

کاربرد کلینوپیروکسن در تعیین پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور روستای علون آباد (خاور اصفهان)

زهرا نصرافهانی^۱، محمدهاشم امامی^۲، سید جمال شیخ‌ذکریایی^۳ و سید حسن طباطبایی^۴

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران، ایران
^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
^۴دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۷

چکیده

منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان و در شمال خاور روستای علون‌آباد جای گرفته است. این ناحیه بخشی از کمربند ارومیه-دختر در ایران مرکزی است. بیشتر این ناحیه را سنگ‌های آذرین به سن ائوسن تشکیل داده است که شامل آندزیت بازالت به همراه سنگ‌های آذرآواری از نوع ایگنیمبریت و توف است. بافت آنها بیشتر پورفیری، میکروولیتی است. پلاژیوکلاز، آمفیبول و کلینوپیروکسن از کانی‌های اصلی قابل تشخیص است. به دلیل عملکرد دگرسانی، کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلریت، کلسیت، اپیدوت و اکسید آهن در این سنگ‌ها ایجاد شده است. تجزیه الکترون میکروپروپ نشان‌دهنده ترکیب دیوپسید-اویژیت برای پیروکسن‌هاست. بر پایه ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن، ماگمای مادر دارای روند کالک‌آلکال و جایگاه زمین‌ساختی تشکیل آن، در ارتباط با فروانش است. مطالعه شیمی کلینوپیروکسن بیانگر میزان درصد آب ماگمای میان ۲ تا ۱۰ درصد است. زمین‌دما فشارسنجی کلینوپیروکسن‌ها دمای تشکیل ۹۲۵ تا ۱۰۹۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ تا ۱۰ کیلوبار را برای تشکیل سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: کلینوپیروکسن، سنگ‌های آتشفشانی، تکتونوماگمایی، علون‌آباد، اصفهان.

***نویسنده مسئول:** محمدهاشم امامی

E-mail: hashememami@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

فعالیت‌های آتشفشانی سنوزویک ایران در سه برهه اصلی ائوسن، میوسن بالایی-پلیوسن و کواترنری رخ داده است (Dilek et al., 2010). نوار آتشفشانی ارومیه-دختر خود بخشی از یک ایالت ماگمایی گسترده است که حاصل همگرایی میان صفحه‌های آفریقا-عربی و اوراسیاست (Jackson and McKenzie, 1984; Dewey et al., 1986; McClusky et al., 2000 and 2003; Allen et al., 2004; Dilek and Sandvol, 2009). (Dilek and Whitney (2000). بر این باورند که سنگ‌های آتشفشانی پس از برخورد سنوزویک در ایالت ماگمایی به‌طور گسترده‌ای در بخش شمال و شمال‌باختری زمین‌درز زاگرس-بیتلیس پروتزد دارد. شکل ۱ پراکنندگی سنگ‌های آتشفشانی سنوزویک، در این ایالت ماگمایی و پهنه ساختاری ایران را نشان می‌دهد. مطالعات بسیاری روی نوار آتشفشانی ارومیه-دختر انجام شده است (Emami, 1981; Amidi et al., 1984; Hassanzadeh, 1993; Aftabi and Atapour, 2000) که گویای وجود سری ماگمایی چیره کالک‌آلکال و در برخی مناطق شوشونیتی (Aftabi and Atapour, 2000) و آداکتیتی (Jahangiri, 2007; Ghadami et al., 2008; Omrani et al., 2008; Khodami, 2009; Sayari, 2015) است. فعالیت‌های آتشفشانی صورت گرفته در زمان ائوسن میانی و پسین در این بخش از ایران، سبب ایجاد سنگ‌های آتشفشانی این منطقه شده است. از دید سنگ‌شناسی، سنگ‌های آتشفشانی یاد شده شامل انواع اسیدی (داسیت و ریداسیت)، حدواسط (آندزیت) و بازیک (آندزیت بازالتی) است. کلینوپیروکسن به عنوان یک کانی ردیاب، در ارزیابی شرایط فیزیکی شیمیایی ماگما شناخته می‌شود. ترکیب آن نه تنها بازتابی از شرایط شیمیایی و سری ماگمایی است (Le Bas, 1962; Letertier et al., 1982; Berger et al., 2005; Dioh et al., 2009) بلکه نشان‌دهنده شرایط فیزیکی (دما و فشار) ماگما در زمان تبلور آن است (Nimis, 1995; Nimis and Ulmer, 1998; Nimis and Taylor, 2000; Putirka, 2008; Putirka et al., 1996 and 2003).

شمال خاور شهر کوهپایه قرار دارد و از شمال به روستای کجان می‌رسد. محدوده مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی ۲۶' ۴۸" و ۳۲' ۴۸" و ۳۲' ۵۴" شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳۰' ۵۲" و ۳۶' ۴۹" و ۵۲' ۳۶" خاوری قرار دارد (شکل ۲). راه اصلی دسترسی به منطقه جاده اصلی اصفهان-کوهپایه-روستای علون‌آباد است که از کنار جاده آسفالت‌علون‌آباد و با ورود به جاده خاکی می‌توان به منطقه دسترسی پیدا کرد. این منطقه از دیدگاه ساختاری، بخشی از پهنه سهند-بزمان (ارومیه-دختر) به شمار می‌رود.

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه علون‌آباد بیشتر شامل گدازه‌های بازیک-حدواسط با ترکیب آندزیت-بازالت، آندزیت-تراکی آندزیت به همراه سنگ‌های آذرآواری از نوع ایگنیمبریت با ترکیب داسیت و توف است.

۳- روش مطالعه

در راستای تهیه نقشه زمین‌شناسی از منطقه مورد بررسی، ابتدا برداشت‌های صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای آتشفشانی در منطقه انجام شد. بیش از ۱۰۰ نمونه از سطح منطقه گردآوری و پس از تهیه ۶۰ مقطع نازک و مطالعه آنها با میکروسکوپ پلاریزان، به منظور بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ۱۵ نقطه تجزیه الکترون میکروپروپ از کلینوپیروکسن در این مقاله ارائه شده است. تجزیه نقطه‌ای انجام شده روی کانی‌ها با استفاده از دستگاه تجزیه الکترون میکروپروپ به روش EPMA در مرکز فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) انجام شد. محاسبه فرمول ساختاری با استفاده از فایل‌های اکسل ساخته شده برای کانی‌ها (Spreadsheet) و تقسیم‌بندی آنها توسط نرم‌افزار Minpet.2.02 انجام شد. با توجه به اینکه آنالیز الکترون میکروپروپ نمی‌تواند Fe^{2+} و Fe^{3+} تفکیک کند؛ و کل آهن به صورت FeO^* گزارش می‌شود؛ لازم است برای محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها این دو از یکدیگر تفکیک شوند که بر پایه روش Droop (1987) صورت گرفته است.

ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی به ویژه کلینوپیروکسن‌هایی که به‌صورت درشت‌بلور تشکیل شده‌اند؛ به خوبی، شیمی گدازه

۲- زمین‌شناسی منطقه

روستای علون‌آباد در فاصله ۸۰ کیلومتری به سوی خاور اصفهان و در ۱۴ کیلومتری

و درصد اعضای پایانی آنها که در جدول ۱ و ۲ آورده شده است؛ ترکیب کلیئوپیروکسن‌ها از نوع دیوسید-اوپت است.

به‌طور کلی پیروکسن‌ها در ۴ گروه جای می‌گیرند. گروه اول: پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe (Quad)؛ گروه دوم: پیروکسن‌های Ca-Na؛ گروه سوم: پیروکسن‌های Na دار و گروه چهارم: دیگر پیروکسن‌ها (Morimoto, 1988). با توجه به نمودار J-Q (Morimoto, 1988) (شکل ۵)، پیروکسن‌های مورد بررسی در محدوده آهن-منیزیم-کلسیم (Quad) جای گرفته‌اند. در این نمودار محورهای J و Q طبق رابطه زیر به دست می‌آیند.

$$Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$$

$$J = 2Na + R \quad (R: Al, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Sc^{3+})$$

برای جدا کردن پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe از نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs (ولاستونیت-فروسیلیت-انستاتیت) (Morimoto, 1988) استفاده شد. در این نمودار، نمونه‌ها در محدوده دیوسید-اوپت قرار گرفته‌اند (شکل ۶).

۵-۲. استفاده از شیمی کلیئوپیروکسن‌ها در پتروژنز

کلیئوپیروکسن‌ها کانی‌های مقاومی هستند که کمتر تحت تأثیر دگرسانی قرار می‌گیرند (Karimi, 2009) و عناصر موجود در آنها نماینده عناصر موجود در ماگماست. بنابراین با استفاده از شیمی کلیئوپیروکسن‌های موجود می‌توان به ماهیت ماگما و محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های موجود در مناطق مورد بررسی پی برد.

با استفاده از مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 موجود در ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها می‌توان سری‌های ماگمایی را از هم متمایز کرد. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده ساب‌آلکانل قرار می‌گیرد (شکل ۷-الف). همچنین با استفاده از نمودار TiO_2 در برابر Al_2O_3 پیروکسن‌های موجود به دلیل فقیر بودن از TiO_2 در محدوده کالک‌آلکانل جای می‌گیرند (شکل ۷-ب) (Le Bas, 1962). (Nisbet and Pearce, 1977) استفاده از اکسید عناصر اصلی موجود در کلیئوپیروکسن‌ها فرمول و نمودار F1F2 را ارائه کردند. با استفاده از فرمول‌های زیر می‌توان میزان F1 و F2 را به دست آورد و سپس با استفاده از نمودار F1F2 محیط تکتونوماگمایی ماگمای اولیه را مشخص کرد. همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود؛ نوع ماگمای مورد مطالعه با استفاده از درصد اکسیدهای عناصر اصلی موجود در کلیئوپیروکسن و محاسبه فرمول‌های F1 و F2 شبیه به بازالت‌های کماهای آتشفشانی است.

$$F1 = - (0.012 SiO_2) - (0.0807 TiO_2) + (0.0026 Al_2O_3) - (0.0012 FeO^*) - (0.0026 MnO) + (0.0087 MgO) - (0.0128 CaO) - (0.0419 Na_2O)$$

$$F2 = - (0.0469 SiO_2) - (0.0818 TiO_2) - (0.0212 Al_2O_3) - (0.0041 FeO^*) - (0.1435 MnO) - (0.0029 MgO) + (0.0085 CaO) + (0.016 Na_2O)$$

توزیع آلومینیم در جایگاه تتراندری (AlIV) و اکتاهداری (AlVI) کلیئوپیروکسن، روش مناسبی برای برآورد درصد تقریبی آب موجود در ماگمای به وجود آورنده آن است. ترکیب کلیئوپیروکسن‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ماگمای سازنده آنها دارای مقدار آب قابل ملاحظه‌ای بوده است (شکل ۹). بررسی شیمی کانی کلیئوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که ماگمای مادر ضمن تبلور این کانی دارای ۲ تا ۱۰ درصد آب تحت فشار ۵ کیلوپا بوده که نمایانگر تشکیل آنها در هنگام بالا آمدگی و پیش از فوران است.

۵-۳. زمین‌دما فشارسنجی

یکی از اهداف اولیه سنگ‌شناسان تعیین شرایط فیزیکی تشکیل سنگ و ارتباط این شرایط با فرایندهای زمین‌شناسی است. دماسنجی و فشارسنجی زمین‌شناسی یا زمین‌دما فشارسنجی در واقع علم تعیین و برآورد دما و فشار تشکیل یک سنگ است. همچنین در سنگ‌شناسی، از معادلات زمین‌دما فشارسنجی به منظور برآورد دما و فشار تعادل در زمان تبلور دوباره کانی‌ها استفاده می‌شود (Spear, 1995; Ottonello, 1997; Nakamura, 2009; Sayari, 2012).

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها ابزار مهمی برای سنجش دما در سنگ‌های آذرین به شمار می‌رود. برای بررسی دمای تشکیل پیروکسن‌ها از دماسنج‌های زیر استفاده شده است.

میزبان را نشان می‌دهند و با بررسی شیمی کانی‌های کلیئوپیروکسن تشکیل دهنده یک توده آذرین، می‌توان سری ماگمایی (Kushiro, 1960; Le Bas, 1962; Verhooge, 1962; Leterrier et al., 1982) و محیط زمین‌ساختی (Nisbet and Pearce, 1977; Leterrier et al., 1982) سنگ منشأ را تعیین کرد. افزون بر این، با بررسی ترکیب کانی‌های کلیئوپیروکسن، می‌توان شرایط دما و فشار تشکیل آن را برآورد کرد. زمین‌شناسانی مانند (Nimis and Taylor, 2000; Putirka et al., 2003) و Bertrand et al. (1986) از روی ترکیب پیروکسن‌ها (Adams and Bishop, 1986) و همچنین زوج کانی‌های الیون و کلیئوپیروکسن، دمای تشکیل سنگ‌ها را برآورد کرده‌اند. در این پژوهش، از کانی کلیئوپیروکسن، برای تعیین سری ماگمایی، محیط زمین‌ساختی، دما و فشار بهره گرفته شده است.

۴- سنگ‌نگاری

سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، به رنگ سبز تیره هستند (شکل ۳-الف) و به‌صورت توده‌های برجسته در کنار توف‌های سرخ رنگ واقع شده‌اند (شکل ۳-ب). مطالعات سنگ‌نگاری ترکیب سنگ‌های مورد مطالعه را آندزیت بازالتی نشان می‌دهد. این سنگ‌ها، متوسط تا درشت‌دانه هستند و بافت چیره در این سنگ‌ها شامل هیالوپورفیری، میکرولیتی، میکرولیتیک پورفیری و بافت فرعی همراه، بافت غربالی است. پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین-لاپرادوریت از کانی‌های اصلی و با درصد حجمی ۴۰ تا ۶۰، بیشترین حجم مدال آندزیت‌های بازالتی را تشکیل می‌دهد و به‌صورت درشت‌بلورهای خودشکل تا نیمه‌شکل دار و نیز به‌صورت میکرولیت‌هایی در زمینه حضور دارند و اندازه بیشینه آنها ۲/۵ میلی‌متر است (شکل ۴-الف). بیشتر درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی هستند؛ در حاشیه برخی از بلورهای این کانی آثار خوردگی دیده می‌شود که می‌توان آن را به تغییرات فشار و یا عدم تعادل شیمیایی درشت‌بلورها با ماگمای سازنده در هنگام خروج گدازه نسبت داد (Zarei Sahamieh and Ebrahimi, 2014). شماری از پلاژیوکلازها دارای حواشی گردشده و ماکل پلی‌سنتیک هستند (شکل ۴-ب).

پیروکسن در زمینه‌ای پلاژیوکلاز است. کانی‌های کدر هم به‌صورت شکل دار و هم به‌صورت بی‌شکل به مقدار کم در زمینه پراکنده هستند و معمولاً میان ۲ تا ۱۰ درصد حجم سنگ را شامل می‌شوند و اندازه بیشینه آنها ۱ میلی‌متر است (شکل ۴-ج). درشت‌بلورهای آمفیبول با آثار تحلیل‌یافتگی و اپاکی شدن (شکل ۴-الف)، به نوعی نشان‌دهنده واکنش اکسایش هستند که به عدم تعادل در هنگام انجماد ماگما بستگی دارد که این حالت را اصطلاحاً اپاکی شدن آمفیبول می‌نامند (Roosbehani and Arvin, 2010). آمفیبول‌ها هم در زمینه و هم درون پلاژیوکلازها به چشم می‌خورند و اندازه آنها به ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر و اندازه درشت‌بلورهای آن به ۲ میلی‌متر نیز می‌رسد. وجود بافت‌هایی مانند بافت غربالی در آندزیت بازالت توصیف شده در بالا، احتمالاً گواه آمیختگی ماگمایی است (Li et al., 2013). این بدان معناست که سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب حدواسط ممکن است در نتیجه آمیختگی ماگماهای بازالتی با ماگمای فلسیک ایجاد شده باشند (Yoshida et al., 2013). کلریت و کلسیت نیز به‌صورت پرکننده حفرات در این سنگ‌ها وجود دارند (شکل ۴-د).

۵- ژئوشیمی

مطالعات ژئوشیمیایی یکی از بهترین راه‌های شناخت فرایندهای ماگمایی است. بدین منظور روی نمونه‌های دارای پیروکسن تجزیه نقطه‌ای انجام گرفته است. جدول‌های ۱ و ۲ نتایج حاصل از این تجزیه را بر حسب درصد وزنی نشان می‌دهند.

۵-۱. شیمی کانی پیروکسن

با توجه به داده‌های حاصل از تجزیه نقطه‌ای پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آندزیت بازالتی (جدول ۱) نشان می‌دهد که آنها ترکیب یکسان و هموزن دارند. با توجه به ویژگی‌های نوری و همچنین میزان عناصر موجود در کلیئوپیروکسن‌ها

آمده می‌شود. در هر کدام از معادلات اشاره شده، برای هر کانی کلینوپیروکسن دو مجهول دما و فشار وجود دارد؛ به بیان دیگر هر کانی کلینوپیروکسن بر پایه این معادله‌ها، تشکیل یک دستگاه دو معادله - دو مجهولی را می‌دهد که حل این معادله یک نقطه فشار و دما را معرفی می‌کند.

دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها بر پایه فرمول یاد شده در فشارهای ۲ تا ۱۰ کیلو بار برای کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه ۹۲۵ تا ۱۰۹۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که نسبت به دماهای به دست آمده از نمودار، دمای کمتری را نشان می‌دهد و دقیق‌تر است. نتایج حاصل از این دماسنجی در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته شده در بالا، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه شامل گدازه‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری هستند. سنگ‌های آتشفشانی مطالعه شده از نوع آندزیت بازالتی هستند و کانی‌هایی چون پلاژیوکلاز (آندزین - لابرادوریت)، کلینوپیروکسن (اوژیت - دیوپسید)، آمفیبول، کلسیت، کلریت و کانی‌های کدر در آنها تشخیص داده شده است. با توجه مطالعات دماسنجی، دمای ۹۲۵ تا ۱۰۹۱ درجه سانتی‌گراد و فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌ها در این سنگ‌ها کمتر از ۱۰ کیلو بار برآورد می‌شود. در مورد سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌ها بر پایه نمودارهای ژئوشیمیایی پیروکسن‌ها، ماگما از نوع کالک‌آلکانل و در ارتباط با فرورانش نئوتیس زیر صفحه ایران مرکزی است.

بر پایه متغیرهای XPT و YPT که بر پایه روابط زیر به دست می‌آیند (Soesoo, 1997)؛ دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌های منطقه مورد مطالعه حدود ۱۱۵۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است که میزان دما را به‌طور تقریبی و در محدوده نشان می‌دهد که چندان قابل اعتماد نیست (شکل ۱۰-الف).

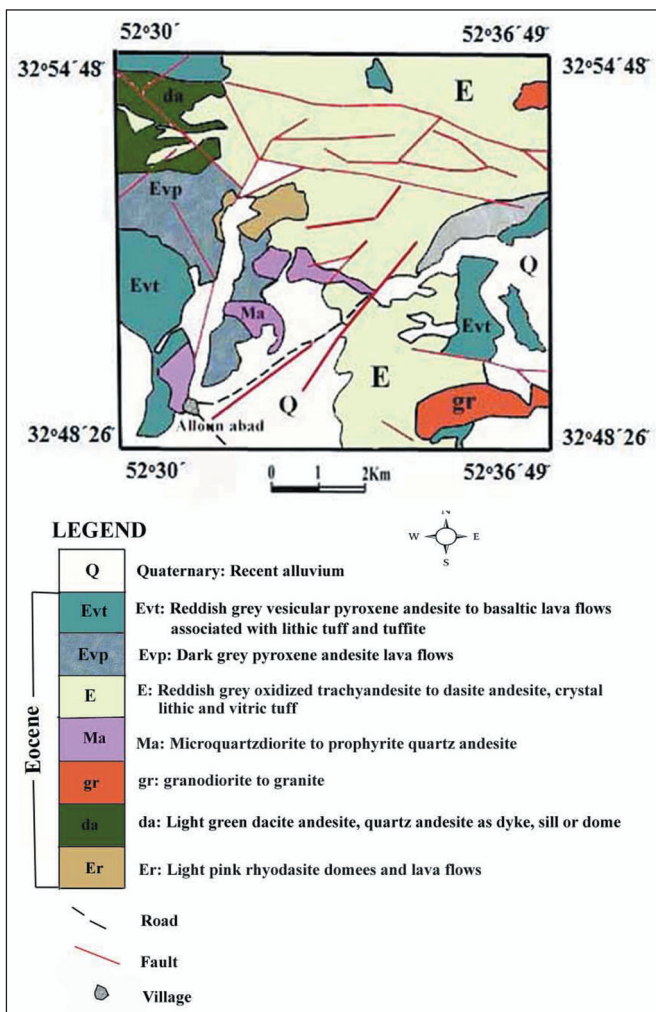
همچنین به منظور تعیین فشار تبلور کلینوپیروکسن مورد مطالعه از نمودار Soesoo (1997) و نیز مقادیر XPT و YPT استفاده و بر پایه شکل ۱۰-ب میزان فشار کمتر از ۱۰ کیلو بار برآورد شد.

به منظور تعیین شرایط فشار- دمای تبلور کلینوپیروکسن‌های مورد تجزیه از معادلات زمین‌دما فشارسنجی ارائه شده توسط (2000) Nimis and Taylor استفاده شده است. این معادلات به‌صورت زیر هستند:

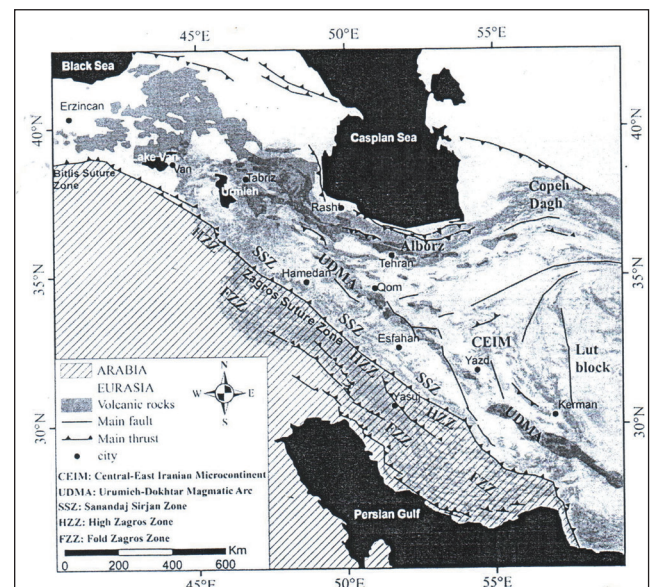
$$T(^{\circ}\text{K}) = 23166 + 39.28 P(\text{kbar}) / (13.25 + 15.35 \text{ Ti} + 4.50 \text{ Fe} - 1.55 (\text{Al} + \text{Cr} - \text{Na} - \text{K}) + (\text{Ina}_{\text{Cpx}})^2)$$

$$a_{\text{Cpx}} = (1 - \text{Ca} - \text{Na} - \text{K}) (1 - 1/2(\text{Al} + \text{Cr} + \text{Na} + \text{K}))$$

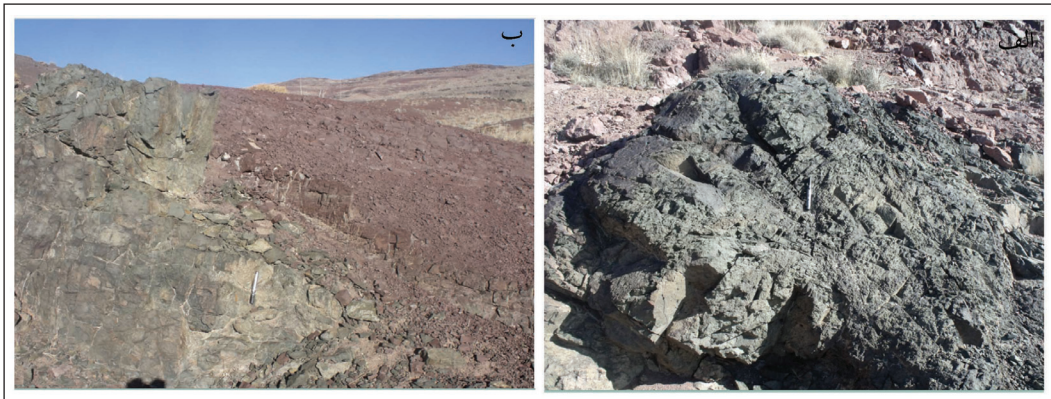
معادله‌ای که بر پایه آن فشار به دست می‌آید؛ به دما وابسته است. به عبارت دیگر هر تغییری در مقدار دما سبب تغییر در فشار به دست آمده می‌شود. معادله تعیین دما نیز به فشار وابسته است و تغییرات فشار سبب ایجاد تغییر در دمای به دست



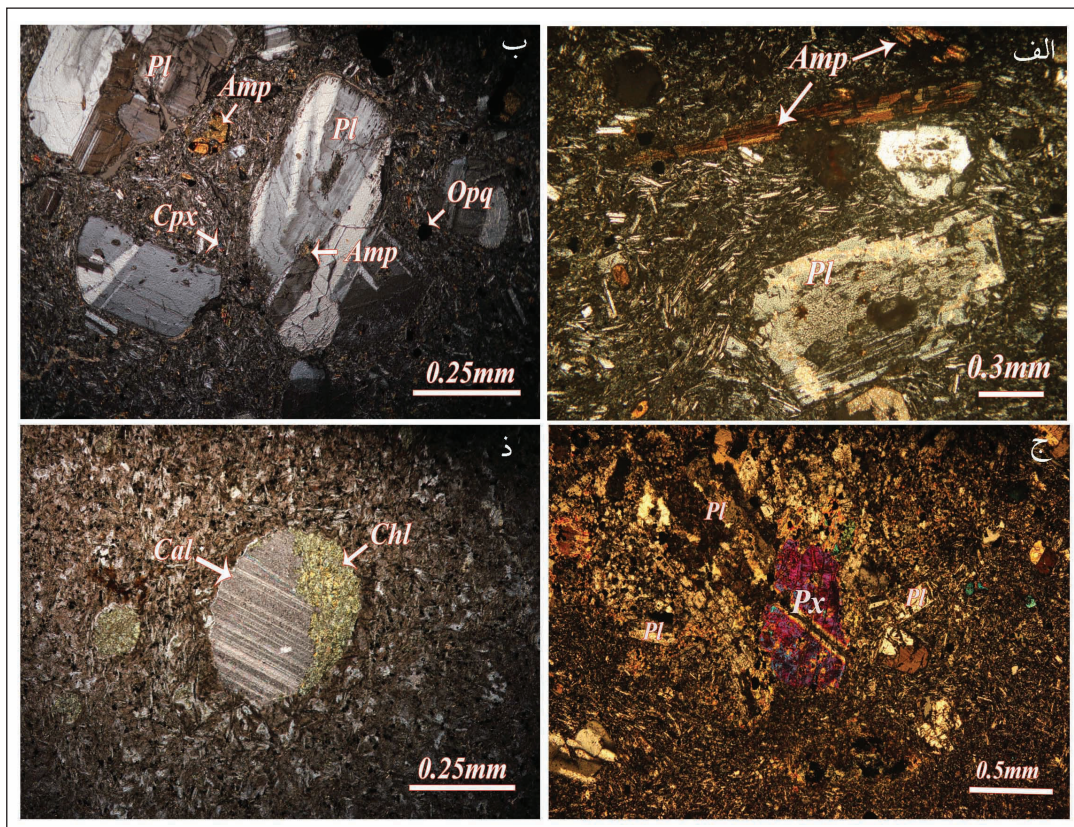
شکل ۲- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور روستای علون‌آباد (خاور اصفهان) در نقشه زمین‌شناسی کجان (Amini and Amini Chehragh, 2003).



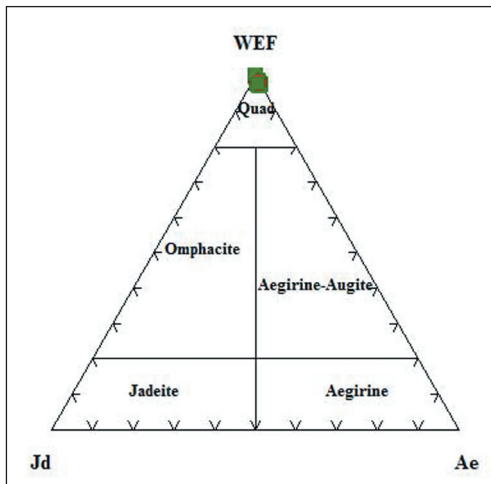
شکل ۱- زون ساختاری ایران و پراکندگی سنگ‌های آتشفشانی سنوزویک ایران و ایالت ماگمایی شمال زمین‌درز زاگرس - بیتلیس (Sayari, 2015).



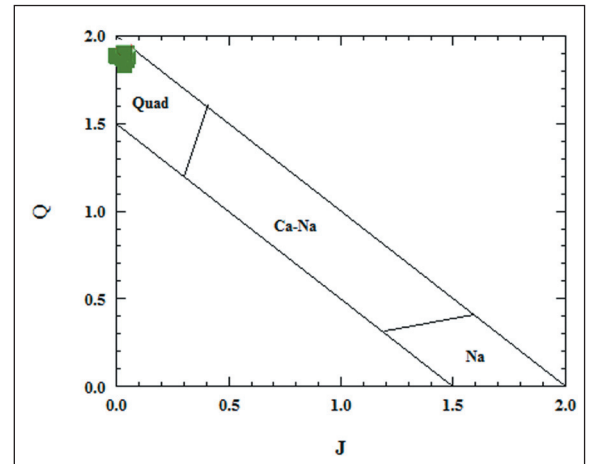
شکل ۳- الف) نمایی از رخنمون واحد آندزیت بازالتی؛ ب) همجواری آندزیت بازالتی و توف‌های سرخ رنگ.



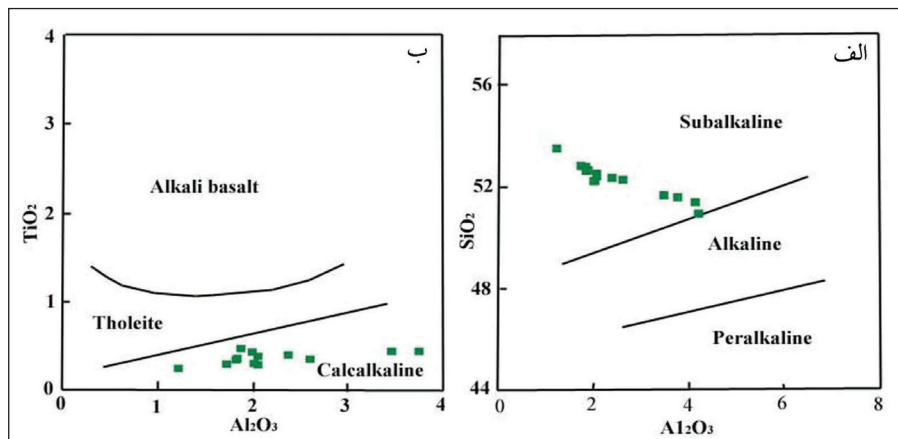
شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی سنگ‌های آندزیت بازالتی منطقه علون‌آباد؛ الف) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی و آمفیبول در زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز؛ ب) درشت‌بلور پلاژیوکلاز با حواشی گرد شده در زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز؛ ج) پیروکسن‌ها در سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی؛ د) پرشدگی حفرات توسط کلریت و کلسیت. (Px): پیروکسن، Pl: پلاژیوکلاز، Opq: کانی کدر، Amp: آمفیبول، Chl: کلریت، Cal: کلسیت (Whitney and Evans, 2010).



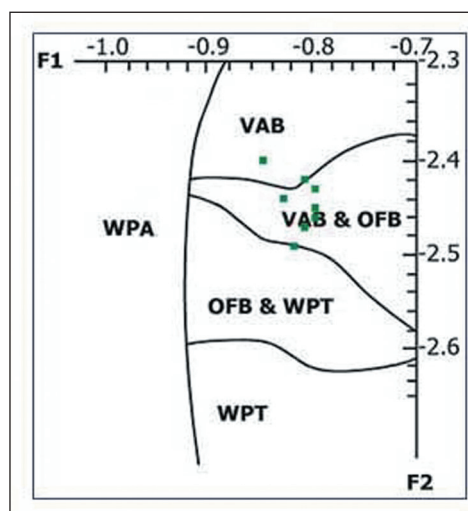
شکل ۶- نمایش ترکیب کلیئوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (Morimoto, 1988). در این نمودار، نمونه‌ها در محدوده دیوپسید- اوژیت جانمایی شده‌اند.



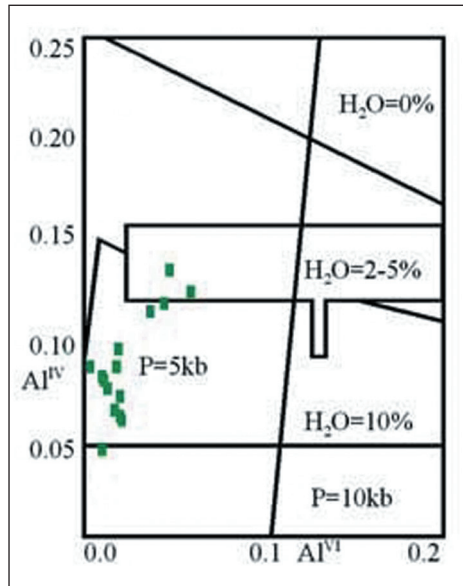
شکل ۵- نمایش ترکیب کلیئوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه (Morimoto, 1988). در این نمودار، نمونه‌ها در محدوده Quad جای گرفته‌اند.



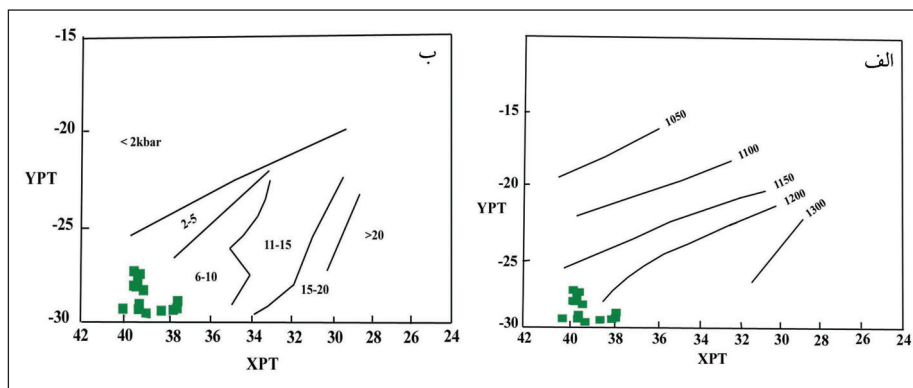
شکل ۷- الف) نمودار SiO₂ در برابر Al₂O₃ (Le Bas, 1962)؛ نمونه‌ها در محدوده ساب‌آلکالن جای گرفته‌اند؛ ب) نمودار TiO₂ در برابر Al₂O₃ (Le Bas, 1962)؛ نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکالن جانمایی شده‌اند.



شکل ۸- نمودار تعیین کننده نوع ماگما و محیط تکتونوماگمایی در نمودار F1F2 و موقعیت کلیئوپیروکسن‌های مورد بررسی که در بخش بازالت‌های کمان آتشفشانی و بازالت‌های کف اقیانوس جای گرفته‌اند (Nisbet and Pearce, 1977).



شکل ۹- توزیع Al در موقعیت‌های تتراندی و اکتاهدی در کلبیوپروکسن‌های منطقه علون‌آباد به تناسب مقدار درصد آب ماگما (Helz, 1976).



شکل ۱۰- الف) نمودار تعیین دمای کلبیوپروکسن با استفاده از روش Soesoo (1997). دمای تشکیل بیشتر کلبیوپروکسن سنگ‌های منطقه علون‌آباد ۱۱۵۰ تا ۱۲۵۰ سانتی‌گراد است؛ ب) نمودار تعیین فشار تبلور پروکسن‌ها (Soesoo, 1997). فشار تشکیل بیشتر کلبیوپروکسن‌ها در محدوده ۲ تا ۱۰ کیلو بار است.

جدول ۱- نتایج تجزیه الکترون‌میکروپروپ پروکسن سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور روستای علون‌آباد (ترکیب شیمیایی پروکسن و فرمول ساختاری بر پایه ۶ اتم اکسیژن).

Sample	K18-1	K18-2	K18-3	K18-4	K18-5	K18-6	K18-7
SiO ₂	۵۱/۴۷	۵۲/۰۷	۵۲/۳	۵۱/۲	۵۲/۱۴	۵۲/۴۳	۵۲/۰۱
TiO ₂	۰/۵۵	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۶۳	۰/۵	۰/۵۹	۰/۵۴
Al ₂ O ₃	۳/۴۷	۲/۶۱	۲/۰۶	۴/۱۳	۲/۳۸	۱/۸۸	۲
Cr ₂ O ₃	۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۲	۰/۶۴	۰/۰۲	۰	۰
FeO	۶/۸۱	۷/۲۹	۷/۵	۶/۵۴	۹/۵۶	۱۰/۶	۱۰/۲۵
MnO	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۳۷
MgO	۱۵/۹۱	۱۶/۶۱	۱۶/۳۸	۱۵/۵۱	۱۶/۲۲	۱۵/۱۶	۱۵/۳۷
CaO	۲۱/۹۱	۲۱/۴۲	۲۱/۵۵	۲۱/۹۲	۲۰	۲۰/۱	۲۰/۱۴
Na ₂ O	۰/۰۵	۰/۲	۰/۱۹	۰	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹
K ₂ O	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Total	۱۰۰/۹۲	۱۰۱/۱۳	۱۰۰/۸۹	۱۰۰/۷۴	۱۰۱/۴۱	۱۰۱/۴۲	۱۰۰/۹۷

ادامه جدول ۱

Sample	K18-1	K18-2	K18-3	K18-4	K18-5	K18-6	K18-7
Si	۱/۸۸۷	۱/۹۰۶	۱/۹۲۲	۱/۸۷۷	۱/۹۱۵	۱/۹۳۴	۱/۹۲۶
Al ^{IV}	۰/۱۱۳	۰/۰۹۴	۰/۰۷۸	۰/۱۲۳	۰/۰۸۵	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴
Al ^{VI}	۰/۰۳۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۱	۰/۰۵۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳
Fe ³⁺	۰/۰۵	۰/۰۸۷	۰/۰۸۲	۰/۰۲	۰/۰۹۳	۰/۰۵۷	۰/۰۷۷
Fe ²⁺	۰/۱۵۸	۰/۱۳۴	۰/۱۴۷	۰/۱۸	۰/۱۹۸	۰/۲۶۸	۰/۲۳۹
Cr	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰	۰
Ti	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵
Mn	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
Mg	۰/۸۷	۰/۹۰۶	۰/۸۹۷	۰/۸۴۸	۰/۸۸۸	۰/۸۳۴	۰/۸۴۹
Ca	۰/۸۶۱	۰/۸۴	۰/۸۴۸	۰/۸۶۱	۰/۷۸۷	۰/۷۹۴	۰/۷۹۹
Na	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱
Sum	۴/۰۱۶	۴/۰۲۸	۴/۰۲۶	۴/۰۰۶	۴/۰۲۹	۴/۰۱۸	۴/۰۲۴
Wo	۴۴/۱۷	۴۲/۲۱	۴۲/۴۴	۴۴/۹۸	۳۹/۴	۴۰	۴۰/۰۴
En	۴۴/۶۴	۴۵/۵۴	۴۴/۸۹	۴۴/۲۹	۴۴/۴۶	۴۱/۹۸	۴۲/۵۳
Fs	۱۱/۰۱	۱۱/۵۴	۱۱/۹۹	۱۰/۷۳	۱۵	۱۶/۹۷	۱۶/۳۹
Ac	۰/۱۸	۰/۷۱	۰/۶۸	۰	۱/۱۴	۱/۰۴	۱/۰۴

جدول ۲- ادامه نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ پروکسن سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور روستای علون‌آباد (ترکیب شیمیایی پروکسن و فرمول ساختاری بر پایه ۶ اتم اکسیژن).

Sample	K18-8	K18-9	K18-10	K18-11	K18-12	K18-13	K18-14	K18-15
SiO ₂	۵۲/۲	۵۲/۶	۵۳/۲۷	۵۲/۴۱	۵۲/۵۷	۵۰/۷۶	۵۱/۳۹	۵۲/۰۲
TiO ₂	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۵۵	۰/۳۸
Al ₂ O ₃	۲/۰۶	۱/۷۳	۱/۲۲	۱/۸۴	۱/۸۳	۴/۲	۳/۷۶	۲/۰۲
Cr ₂ O ₃	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰/۳۸	۰/۵۵	۰/۰۵
FeO	۹/۶۹	۹/۱۹	۷/۴۲	۹/۷۷	۸/۹۹	۷/۳۱	۷/۴۳	۸/۲۹
MnO	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۴	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۸
MgO	۱۵/۷۶	۱۵/۱۸	۱۵/۹	۱۵/۵۱	۱۵/۰۵	۱۵/۴۶	۱۶/۲۶	۱۶/۷۸
CaO	۲۰/۵۸	۲۱/۱	۲۲/۰۱	۲۰/۱۶	۲۱/۲۴	۲۱/۶۵	۲۰/۵۲	۲۰/۸۳
Na ₂ O	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵
K ₂ O	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲
Total	۱۰۱/۴۸	۱۰۰/۹۳	۱۰۰/۸۷	۱۰۰/۹۴	۱۰۰/۹	۱۰۰/۹	۱۰۰/۹۲	۱۰۰/۹۲
Si	۱/۹۲۱	۱/۹۴۳	۱/۹۵۷	۱/۹۳۷	۱/۹۴۲	۱/۸۶۶	۱/۸۸۳	۱/۹۱۵
Al ^{IV}	۰/۰۷۹	۰/۰۵۷	۰/۰۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۵۸	۰/۱۳۴	۰/۱۱۷	۰/۰۸۵
Al ^{VI}	۰/۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۰/۰۴۸	۰/۰۴۵	۰/۰۰۳
Fe ³⁺	۰/۱	۰/۰۶۲	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۶۱	۰/۰۸۲	۰/۰۶۷	۰/۱۱۷
Fe ²⁺	۰/۱۹۶	۰/۲۲	۰/۱۶۸	۰/۲۳۳	۰/۲۱۵	۰/۱۴۱	۰/۱۶	۰/۱۳۵
Cr	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱
Ti	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱
Mn	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹
Mg	۰/۸۶۵	۰/۸۳۶	۰/۸۷۱	۰/۸۵۵	۰/۸۲۹	۰/۸۴۷	۰/۸۸۸	۰/۹۲۱
Ca	۰/۸۱۱	۰/۸۳۵	۰/۸۶۶	۰/۷۹۸	۰/۸۴	۰/۸۵۳	۰/۸۰۵	۰/۸۲۱

ادامه جدول ۲

Sample	K18-8	K18-9	K18-10	K18-11	K18-12	K18-13	K18-14	K18-15
Na	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
Sum	۴/۰۳۱	۴/۰۱۹	۴/۰۱۹	۴/۰۲۱	۴/۰۱۹	۴/۰۲۶	۴/۰۲۱	۴/۰۳۷
Wo	۴۰/۴۲	۴۱/۹۵	۴۳/۳۳	۴۰/۰۹	۴۲/۳۴	۴۳/۷۹	۴۱/۴۳	۴۰/۶۳
En	۴۳/۰۸	۴۲	۴۳/۵۶	۴۲/۹۲	۴۱/۷۵	۴۳/۵۱	۴۵/۶۸	۴۵/۵۵
Fs	۱۵/۲۶	۱۴/۸۶	۱۱/۹۴	۱۵/۸	۱۴/۵۵	۱۱/۷۲	۱۱/۹۵	۱۲/۹۳
Ac	۱/۲۴	۱/۱۹	۱/۱۸	۱/۱۹	۱/۳۷	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۸

جدول ۳- نتایج دماسنجی کلبیوپیروکسن‌ها در فشارهای ۲ تا ۱۰ کیلوبار.

Sample	k18-1	K18-2	K18-3	K18-4	k18-5	K18-6	K18-7
2(kbar)	۹۹۴/۹۷	۱۰۲۸/۳	۱۰۱۱/۱	۹۹۴/۲۷	۱۰۷۹/۶	۱۰۴۳/۸	۱۰۴۸/۳۲
5(kbar)	۱۰۰۱/۴	۱۰۳۴/۹	۱۰۱۷/۶	۱۰۰۰/۷	۱۰۸۶/۷	۱۰۵۰/۵	۱۰۵۵
10(kbar)	۱۰۱۲/۲	۱۰۴۵/۹	۱۰۲۸/۴	۱۰۱۱/۴	۱۰۹۸/۱	۱۰۶۱/۶	۱۰۶۶/۲

جدول ۴- ادامه نتایج دماسنجی کلبیوپیروکسن‌ها در فشارهای ۲ تا ۱۰ کیلوبار.

Sample	K18-8	K18-9	k18-10	K18-11	K18-12	K18-13	K18-14	K18-15
2(kbar)	۱۰۳۲/۷	۹۹۵/۶۶	۹۲۵/۶۴	۱۰۵۲/۸	۹۵۲/۶	۹۶۵/۹	۱۰۷۲/۸	۱۰۵۵/۹
5(kbar)	۱۰۳۹/۳	۱۰۰۲/۱	۹۳۱/۷۲	۱۰۵۹/۶	۹۶۸/۸۷	۹۷۲/۱۸	۱۰۷۹/۶	۱۰۶۲/۶
10(kbar)	۱۰۵۰/۴	۱۰۱۲/۸	۹۴۱/۸۵	۱۰۷۰/۶	۹۷۹/۳	۹۸۲/۶۵	۱۰۹۱	۱۰۷۳/۸

References

- Adams, G. E. and Bishop, F. C., 1986- The olivine- clinopyroxene geobar- ometer: experimental results in the CaO- FeO- MgOSiO₂ system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 94(2), 230-237.
- Aftabi, A. and Atapour, H., 2000- Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran. *Episodes*, V. 23(2), 119-125.
- Allen, M., Jackson, J. and Walker, R., 2004- Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, 23(2), 1-16.
- Amidi, S. M., Emami, M. H. and Michel, R., 1984- Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Central Iran and its geodynamic situation. *Geologische Rundschau*, 73(3), 917- 932.
- Amini, B. and Amini chehragh, M. R., 2003- 1:100000 Geological map of Kajan. Geological survey and mineral explorations of Iran.
- Berger, J., Femenias, O., Mercier, J. C. C. and Demaiffe, D., 2005- Ocean-floor hydrothermal metamorphism in the Limousin ophiolites (western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker. *Journal of Metamorphic Geology*, V. 23(9), 795- 812.
- Bertrand, P., Sotin, C., Mercier, J. C. and Takahashi, E., 1986- From the simplest chemical system to natural one: garnet peridotite barometry, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 93(2): 168-178.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F. and Sengo, A. M. C., 1986- Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone. In: M.P. Coward and A.C. Ries (Editors), *Collision Zone Tectonics*. Geological Society of London Special Publication, London, pp. 3-36.
- Dilek, Y. and Sandvol, E., 2009- Seismic Structure, Crustal Architecture and Tectonic Evolution of the Anatolian-African Plate Boundary and the Cenozoic Orogenic Belts in the Eastern Mediterranean Region. *Geological Society of London Special Publication*, 327, 127-160.
- Dilek, Y. and Whitney, D. L., 2000- Cenozoic crustal evolution in central Anatolia: Extension, magmatism and landscape development, In: Panayides, I., Xenophontos, C., Malpas, J. (Eds), *Proceedings of the third international conference on the geology of the eastern Mediterranean*: Geological survey department, September 1998, Nicosia-cyprus, 183-142.

- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, 52(4-6), 536-578.
- Dioh, E., Béziat, D., Grégoire, M. and Debat, P., 2009- Origin of rare earth element variations in clinopyroxene from plutonic and associated volcanic rocks from the Foulde basin, Northern Kedougou inlier, Senegal, West Africa. *European Journal of Mineralogy*, 21(5), 1029- 1043.
- Droop, G. T. R., 1987- A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51(361), 431-435.
- Emami, M. H., 1981- Geologie de la région de Qom- Arak (Iran), contribution al' étude dynamique et géochimique du volcanisme tertiaire de l'Iran. Thèse ès-sciences naturele , univ. sc. et et Medicate de Grenoble, France, p. 489.
- Ghadami, G., Moradian, A. and Mortazavi, M., 2008- Post-collisional Plio–Pleistocene adakitic volcanism in Central Iranian volcanic belt: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 19(3), 223-235.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of Cenozoic active continental margin of Central Iran (Sharebabak area), Kerman province. Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles, USA, p. 204.
- Helz, R. T., 1976- Phase relations of basalts in their melting range at PH₂O = 5 kb. Part II Melt compositions, *Journal of Petrology*, 17, 139 – 193.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984- Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1): 185- 264.
- Jahangiri, A., 2007- Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3-4), 433-447.
- Karimi, S., 2009- Petrology of basalts and diabases in North of Haji abad (SW of Khur, Isfahan province). M.Sc. Thesis. University of Isfahan, Isfahan, Iran, p. 171.
- Khodami, M., 2009- Petrology of Plio-Quaternary volcanic rocks in south-east and north-west of Isfahan. PhD Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, p. 174 (in Persian with English abstract).
- Kushiro, I., 1960- Si- Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *American Journal of Science*, 258(5), 548-554.
- Le Bas, M. J., 1962- The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 260(4), 267-288.
- Letterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. and Marchal, M., 1982- Clinopyroxene composition as method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59(1), 139-154.
- Li, X., Mo, X., Yu, X., Ding, Y., Huang, X., Wei, P. and He, W., 2013- Petrology and geochemistry of the early Mesozoic pyroxene andesites in the Maixiu Area, West Qinling, China: Products of subduction or syn-collision. *Lithos*, 172-173, 158-174.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, G., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Ndariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. N. and Veis, G., 2000- Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105(B3), 5695-5719.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D. and Tealeb, A., 2003- GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*, 155(1), 126-138.
- Morimoto, N., 1988- Nomenclature of pyroxenes. *Fortschr mineral*, 66, 237-252.
- Nakamura, D., 2009- A new formulation of garnet- clinopyroxene geothermometer based on accumulation and statistical analysis of a large experimental data set. *Journal of Metamorphic Geology*, V. 27, 495-508.
- Nimis, P. A., 1995- A clinopyroxene geobarometer for basaltic systems based on crystal-structure modeling. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121(2), 115-125.
- Nimis, P. and Taylor, W. R., 2000- Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotite. Part 1. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139(5), 541-554.
- Nimis, P. and Ulmer, P., 1998- Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. 1. An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 133(1-2), 122-135.
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A., 1977- Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 63(2), 149-160.
- Omrani, J., Agard, P., Witechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008- Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3-4), 380-398.
- Ottoneo, G., 1997- Principles of geochemistry. Columbia University Press, Nw York, USA, p. 894.
- Putirka, K., 2008- Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 61-120.
- Putirka, K., Johnson, M., Kinzler, R. and Walker, D., 1996- Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kbar. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123(1), 92-108.

- Putirka, K., Mikaelian, H., Ryerson, F. and Shaw, H., 2003- New clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho. *American Mineralogist*, 88(10), 1542-1554.
- Roozbehani, L. and Arvin, M., 2010- Petrography, geochemistry and petrogenesis of rhyolitic and andesitic rocks in Nasir Abad, south-west, Kerman. *Journal of Petrology*, 1(2), 1-16. (in Persian).
- Sayari, M., 2012- APG: An efficient software program for Amp-Pl thermobarometry based on graphical method. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 22(4), 345-349.
- Sayari, M., 2015- Petrogenesis and evolution of Oligocene-Pliocene volcanism in the central part of Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (NE of Isfahan). Ph.D Thesis, University of Isfahan, Isfahan, Iran, p.195 (in Persian with English abstract).
- Soesoo, A., 1997- A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallization PT-estimations. *Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen)*, 119(1), 55-60.
- Spear, F. S., 1995- Metamorphic phase equilibria and pressure - temperature- time paths. *Mineralogical Society of American, Washington D.C., USA*, p. 799.
- Verhooge, J., 1962- Distribution of titanium between silicates and oxydes in igneous rocks. *American Journal of Science*, 260(2), 211-220.
- Whitney, L. and Evans, W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Yoshida, T., Okamura, S., Sakamoto, I., Ikeda, Y., Adachi, Y., Kojima, M., Sugawara, M. and Shitahaku, R., 2013- Petrology of felsic rocks dredged from the Myojin Seamount and the Myojin Rift in the north Izu-Bonin arc - Contribution of intra-oceanic subduction system to making continental middle crust. Meeting of International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Kagoshima, Japan.
- Zarei Sahamieh, Z., and Ebrahimi, S., 2014- Petrology, mineral chemistry and tectono-magmatic setting of volcanic rocks from northeast Farmahin, north of Arak. *Journal of Economic Geology*, 6(2), 375-392.

Application of clinopyroxene in petrogenesis of volcanic rocks at north of East Alloun Abad village (East of Isfahan)

Z. Nasr Esfahani¹, M. H. Emami^{*2}, S. J. Sheikhzakeriaee³ and S. H. Tabatabaei⁴

¹Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

⁴Associate Professor, Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran

Received: 2016 November 19

Accepted: 2017 April 16

Abstract

The study area is located in the Isfahan province and at the north of East Alloun Abad village. This area is a part of Urmia - Dokhtar belt in Central Iran. A large part of the area is formed from Eocene igneous rocks. These rocks include basaltic andesite and pyroclastic rocks of ignimbrite and tuff. These rocks show porphyritic and microlithic texture with plagioclase, amphibole and clinopyroxene as the main mineral constituents. The secondary minerals such as chlorite, calcite, epidote and iron oxide are formed due to alterations. Electron microprobe analyses reveals that clinopyroxenes are diopside - augite. The study of clinopyroxene chemistry showed that the water was between 2 to 10% during clinopyroxene crystallization. The parental magma was calc-alkaline and tectonic setting is a subduction-related environment, based on clinopyroxene composition. Geothermobarometry of clinopyroxene gives temperature range of 925-1091°C and pressures range of 2-10 kbars for the formation of clinopyroxene in these rocks.

Keywords: Clinopyroxene, Volcanic rocks, Tectonomagmatic setting, Alloun Abad, Isfahan.

For Persian Version see pages 35 to 44

*Corresponding author: M. H. Emami; E-mail: hashememami@yahoo.com