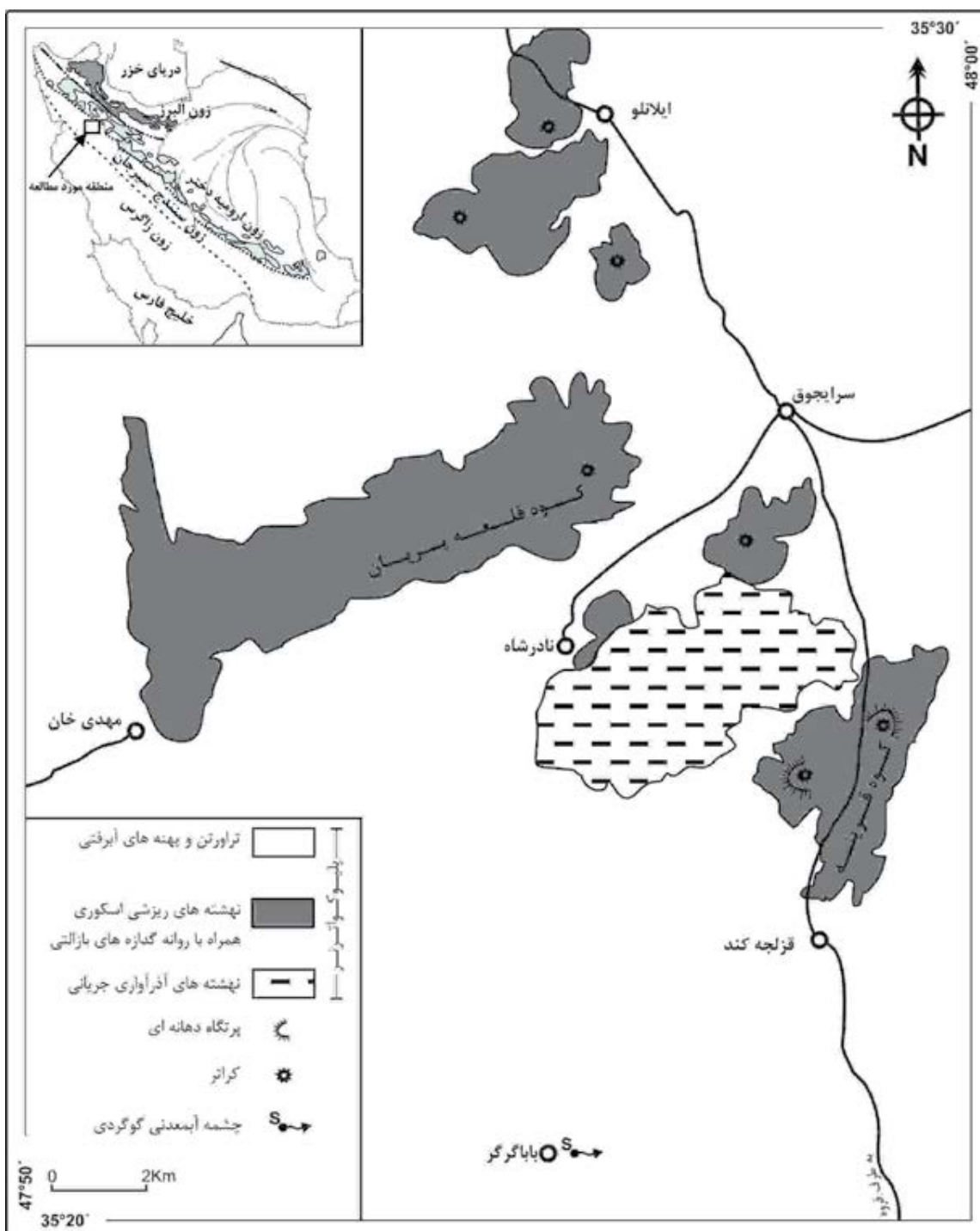
روش مطالعه

داده‌های این مطالعه از طریق برداشت‌های صحرایی و تحلیل رخساره‌های آتشفشانی، مطالعات پتروگرافی و تجزیه نقطه‌ای بر روی بیش از ۳۰۰ نقطه از کانی‌ها گوناگون در دانشگاه پیر و ماری کوری کشور فرانسه به دست آمده است. دستگاه ریزپردازنده از نوع Cameca SX 100 و در طول انجام آنالیز ریزپردازشی، ولتاژ شتاب‌دهنده 15kV، شدت جریان 10 nA، زمان شمارش ده ثانیه و قطر باریکه الکترونی ۵ μm بوده است.

تأثیرپذیری آب‌های زیرزمینی منطقه از فعالیت‌های این سیستم آتشفشانی باشد.

در داخل اسکوری‌های سیاه‌رنگ یکی از مخروط‌ها (مخروط قزلجه‌کند)، انکلاوهایی با جنس و اندازه مختلف وجود دارد که محققین مختلف در مورد آنها نظرات متفاوتی اظهار داشته‌اند. به طوری که درویش‌زاده و شهبازی (۱۳۸۸) آنها را زینولیت نامیده و به دو دسته همزاد (اتولیت) و غیرهمزاد (زینولیت) تقسیم کرده‌اند. به نظر نامبردگان، زینولیت‌های غیرهمزاد، قطعاتی از پی‌سنگ منطقه هستند و اتولیت‌ها حاصل متاسوماتیسم گوشته بوده که با مذاب رابطه ژنتیکی دارند. از دیگر سو، حق‌نظر و ملکوتیان (۱۳۹۰)، مشاهده زینولیت‌های گنیسی و فنوکریست‌های بیوتیت را شاهدهی بر آرایش ماگمای منطقه با سنگ‌های پوسته قارهای می‌دانند. بالاخره گُرد (۱۳۹۱) ضمن آنکه زینولیت‌های گنیسی را از نوع ارتوگنیس می‌داند، اعتقاد دارد که سایر انکلاوها، ترکیب اولترامافیک داشته و برای آنها منشأ گوشته‌ای قائل است.

اما آنچه که در این مطالعات، به‌ویژه در مورد



شکل ۱. نقشه زمین شناسی مخروط‌های آتشفشانی شمال قروه و موقعیت آنها در پهنه بندی زمین شناسی ایران (با تغییراتی از حسینی ۱۳۷۸)

زمین‌شناسی محدوده

چینه‌شناسی آتشفشان

مخروط‌های آتشفشانی شمال قروه بر روی سری رسوباتی متشکل از سنگ آهک رسی، مارن، توف ماسه ای، توف سیلتی، کنگلومرا و تراورتن قرار گرفته‌اند که هم‌ارز سازند قرمز فوقانی معرفی شده است (حسینی، ۱۳۷۸). ساختار مخروط قرینه تقریباً مشابه سایر مخروط‌های محور آتشفشانی قروه - تکاب است و به ترتیب از پایین به بالا از نهشته‌های آذرآواری پامیسی، نهشته‌های ریزشی اسکوری و روانه‌گذاری‌های بازالتی ساخته شده است.

نهشته‌های آذرآواری پامیسی

در محدوده مورد مطالعه، قدیمی‌ترین واحد آتشفشانی یک روانه صفحه‌ای نازک تراکی‌آندزیتی با بافت اوتاکسیتی و قطعات پامیسی دگرشکل‌یافته است. این نهشته‌های آذرآواری جریان‌ی که بیشتر در دامنه غربی مخروط کوه‌سیاه دیده شده و تا مهدیخان ادامه دارند (شکل ۱)، در نمونه دستی با رنگ سفید تا خاکستری روشن و کانی‌ها فلدسپار، بیوتیت و مقدار کمی پیروکسن مشخص می‌شوند.

روانه‌های آذرآواری مورد بحث از لایه‌بندی و جورشدگی نسبتاً خوب و جوش‌خوردگی ضعیفی برخوردار بوده (شکل ۲-الف) و به سمت شمال و شمال غرب یعنی به سمت مخروط‌های آتشفشانی ایلانلو و مهدیخان بر میزان جوش‌خوردگی آنها افزوده می‌شود. در این نهشته‌ها، روی هم قرارگیری چند واحد، ظاهری با چینه‌بندی داخلی ایجاد کرده است. از اینرو به نظر می‌رسد این امر حاصل رانش گاز از قسمت قاعده ستون فوران باشد که پس از خروج از دهانه، در گودال‌های منطقه انباشته شده و لایه‌هایی با جوش‌خوردگی متفاوت ایجاد کرده است (Cas and Wright, 1987 ; Francis, 1993)

نهشته‌های ریزشی اسکوری

بخش اصلی مخروط آتشفشانی قزلجه‌کند و نیز سایر مخروط‌های آتشفشانی منطقه را قطعات اسکوری با جورشدگی خوب (شکل ۲-ب) همراه با بمب‌های آتشفشانی دوکی، مخروطی و قشرنایی تشکیل می‌دهند. رنگ این اسکوری‌های پرحفره، سیاه‌رنگ با ترکیب بازالتی است. از اینرو ترجیح داده می‌شود که این مخروط و سایر مخروط‌های مشابه، مخروط اسکوری نامیده شود. به نظر (Valentine and Gregg 2008) مخروط‌های اسکوری، مخروط‌های تکزادی حاصل از فوران‌های آتشفشانی نوع استرومبولی هستند.

در داخل پرتابه‌های مخروط اسکوری قزلجه‌کند، دو نوع انکلاو فلسیک یا گنیسی و مافیک یافت می‌شود. انکلاوهای فلسیک در اندازه‌های مختلف چند میلی‌متر تا ابعاد دسی‌متری و بافت مشخص گنیسی حضور دارند (شکل ۲-ج) و به همین دلیل اغلب محققین بر زینولیتی بودن ماهیت آنها و منشأگیری از پی‌سنگ دگرگونی منطقه، اتفاق نظر دارند. اما انکلاوهای مافیک وضعیت دیگری دارند. این انکلاوها تقریباً گرد تا بیضوی با ابعادی در حد ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر هستند و رنگ تیره‌تر و چگالی زیادتری نسبت به سنگ میزبان دارند و نکته دیگر آنکه قسمت داخلی این انکلاوها درشت بلورتر از حاشیه‌ها است.

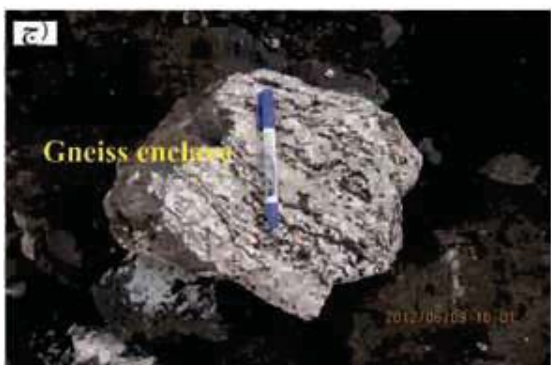
روانه‌گذاری‌های بازالتی

در بالاترین قسمت مخروط اسکوری قزلجه‌کند، یک روانه بازالتی با ضخامت حدود ۵۰ متر و رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای روشن قرار گرفته است (شکل ۲-ب). برخی از آنها دارای بافت پورفیری با درشت بلورهای خودشکل الیوین (شکل ۲-د) و پیروکسن هستند. زینولیت‌های گنیسی در نهشته‌های این پیکره نیز یافت می‌شوند. در قسمت‌هایی از این پیکره، جهت‌گیری زینولیت‌ها و همچنین جهت‌گیری

سارا ویسی و همکاران

مسیر حرکت آن در یک مسیر آبراهه‌ای، محصور بوده است که از دهانه مخروط واقع در دیرکلو شروع شده و تا مه‌دیخان ادامه داشته است (شکل ۱). ساخت منشوری و فرسایش پوست پیازی نیز در قسمت‌هایی از این پیکره مشاهده می‌شود.

حفرات خروج گاز موازی با جهت جریان به‌خوبی قابل تشخیص است. در مخروط مه‌دیخان، روانه بازالتی به‌علت گرانی کمی توانسته تا مسافت زیادی (حدود ۴ کیلومتر) بر روی دشت جریان یابد. نظر به اینکه این روانه به‌صورت طویل و کشیده دیده می‌شود، احتمالاً



شکل ۲. تصاویر واحدهای مهم مخروط آتشفشانی قزلجه‌کند: الف) نهشته‌های آذرآوری پامیسی؛ ب) نهشته‌های ریزشی اسکوری و روانه گدازه روی آن؛ ج) انکلاو گنیسی داخل پرتابه‌های اسکوری؛ د) روانه گدازه بازالتی حاوی الیون‌های کومولوسی (داخل دایره‌های قرمز رنگ)

پتروگرافی

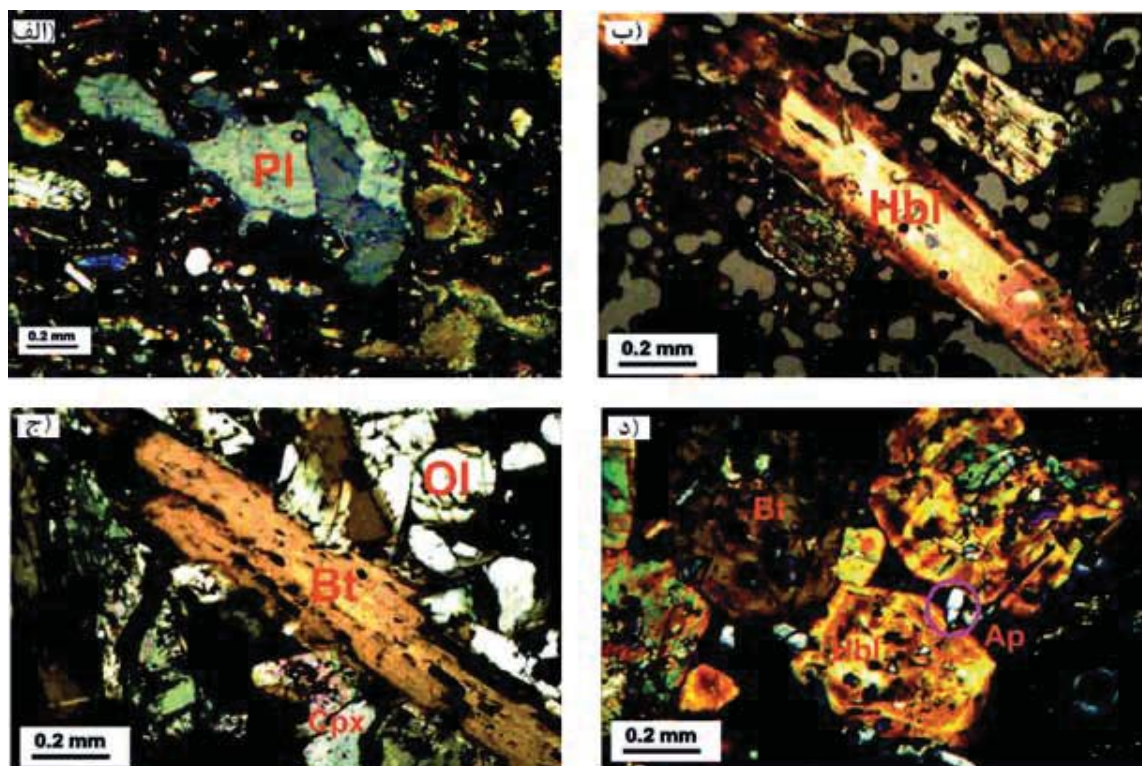
برای پی بردن به پتروژنز انکلاوهای موجود در اسکوری‌ها و گدازه‌ها، به مقایسه اختصاصات بافتی و کانی‌شناسی آنها پرداخته می‌شود.

انکلاوهای فلسیک (زینولیت‌های گنیسی)

این گروه از انکلاوها شامل قطعاتی از گنیس با اندازه چند میلی‌متر تا چند دسی‌متر متشکل از کانی‌ها کوآرتز و فلدسپار و مقادیر کمی بیوتیت با بافت گنیسی

هستند. کلیه پلاژیوکلازها بافت غربالی و خلیج‌خوردگی (به‌عنوان بافت ثانویه ناشی از حرارت گدازه دربرگیرنده) داشته و بعضی از آنها ادخال‌هایی از بیوتیت، الیون و پیروکسن دارند. در بیشتر موارد، این انکلاوها به‌علت تحمل انحلال ناشی از مذاب داغ‌تر دربرگیرنده، استحکام خود را از دست داده و کانی‌هاشان پراکنده شده‌اند (شکل ۳-الف). در هر حال به‌علت تفاوت‌های فاحش کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، زینولیت نامیده

می‌شوند و اعتقاد بر این است که تک‌بلورهای گرد و خورده‌شده کوارتز و فلدسپار داخل روانه‌گذاری‌های بازالتی، همان زینوکریست‌های حاصل از پراکندگی زینولیت‌های گنیسی در اثر حرارت و تحرک گدازه‌های بازالتی هستند.



شکل ۳. تصاویر پتروگرافی انکلاوهای مختلف: الف) کانی‌ها پلاژیوکلاز (Pl) در یک انکلاو گنیسی؛ ب) نمونه‌ی یک بلور درشت ماگنزیوهایستنگزیت (Hbl) در یک انکلاو هورنبلند-آپاتیت-میکا؛ ج) بلورهای الیوین (Ol)، کلینوپیروکسن (Cpx) و بیوتیت (Bt) در یک انکلاو میکا-آپاتیت-الیوین؛ د) بلورهای هورنبلند (Hbl)، بیوتیت (Bt) و آپاتیت (Ap) در یک انکلاو هورنبلند-آپاتیت-پیروکسن

این نمونه‌ها کومولایی همراه با حفرات خالی در لابلای بلورها است که حاکی از عدم فشردگی کامل آنها به هم است. آمفیبول‌های درشت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، اسکلت اصلی این دسته را تشکیل داده، علاوه بر آنکه دارای منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی هستند، ادخال‌هایی از پیروکسن نیز در آنها دیده می‌شود.

بیوتیت‌های شکل‌دار نیز در نمونه‌های این گروه دیده می‌شوند. اما مقدارشان به مراتب کمتر از هورنبلندها است. این کانی دارای منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی می‌باشند و اغلب ادخال‌هایی

انکلاوهای مافیک

در این مطالعه، براساس نوع و مقدار کانی‌ها، این گروه از انکلاوها به سه گروه میکا - آپاتیت - هورنبلند (MAH)، میکا - آپاتیت - الیوین (MAO) و هورنبلند - آپاتیت - پیروکسن (HAP) تقسیم شده‌اند:

الف- میکا - آپاتیت - هورنبلند (MAH)

کانی‌های اصلی این گروه را هورنبلند (۴۰-۳۵٪)، بیوتیت (۱۰٪)، آپاتیت (۲۰-۱۵٪) و پیروکسن (۱۵٪) به همراه مقدار کمی شیشه (۵-۲٪) در فضاهای گوشه‌دار بین بلورها تشکیل می‌دهند (شکل ۳-ب). بافت اصلی

سارا ویسی و همکاران

بیشتری برخوردارند. از اینرو نسبتاً کم حفره‌تر به نظر می‌رسند (شکل ۳-د).

هورنبلندهای شکل دار تا نیمه‌شکل دار (تا حدودی گردشده) دارای منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی‌اند و اذخال‌هایی از آپاتیت و پیروکسن را در برمی‌گیرند. آپاتیت‌های ریز و سوزنی شکل به هر دو صورت اذخال و یا لابلای آمفیبول‌ها دیده می‌شوند. نکته قابل توجه این است که تعداد بلورهای آپاتیت در سنگ‌های این گروه نسبت به دو گروه دیگر بیشتر است. پیروکسن‌های نیمه‌شکل دار ریز نیز به صورت اذخال در داخل و یا در لابلای سایر بلورها جای گرفته‌اند.

اسکوری‌ها

اسکوری‌ها به صورت پرتابه‌های فراوان در نمونه دستی خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ بوده و در زیر میکروسکوپ علاوه بر بافت حفره‌ای، بافت گلوپورپوریتی و میکروولیتیک پورفیری نیز نشان می‌دهند. اجزای تشکیل‌دهنده آنها شامل فنوکریست‌های شکل دار و نیمه‌شکل دار کلینوپیروکسن و الیوین در زمینه‌ای از شیشه و میکروولیت‌های بسیار ریز پیروکسن و پلاژیوکلاز و آمفیبول‌های سوزنی بسیار ریز کاملاً سوخته و یا با حاشیه سوخته است.

درشت بلورهای کلینوپیروکسن (دیوپسید و سالییت) با ابعاد $0/2$ تا ۳ میلی‌متر، حدود ۴۰ درصد و انواع ریزتر آن حدود ۳۰ درصد حجم سنگ را در بر می‌گیرند. این بلورها اغلب شکل دار و نیمه‌شکل دار بوده و به صورت مقاطع هشت‌ضلعی و یا منشوری قابل مشاهده‌اند. تجمعات شعاعی (بافت اسفرولیتی) این کانی‌ها در قسمت‌هایی از این مقاطع دیده می‌شوند. گاهی در حاشیه این بلورها خوردگی‌های خلیجی نیز مشاهده می‌شود. شدت خوردگی و انحلال در بلورهای منفرد کلینوپیروکسن نسبتاً بیشتر از گلوپورول‌هاست.

از پیروکسن و آپاتیت را در برمی‌گیرد. آپاتیت‌ها شکل دار و نیمه‌شکل دار بوده و به صورت سوزن‌های بسیار ریز در سراسر مقاطع و یا به صورت اذخال درون آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها دیده می‌شوند. پیروکسن‌ها نیز اغلب بسیار ریز بلور بوده و در بین بلورهای درشت و کشیده هورنبلند و یا به صورت اذخال درون آنها جای گرفته‌اند.

ب- میکا - آپاتیت - الیوین (MAO)

کانی‌ها اصلی این گروه به ترتیب فراوانی عبارتند از بیوتیت (۳۵-۳۰٪)، هورنبلند (۱۵-۱۰٪)، آپاتیت (۱۵٪)، پیروکسن (۱۵٪) و الیوین (۱۲٪) به همراه مقدار بیشتری شیشه (حدود ۱۰٪) نسبت به انکلاوهای نوع MAH. بافت اصلی سنگ‌های این گروه نیز کومولایی است (شکل ۳-ج) که به دلیل وجود فضاهای خالی در لابلای بلورها، متخلخل و حفره‌دار به نظر می‌رسند. بیوتیت‌ها که بیشترین حجم نمونه را به خود اختصاص داده‌اند، نیمه‌شکل دارند و به صورت بلورهای کشیده با اندازه متفاوت بسیار ریز تا بسیار درشت بوده، بافت غربالی، منطقه‌بندی مشخص و خوردگی‌های خلیجی نشان می‌دهند. اغلب در درون آنها اذخال‌هایی از پیروکسن و آپاتیت نیز دیده می‌شود.

هورنبلندها که از نظر فراوانی در جایگاه دوم قرار دارند، شکل دار و چندوجهی‌اند و منطقه‌بندی و اذخال‌های پیروکسن و آپاتیت نیز در آنها وجود دارد. پیروکسن، الیوین و آپاتیت بسیار ریز به صورت اذخال درون بلورهای درشت آمفیبول و بیوتیت و یا در بین آنها قرار گرفته‌اند.

ج- هورنبلند - آپاتیت - پیروکسن (HAP)

کانی‌ها اصلی این نمونه‌ها، هورنبلند (۵۵-۴۵٪)، آپاتیت (۳۰٪) و پیروکسن (۲۰٪) به همراه مقدار بسیار کمی شیشه (کمتر از ۵٪) است. برخلاف کانی‌های کشیده دو گروه دیگر، کانی‌های این گروه گردشگی نسبتاً خوبی داشته و نسبت به دو گروه دیگر از فشردگی

طی صعود ماگما باشد. در همین راستا، Rutherford and Devine (2003) معتقدند این بافت واکنشی یا به دلیل صعود ماگما از اعماق و یا به واسطه اختلاط ماگمایی در مجرای صعود پدید می‌آید.

هورنبلند (ماگنزیوهایستنگزیت) اغلب به صورت بلورهای کاملاً سوخته و یا با حاشیه سوخته، به فراوانی در این نمونه‌ها دیده می‌شود. بلورهای بیوتیت (فلوگوپیت و بیوتیت منیزیم‌دار) نیز به تعداد اندک (۱۲٪) در بعضی از نمونه‌ها دیده می‌شود. در بعضی از این بلورهای نیمه‌شکل‌دار بیوتیت، ادخال‌هایی از پیروکسن و نیز بافت غربالی و خوردگی خلیجی مشاهده می‌شود.

کوارتز نیز در این سنگ‌ها وجود دارد که به نظر می‌رسد زینوکریست‌های حاصل از واپاشی زینولیت‌های گنیس باشند. خمیره میکرولیتی این سنگ‌ها شامل تیغه‌های ریز کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز و مقدار زیادی شیشه است. این خمیره دارای بافت پیلوتاکستی یا نمدی است که به علت جهت‌گیری تصادفی یا غیرموازی میکرولیت‌ها ایجاد شده است.

شیمی کانی‌ها

چنانچه اشاره شد کانی‌ها مافیک از هر دو نوع آبدار و بی‌آب، در گدازه‌ها و اسکوری‌ها و نیز در انکلاوهای مخروط آتشفشانی قزلجه‌کند وجود دارند. نظر به اینکه انکلاوهای مافیک به صورت کلوخه‌های گرد با اندازه‌های متفاوت دیده می‌شوند، محققین مختلف (از جمله درویش‌زاده و شه‌بازی، ۱۳۸۸ و گرد، ۱۳۹۱) علیرغم دردست نداشتن داده‌های ترکیب شیمیایی کانی‌ها، آنها را زینولیت‌های گوشته‌ای دانسته‌اند. از اینرو برای بررسی صحت این رابطه، به مقایسه ترکیب شیمیایی کانی‌ها مافیک در انکلاوهای مورد اشاره و گدازه‌ها یا اسکوری‌ها پرداخته شده است.

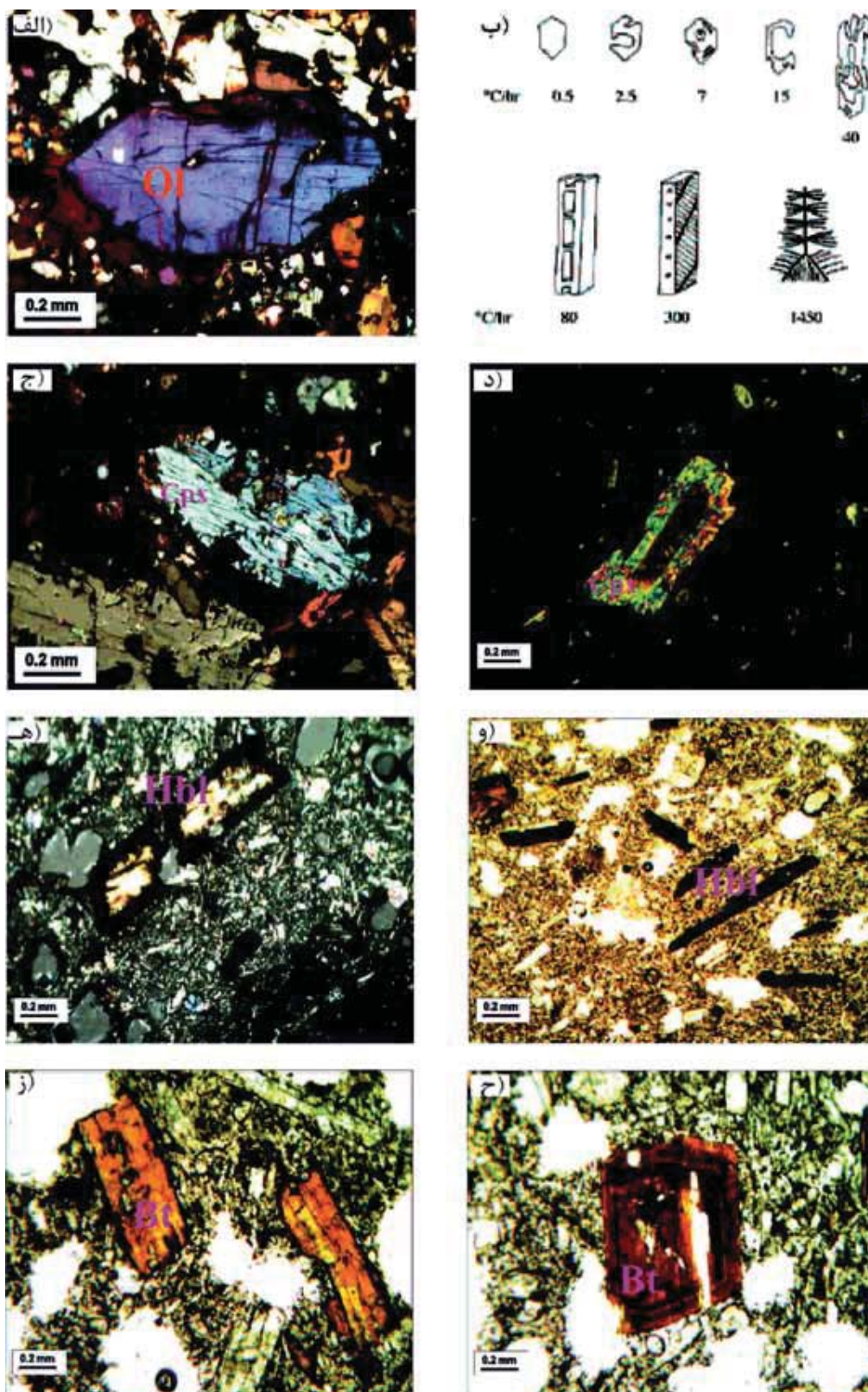
معمولاً در درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن، بافت غربالی و منطقه‌بندی دیده می‌شود. وجود منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی‌های خلیجی می‌تواند در اثر تبلور غیرتعدالی ناشی از اختلاط ماگمایی (Dungan and Rhodes, 1978; Tsuchiyama, 1985; Halsor, 2004) و یا به واسطه‌ی صعود سریع (Nelson and Montana, 1992) ایجاد شده باشد.

روانه‌گذاری‌های بازالتی

گدازه‌های بازالتی در نمونه دستی به رنگ قهوه‌ای یا خاکستری تیره هستند. کانی‌های اصلی این نمونه‌ها شامل کلینوپیروکسن (۳۵-۴۰٪)، الیوین (۳-۸٪) و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز (۱۰-۱۲٪) همراه با کانی‌های فرعی هورنبلند، بیوتیت و کوارتز است. بافت اصلی نمونه‌ها پورفیری، گلومروپورفیری و میکرولیتی پورفیری است. الیوین‌ها و کلینوپیروکسن‌ها به صورت فنوکریست در زمینه‌ای متشکل از بلورهای بسیار ریز پیروکسن و پلاژیوکلاز به همراه شیشه قرار گرفته‌اند.

پیروکسن‌ها (دیوپسید و سالیس) در این نمونه‌ها اغلب شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار هستند. در آنها منطقه‌بندی، بافت غربالی، خوردگی خلیجی و تیغه‌های جدایشی دیده می‌شود. از نظر اندازه گستره وسیعی از بسیار ریز تا بسیار درشت را شامل می‌شوند (بافت تدریجی). تجمعات متفاوتی از این بلورها به صورت بافت گلومروپورفیری و اسفرولیتی نیز در نمونه‌ها به چشم می‌خورد. در قسمت‌هایی از این نمونه‌ها، اورالیتیزاسیون به صورت بافت کرونا دیده می‌شود که طی آن، حاشیه‌های آمفیبول روی هسته پیروکسن رشد کرده است. با توجه به شواهد صحرایی (زینولیت‌های گنیسی) و پتروگرافی (متلاشی شدن زینولیت‌ها و ورود آب حاصل از کانی‌ها آبدار آنها به داخل ماگما) به نظر می‌رسد تشکیل هورنبلندها در بافت کرونای مورد بحث، حاصل نوعی آرایش پوسته‌ای

سارا ویسی و همکاران



شکل ۴. تصاویر پتروگرافی برگزیده از برخی کانی‌ها نمونه‌های مورد مطالعه: الف) مقایسه مورفولوژی کانی الیون در گدازه‌ها با ب) اشکال شاخص در آزمایشات (Donaldson (1976؛ ج) منطقه‌بندی ساعت شنی در دیوپسید د) منطقه‌بندی متحدالمرکز در کلینوپیروکسن؛ ه) هورنبلند با حاشیه اپاسیتی شده؛ و) هورنبلندهای کاملاً اکسید شده؛ ز) بیوتیت با حاشیه اپاسیتی شده؛ ح) منطقه‌بندی در بیوتیت

الیون

ترکیب این کانی بین $Fe_{79.05}$ تا $Fe_{82.80}$ در تغییر است؛ یعنی از نوع الیون‌های سرشار از منیزیم تلقی می‌شود. از دیگر سو شکل این کانی در مقاطع نازک، بیشتر حالت منشوری داشته (شکل ۴-الف) و طبق آزمایشات (Faure (2001)، Donaldson (1976) و Faure et al. (2003) چنین اشکالی (شکل ۴-ب) در سرعت‌های سردشدگی بسیار خفیف پدید می‌آیند.

الیون به صورت کانی شکل‌دار و نیمه شکل‌دار، هم در گدازه‌ها و اسکوری‌ها و هم در انکلاوها یافت می‌شود. اما فراوانی و اندازه آن در انکلاوهای مافیک به مراتب بیشتر (حدود ۱۰٪) از گدازه‌ها یا اسکوری‌ها است. به همین دلیل فراوانی کم آنها در گدازه‌ها، تمام نقاط اندازه‌گیری شده الیون، مربوط به انکلاوها است (جدول ۱). همانطور که ملاحظه می‌شود

جدول ۱. نتایج آنالیز میکروپروب شاخص کانی‌ها الیون

Sample No.	A2-5 (enclave)							
	1 / 1.	2 / 1.	4 / 1.	5 / 1.	6 / 1.	7 / 1.	24 / 1.	27 / 1.
SiO ₂	39.96	39.63	39.30	40.21	39.72	39.77	39.89	39.70
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	18.91	18.25	17.38	18.01	17.16	16.93	15.58	18.87
MnO	0.39	0.37	0.35	0.40	0.33	0.36	0.22	0.34
MgO	40.88	41.71	42.36	41.89	41.74	41.72	42.68	40.68
NiO	0.32	0.31	0.23	0.29	0.24	0.32	0.36	0.26
CaO	0.10	0.06	0.09	0.02	0.09	0.06	0.06	0.02
Na ₂ O	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00
K ₂ O	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
P ₂ O ₅	0.64	0.53	0.64	0.18	0.74	0.93	0.05	0.09
Total	101.22	101.07	100.46	101.03	100.17	100.13	98.86	100.01
Si	1.016	1.007	1.003	1.015	1.014	1.017	1.017	1.015
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeII	0.402	0.388	0.371	0.380	0.367	0.362	0.332	0.404
Mn	0.008	0.008	0.008	0.009	0.007	0.008	0.005	0.007
Mg	1.550	1.579	1.611	1.576	1.589	1.590	1.622	1.551
Ni	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005
Ca	0.003	0.002	0.002	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001
Cation Sum	2.986	2.993	3.000	2.985	2.987	2.985	2.985	2.985
fo	79.41	80.27	81.28	80.57	81.24	81.45	83.01	79.34
fa	20.59	19.73	18.72	19.43	18.76	18.55	16.99	20.66

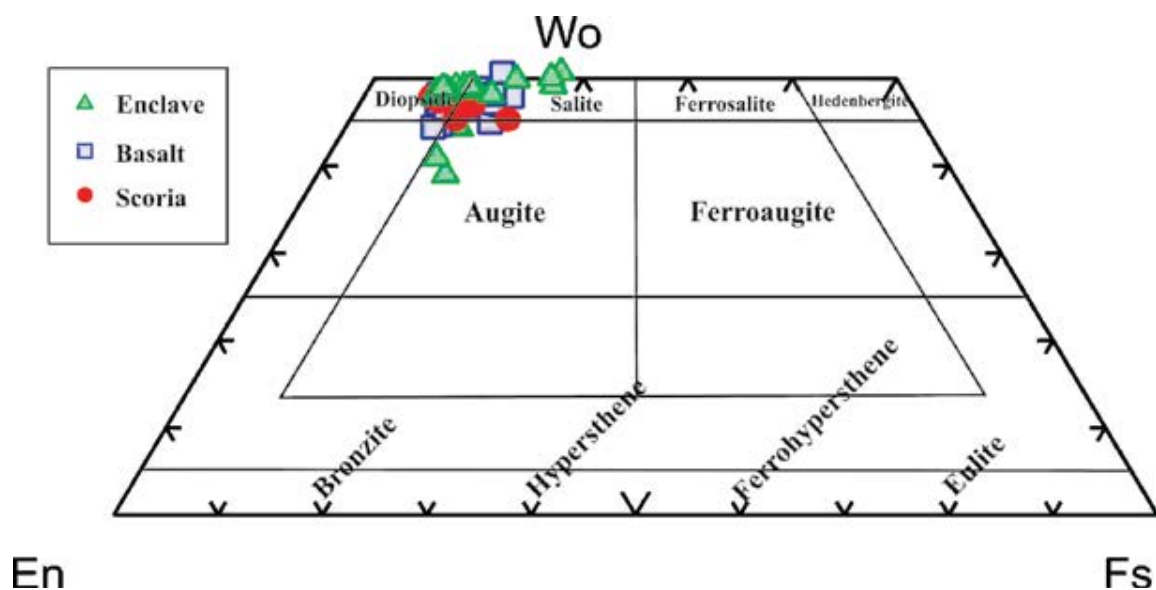
کلینوپروکسن

فاحشی بین ترکیب قسمت‌های مختلف حاشیه تا مرکز وجود ندارد. فقط باندهای مختلف این کانی از نظر میزان اکسیدهای CaO ، FeO ، Al_2O_3 و Na_2O در حدود ۰/۱٪ تا ۱٪ در تغییر است (شکل ۵). به نظر می‌رسد این تغییرات ترکیبی ناچیز، بیشتر به تلاطم‌های ترکیبی معمول در مخزن ماگمایی ارتباط داشته باشد تا به ورود ضربان‌های جدید ماگمایی به داخل مخزن.

پیروکسن در محصولات آتشفشانی منطقه، چه در انکلاوها و چه در اسکوری‌ها یا گدازه‌ها با ترکیب و اندازه مشابه یافت می‌شود. به طوری که ترکیب آن بین دو حد $\text{Wo}_{42.79}\text{En}_{43.17}\text{Fs}_{10.63}$ و $\text{Wo}_{47.10}\text{En}_{44.80}\text{Fs}_{6.34}$ در تغییر است. با وجود آنکه برخی نمونه‌های پیروکسن، منطقه‌بندی متحدالمرکز و ساعت شنی (شکل‌های ۴-ج و د) نشان می‌دهند؛ همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود تفاوت

جدول ۲. نتایج آنالیز میکروپروب شاخص کانی‌ها پیروکسن

SampleNo.	A2-5 (انکلاو)		A1-3-b (روانه گدازه)			A2-1 (روانه گدازه)			B1-2 (اسکوری)	
DataNo.	33/1 (c)	34/1 (r)	63/1 (c)	64/1 (c)	65/1 (r)	73/1 (c)	74/1 (m)	75/1 (r)	97/32	97/47
SiO ₂	53.00	53.62	52.08	51.08	51.99	53.45	52.69	52.92	52.03	49.98
TiO ₂	0.42	0.38	0.96	1.08	0.94	0.38	0.52	0.53	0.61	1.27
Al ₂ O ₃	2.18	1.40	3.83	4.42	3.39	1.99	2.00	1.70	2.71	3.81
Cr ₂ O ₃	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.11	0.02
FeO	6.60	5.30	4.22	5.43	5.36	5.01	5.47	5.03	3.92	6.61
MnO	0.22	0.17	0.09	0.11	0.08	0.14	0.10	0.15	0.13	0.11
MgO	15.44	15.93	15.34	14.50	15.06	16.06	16.19	16.31	15.97	14.46
CaO	21.30	22.37	22.95	22.20	21.94	22.38	21.68	21.38	23.37	22.48
Na ₂ O	0.94	0.52	0.52	0.72	0.67	0.49	0.53	0.55	0.48	0.65
K ₂ O	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
NiO	0.00	0.05	0.02	0.06	0.05	0.03	0.08	0.00	0.04	0.03
P ₂ O ₅	0.02	0.04	0.05	0.03	0.05	0.07	0.04	0.08	0.06	0.03
Total	100.18	99.87	100.10	99.66	99.57	100.02	99.35	98.76	99.44	99.52
Si	1.940	1.969	1.904	1.882	1.917	1.957	1.942	1.961	1.911	1.852
Ti	0.011	0.011	0.027	0.030	0.026	0.010	0.014	0.015	0.017	0.035
Al	0.094	0.061	0.165	0.192	0.147	0.086	0.087	0.074	0.117	0.166
Cr	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000
Fe(ii)	0.202	0.163	0.129	0.167	0.165	0.153	0.169	0.156	0.120	0.205
Mn	0.007	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003
Mg	0.843	0.872	0.836	0.797	0.828	0.876	0.890	0.901	0.874	0.799
Ca	0.835	0.880	0.899	0.876	0.866	0.878	0.856	0.848	0.919	0.892
Na	0.066	0.037	0.037	0.052	0.048	0.035	0.038	0.040	0.034	0.047
K	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Wo	44.41	45.95	48.23	47.61	46.58	46.04	44.70	44.51	48.04	47.05
En	44.84	45.54	44.85	43.32	44.54	45.94	46.48	47.30	45.69	42.14
Fs	10.74	8.51	6.92	9.08	8.88	8.02	8.83	8.19	6.27	10.81



شکل ۵. ترکیب شیمیایی فنوکریست‌های پیروکسن در نمونه‌های برداشت شده در نمودار طبقه‌بندی پیروکسن (Poldervaart and Hess, 1951)

آمفیبول

آمفیبول اگرچه در گدازه‌ها و اسکوری‌ها دیده می‌شود، ولی در انکلاوها به‌ویژه در گروهی از آنها (هورنبلندیت‌ها)، فراوان‌تر است. این کانی به دلیل داشتن $Mg\# < 0/6$ در زمره هورنبلندهای سرشار از منیزیم قرار می‌گیرد (جدول ۳) و چنانچه در شکل ۶ معلوم است ترکیب آن در تمام محصولات آتشفشانی از نوع ماگنزیوهایاستنگزیت و تا حدودی هاستنگزیت منیزیمی است.

جدول ۳. نتایج آنالیز میکروپروپ کانی‌ها شاخص هورنبلند

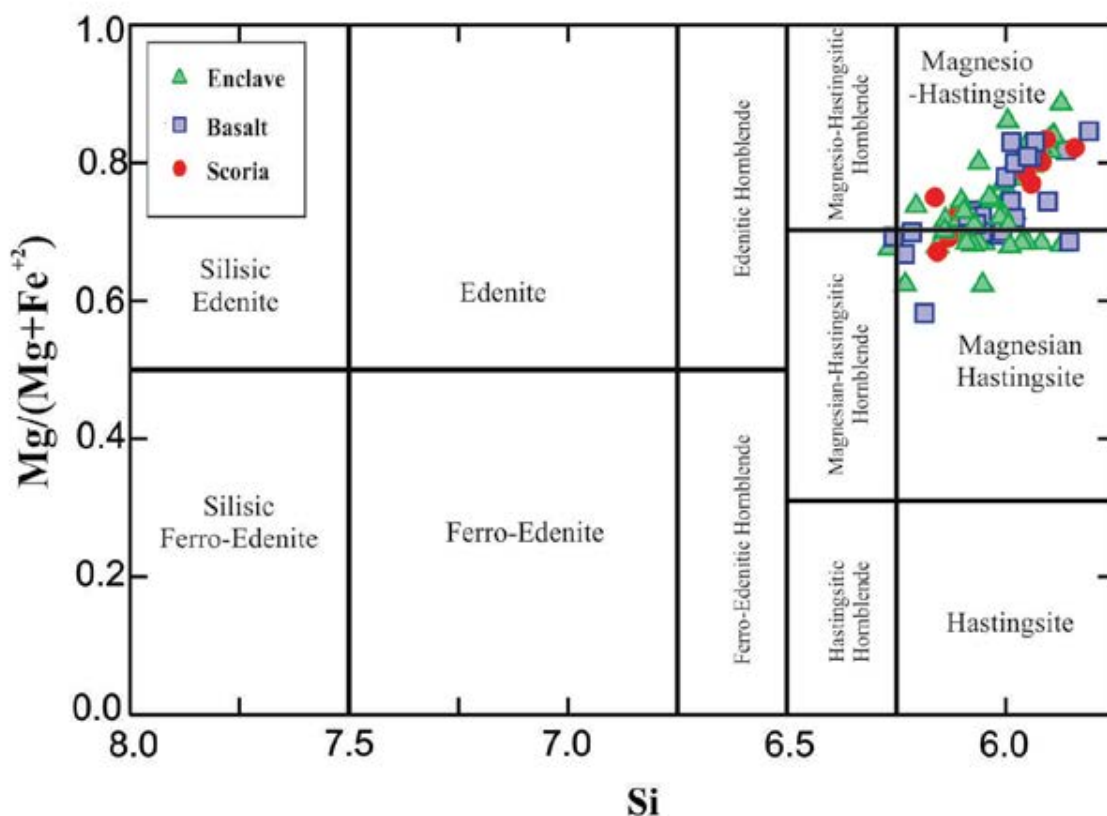
Sample No.	A2-5(enclave)		A2-11(enclave)		A2-17(enclave)		A2-1(basalt)	B1-2(scoria)	
DataNo.	26/1	39/1	40/1	45/1	91/1	92/1	96/62	97/22	97/31
SiO ₂	44.25	41.89	40.67	48.89	53.17	52.72	41.84	41.64	40.72
TiO ₂	2.28	3.01	3.24	1.02	1.04	1.47	3.63	3.94	1.15
Al ₂ O ₃	11.33	12.40	13.26	19.76	20.72	21.25	11.82	12.63	15.46
Cr ₂ O ₃	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03
FeO	7.91	11.97	10.10	7.15	4.51	6.20	10.20	25.16	4.22
MnO	0.13	0.13	0.08	0.21	0.14	0.13	0.15	0.31	0.10
MgO	16.66	13.46	14.04	2.03	1.05	1.41	12.93	2.66	3.40
CaO	11.28	10.80	11.66	7.07	4.09	4.21	10.08	2.07	15.75
Na ₂ O	3.22	2.79	2.56	7.83	4.11	6.48	3.98	3.15	6.51

ادامه جدول ۳

Sample No.	A2-5(enclave)		A2-11(enclave)		A2-17(enclave)		A2-1(basalt)	B1-2(scoria)	
	DataNo.	26/1	39/1	40/1	45/1	91/1	92/1	96/62	97/22
K ₂ O	1.10	1.30	1.70	3.28	5.49	3.07	1.67	4.92	2.10
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.00	0.50	0.34	0.35	0.13	0.66	8.75
NiO	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.10	0.01	0.00
F	0.28	0.31	0.23	0.02	0.22	0.08	0.59	0.43	0.54
Cl	0.01	0.01	0.00	0.06	0.22	0.09	0.01	0.02	0.08
Total	98.54	98.16	97.58	97.83	95.13	97.47	97.16	97.59	98.83
Si	6.327	6.120	5.994	6.998	7.554	7.332	6.257	6.595	6.515
Al iv	1.673	1.880	2.006	1.002	0.446	0.668	1.743	1.405	1.485
Al vi	0.236	0.255	0.297	2.331	3.024	2.815	0.341	0.953	1.430
Ti	0.245	0.331	0.359	0.109	0.111	0.154	0.408	0.469	0.139
Cr	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004
Fe ³⁺	0.396	0.552	0.256	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.550	0.910	0.988	0.856	0.536	0.721	1.276	3.332	0.564
Mn	0.016	0.016	0.010	0.025	0.017	0.015	0.018	0.042	0.014
Mg	3.550	2.931	3.084	0.433	0.222	0.292	2.882	0.629	0.811
Ni	0.003	0.004	0.005	0.002	0.003	0.001	0.012	0.001	0.000
Ca	1.728	1.690	1.842	1.084	0.622	0.628	1.616	0.351	2.700
Na	0.891	0.789	0.732	2.173	1.133	1.748	1.155	0.968	2.020
K	0.201	0.242	0.320	0.599	0.996	0.544	0.318	0.993	0.429
F	0.128	0.143	0.106	0.007	0.101	0.036	0.280	0.216	0.275
Cl	0.003	0.002	0.000	0.014	0.054	0.021	0.003	0.005	0.023
OH [*]	1.868	1.855	1.894	1.978	1.845	1.944	1.717	1.778	1.702
Total	17.820	17.721	17.893	17.612	16.664	16.919	18.029	17.738	18.111

۴-ه) که گاه کل بلور را نیز دربرمی‌گیرد (شکل ۴-و). نکته حائز اهمیت آن است که هورنبلندهای موجود در انکلاوها سالم‌تر از هورنبلندهای گدازه‌ها است (شکل ۳-ب) اگرچه ترکیب آنها تقریباً مشابه است (شکل ۶).

همانند بیشتر آمفیبول‌های سنگ آتشفشانی، این کانی نیز دارای حاشیه واکنشی اکسیداسیونی است که به دلیل حرارت زیاد گدازه، دچار اکسیداسیون و هیدروژن‌زدایی شده (Garcia and Jacobson, 1979) و با تبدیل Fe⁺² به Fe⁺³، محصولات واکنشی از نوع ماگنتیت در پیرامون آن تشکیل می‌شود (شکل



شکل ۶. ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های موجود در انکلاوها و سنگ‌های میزبان بر روی نمودار Si در برابر #Mg (Leake et al., 1997). چنانکه ملاحظه می‌شود آمفیبول‌های مورد مطالعه غالباً از نوع ماگنزیوهایستونیکزیت هستند

بیوتیت

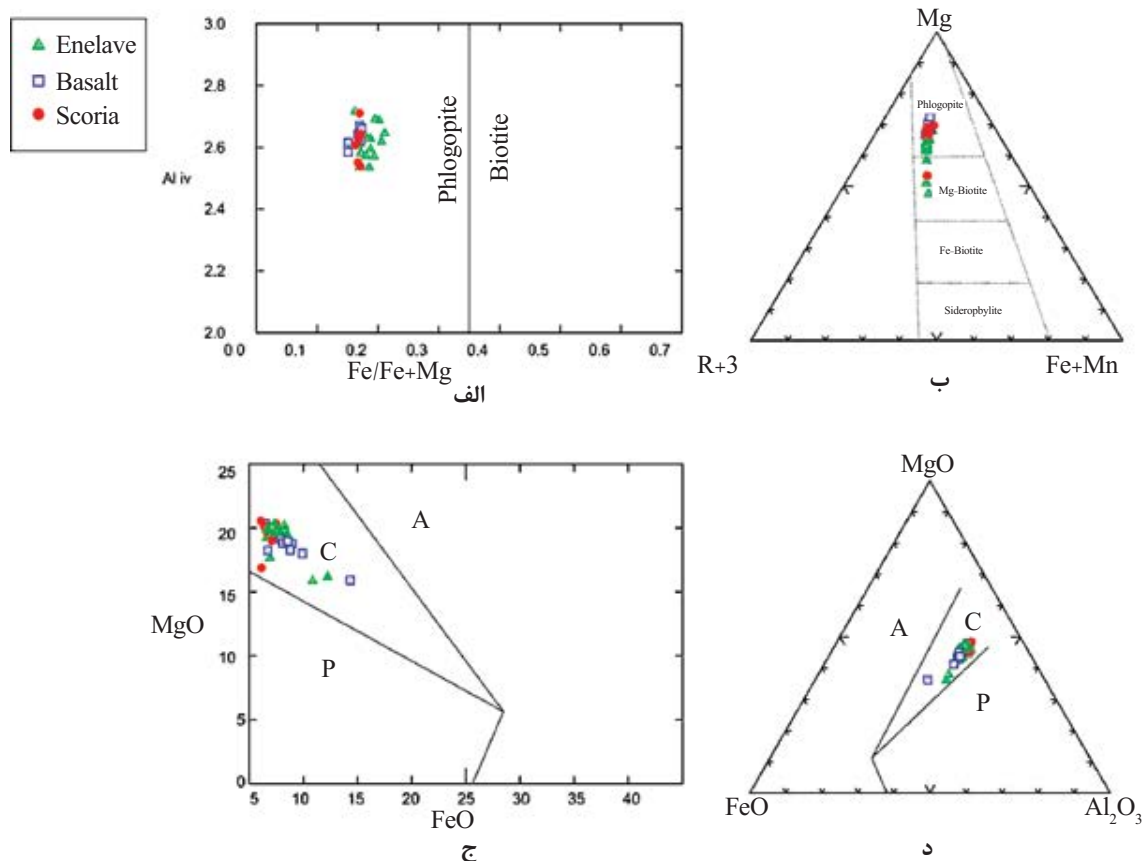
از دیگر سو قرارگیری ترکیبات این کانی در طبقه‌بندی (1994) Abdel-Rahman (شکل ۷) نشان می‌دهد که ماگمای تشکیل دهنده آن ترکیب کالک‌آلکان داشته است. همانند آمفیبول، این کانی نیز شواهد سوختگی (اپاسیتی شدن) و اکسیداسیون (شکل ۴-ز) به‌ویژه در گدازه‌ها و اسکوری‌ها را نشان می‌دهد. به‌علاوه انواع موجود در انکلاوها، سالم‌تر بوده و از دسترس اکسیداسیون ناشی از حرارت گدازه نسبتاً دور مانده‌اند (شکل ۳-ج).

ترکیب بیوتیت‌های نمونه‌های مورد مطالعه، بیشتر از نوع فلوگوپیت است (جدول ۴ و شکل ۷) و همانند سایر کانی‌ها مورد اشاره، ترکیبی مشابه در اسکوری‌ها، گدازه‌ها و انکلاوها دارند. با این حال در تقسیم‌بندی (1960) Foster، برخی از آنها به سمت Mg-بیوتیت نیز کشیده می‌شوند. با وجود مشاهده منطقه‌بندی در زیر میکروسکوپ (شکل ۴-ح)، داده‌های شیمیایی، سبک تغییرات خاصی را در باندهای مختلف این کانی نشان نمی‌دهد.

سارا ویسی و همکاران

جدول ۴. نتایج آنالیز میکروپروب کانی‌ها شاخص بیوتیت

Sample No.	A2-5 (انکلاو)			A2-11 (انکلاو)					A2-1 (بازالت)
	Data No.	16/1	17/1	18/1	82/1(c)	83/1(c)	84/1(c)	85/1(r)	
SiO ₂	37.86	38.62	38.03	37.00	36.86	37.81	35.82	37.25	38.11
TiO ₂	3.12	2.87	3.04	4.08	4.05	4.07	4.53	3.83	4.62
Al ₂ O ₃	15.80	15.30	15.66	16.40	16.15	15.91	16.41	16.14	13.98
FeO	8.21	8.22	8.39	8.55	8.38	8.77	12.24	8.97	23.00
MnO	0.04	0.07	0.08	0.06	0.02	0.07	0.08	0.07	0.43
MgO	19.84	20.19	19.58	19.01	19.36	18.94	16.17	18.84	1.89
CaO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.09	0.00	0.42
Na ₂ O	1.36	1.31	1.45	0.82	0.86	0.89	0.81	0.81	5.71
K ₂ O	8.02	8.45	8.18	8.74	8.66	8.68	8.39	8.68	4.64
F	0.31	0.37	0.32	0.62	0.44	0.73	0.49	0.51	0.20
Cl	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.06
Cr ₂ O ₃	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.10	0.12	0.12	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.16
Total	94.73	95.56	94.92	95.34	94.87	95.93	95.06	95.14	93.22
Si	5.406	5.465	5.431	5.313	5.310	5.383	5.268	5.354	5.903
Al iv	2.594	2.535	2.569	2.687	2.690	2.617	2.732	2.646	2.097
Al vi	0.066	0.016	0.067	0.089	0.051	0.052	0.113	0.088	0.455
Ti	0.335	0.305	0.327	0.441	0.438	0.435	0.501	0.414	0.538
Cr	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe	0.980	0.973	1.002	1.027	1.010	1.044	1.506	1.078	2.978
Mn	0.005	0.008	0.009	0.008	0.002	0.009	0.010	0.008	0.057
Mg	4.223	4.259	4.169	4.069	4.158	4.018	3.546	4.037	0.437
Ni	0.012	0.014	0.013	0.000	0.009	0.004	0.000	0.000	0.000
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li*	0.755	0.872	0.782	0.616	0.595	0.744	0.430	0.658	0.864
Ca	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.013	0.001	0.070
Na	0.376	0.360	0.401	0.228	0.240	0.246	0.230	0.227	1.715
K	1.461	1.524	1.490	1.601	1.592	1.576	1.575	1.591	0.917
OH*	3.862	3.830	3.851	3.715	3.798	3.667	3.769	3.764	3.888
F	0.138	0.164	0.145	0.284	0.198	0.330	0.226	0.233	0.098
Cl	0.000	0.006	0.004	0.001	0.004	0.003	0.005	0.003	0.015



شکل ۷. الف) نمودار رده‌بندی میکاها (Deer and et al., 1991) و ب) نمودار تفکیک انواع میکاها بر اساس ارتباط بین Mg ، Fe^{2+} (Mn^{2+}) و R^{3+} (Al, Fe^{3+}, Ti) (Foster, 1960) ج و د) موقعیت نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در نمودارهای تفکیک کننده‌ی ترکیب ماگما بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت (Abdel-Rahman, 1994)، علائم اختصاری عبارتند از: A- ماگماهای آلکان؛ C- ماگمای کالک‌آلکان؛ P- ماگمای پرآلومین

به‌خصوص آنکه در این گدازه‌ها، زینولیت‌های کوارتز نیز دیده می‌شوند.

از سوی دیگر، با نادیده انگاشتن فرضیه اخیر، ترکیب شیمیایی این فلدسپارها در بازه $An_{18.02-35.40}$ قرار می‌گیرد که با ترکیب شیمیایی کل سنگ‌های بازالتی مورد بحث (48 - 45% SiO_2) اصلاً سازگاری ندارد.

بحث

در شمال قروه، چند مخروط اسکوری وجود دارد که ساختار آنها تقریباً به‌طور یکسان از قطعات پرتابی اسکوری، بمب‌های آتشفشانی و روانه گدازه‌های

فلدسپار

در گدازه‌ها و اسکوری‌ها، دو نسل فلدسپار دیده می‌شود: یکی به‌صورت میکروولیت‌های تازه در بین فنوکریست‌های مافیک و دیگری به‌صورت درشت بلور. گونه اخیر به‌صورت خورده‌شده و تحلیل‌رفته (شکل ۳- الف) ظاهر می‌شود که شباهت زیادی به فلدسپارهای موجود در زینولیت‌های گنیسی دارد. از آنجا که تجزیه شیمیایی انواع اخیر، نتایج صحیحی را به‌دست نداده است (مقدار کل آنالیزها کمتر از ۱۰۰)، به‌نظر می‌رسد از پراکندگی کانی‌ها زینولیت‌های گنیسی و سپس عدم تعادل شیمیایی در اثر حرارت گدازه ایجاد شده باشند.

سارا ویسی و همکاران

حداقل از اعماق پی‌سنگ پوسته زیرین منطقه است که پس از کنده شدن، تحت تأثیر حرارت بالای گدازه، مضمحل و از هم پاشیده شده‌اند.

اما در مورد انکلاوهای گروه دوم که حاوی مقادیر زیادی کانی‌ها درشت مافیک آبدار (هورنبلند و بیوتیت) و بی‌آب (الیوین و پیروکسن) و مقادیر بسیار کمی پلاژیوکلاز هستند، برخی از محققین را به این سو سوق داده است که شاید قطعاتی از گوشته هستند که همانند گروه اول توسط فوران‌های آتشفشانی به سطح زمین منتقل شده‌اند و به همین دلیل، آنها را زینولیت‌های اولترامافیک گوشته‌ای معرفی کرده‌اند (گرد، ۱۳۹۱). ولی داده‌های شیمی کانی‌ها در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که کانی‌ها مورد اشاره در انکلاوهای مزبور کاملاً همانند کانی‌ها موجود در پرتابه‌های اسکوری، بمب‌های آتشفشانی و حتی روانه‌های گدازه هستند. با این تفاوت که فراوانی و اندازه آنها بیشتر است. به همین دلیل، در این مطالعه، ما آنها را به سه گروه میکا-آپاتیت-هورنبلند (MAH)، میکا-آپاتیت-الیوین (MAO) و هورنبلند-آپاتیت-پیروکسن (HAP) تقسیم کرده‌ایم.

برای بررسی ایده همانندی یا غیرهمانندی ترکیبی کانی‌ها انکلاوها با کانی‌ها گدازه‌ها و اسکوری‌ها، آنها را مورد تجزیه شیمیایی قرار داده (جداول ۱ تا ۳) و در نمودارهای مرتبط نشان داده شده است (شکل‌های ۵ و ۶ و ۷). چنانکه ملاحظه می‌شود، کانی‌ها مزبور در تمامی واحدهای مورد اشاره، ترکیب شیمیایی یکسانی دارند و به همین دلیل آنها را باید کومولاهایی (یا انباشته بلورهای) دانست که ضمن سقوط و ته‌نشینی به کف مخزن ماگمایی، رشد کرده و درشت‌تر شده‌اند و آنگاه با فوران‌های شدید و پرسرعت بعدی، به سطح زمین آورده شده‌اند.

نکته قابل ملاحظه دیگر، آن است که تمام کانی‌ها مافیک نمونه‌ها، مربوط به اعضای پرمینیزیم محلول‌های

همجنس ساخته شده است. علیرغم فقدان شواهد سنسنجی رادیومتری، نظر به قرارگیری این مخروط‌ها بر روی سری رسوبات منتسب به سازند قرمز فوقانی (حسینی، ۱۳۷۸)، سن این مخروط‌ها به زمان پلیوسن و یا جدیدتر از آن نسبت داده می‌شود.

از نظر روابط چینه‌شناسی آتشفشانی، مخروط‌های آتشفشانی شمال قروه، از سه رخساره آذرآواری‌های پامیسی، نهشته‌های ریزشی اسکوری و روانه گدازه‌های بازالتی ساخته شده‌اند. به نظر می‌رسد که پیروکلاست‌های پامیسی با داشتن چینه‌بندی داخلی، بافت شبه اوتاکسیتی و درجات مختلف جوش خوردگی، حاصل ته‌نشینی از بهمن پرگازی باشند که طی نشت کردن و رانده شدن از قاعده ستون فورانی مخروط کوه قرینه، به سمت غرب و جنوب‌غربی حرکت کرده و پس از خزیدن و اقامت در گودال‌های توپوگرافی، به همدیگر جوش خورده‌اند. منتهی به دلیل جوان بودن محصولات آتشفشانی و عدم تحمل دیاژنز ناشی از رسوبات رویین، فاقد جوش خوردگی قابل توجه است.

این روانه‌های آذرآواری، توسط حجم قابل توجهی از پرتابه‌های اسکوری و مقادیر کمتری روانه گدازه‌های هم ترکیب، که حجم اصلی مخروط‌ها را نیز تشکیل می‌دهند، پوشیده می‌شوند. بافت پرحفره قطعات، جورشدگی نسبتاً خوب و ترکیب بازالتی، مهمترین ویژگی صحرایی آنها به‌شمار می‌رود.

در داخل قطعات پرتابی اسکوری کوه قرینه (قزلجه کند)، انکلاوهایی مشاهده می‌شود که بنا به نظر بیشتر محققین (از جمله معین وزیری، ۱۳۷۷؛ درویش‌زاده و شهبازی، ۱۳۸۸ و گرد، ۱۳۹۱) به دو گروه زینولیت‌های گنیسی (پوسته‌ای) و زینولیت‌های مافیک (گوشته‌ای) قابل تقسیم هستند. بافت مشخص گنیسی در انکلاوهای گروه اول، که خود حاصل تناوب کانی‌ها تیره و روشن است، بدون تردید منشأ پوسته‌ای آنها را تأیید می‌کند و از اینرو می‌توان اظهار داشت که منشأ این آتشفشان‌ها،

موجود در کومولاها، کمتر از کانی‌ها هورنبلند و بیوتیت دچار چنین تغییرات ساب‌سالییدوسی شده‌اند، می‌توان کومولاهای مافیک را به صورت بسته‌ها یا لخته‌هایی در داخل ماگمای در حال صعود سریع در نظر گرفت که اکسیداسیون طی فوران، تأثیر کمتری بر آنها داشته است.

۳. به علت شباهت بافتی و شیمیایی کانی‌ها انکلاوهای مافیک با کانی‌ها گدازه‌ها و اسکوری‌ها، باید آنها را کومولاهایی دانست که پس از سقوط به کف آشیانه و رشد و نمو در شرایط سرشار از مواد فرار، توسط فوران‌های انفجاری پرشدت و پرسرعت بعدی، به سطح زمین آورده شده‌اند.

۴. همراهی کانی‌ها مافیک آبدار و بی‌آب در اسکوری‌ها و گدازه‌ها، دلالت بر وقوع فرآیند متاسوماتیسم گوشته و تأثیر آن بر ذوب بخشی گوشته دارد.

منابع

- حسینی، م.، ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش قروه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع. و شهبازی، ح.، ۱۳۸۸. رده‌بندی ژنتیکی انکلاوهای استراتوولکان قزلجه‌کند، شمال شرق قروه، غرب ایران. فصلنامه تخصصی زمین و منابع، ۲، ۴۵-۵۹.
- کرد، م.، ۱۳۹۱. مطالعه پترولوژیکی انکلاوهای گنیسی و اولترامافیکی شمال شرق قروه- کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا. ۱۳۹.
- معین‌وزیری، ح.، ۱۳۷۷. پتروگرافی و ژئوشیمی گزنولیت‌های اولترامافیک بازالت‌های جوان ایران: مثال‌هایی از شبه جزیره سارای، منطقه بیجار- قروه، دماوند و قلعه حسنعلی راین، دومین همایش زمین‌شناسی ایران، ۴۶۵-۴۶۸.

جامد کانی‌ها هستند. به طوری که الیوین‌ها دارای ترکیب $Fe_{79.05-82.80}$ ، هورنبلندها از نوع ماگنزیوهایستنگزیت ($Mg\# > 0.6$) و بیوتیت‌ها بیشتر از نوع فلوگوپیت هستند. به همین دلیل، منشأ گوشته‌ای نه فقط برای کومولاها، بلکه برای کل ماگمای سازنده مخروط‌ها تأیید و بسط داده می‌شود.

بالاخره فراوانی بیشتر کانی‌ها مافیک نسبت به کانی‌ها فلسیک و نیز همراهی کانی‌ها مافیک بی‌آب (الیوین و پیروکسن) و آبدار (هورنبلند و بیوتیت) در کنار هم را فقط می‌توان با فرآیند متاسوماتیسم مواد فرار در محل تشکیل ماگما (احتمالاً گوشته بالایی) تفسیر کرد که موجبات تشکیل هورنبلندها و بیوتیت‌های منیزیمی و نیز فلوئورآپاتیت را فراهم کرده است.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های چینه‌شناسی آتشفشانی، سنگ‌شناسی توصیفی و داده‌های شیمی کانی‌ها در مورد آتشفشان‌های جوان شمال قروه، نتایج مهم زیر را به دست داده است:

۱. مخروط‌های اسکوری مورد بحث همانند سایر مخروط‌های اسکوری، حاصل فوران‌های نوع استرومبولی هستند که در آنها مقدار زیادی قطعات لاپیلی و بمب و مقدار کمی ابرهای خاکستر متلاطم تولید می‌شود.
۲. وجود انکلاوهای مافیک و فلسیک در داخل قطعات اسکوری و روانه‌های گدازه پرحفره، ضمن آنکه حکایت از منشأ عمیق گوشته‌ای ماگمای سازنده دارد، بر حرکت سریع ماگما به سطح زمین نیز دلالت دارد که از طریق مواجه شدن با شکستگی‌های عمیق پی‌سنگی نیز تسهیل شده است. از آنجاکه طبق نظر محققین مختلف حاشیه‌های اپاسیتی پیرامون هورنبلند و بیوتیت، حاصل فرآیند اکسیداسیون و هیدروژن‌زدایی به هنگام فوران هستند و کانی‌ها هورنبلند و بیوتیت

- Garcia, M.O., and Jacobson, S.S., 1979. Crystal clots, amphibole fraction and the evolution of calc-alkaline magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 319-327.
- Halsor, S.P., 1989. Large glass inclusions in plagioclase phenocrysts and their bearing on the origin of mixed andesitic lavas at Toliman Volcano, Guatemala. *Bulletin of Volcanology*, 51, 271-280.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphibole: Report of the subcommittee on amphibole of the international mineralogical association, commission on new mineral and mineral name. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- McCanta, M.C., Rutherford, M.J. and Hammer, J.E., 2007. Pre-eruptive and syn-eruptive conditions in the Black Butte, California dacite: Insight into crystallization kinetics in a silicic magma system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 160, 263-284.
- Nelson, S.T. and Montana, A., 1992. Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77, 1242-1249.
- Poldervaart, A. and Hess, H.H., 1951. Pyroxene in the crystallization of basaltic magma. *Journal of Geology*, 59, 472-489.
- Rutherford, M.J. and Devine, J.D., 2003. Magmatic conditions and magma ascent as indicated by hornblende phase equilibrium. *Journal of Petrology*, 44, 139-160.
- حق‌نظر، ش. و ملکوتیان، س.، ۱۳۹۰. خصوصیات منشأ گوشته‌ای آکالی الیوین بازالت‌های کواترنری منطقه قروه- تکاب. *پترولوژی*، ۶، ۳۰-۱۴.
- Abdel-Rahman, A., 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, 35, 525-541.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987. *Volcanic Succession: Modern and Ancient*. Allen and Unwin, London, 528.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1991. *An Introduction to Rock Forming Minerals*. Longman, 528.
- Dungan, M.A. and Rhodes, J.M., 1978. Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSDP Legs 45 and 46: evidence from magma mixing. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 67, 417-431.
- Donaldson, C.H., 1976. An experimental study of olivine morphology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 57, 187-213.
- Faure, F., Trolliard, G., Nicollet, C., and Montel, J.M., 2003. A developmental model of olivine morphology as a function of the cooling rate and the degree of undercooling. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 145, 251-263.
- Faure, F., 2001. Les textures de croissance rapide dans les roches magmatiques basiques et ultrabasiqes: etude experimentale et nanoscopique. *Thèse Université Clermont-Ferrand*.
- Foster, M., 1960. Interpretation of the composition of Trioctahedral Micas. *Geological Survey Professional*, paper 354-B.
- Francis, P., 1993. *Volcanoes, A Planetary Perspective*. Oxford University Press, New York. 443.

libria and reactions in the 1995-2002 Soufrière Hills mgma. *Journal of Petrology*, 44, 1433-1454.

- Troll, V.R., Donaldson, C.H. and Emeleus, C.H., 2004. Pre- eruptive magma mixing in ash- flow deposits of the Tertiary Rum Igneous Center, Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147, 722-739.

- Tsuchiyama, A., 1985. Dissolution ki-

netics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89, 1-16.

- Valentine, G.A. and Gregg, T.K.P., 2008. Continental basaltic volcanoes- Processes and problems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177, 857-873.