

پتروگرافی و شیمی کانی سنگ‌های ولکانیک ائوسن بلوک پشت‌بادام

زهرا قره چاهی، قدرت ترابی * و محمد سیاری
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

سنگ‌های ولکانیک ائوسن بلوک پشت‌بادام در مناطق ساغند (کوه خشومی)، الله‌آباد و چاپدونی (استان یزد) رخنمون‌های بسیار خوبی دارند. این سنگ‌ها در پنج فاز ولکانیسم متفاوت به وجود آمده‌اند که عبارتند از: ۱- در منطقه الله‌آباد که سه فاز ولکانیسم متفاوت وجود دارد: ۱-۱: فاز نقطه‌ای (مرکزی) آندزیتی، ۱-۲: فاز خطی اول با ترکیب آندزیت و ۱-۳: فاز خطی دوم با ترکیب آندزیت‌بازالتی. ۲- سنگ‌های آندزیت تا آندزیت‌بازالتی منطقه چاپدونی. ۳- سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی تنها در منطقه ساغند شواهد آرایش به خوبی مشخص و گویای سرعت اندک صعود ماگما در این ناحیه است. کمترین حجم سنگ‌های ولکانیک ائوسن، در منطقه الله‌آباد رخنمون دارد که طی یک فاز نقطه‌ای و دو فاز خطی به وجود آمده‌اند. همچنین، بیشترین حجم سنگ‌های ولکانیک ائوسن بلوک پشت‌بادام در منطقه چاپدونی دیده می‌شود که نشانه فعالیت شدید گسل چاپدونی است. مشاهده نشدن شواهد آرایش در بررسی‌های صحرایی سنگ‌های مناطق الله‌آباد و چاپدونی بیانگر سرعت بیشتر صعود ماگما در این مناطق نسبت به منطقه ساغند است. شواهدی مانند وجود زنولیت‌ها و زونوکریست‌ها، تشکیل کلینوپیروکسن‌های ریز اطراف زونوکریست‌های کوارتز، وجود بافت‌های غربالی و آنتی‌راپاکیوی، خوردگی خلیجی کوارتزها و همچنین، منطقه‌بندی نوسانی پلاژیوکلازها، رخداد آرایش در منطقه ساغند (کوه خشومی) را تأیید می‌کند. بررسی شیمی کلینوپیروکسن‌ها و بیوتیت‌ها نشان از شباهت این سنگ‌ها به سنگ‌های کالک آلکالن قوس‌های آتشفشانی قاره‌ای دارد.

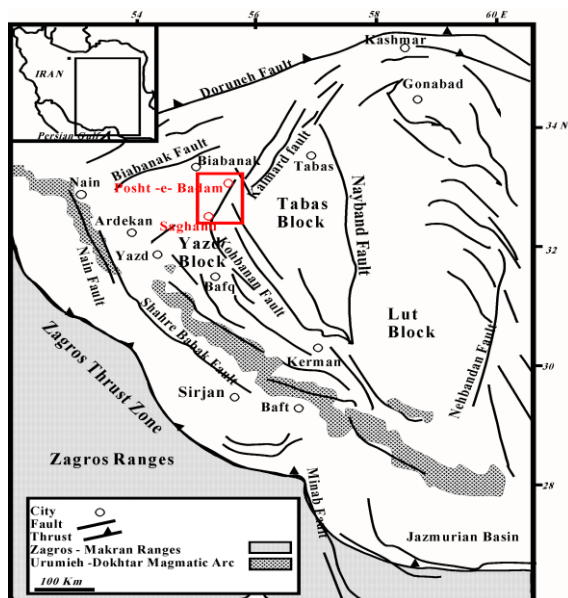
واژه‌های کلیدی: آرایش ماگمایی، سنگ‌های ولکانیک ائوسن، الله‌آباد، چاپدونی، ساغند، کوه خشومی، بلوک پشت‌بادام

مقدمه

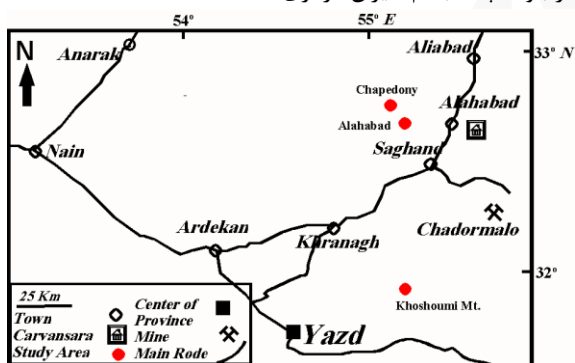
گسترده ترکیبی از تحت اشباع تا فوق اشباع بوده، بیشتر به سری‌های ماگمایی کالک آلکالن تا شوشونیتی متعلق هستند. در این میان به سنگ‌های موجود در پهنه ارومیه-دختر و البرز توجه بیشتری شده، جنبه‌های مختلف آنها توسط افراد زیادی از نظر سنگ‌شناسی بررسی شده است.

بی‌شک، گسترده‌ترین فعالیت‌های ولکانیک ایران در زمان ائوسن رخ داده است و آثار این تکاپوها را می‌توان در تمام بخش‌های ایران به غیر از زاگرس و کپه داغ مشاهده نمود (Aghanabati, 2006). سنگ‌های ولکانیک ائوسن دارای طیف

تنها وجود آنها توسط Haghypour (۱۹۷۴)، Ramezani و Tucker (۲۰۰۳) و Verdel (۲۰۰۹) گزارش شده است. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی پتروگرافی و شیمی کانی سنگ های ولکانیک ائوسن بلوک پشت بادام است.



شکل ۱- موقعیت سنگ‌های ولکانیک ائوسن بررسی شده در بلوک پشت‌بادام- ایران مرکزی (Nadimi, 2007)



شکل ۲- نحوه دسترسی به سنگ‌های ولکانیک بلوک پشت‌بادام (مناطق الله‌آباد، چاپدونی و ساغند)

زمین‌شناسی عمومی

سنگ های ولکانیک ائوسن بررسی شده در این پژوهش، در غرب خرد قاره شرق ایران مرکزی قرار دارند. خرد قاره شرق ایران مرکزی توسط گسل‌ها به سه بلوک اصلی (از شرق به غرب) لوت، طبس (کرمان) و یزد (نایین) تقسیم می‌شود

اما ولکانیک‌های ائوسن موجود در بخش‌های میانی و شرقی بلوک شرق ایران مرکزی کمتر بررسی شده‌اند.

سنگ‌های ولکانیک ائوسن بلوک پشت‌بادام (شکل ۱) با ترکیب آندزیت‌بازالتی و آندزیت در شمال شرق استان یزد (نواحی الله‌آباد، چاپدونی و کوه خشومی) رخنمون دارند. در این میان، سنگ‌های آندزیتی بیشترین فراوانی را دارند. این منطقه در تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزئی از خرد قاره شرق ایران مرکزی و در حاشیه غربی بلوک پشت‌بادام است. بر اساس منابع موجود، سنگ‌های دگرگونی ناحیه ساغند-پشت‌بادام و تشکیلات چاپدونی با سن پرکامبرین (۲۳۸۲ میلیون سال پیش) به عنوان پی سنگ این ناحیه در نظر گرفته شده‌اند (Haghypour, 1974; Nadimi, 2007). بر اساس داده‌های به دست آمده از روش U-Pb زیرکن موجود در گنایس تشکیلات چاپدونی، سن سنگ‌های تشکیل‌دهنده این بلوک از پرکامبرین تا ائوسن در نظر گرفته شده است (Ramezani and Tucker, 2003). با روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ بر روی یک نمونه بیوتیت از سنگ‌های ولکانیک ائوسن مورد بررسی در کوه خشومی منطقه ساغند سنی معادل 41 ± 2 میلیون سال را برای این سنگ‌ها در نظر گرفته‌اند که بیانگر تعلق این سنگ‌ها به ائوسن بالایی است (Verdel et al., 2007).

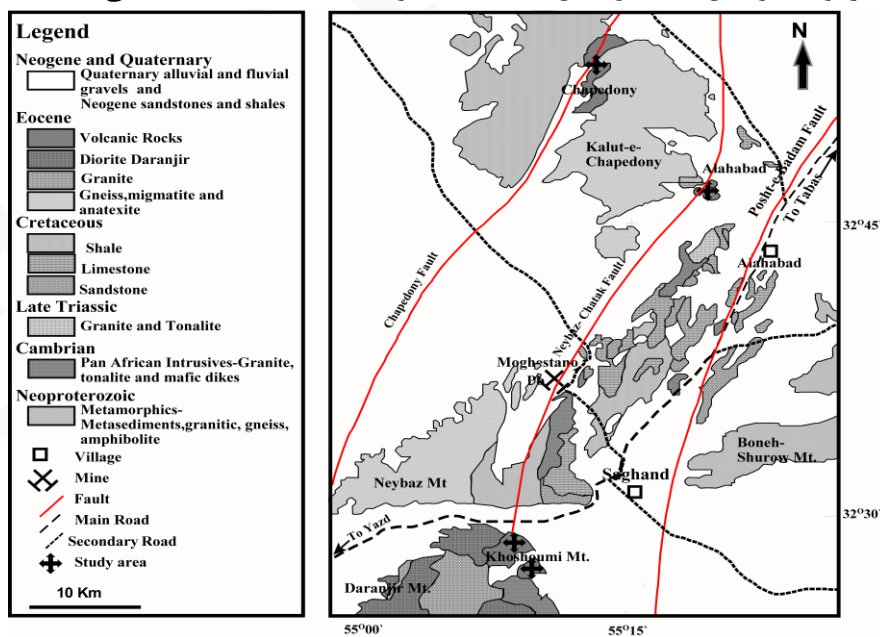
دسترسی به مناطق فوق با مختصات طول جغرافیایی $55^{\circ}00'$ تا $55^{\circ}30'$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ}15'$ تا $33^{\circ}00'$ شمالی از راه جاده آسفالتی یزد (اردکان-خرانق-ساغند) پشت‌بادام و سپس، راه‌های خاکی منتهی به مناطق، امکان‌پذیر است (شکل ۲).

سنگ‌های ولکانیک بررسی شده در این پژوهش، در گذشته از نظر پتروگرافی و پتروولوژی بررسی نشده‌اند و

ائوسن و کرتاسه قرار دارد (Kargarabafghi *et al.*, 2010) و Ramezani *et al.* (۲۰۰۳) بلوک پشت‌بادام را به سه واحد تقسیم کردند: ۱- منطقه شرقی، ۲- منطقه مرکزی و ۳- منطقه غربی. منطقه شرقی و مرکزی توسط گسل پشت‌بادام در کنار هم قرار گرفته‌اند در حالی که مناطق مرکزی و غرب توسط گسل نی‌باز و چاتک از هم جدا شده‌اند. سنگ‌های مناطق مرکزی و شرق شامل سنگ‌هایی به سن کامبرین تا نئوژن هستند. منطقه شرقی شامل سنگ‌های دگرگونی متبلور شده، گنایس‌های فلسیک، آمفیبولیت و مرمر است. سنگ‌های نفوذی و خروجی به سن پرکامبرین زیرین و تریاس بالا در منطقه مرکزی قرار دارند. منطقه غربی به زمان ائوسن تعلق دارد و شامل سنگ‌های دگرگونی و نفوذی‌های میگماتیته هستند.

(Aghanabati, 2006) مناطق بررسی شده در پژوهش حاضر، در محدوده بین بلوک طبس و یزد (بلوک پشت‌بادام) قرار دارند (شکل ۳). از این مناطق دو گسل لغزشی، به نام چاپدون و پشت‌بادام عبور کرده است (Verdel, 2009). گسل پشت‌بادام از گسل‌های قدیمی (پرکامبرین)، ژرف و خمیده ایران مرکزی است که در ایجاد فراپوم، فروپوم‌ها و تفکیک رخساره‌های ناحیه پشت‌بادام نقش داشته است و بر اساس بررسی‌های انجام شده، طول آن ۱۰۰ کیلومتر برآورد شده است. شواهد نشان می‌دهد که گسل پشت‌بادام راستگرد بوده، دارای روند NNE-SSW است (Kargarabafghi *et al.*, 2010). گسل چاپدون با ۷۰ کیلومتر درازا، روند NNE-SSW دارد. این گسل، جداکننده سنگ‌های دگرگون و غیر دگرگونه ائوسن است و بین سنگ‌های ولکانیک

شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ساده شده بلوک پشت‌بادام (مناطق الله‌آباد، چاپدون و ساغد)



۱- منطقه الله‌آباد: سنگ‌های ولکانیک ائوسن موجود در این منطقه طی سه فاز ولکانیسم متفاوت به وجود آمده‌اند که شامل: ۱-۱: فاز نقطه‌ای (مرکزی) با دگرسانی از نوع هماتیته

سنگ‌های ولکانیک ائوسن بررسی شده (شکل ۳) در بلوک پشت‌بادام طی پنج فاز ولکانیسم متفاوت به وجود آمده‌اند که عبارتند از: (Verdel, 2009; Haghipour, 1974)

چشم غیر مسلح مشاهده می‌شود. این دو فاز خطی در منطقه الله آباد، تقریباً بر هم عمودند و از روند گسل‌های موجود در منطقه پیروی می‌کنند (شکل ۴).



شدن. ۱-۲: فاز خطی اول با روند NW-SE. ۱-۳: فاز خطی دوم با روند NE-SW که نسبت به فاز خطی اول دارای حجم کمتر و دگرسانی (کلریتی شدن و کلسیتی شدن) بیشتر، به حدی که با



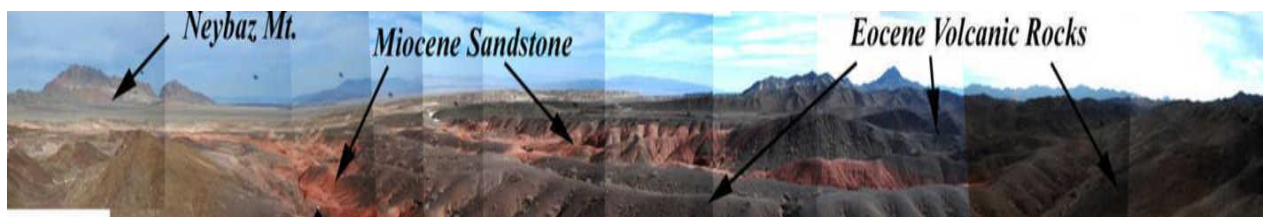
شکل ۴- تصاویر صحرایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه الله آباد. (A) سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در فازهای خطی اول و دوم منطقه الله آباد (دید به سمت شمال شرق)، (B) سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در فاز نقطه‌ای (مرکزی) منطقه الله آباد (دید به سمت جنوب)

سنگ‌های ولکانیک این منطقه در کوه خشومی قرار دارند. آلتراسیون تحمیل شده بر سنگ‌های این منطقه، از نوع هماتیتی شدن، کربناتی شدن و آرژیلیتی شدن است. سنگ‌های ولکانیک ائوسن این منطقه با دگرشیبی خفیف توسط ماسه سنگ‌های قرمز رنگ میوسن پوشیده شده‌اند (Haghipour, 1974).

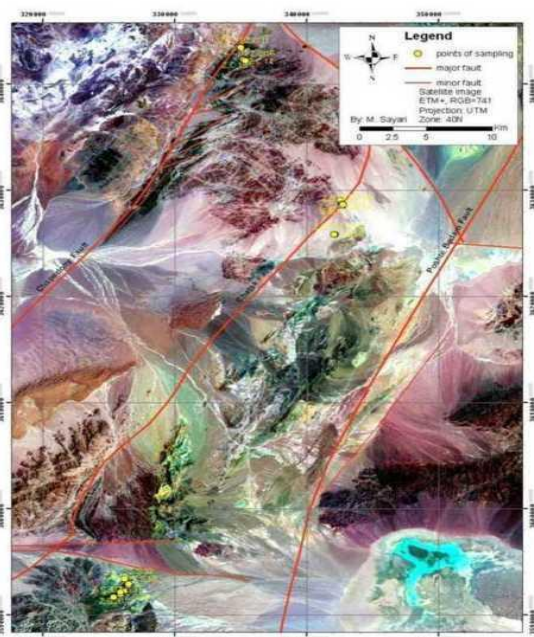
۲- منطقه چاپدونی (شکل ۵): سنگ‌های ولکانیک ائوسن این ناحیه در نزدیکی گسل فعال چاپدونی قرار دارند که به دلیل فعالیت بسیار شدید این گسل، به شدت خرد و دگرسان شده‌اند. آثار فعالیت گسل چاپدونی در برشی شدن، هماتیتی شدن و کربناتی شدن سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود. ۳- منطقه ساغند (شکل ۶):



شکل ۵- نمای کلی سنگ‌های ولکانیک ائوسن منطقه چاپدونی (دید به سمت شمال غرب)



شکل ۶- نمای کلی سنگ‌های ولکانیک ائوسن و ماسه سنگ‌های میوسن منطقه ساغند (کوه نی‌باز و خشومی) (دید به سمت شمال غرب)



شکل ۷- تصویر سنجنده TM ماهواره لندست با رنگ کاذب حاصل از ترکیب باند RGB=741.

روش انجام کار

بررسی‌های کتابخانه‌ای، جمع‌آوری مطالب مرتبط با موضوع و سپس بررسی‌های صحرایی آغاز شد. در بررسی‌های صحرایی، تعداد ۹۰ نمونه برداشته و از بین آنها ۵۰ نمونه جهت تهیه مقطع نازک و نازک-صیقلی انتخاب شدند. بررسی‌های پتروگرافی با میکروسکوپ مدل OLYMPUS-BH2 انجام شد. تعدادی از کانی‌ها برای تعیین ترکیب و محاسبه فرمول ساختمانی، در دانشگاه کانزاس‌اوای ژاپن، به وسیله دستگاه الکترون مایکروپروب JEOL مدل (WDS) JXA-8800 با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ V و جریان ۱۲ nA تحلیل شدند. فرمول ساختمانی کانی‌ها، با استفاده از داده‌های تحلیل مایکروپروب توسط نرم‌افزار Minpet 2.02 محاسبه شد. تفکیک آهن ۲ و ۳ با روش Droop (۱۹۸۷) انجام شده است. علایم اختصاری موجود در تصویرهای میکروسکوپی نیز برگرفته از Kretz (۱۹۸۳) است. میزان Mg# و

از بین مناطق بررسی شده در این پژوهش، تنها در منطقه ساغند شواهد آرایش (حضور آنکلاو) در مقیاس صحرایی به چشم می‌خورد. با توجه به این که بهترین شواهد آرایش در مقیاس میکروسکوپی نیز در منطقه ساغند دیده می‌شود (توضیح در بخش بعدی)، شاید سرعت صعود ماگما به سطح در این منطقه نسبت به دیگر مناطق کمتر است. بنابراین، ماگما زمان کافی برای آرایش با سنگ‌های دیواره در اختیار داشته است. در شکل ۷ نقشه‌ای از تصویر ماهواره‌ای مناطق مورد بررسی نشان داده شده است. این تصویر حاصل پردازش داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست، با رنگ کاذب حاصل از ترکیب باند RGB=741 است. گسل‌های اصلی و تا حدی فرعی منطقه و همچنین، محل‌های نمونه‌برداری به صورت دایره‌هایی در تصویر مشخص شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی بررسی شده در این ترکیب باند، به رنگ سبز تیره قابل تمایز از لیتولوژی همراه هستند. همان طور که در شکل ۷ مشخص است، در امتداد گسل چاپدونی حجم در خور توجهی از سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی رخنمون دارد. طول رخنمون این سنگ‌های آتشفشانی در امتداد گسل چاپدونی به ۲۰ کیلومتر می‌رسد. وجود بیشترین حجم سنگ ولکانیک در منطقه چاپدونی و نبود شواهد آرایش در مقیاس ماکروسکوپی، بیانگر سرعت بالای صعود ماگما به سطح و ارتباط مؤثر فعالیت این گسل در ولکانیسم این منطقه است. نقاط نمونه‌برداری و گسل‌های اصلی و تا حدی فرعی منطقه روی تصویر نشان داده شده است. نمونه‌های مربوط به منطقه چاپدونی در قسمت بالا، نمونه‌های مربوط به منطقه الله‌آباد در میانه و نمونه‌های مربوط به منطقه ساغند در بخش پایینی تصویر مشخص هستند.

نمونه دستی تیره رنگ هستند و بافت‌های پورفیری و گلومروپورفیری در آنها به خوبی مشخص است. این سنگ‌ها از نظر پتروگرافی، آندزیت‌بازالتی بوده و بافت‌های اصلی آنها پورفیری و گلومروپورفیری (شکل ۸-B) و بافت‌های فرعی آنها غربالی و پویی کلیتیک است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، الیوین کلریتی و سانیدین، کانی فرعی آنها اسفن و کانی‌های ثانویه این فاز خطی کلریت، کلسیت و هماتیت هستند. الیوین‌های کلریتی و پلاژیوکلاز فنوکریست‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها است. زمینه سنگ نیز بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین و مقادیر اندکی کلریت، کلسیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده، آلتراسیون تحمیل شده بر این فاز، از نوع کربناتی شدن (بسیار زیاد) و کلریتی شدن است.

۱-۳: سنگ‌های ولکانیک ائوسن فاز نقطه‌ای منطقه الله‌آباد

سنگ‌های ولکانیک این فاز نقطه‌ای نیز، در منطقه ساخت توده‌ای دارند. این سنگ‌ها در نمونه دستی تیره رنگ و بافت‌های پورفیری و جریان‌ی در آنها به خوبی مشخص است. از لحاظ ویژگی‌های پتروگرافی، این سنگ‌ها در محدوده آندزیت‌ها قرار می‌گیرند. بافت‌های اصلی این سنگ‌های ولکانیک، پورفیری و جریان‌ی و بافت‌های فرعی آنها غربالی و آنتی‌راپاکیوی است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، آمفیبول، سانیدین و کوارتز، کانی فرعی موجود در این فاز مگنتیت و کانی‌های ثانویه آن کلریت، کلسیت و هماتیت هستند. زمینه سنگ نیز، بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، سانیدین، مقادیر اندکی کلریت، کوارتز، کلسیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده است (شکل ۸-C). در این سنگ‌ها فنوکریست‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز ۲۵ تا ۵۰ درصد سنگ را به خود

Fe# در کانی‌ها توسط فرمول‌های زیر محاسبه شده است:

$$\text{Mg\#} = \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$$

$$\text{Fe\#} = \text{Fe}^{2+} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$$

پتروگرافی

سنگ‌های ولکانیک ائوسن منطقه الله‌آباد:

۱-۱: سنگ‌های ولکانیک ائوسن فاز خطی اول منطقه الله‌آباد با روند NW-SE

سنگ‌های ولکانیک این فاز خطی ساخت توده‌ای دارند. این سنگ‌ها در نمونه دستی روشن بوده و بافت پورفیری در آنها به خوبی نمایان است. سنگ‌های ولکانیک این فاز، از نظر پتروگرافی آندزیت هستند. بافت اصلی آن پورفیری و بافت‌های فرعی آنها غربالی و پویی کلیتیک است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، آمفیبول، سانیدین و کوارتز، کانی‌های فرعی آنها اسفن و مگنتیت، و کانی‌های ثانویه آن هماتیت، کلریت، کلسیت و پره‌نیت هستند. زمینه سنگ نیز بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین و مقادیر اندکی کلریت، کوارتز، کلسیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده است. در این سنگ‌ها فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول ۱۰ تا ۲۰ درصد سنگ را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۸-A). آمفیبول‌ها اغلب حاشیه سوخته و منطقه‌بندی دارند. در بعضی از مقاطع، آمفیبول‌ها توسط پلاژیوکلازها در بر گرفته شده‌اند که نشانه تبلور سریع‌تر این کانی نسبت به کانی در بر گیرنده است. کوارتز در این مقاطع دارای حاشیه خلیجی است.

۱-۲: سنگ‌های ولکانیک ائوسن فاز خطی دوم منطقه الله‌آباد با روند NE-SW

سنگ‌های ولکانیک این فاز خطی، در نمونه‌های ماکروسکوپی دارای ساخت توده‌ای و در

به کانی در بر گیرنده است. در بعضی از مقاطع پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی و به صورت غربالی، غبار آلود و به شدت خرد شده دیده می‌شوند. بیوتیت در مقطع مورد بررسی به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار و در بعضی مقاطع بر اثر دگرسانی به کلریت، کربنات و هماتیت تبدیل می‌شود. کوارتز به صورت بی‌شکل در اندازه‌های مختلف (ریز تا درشت) و در بعضی مقاطع شواهد ضعیفی از حاشیه خلیجی را نشان می‌دهد. کلسدون به صورت شعاعی حفرات را پر می‌کند.

۳- سنگ‌های ولکانیک ائوسن منطقه ساغند (کوه خشومی)

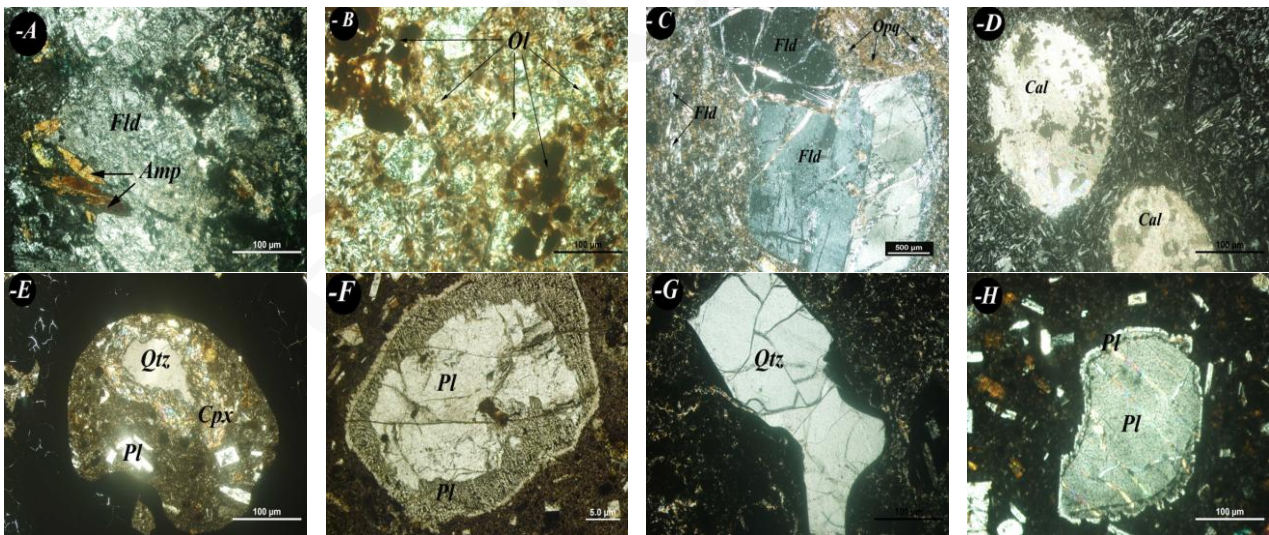
سنگ‌های ولکانیک منطقه ساغند در کوه خشومی قرار دارند. این سنگ‌ها در منطقه دارای ساخت توده‌ای و در نمونه‌های دستی تیره رنگ هستند. از نظر ویژگی‌های پتروگرافی، سنگ‌های ولکانیک این ناحیه در محدوده آندزیت قرار می‌گیرند. بافت‌های اصلی این سنگ‌ها پورفیری، جریان‌ی و اسفرولیتی، بافت‌های فرعی آنها غربالی، پویی کلریتیک، آمیگدالوئیدال، آنتی راپاکیوی (شکل H-۸) و کرونا است. کانی‌های اصلی موجود در این فاز کلینوپیروکسن، آمفیبول، پلاژیوکلاز، بیوتیت، سانیدین، کوارتز و کانی‌های فرعی آنها زیرکن، اسفن، ایلمنیت، مگنتیت و کانی‌های ثانویه آنها کلریت، کلسیت، هماتیت، آراگونیت و اپیدوت هستند. در زمینه میکروولیتی، بیشتر پلاژیوکلاز، سانیدین، کلریت، کوارتز، کلسیت و کانی‌های اپاک مشاهده می‌شود. فنوکریست‌های آمفیبول، کلینوپیروکسن، بیوتیت و پلاژیوکلاز ۲۵-۴۰ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. زمینه سنگ نیز بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین و مقادیر اندکی کلریت، کوارتز، کلسیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده است. در این مقاطع

اختصاص داده‌اند. آمفیبول‌ها دارای حاشیه سوخته و فاقد منطقه‌بندی هستند. کوارتز نیز به صورت بی‌شکل و در اندازه‌های متفاوت و اغلب دارای حاشیه خلیجی است. پلاژیوکلازها اغلب دارای بافت غربالی، ظاهر غبار آلود و منطقه‌بندی هستند.

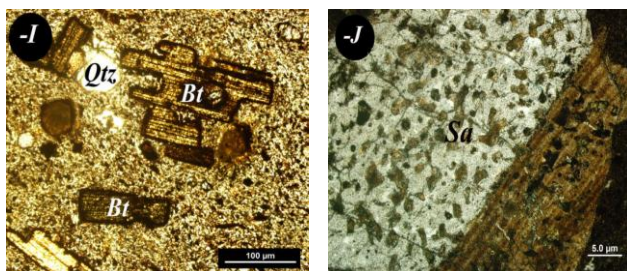
۲- سنگ‌های ولکانیک ائوسن منطقه چاپدونی
سنگ‌های ولکانیک این ناحیه در مقیاس ماکروسکوپی دارای ساخت توده‌ای هستند. این سنگ‌ها در نمونه دستی تیره رنگ و بافت جریان‌ی به همراه فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در آنها مشاهده می‌شود. سنگ‌های ولکانیک این منطقه از نظر پتروگرافی، در محدوده آندزیت تا آندزیت‌بازالتی قرار می‌گیرند؛ اما آندزیت‌ها عمومیت دارند. بافت‌های اصلی این سنگ‌ها پورفیری، جریان‌ی، گلومروپورفیری، میکروولیتیک پورفیری و آمیگدالوئیدال (شکل D-۸) و بافت‌های فرعی آن شعاعی، غربالی و پویی کلریتیک است. کانی‌های اصلی سازنده سنگ‌های ولکانیک منطقه چاپدونی آمفیبول، پلاژیوکلاز، سانیدین، کوارتز و بیوتیت، کانی‌های فرعی این سنگ‌ها مگنتیت و اسفن، و کانی‌های ثانویه آنها کلسیت، هماتیت و کلریت هستند. آلتراسیون تحمیل شده بر این سنگ‌ها از نوع کلریتی شدن، هماتیتی شدن، آرژیلیتی شدن و کربناتی شدن است. فنوکریست‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز و بیوتیت ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. زمینه سنگ نیز بیشتر از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و سانیدین و مقادیر اندکی کلریت، کلسیت و کانی‌های اپاک تشکیل شده است. در مقاطع میکروسکوپی آمفیبول‌ها اغلب شکل دار و حاشیه سوخته دارند. در برخی مقاطع نیز، این آمفیبول‌ها به صورت ادخال در پلاژیوکلازها قرار دارند که نشان‌دهنده تبلور زودتر این کانی نسبت

دارای خوردگی بوده که این پدیده را به تغییرات فشار و نبود تعادل شیمیایی در هنگام خروج گدازه می‌توان نسبت داد. کوارتز در سنگ‌های مورد بررسی نیز به دو صورت دیده می‌شوند: ۱- به صورت زونکریست‌هایی با حاشیه خلیجی که با کلینوپیروکسن ریز در بر گرفته شده‌اند. ۲- به صورت زونکریست‌هایی که از اطراف دارای حاشیه خلیجی هستند (شکل ۸-G). وجود حاشیه خلیجی در این نمونه‌ها، بیانگر افت ناگهانی فشار و ذوب و انحلال بخش‌هایی از کانی در مذاب میزبان است. به عبارت دیگر در پی افت ناگهانی فشار، دمای تبلور کاهش می‌یابد و بلورهای موجود در ماگما مانند کوارتز دچار ذوب و خوردگی می‌شوند. کانی‌های اپاک این سنگ‌ها نیز، به صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شوند که کانی‌های ثانویه، حاصل تجزیه کانی‌های آهن و منیزیم‌دار هستند. سانیدین‌ها و بیوتیت‌ها در این سنگ‌ها بافت غربالی دارند (شکل ۸-I و J).

کلینوپیروکسن‌ها به دو صورت دیده می‌شوند: ۱- کلینوپیروکسن‌های اولیه (آذرین) که به صورت فنوکریست هستند، ۲- کلینوپیروکسن‌های واکنشی به صورت تجمعی از بلورهای ریز در اطراف زونکریست‌های کوارتز (شکل ۸-E). آمفیبول‌های دارای حاشیه سوخته از دیگر کانی‌های موجود در این سنگ‌ها هستند که به صورت بخشی به کلریت، کلسیت، اسفن و اپاک تبدیل شده‌اند. این فرآیند بیشتر به افزایش فوگاسیته اکسیژن در هنگام فوران نسبت داده می‌شود. برخی پژوهشگران، این پدیده را به افت سریع فشار مربوط می‌دانند (Rutherford, 1993). اغلب پلاژیوکلازها دارای ظاهری غبار آلود، بافت غربالی و منطقه‌بندی نوسانی هستند و همچنین، در بعضی از مقاطع چندین نسل پلاژیوکلاز را می‌توان دید که توسط پلاژیوکلازهای غربالی در بر گرفته شده‌اند (شکل ۸-F). در بعضی از پلاژیوکلازها نیز، حواشی بلور



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های ولکانیک ائوسن بلوک پشت‌بادام. (A) زمینه میکروولیتی با درصد اندک فنوکریست آمفیبول که بافت پورفیری را در فاز خطی اول منطقه الله‌آباد به نمایش گذاشته‌اند. همچنین، در این تصویر احاطه شدن کانی هورنبلند توسط آلکالی فلدسپار نیز دیده می‌شود. (B) البوین‌های موجود در سنگ‌های آندزیت‌بازالتی فاز دوم خطی منطقه الله‌آباد که به شدت کلریتی شده‌اند. (C) فنوکریست‌های فلدسپار سنگ‌های آندزیتی فاز مرکزی منطقه الله‌آباد که در زمینه میکروولیتی از فلدسپار و کانی اپاک قرار دارند. (D) حفرات موجود در سنگ‌های آندزیتی منطقه چاپدونی که با کلسیت پر شده و بافت آمیگدالوئیدال را ایجاد کرده است. (E) کلینوپیروکسن‌های ریز واکنشی اطراف زونکریست کوارتز سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند. (F) وجود چندین نسل پلاژیوکلاز در سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند که توسط پلاژیوکلازهای غربالی در بر گرفته شده‌اند. (G) حاشیه خلیجی اطراف زونکریست کوارتز سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند. (H) بافت آنتی‌راپاکیوی در پلاژیوکلازهای سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند.



ادامه شکل ۸-I بافت غربالی در بیوتیت‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند. J بافت غربالی در سانیدین‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند.

شیمی کانی

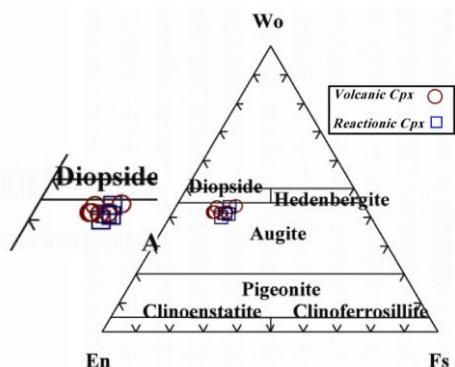
بررسی شیمی (پیوست‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) کانی‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند نشان می‌دهد که:

کلینوپیروکسن‌های آذرین (اولیه) و واکنشی (ثانویه) از نوع اوژیت هستند (شکل ۹، پیوست ۱).

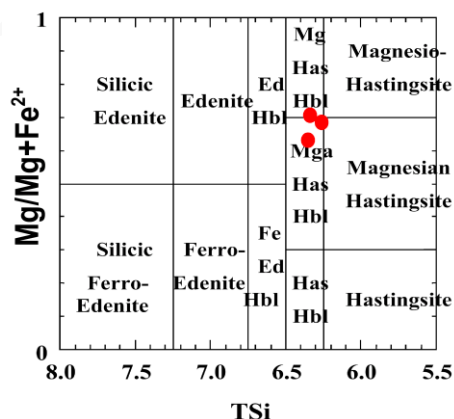
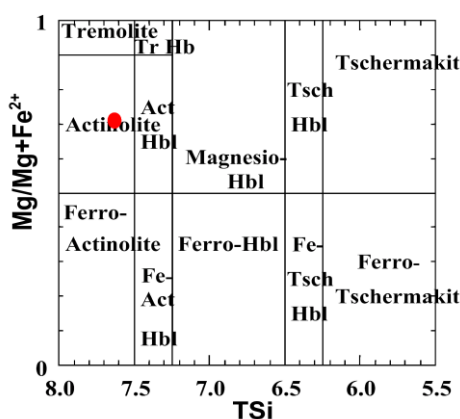
فئوکریست‌های آمفیبول از نوع هورنبلند منیزیم‌دار و اکتینولیت و اغلب دارای حاشیه سوخته‌اند (شکل ۱۰، پیوست ۲). در حالت کلی،

آمفیبول‌ها دو دسته‌اند: ۱- آمفیبول‌های اولیه که معمولاً شکل‌دار و به راحتی قابل شناسایی هستند و گاهی با حفظ شکل اولیه خود سوخته و یا به مجموعه اپیدوت، کلسیت، آلبیت، کلریت و کوارتز دگرسان شده‌اند. ترکیب آمفیبول‌های بررسی شده سنگ‌های ولکانیک منطقه ساغند در محدوده آذرین و اولیه‌اند (شکل A-۱۱، Leake et al., 1997). ۲- آمفیبول ثانویه با ترکیب اکتینولیت که بر اثر دگرسانی از کلینوپیروکسن‌ها و آمفیبول‌های آذرین منطقه به وجود آمده‌اند.

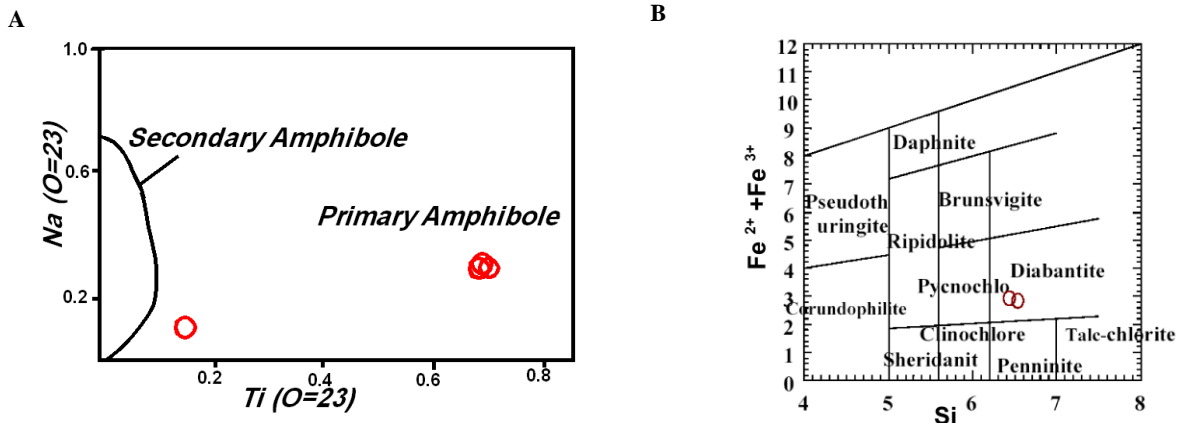
کلریت‌های موجود در سنگ‌های منطقه محصول دگرسانی کانی‌های فرومنیزین نظیر: کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت هستند. کلریت‌ها به عنوان کانی‌های ثانویه تقریباً در تمام پهنه‌های دگرسانی حضور دارند. تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط، در تنوع ترکیبی کلریت‌ها نقش مهمی دارد. این کلریت‌ها در محدوده دیابانتیت و مقدار Fe# و Mg# آنها به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۴۳ است (شکل ۱۱-B، پیوست ۴).



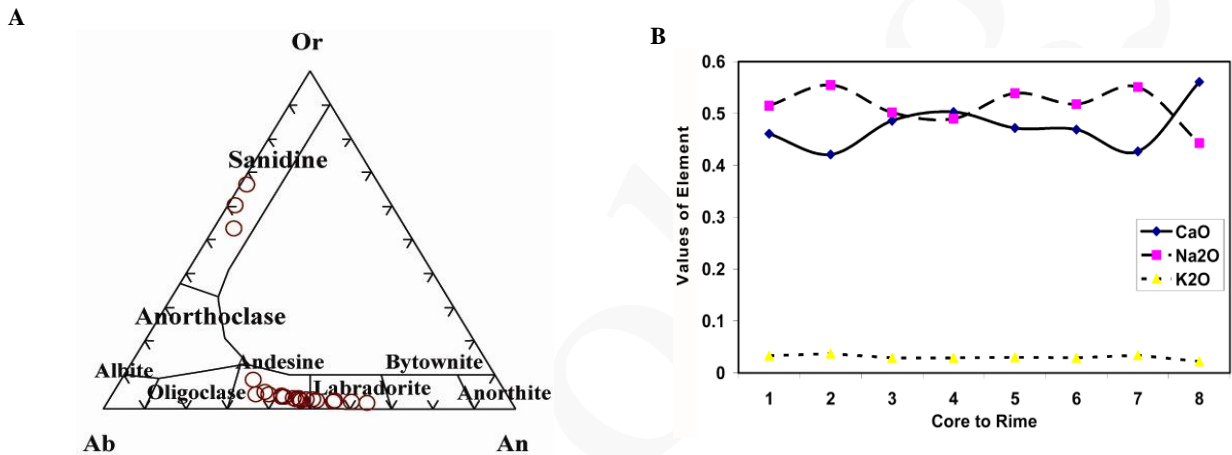
شکل ۹- تعیین ترکیب کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (Morimoto et al., 1988)



شکل ۱۰- تعیین ترکیب آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (Leake et al., 1997)



شکل ۱۱- A) تعیین نوع آمفیبول‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (Leake et al., 1997)، B) تعیین ترکیب کلریت‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (Hey, 1954).



شکل ۱۲- A) تعیین ترکیب فلدسپارهای سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (Deer et al., 1997)، B) منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازهای سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (ستون‌های خاکستری رنگ پیوست ۳ مربوط به تحلیل‌های منطقه‌بندی نوسانی تک پلاژیوکلاز است).

ولکانیکی، بیشتر دارای حاشیه‌های خودشکل هستند که می‌تواند نتیجه رشد مجدد در پاسخ به سیالات یا دوره‌های سردشدگی در حین فوران باشد. مکانیسم‌هایی که باعث شکل‌گیری بافت‌های غربالی می‌شود به ترتیب عبارتند از:

۱- اختلاط و آرایش ماگمایی (Tsuchiyama, 1985).

۲- کاهش ناگهانی فشار: کاهش ناگهانی فشار، تغییرات ترکیبی را در پی دارد. این تغییرات ترکیبی سبب تشکیل بافت غربالی می‌شوند.

۳- ورود مقدار زیادی سیال به مخزن ماگمایی (Humphreys et al., 2006).

دلایل اصلی منطقه‌بندی پلاژیوکلازها عبارتند

از:

۱- اختلاط ماگمایی

۲- کاهش ناگهانی فشار

۳- در برخی موارد دگرسانی دوتریک نیز می‌تواند منطقه‌بندی نوسانی ایجاد کند (Shelly, 1993).

معمولاً، پلاژیوکلازها بافت‌های نامتعادل متنوعی را در سنگ‌های ولکانیکی به نمایش می‌گذارند. اغلب این بافت‌ها، واجد الگوهای منطقه‌بندی و ساخت‌های بازجذبی هستند که تغییرات فیزیکوشیمیایی در سیستم‌های ماگمایی را ثبت می‌نمایند. پلاژیوکلازهای غربالی در سنگ‌های

نسبت به نمونه‌های فقیر از Al تشکیل شده‌اند. ژئوترمومتری کلینوپیروکسن‌های آذرین سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند نشان می‌دهد که در دمای ۶۹۰-۸۰۰ درجه سانتیگراد متبلور شده‌اند (شکل ۱۳-B). همچنین، ترکیب کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که ماگمای سازنده آنها، به سری ماگمایی کالک آلکالن (شکل ۱۳-C) تعلق داشته و مقدار آب موجود در این ماگما متغیر (زیر ۱۰ درصد) است. توزیع آلومینیوم در موقعیت‌های تترائدری و اکتائدری کلینوپیروکسن‌ها به فشار و همچنین، میزان آب موجود در محیط تبلور آنها وابستگی دارد. بر همین اساس، میزان Al^{IV} به تبعیت از افزایش میزان آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها، کاهش می‌یابد. همان طور که ملاحظه می‌شود مقدار Al^{VI} در تمامی نمونه‌های تحلیل شده سنگ‌های ناحیه، کمتر از ۰/۱، که نشانه تبلور این کانی‌ها در فشار کمتر از ۵ کیلوبار است. محتوای آب موجود در ماگما در حدود ۱۰ درصد است (شکل ۱۳-D). میزان آهن فریک پیروکسن‌ها تابعی از فوگاسیته اکسیژن محیط تشکیل دهنده آنهاست (Schweitzer *et al.*, 1979) با توجه به شکل ۱۳-E نمونه‌های مربوط به کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند، در بالای خط $Fe^{3+}=0$ قرار دارند که این نکته بیانگر بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در محیط تشکیل این سنگ‌هاست. تعلق سنگ‌های بررسی شده به محیط ژئوتکتونیک کمان‌های آتشفشانی، از دیگر نتایجی است که می‌توان با بررسی ژئوشیمی کلینوپیروکسن‌ها به آن پی برد (شکل ۱۳-F). برای تعیین مقدار شاخص‌های F1 و F2 در شکل ۱۳-F از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

$$F1 = -(0.012 \times SiO_2) -$$

$$(0.0807 \times TiO_2) + (0.0026 \times Al_2O_3) - (0.0012 \times FeO) -$$

$$(0.0026 \times MnO) + (0.0087 \times MgO) - (0.0128 \times CaO) -$$

$$(0.0419 \times Na_2O)$$

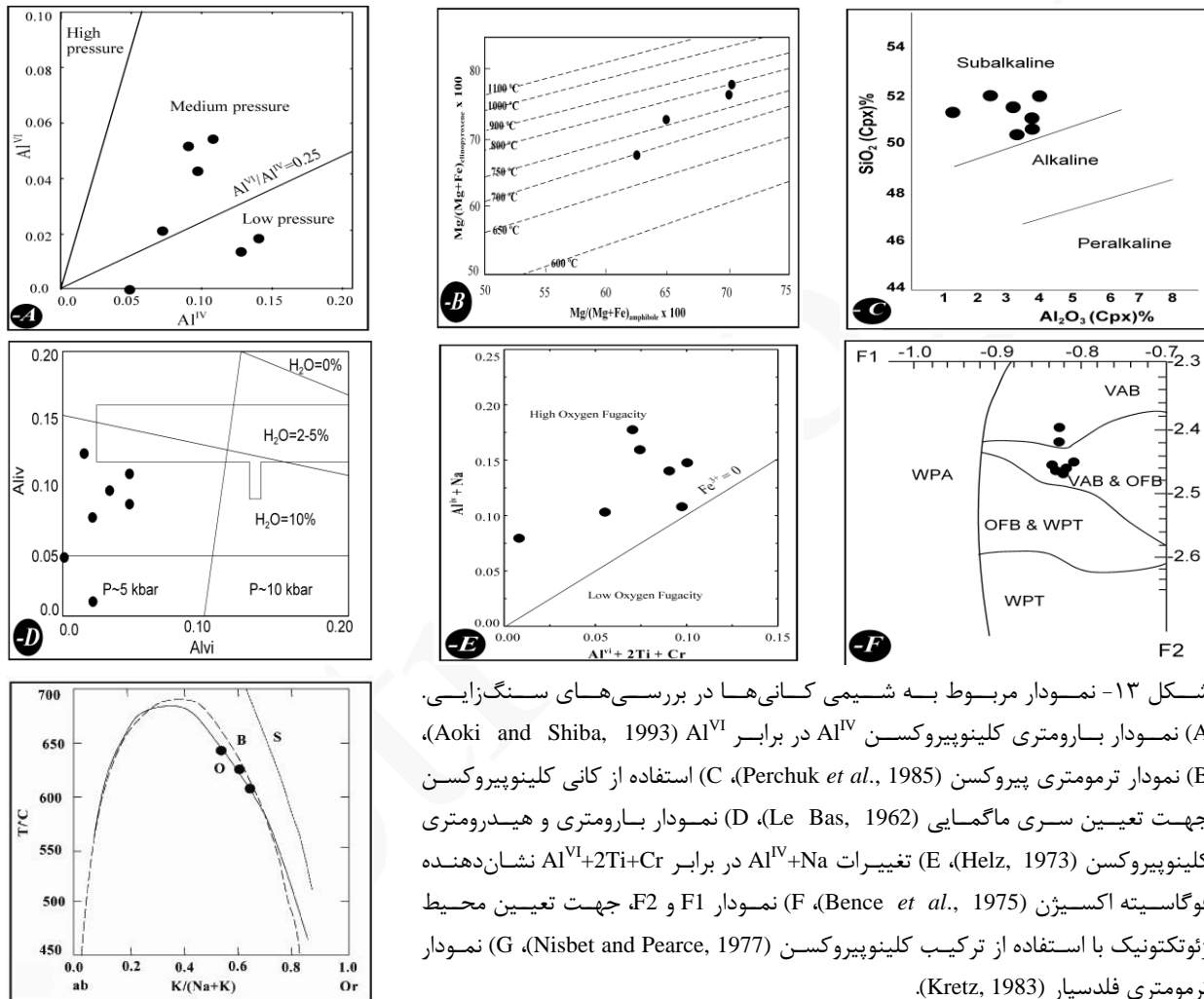
بیوتیت این ناحیه از نظر Ti به شدت فقیر و مقدار $Fe\#$ آنها ۰/۴۸ و مقدار $Mg\#$ آنها ۰/۵۲ است (پیوست ۴). اندیس اشباع شدگی آلومینیم $ASI = \frac{[Al]}{[Si] + [Al]}$ نسبت مولکولی $[Al_2O_3]/(CaO + Na_2O + K_2O)$ بیوتیت ناحیه نیز، به میزان درخور توجهی پایین (۰/۹۳) و این امر انعکاسی از اکتیویته پایین آلومینیم در ماگمای سازنده آنها تلقی می‌شود (Helmy *et al.*, 2004). این کانی، گاهی در اثر دگرسانی به کلریت، اپیدوت، کربنات و اپاک تبدیل شده است. در برخی موارد، طی فرآیند اپاسیتی شدن، بیوتیت‌ها در امتداد رخ و در حاشیه دچار سوختگی شده و اکسیدهای آهن در همین مکان‌ها متمرکز می‌شود. Rutherford (۱۹۹۳) این پدیده را نوعی پاسخ به کاهش ناگهانی فشار می‌داند. با کاهش فشار، محدوده پایداری این کانی کاهش یافته، در ادامه واجدبندی رخ می‌دهد. بنا به گفته Didier و Barbarin (۱۹۹۱) بالا بودن فشار بخشی اکسیژن در زمان تبلور بیوتیت‌ها، می‌تواند دلیل دیگری برای شکل‌گیری حاشیه‌های اپاسیته باشد.

بحث

برای بررسی دقیق‌تر سنگ‌های ولکانیک منطقه ساغند، از نتایج تحلیل‌های شیمیایی کانی‌ها در تعیین پتروژنز آنها استفاده شد. بررسی شیمی کلینوپیروکسن‌های آذرین و استفاده از آن در ژئوبارومتري نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌های آذرین تحلیل شده در حین صعود (نه در یک اتاق ماگمایی و فشار ثابت)، در طیف گسترده‌ای از عمق و فشار کم تا متوسط متبلور گشته‌اند (شکل ۱۳-A). بر اساس نظر Le Bas (۱۹۶۲) افزایش آلومینیوم در کلینوپیروکسن‌های غنی از کلسیم با کاهش فعالیت سیلیسیم در ماگما متناسب است و کلینوپیروکسن‌های غنی از Al در فشار کمتری

۱۳-G منحنی O بیانگر تغییرات ترکیب آلکالی فلدسپارها نسبت به دما در فشار ۲ کیلو بار و منحنی S نیز بر اساس بررسی‌های Kretz (۱۹۸۳) برای فشار ۱۰ کیلو بار ترسیم شده است. منحنی B نیز نشان‌دهنده منحنی سولوس است.

$F2 = -(0.0469 \times SiO_2) - (0.0818 \times TiO_2) + (0.0212 \times Al_2O_3) - (0.0041 \times FeOt) - (0.1435 \times MnO) + (0.0029 \times MgO) - (0.0085 \times CaO) - (0.016 \times Na_2O)$
ژئوترموتری فلدسپارهای پتاسیم سنگ‌های بررسی شده نشان می‌دهد که در دمای ۶۱۰ تا ۶۴۰ درجه سانتیگراد به وجود آمده‌اند. در شکل



شکل ۱۳- نمودار مربوط به شیمی کانی‌ها در بررسی‌های سنگ‌زایی. A) نمودار بارومتري کليوپيروکسن Al^{IV} در برابر Al^{VI} (Aoki and Shiba, 1993)، B) نمودار ترمومتري پيروکسن (Perchuk *et al.*, 1985)، C) استفاده از کانی کليوپيروکسن جهت تعيين سرى ماگمايي (Le Bas, 1962)، D) نمودار بارومتري و هيدرومتري کليوپيروکسن (Helz, 1973)، E) تغييرات $Al^{IV}+Na$ در برابر $Al^{VI}+2Ti+Cr$ نشان‌دهنده فوگاسيته اکسيژن نمودار F1 و F2، جهت تعيين محيط ژئوتکتونيك با استفاده از تركيب کليوپيروکسن (Nisbet and Pearce, 1977)، G) نمودار ترمومتري فلدسپار (Kretz, 1983).

۱- وجود بافت غربالی در پلاژیوکلازها، سانیدین‌ها و بیوتیت.
۲- حاشیه غبار آلود پلاژیوکلازها، سانیدین‌ها (قرارگیری پلاژیوکلازهای حرارت پایین در مذاب حرارت بالاتر و عدم تعادل این کانی پس از تبلور) در پلاژیوکلاز موجود در آندزیت‌ها.
۳- وجود منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها و

بررسی‌های پتروگرافی و شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از تبلور ساده و تعادلی یک ماگمای اولیه به وجود نیامده‌اند و در تشکیل آنها آلایش ماگما دخالت داشته است. از مهم‌ترین شواهد این پدیده در سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (Sato, 1975؛ Stimac and Pearce, 1992).

سانیدین‌ها.

۴- حاشیه خلیجی اطراف زئوکریست کوارتز.

۵- تشکیل هاله‌ای از کلینوپیروکسن واکنشی در اطراف کوارتزها که از ویژگی‌های بسیار مهم آلایش ماگمایی است.

۶- وجود چندین نسل پلاژیوکلاز که توسط پلاژیوکلازهای غربالی در برگرفته شده‌اند.

۷- وجود حالت خوردگی در اطراف پلاژیوکلازها و سانیدین‌ها.

۸- بافت آنتی راپاکیوی و پویی کلیتیک.

۹- احاطه شدن کانی‌هایی از قبیل: بیوتیت، هورنبلند و حتی آپاتیت توسط آلکالی فلدسپار، همگی می‌توانند نشان‌دهنده رخداد آلایش در این سنگ‌ها باشند.

بر اساس شواهد به دست آمده از شیمی کانی کلینوپیروکسن‌های آذرین و واکنشی سنگ‌های آندزیتی منطقه ساغند (کوه خشومی)، ماگمای تشکیل دهنده این سنگ‌ها به سری کالک‌آلکالن و محیط ژئوتکتونیک نواحی کمان‌های آتشفشانی تعلق دارد. ماگماهای کالک‌آلکالن ویژه نواحی فرورانش صفحات اقیانوسی به زیر صفحات قاره‌ای هستند (Moeinvaziri and Ahmadi, 2004) و در بیشتر مباحث زمین‌شناسی دلیل رخداد ولکانیسم این منطقه را به و فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر ایران مرکزی نسبت می‌دهند (Ramezani and Bagheri, 2003; Tucker, 2007; Verdel et al., 2007; Verdel, 2009; and Stampfli, 2008).

نتیجه‌گیری

بررسی پتروگرافی سنگ‌های ولکانیک ائوسن بالایی بلوک پشت‌بادام (مناطق ساغند، الله‌آباد و چاپدون) نشان می‌دهد که این سنگ‌ها طی پنج فاز ولکانیسم متفاوت با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت به وجود آمده‌اند. بر اساس پژوهش‌های

شیمی کانی، بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن منطقه ساغند فنوکریست‌های این سنگ‌های ولکانیک شامل: کلینوپیروکسن (اوژیت)، آمفیبول (هورنبلند منیزیم‌دار و اکتینولیت)، بیوتیت، پلاژیوکلاز (آندزین و لابرادوریت)، آلکالی فلدسپار (سانیدین) و کوارتز است. کانی‌های فرعی شامل: زیرکن، اسفن، ایلمنیت و مگنتیت و کانی‌های ثانویه، کلریت (دیابانتیت)، کلسیت، هماتیت، آراگونیت و اپیدوت هستند. همچنین، بررسی‌های انجام شده بیانگر این امر است که ماگمای به‌وجود آورنده سنگ‌های آتشفشانی گفته شده، دارای ترکیب ساب‌آلکالن (کالک‌آلکالن) است. ترمومتری فلدسپارها، دمای حدوداً ۶۱۰ تا ۶۴۰ درجه سانتیگراد و بارومتری پیروکسن‌ها فشار کمتر از ۵ کیلوبار را پیشنهاد می‌کند. مقدار آب موجود در ماگما نیز، در طی تبلور کلینوپیروکسن‌ها متغیر بوده است. نمودار ژئوتکتونیک، تعلق این سنگ‌ها را به محیط‌های کمان آتشفشانی نشان می‌دهد. وجود بیشترین شواهد آلایش در مقیاس میکروسکوپی (وجود آنکلاوهای قدیمی که با سنگ‌های ولکانیک ائوسن در برگرفته شده‌اند) و میکروسکوپی (تشکیل کلینوپیروکسن‌های واکنشی در حاشیه زئوکریست‌های کوارتز، وجود بافت غربالی، بافت آنتی راپاکیوی، منطقه بندی نوسانی پلاژیوکلازها و نیز، خوردگی خلیجی حاشیه زئوکریست‌های کوارتز) در منطقه ساغند، گویای سرعت اندک صعود ماگما به سطح است. در نتیجه، ماگمای صعود کننده برای رسیدن به سطح مسیر طولانی‌تر و زمان بیشتری را سپری کرده است. همین امر سبب شده است که ماگما زمان کافی برای آلایش با سنگ دیواره در اختیار داشته باشد. بیشترین حجم سنگ‌های ولکانیک ائوسن موجود در این بلوک، در منطقه چاپدون مشاهده

سیاسگزاری

نگارندگان مقاله از دانشگاه اصفهان به دلیل حمایت‌های مالی و از آقای پروفیسور Shoji Arai و خانم دکتر تهمینه پیرنیا، به دلیل انجام تحلیل‌های میکروپروب سیاسگزاری می‌نمایند.

می‌شود که بیانگر فعالیت شدید گسل چپ‌دونی است. وجود حجم اندک سنگ‌های ولکانیک و شواهد اندک آرایش در منطقه الله‌آباد، بیانگر سرعت زیاد ماگمای صعود کننده در منطقه الله‌آباد است.

منابع

- Aghanabati, A. (2006) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Aoki, K. and Shiba, I. (1993) Pyroxenes from Iherzolite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Lithos* 6: 41-51.
- Bagheri, S. and Stampfli, G. M. (2008) The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications. *Tectonophysics* 451: 123-155.
- Bence, A. E., Papike, J. J. and Ayuso, R. A. (1975) Petrology of Atlantic island arcs. *Geological Society of American Bulletin* 100: 1503-1527.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1997) Rock-forming minerals, Double chain Silicates. Vol. 2B, 2nd edition, Geological Society of London, London.
- Didier, J. and Barbarin, B. (1991) Enclaves and granite petrology, Bibliography. Elsevier, Amsterdam.
- Droop, G. T. R. (1987) A general equation for estimating Fe^{3+} concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51: 431-435.
- Haghipour, A. (1974) Etude geologique de la region de Biabanak-Bafq (Iran Central); petrologie et tectonique du socle Precambrien et de sa couverture. PhD thesis, Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, France.
- Helmy, H. M., Ahmed, A. F., El Mahallawi, M. M. and Ali, S. M. (2004) Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt and tectonic implications. *Journal of African Earth Science* 38: 255-268.
- Helz, R. T. (1973) Phase relations of basalts in their melting ranges at $P_{H_2O}=5$ kb as a function of oxygen fugacity, Part I. Mafic phases. *Journal of Petrology* 14: 249-302.
- Hey, M. H. (1954) A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine* 30: 277-292.
- Humphreys, M. C. S., Blundy, J. D., Stephan, R. and Sparka, J. (2006) Magma evolution and open-system processes at Shiveluch volcano: insights from phenocryst zoning. *Journal of Petrology* 47: 2303-2334.
- Kargarabafghi, F., Neubauer, F. and Genser, J. (2010) Cenozoic kinematic evolution of southwestern Central Iran: Strain partitioning and accommodation of Arabia-Eurasia convergence. *Tectonophysics* 12: 1-23.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Le Bas, M. J. (1962) The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science* 260: 267-288.
- Leake, B. E., Wolley, A. R., Arps, C. E., Birch, S. W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., 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 amphiboles, report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names. *European Journal of Mineralogy* 9: 623-651.
- Moeinvaziri, H. and Ahmadi, A. (2004) Petrography and petrology of igneous rocks. Tarbiat Moallem University Publications, Tehran.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist* 73: 1123-1133.
- Nadimi, A. R. (2007) Evolution of the Central Iranian basement. *Gondwana Research* 12: 324-333.
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A. (1977) Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic setting. *Ibid* 63: 149-160.
- Perchuk, L. L., Aranovich, L. Y., Podlesskii, K. K., Layrant'eva, I. V., Gerasimov, V. Y. and Fed'kin V. V. (1985) Precambrian granulites of the Aidam Shield, eastern Siberia, USSR: *Journal of Metamorphic Geology* 3: 265-310.
- Ramezani, J. and Tucker, R. D. (2003) The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics: *American Journal of Science* 303: 622-665.
- Rutherford, M. J. (1993) Experimental petrology applied to volcanic processes. *American Geophysical Union* 74: 49-52.
- Sato, H. (1975) Diffusion coronas around quartz xenocrysts in andesite and basalt from Tertiary volcanic region in Northeastern Shikoku, Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 50: 49-64.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E (1979) Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts. *American Mineralogist* 64: 501-513.
- Shelly, D. (1993) *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*, Chapman and Hall, London.
- Stimac, A. J. and Pearce, H. T. (1992) Textural evidence of mafic-felsic magma interaction in dacite lavas, Clear Lake, California. *American Mineralogist* 77: 795-809.
- Tsuchiyama, A. (1985) Dissolution kinetics of plagioclase in melt of the system diopside-albite-anorthite, and the origin of dusty plagioclase in andesites. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 89: 1-16.
- Verdel, C. (2009) Cenozoic geology of Iran: in integrated study of extensional tectonics and related volcanism: PhD thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Verdel, C., Wernicke, B. P., Ramezani, J., Hassanzadeh, J., Renne, P. R. and Spell, T. L (2007) Geology and thermochronology of Tertiary Cordilleran-style metamorphic core complexes in the Saghand region of central Iran. *Geological Society of America Bulletin* 119: 961-977.

پیوست ۱- نتایج تحلیل مایکروپروب و فرمول ساختاری کانی کلینوپیروکسن سنگ‌های آندزیتی ائوسن منطقه ساغند (ستون‌های سفید نتایج تحلیل کلینوپیروکسن‌های آذرین و ستون‌های خاکستری نتایج تحلیل کلینوپیروکسن‌های واکنشی است).

Sample	102-1	102-1	B102-2	B102-2	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1	B102-2	B102-2
SiO2	53.69	54.38	51.32	52.77	52.66	51.97	50.45	51.70	50.73	51.43	52.21
TiO2	0.27	0.32	0.80	0.33	0.48	0.24	0.76	0.68	1.07	0.77	0.66
Al2O3	0.28	0.53	3.08	0.53	2.34	1.15	3.75	3.30	3.36	3.81	3.31
Cr2O3	0.00	0.00	0.02	0.00	0.27	0.04	0.28	0.25	0.00	0.26	0.24
FeO*	9.96	9.60	9.68	10.53	8.88	11.08	7.44	7.24	9.78	7.48	7.42
MnO	0.31	0.26	0.30	0.33	0.21	0.30	0.25	0.17	0.29	0.15	0.13
MgO	14.53	15.92	14.82	14.79	15.55	13.57	15.65	15.94	14.75	15.61	15.91
CaO	21.80	19.91	20.13	20.35	20.49	21.90	21.21	20.20	20.48	19.88	20.16
Na2O	0.40	0.35	0.47	0.38	0.39	0.44	0.48	0.52	0.39	0.57	0.46
K2O	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	101.25	101.31	100.64	100.04	101.27	100.68	100.00	100.00	100.85	99.96	100.51

Structural formula based on the 6 Oxygens

Si	1.977	1.990	1.892	1.966	1.924	1.932	1.857	1.899	1.868	1.892	1.910
Ti	0.007	0.009	0.022	0.009	0.013	0.007	0.021	0.019	0.030	0.021	0.018
AlIV	0.012	0.010	0.108	0.023	0.076	0.050	0.143	0.101	0.132	0.108	0.090
AlVI	0.000	0.013	0.026	0.000	0.024	0.000	0.019	0.042	0.014	0.056	0.053
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.008	0.001	0.008	0.007	0.000	0.008	0.007
Fe2+	0.307	0.294	0.299	0.328	0.272	0.344	0.229	0.222	0.301	0.230	0.227
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.010	0.008	0.009	0.010	0.007	0.009	0.008	0.005	0.009	0.005	0.004
Mg	0.798	0.869	0.815	0.821	0.847	0.752	0.845	0.872	0.810	0.856	0.868
Ca	0.860	0.781	0.795	0.812	0.802	0.872	0.836	0.795	0.808	0.784	0.790
Na	0.029	0.025	0.034	0.028	0.027	0.031	0.035	0.037	0.028	0.041	0.033
K	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
WO	43.57	40.01	41.46	41.19	41.62	44.10	43.62	41.96	41.91	41.81	41.84
EN	40.41	44.52	42.48	41.64	43.96	38.01	44.06	46.04	42.00	45.66	45.93
FS	16.02	15.47	16.06	17.17	14.43	17.89	12.33	12.00	16.09	12.53	12.23
Name	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite	Augite

پیوست ۲- نتایج تحلیل مایکروپروب و فرمول ساختاری کانی‌های بیوتیت، کلریت و آمفیبول سنگ‌های آندزیتی ائوسن منطقه ساغند

Sample	B102-2	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1	B102-2
minerals	Biotite	Diabandite	Diabandite	Amphibole	Amphibole	Amphibole	Amphibole
SiO2	48.97	43.32	44.63	43.22	43.01	43.55	48.37
TiO2	0.08	0.18	0.14	2.76	3.05	2.88	1.26
Al2O3	5.84	5.48	5.67	10.39	10.09	10.17	3.83
Cr2O3	0.13	0.19	0.19	0.00	0.01	0.00	0.00
FeO*	21.05	23.67	23.13	14.71	15.13	15.48	9.87
MnO	0.14	0.24	0.15	0.20	0.17	0.24	0.24
MgO	12.86	10.08	9.97	12.41	12.48	12.40	13.49
CaO	1.57	1.26	1.16	12.18	11.62	10.67	18.99
Na2O	0.07	0.22	0.14	2.36	2.40	2.38	0.45
K2O	0.36	2.08	1.79	0.99	0.96	0.98	0.00
Total	91.06	86.72	86.97	99.23	98.91	98.74	96.49
Oxygens#	22	28	28	23	23	23	23
Si	6.977	6.430	6.536	6.349	6.311	6.338	7.632
Ti	0.008	0.020	0.015	0.305	0.337	0.315	0.149
AlIV	0.980	0.958	0.978	1.651	1.689	1.662	0.368
AlVI	0.000	0.000	0.000	0.146	0.054	0.081	0.344
Cr	0.014	0.023	0.022	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe2+	2.508	2.939	2.833	1.605	1.412	1.115	1.302
Fe3+	0.000	0.023	0.022	0.202	0.445	0.769	0.000
Mn	0.017	0.030	0.018	0.025	0.021	0.030	0.032
Mg	2.730	2.231	2.177	2.716	2.731	2.689	3.172
Ca	0.239	0.200	0.181	1.917	1.826	1.663	3.211
Na	0.019	0.062	0.040	0.673	0.684	0.673	0.138
K	0.065	0.394	0.335	0.186	0.180	0.182	0.000
Cations	13.557	13.287	13.135	15.778	15.670	15.517	16.349
Fe#	0.48	0.57	0.57	0.37	0.34	0.29	0.29
Mg#	0.52	0.43	0.43	0.62	0.65	0.70	0.70

پیوست ۳- نتایج تحلیل میکروپروب و فرمول ساختاری کانی فلدسپار سنگ‌های آندزیتی ائوسن منطقه ساغند

Sample	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2	b102-2
SiO ₂	56.03	57.29	56.22	55.40	56.61	56.10	57.58	54.12	64.73	76.65	76.27
TiO ₂	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.00	0.07	0.13	0.69	0.51
Al ₂ O ₃	27.14	26.49	27.30	27.47	26.75	27.28	26.06	28.71	19.63	12.17	12.39
FeO*	0.38	0.31	0.37	0.35	0.32	0.41	0.31	0.48	0.33	0.55	0.33
MnO	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00
MgO	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00
CaO	10.04	8.85	9.80	10.37	9.53	9.70	8.72	11.60	1.04	0.24	0.20
Na ₂ O	5.73	6.31	6.18	5.58	5.88	5.92	6.35	5.06	4.77	2.84	2.50
K ₂ O	0.50	0.59	0.53	0.50	0.57	0.51	0.65	0.38	9.33	6.85	7.84
Total	99.87	99.89	100.44	99.76	99.74	100.00	99.71	100.49	99.99	99.99	100.04

Structural formula based on the 8 Oxygens

Si	2.531	2.579	2.528	2.509	2.556	2.531	2.596	2.443	2.936	3.338	3.332
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.002	0.004	0.023	0.017
Al	1.444	1.404	1.445	1.465	1.423	1.449	1.383	1.526	1.049	0.624	0.637
Fe ²⁺	0.014	0.012	0.014	0.013	0.012	0.015	0.012	0.018	0.013	0.020	0.012
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000
Ca	0.486	0.427	0.472	0.503	0.461	0.469	0.421	0.561	0.050	0.011	0.010
Na	0.502	0.551	0.539	0.490	0.515	0.518	0.555	0.443	0.420	0.240	0.211
K	0.029	0.034	0.030	0.029	0.033	0.029	0.037	0.022	0.540	0.381	0.437
Cation	5.009	5.009	5.031	5.013	5.004	5.014	5.006	5.020	5.013	4.637	4.656
Ab	49.40	54.40	51.80	47.90	51.00	51.00	54.80	43.20	41.60	38.00	32.10
An	47.80	42.20	45.30	49.20	45.70	46.20	41.60	54.70	5.00	1.70	1.50
Or	2.90	3.40	2.90	2.80	3.30	2.90	3.70	2.10	53.50	60.30	66.40

Name	Labradorite	Andesine	Andesine	Labradorite	Andesine	Andesine	Andesine	Labradorite	Sunidine	Sunidine	Sunidine
------	-------------	----------	----------	-------------	----------	----------	----------	-------------	----------	----------	----------

Sample	b102-2	b102-2	b102-2	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1	102-1
SiO ₂	57.55	59.05	56.61	56.54	59.20	53.87	57.55	58.94	55.10	56.19	51.02
TiO ₂	0.09	0.07	0.05	0.05	0.00	0.04	0.02	0.07	0.02	0.02	0.05
Al ₂ O ₃	26.00	23.50	26.75	26.99	24.29	28.22	26.30	24.51	27.71	27.31	29.89
FeO*	0.62	1.74	0.32	0.46	0.14	0.45	0.32	0.65	0.41	0.35	0.40
MnO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
MgO	0.03	0.52	0.02	0.03	0.01	0.06	0.02	0.12	0.04	0.03	0.08
CaO	8.04	6.68	9.53	9.38	7.72	11.83	8.72	7.87	11.04	9.92	13.92
Na ₂ O	6.81	6.87	5.88	6.07	7.49	5.11	6.41	6.91	5.67	5.96	4.32
K ₂ O	0.74	1.51	0.57	0.54	0.78	0.42	0.64	0.91	0.44	0.44	0.30
Total	99.88	99.94	99.74	100.05	99.64	100.00	99.99	100.00	100.43	100.23	100.00

Structural formula based on the 8 Oxygens

Si	2.594	2.672	2.556	2.548	2.668	2.448	2.588	2.653	2.487	2.529	2.336
Ti	0.003	0.002	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002
Al	1.380	1.253	1.423	1.432	1.289	1.510	1.393	1.299	1.473	1.448	1.612
Fe ²⁺	0.023	0.066	0.012	0.017	0.005	0.017	0.012	0.024	0.015	0.013	0.015
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001
Mg	0.002	0.035	0.002	0.002	0.001	0.004	0.002	0.008	0.003	0.002	0.006
Ca	0.389	0.324	0.461	0.451	0.373	0.576	0.420	0.379	0.534	0.478	0.683
Na	0.595	0.603	0.515	0.530	0.655	0.450	0.559	0.604	0.496	0.520	0.384
K	0.043	0.087	0.033	0.031	0.045	0.024	0.037	0.052	0.026	0.025	0.017
Cations	5.029	5.043	5.004	5.013	5.036	5.030	5.012	5.022	5.035	5.017	5.056
Ab	59.50	57.90	51.00	52.40	61.00	42.90	55.00	58.40	47.00	50.80	35.40
An	32.00	37.90	45.70	44.60	34.80	54.90	41.30	36.60	50.60	46.70	63.00
Or	3.30	3.30	3.30	3.10	4.20	2.30	3.60	5.00	2.50	2.40	1.60
Name	Andesine	Andesine	Andesine	Andesine	Andesine	Labradorite	Andesine	Andesine	Labradorite	Andesine	Labradorite

پیوست ۴- نتایج تحلیل مایکروپروب و فرمول ساختاری
کانی‌های ایلمنیت، کلسیت و کوارتز سنگ‌های آندزیتی
اوسن منطقه ساغند

Sample	B102-2	102-1	B102-2
minerals	Ilmenite	Quartz	Calcite
SiO ₂	0.03	101.79	0.51
TiO ₂	47.68	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.07	0.00	0.01
FeO*	46.13	0.01	1.70
MnO	1.10	0.00	1.77
MgO	1.15	0.02	0.43
CaO	0.07	0.02	53.33
Na ₂ O	0.00	0.00	0.05
K ₂ O	0.03	0.01	0.01
Total	96.26	101.83	57.81
Oxygens	3	2	3
Si	0.001	0.999	0.008
Ti	0.928	0.000	0.000
Al	0.002	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.857	0.000	0.023
Fe ³⁺	0.142	0.000	0.000
Mn	0.024	0.000	0.024
Mg	0.044	0.000	0.010
Ca	0.002	0.000	0.932
Na	0.000	0.000	0.002
K	0.001	0.000	0.000
Cations	2.001	0.999	0.999

Petrography and mineral chemistry of the Eocene volcanic rocks in the Posht-e-Badam block

Zahra Gharehchahi, Ghodrat Torabi * and Mohammad Sayari

Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

The Eocene volcanic rocks of the Posht-e-Badam block represent very good exposures in Saghand (Khoshoumi Mountain), Alahabad and Chapedony areas (Yazd province). These rocks were developed during five volcanic phases: 1- Volcanic rocks of Alahabad area which are formed during three various phases: 1-1: The central andesitic phase ; 1-2: The first andesitic fissure phase; and 1-3: The second andesibasaltic fissure phase. 2- The Chapedony andesite to andesibasaltics. 3- The Saghand (Khoshoumi Mountain) andesic rocks. On the base of field observations, the evidences of contamination are clearly noticed in the volcanic rocks of Saghand area which point to slower rate of magma ascending. The lowest volume of Eocene volcanic rocks exposed in Alahabad area. These rocks developed by two fissures and one central eruption. The presence of the highest volume of the Eocene volcanic rocks in Chapedony area displays active Chapedony fault during the Eocene time. The absence of contamination evidences in the rocks of Chapedony and Alahabad areas indicate the higher rate of magma ascending in compare to that of Saghand area. The occurrence of xenoliths and xenocrysts, the formation of fine grained clinopyroxenes around xenocrystic quartz, the sieved and anti-rapakivi textures, the gulf corrosion of quartz and the oscillatory zoning of plagioclases reveal magmatic contamination in Saghand area. The chemistry of clinopyroxenes and biotites display that these rocks, in nature, are similar to the calc-alkaline continental volcanic arc rocks.

Key words: Magmatic contamination, Eocene volcanic rocks, Alahabad, Chapedony, Saghand, Khoshoumi Mountain, Posht-e-Badam block