

شرایط تشکیل بلورهای پیروکسن زونینگ‌دار در دایک‌های آندزیتی نیمه قلیایی روستای حسن آباد یزد - جنوب باختر تفت

سمیرا زندی فر^{۱*}، محمدولی ولی‌زاده^۱، محمدعلی برقی^۱، محمدرضا فرودی جهرمی^۲

^۱دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۲گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۴/۰۶

چکیده

در باختر و شمال‌باختر روستای حسن آباد یزد دایک‌های بزرگی از آندزیت‌های نیمه قلیایی در دیوریت‌ها، گرانودیوریت‌ها و کوآرتز دیوریت‌ها دیده می‌شود. بلورهای کلینوپيروكسن درشت این سنگ‌ها منطقه‌بندی (زونینگ) تقریباً واضحی را نشان می‌دهند. ترکیب کلینوپيروكسن‌های دانه‌ریز زمینه در این سنگ‌ها مشابه حاشیه کلینوپيروكسن‌های زونینگ‌دار است. نتایج حاصل از تجزیه‌های نقطه‌ای کلینوپيروكسن‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مرکز به سمت حاشیه نشان داد که کلینوپيروكسن‌ها دارای ترکیبی از دیوپسید کروم‌دار، سالیت-فروسالیت و تیتان‌اوژنیت هستند. منطقه‌بندی این بلورها در هنگام رشد کانی به وجود آمده است. اعتقاد بر این است که در منطقه‌بندی این کلینوپيروكسن‌ها تاریخچه پیچیده‌ای از شروع و خاتمه تفریق، آمیختن به وسیله آمیختگی ماگمایی، وجود و نبود تنش‌های فشار بالا ثبت شده است. منشأ بلورهای سالیت و فروسالیت در دایک‌های آندزیتی حسن آباد احتمالاً از سنگ‌های دیواره گوشته بالایی در نظر گرفته می‌شود.

کلیدواژه‌ها: کلینوپيروكسن، دایک‌های آندزیتی، منطقه‌بندی، حسن آباد یزد.

*نویسنده مسئول: سمیرا زندی فر

E-mail: tec1319_sh@yahoo.com

۱- مقدمه

مطالعه ترکیب شیمیایی زونینگ کانی‌های کلینوپيروكسن، به منظور تعیین و بررسی چگونگی تشکیل آنها هم‌زمان با ظهور میکروسکوپ الکترونی، یعنی از اوایل دهه ۷۰ میلادی آغاز شد. پیش از این زمان، بررسی ساختمان منطقه‌ای تنها از طریق مطالعه رنگ کانی‌ها امکان‌پذیر بود (Atherton and Edmunds, 1966; Chinner, 1962). در سنگ‌های آندزیت نیمه قلیایی اطراف روستای حسن آباد یزد، پیروکسن‌ها اغلب شامل کلینوپيروكسن‌هایی با منشأ گوناگون هستند. کانی‌های یادشده به صورت بلورهای بیگانه (Xenocrysts)، درشت‌بلورهای (Megacrysts) مجزا یا به صورت درشت‌بلورهای زونه دیده می‌شوند که اطلاعاتی در رابطه با تحول ماگمای میزبان را فراهم می‌آورند. در میان این کانی‌ها، بویژه پیروکسن‌های درشت‌بلور سبز و زونینگ‌دار مشخص تر هستند که غنی از آهن بوده و نمی‌توانند با ماگماهای میزبان غنی از منیزیم اولیه در هیچ فشاری در تعادل باشند. این پیروکسن‌ها به‌طور گسترده از منشأهای مختلف در دنیا گزارش شده‌اند (Barton et al., 1982; Lloyd, 1981; Wass, 1979; Brooks and Printzslau, 1978). در دیوریت‌ها و آندزیت‌های اطراف روستای حسن آباد پیروکسن‌های به شدت زونه اغلب با هسته سبز یا بی‌رنگ وجود دارند (کلینوپيروكسن با هسته سبز مربوط به آگزواسکارن‌های درون دیوریت‌ها است که تعدادشان بسیار کم است). زونینگ بلورهای پیروکسن در سنگ‌های آذرین در اثر فرایندهایی مانند هضم بیگانه‌سنگ (زینولیت) (Gamble and Taylor, 1980)، اثرات جنبشی (عدم تعادل) (Dessai et al., 1990; Dobosi, 1986; Downes, 1989)، تغییرات فوگاسیته اکسیژن (Larsen, 1981; Brooks and Rucklidge, 1973; Segalstad, 1979)، تبلور فازهای دیگر (Tracy and Robinson 1977)، تفریق چند فشاری (Duda and Schminke, 1985)، و آمیختگی ماگمایی (Kouehi et al., 1983; Liotard et al., 1988) ایجاد می‌شود. در این نوشتار، زونینگ پیروکسن در دایک‌های آندزیتی حسن آباد بررسی می‌شود.

۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقه حسن آباد

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۸۰ کیلومتری جنوب باختری شهرستان تفت و بر روی نوار ماگماتیسیم سنوزویک ایران مرکزی مشهور به ارومیه-دختر واقع شده است

(Jankovic, 1984). این منطقه به شدت تکتونیزه بوده و کلیه واحدهای سنگی آن جابه‌جا شده‌اند. این فعالیت به علت قرارگیری آن در یک زون گسلی بین گسل اصلی دهشیر-بافت و گسل توران‌پشت-شمس‌آباد که یکی از گسل‌های فرعی و منشعب از آن است، بیش از مناطق مجاور است. این پیکره گسلی متأثر از آخرین رخداد زمین‌ساختی آلپ بوده که پیامد آن فعالیت آتشفشانی گنبد‌های آتشفشانی است (دهقان‌منشادی، ۱۳۷۹). قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در این منطقه رخمون دارند مربوط به کرتاسه (آهک سازند تفت) بوده و جوان‌ترین سنگ‌ها را آبرفت‌ها و همچنین تراورتن‌های عهد حاضر که هم‌اکنون نیز از چشمه‌های تراورتن‌ساز در حال نهشته شدن است تشکیل می‌دهند (شکل ۱- a).

توالی رسوبی مزوزویک به وسیله کنگلومرا (کنگلومرای کرمان) و سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن پوشیده می‌شود (Zaravandi and Liaghat, 2005). نهشته‌های میوسن با رسوبات مارن و ماسه‌سنگ ریزدانه با رنگ عمومی ارغوانی آغاز می‌شود. پایان‌بخش رسوبات میوسن در ناحیه مورد بررسی، لایه‌های ماسه‌سنگ و کنگلومرا به رنگ خاکستری تیره است.

سنگ‌های آذرین گسترش وسیعی در منطقه مورد مطالعه دارند. سنگ‌های بیرونی شامل داسیت و آندزیت و سنگ‌های درونی دارای طیف ترکیبی شامل دیوریت، دیوریت کوآرتزدار و گرانودیوریت است.

اسکارن حسن آباد در اثر نفوذ توده دیوریتی مربوط به نوار ارومیه-دختر در آهک‌های کرتاسه ایجاد شده است (شکل ۲). این نوار ماگمایی-متالوژنیک موازی نوار چین‌خوردگی-برخوردی زاگرس است که در شمال خاوری این زون گسلی قرار دارد. پلوتونیک، آتشفشان و کانی‌زایی مرتبط با آن در نتیجه فرورانش در نوار برخوردی زاگرس ایجاد شده است (Berberian and King, 1981) (شکل ۱- b). نتیجه دگرگونی مجاورتی این آهک‌ها پیدایش چهار زون دگرگونی است (زندگی‌فر، ۱۳۸۶)، که به ترتیب از محل همبری با توده نفوذی به سمت سنگ‌های میزبان عبارتند از: ۱- زون ولاستونیت-گارنت (شامل مجموعه کانی‌های ولاستونیت، گارنت، دیوپسید، کلینتونیت، کلسیت)، ۲- زون ولاستونیت-دیوپسید (شامل مجموعه

منیزیم آنها بین ۰/۴۰ تا ۰/۴۸ تغییر می‌کند. بنابراین سالیته و فروسالیته آهن‌دارترین پیروکسن‌های مورد مطالعه هستند. نسبت Fe^{3+}/Fe_{total} کمتر از ۰/۲۱ می‌باشد. مقدار Al_2O_3 و TiO_2 معمولاً کم است (به ترتیب ۱/۴۰-۲/۳۹ و ۰/۱۶-۰/۳۱) مقدار Na_2O به طور متوسط حدود ۱ در صد وزنی می‌باشد.

۳-۳. تیتان‌اوزیت

محدوده مقدار منیزیم از ۰/۷۰-۰/۸۵ و مقدار TiO_2 و Al_2O_3 به ترتیب ۱/۳۲-۴/۱۳ و ۶/۹۰ تا ۱۱/۵۹ است. مقدار Ti و Al با یکدیگر تغییر می‌کنند (شکل ۷) و هر دو با غنی‌شدگی آهن، افزایش می‌یابند. منحنی پر شیب تیتان‌اوزیت (شکل ۸) از ویژگی‌های تفریق کلیئوپروکسن در سنگ‌های مافییک آلكالی است (Tracy and Robinson, 1977).

۴-۴. بحث

این ترکیبات زونینگ‌نوسانی را نشان می‌دهند که نتیجه تبلور نامتعادل است. (Wass, 1973) پراکندگی Al بین محل‌های اکتاهدال و تراهدرال، ویژگی‌های Na و Ti دلایلی بر این مطلب هستند که پیروکسن‌های بی‌رنگ در آندزیت‌های منطقه مورد مطالعه به طور مشخص در فشاری بیشتر از حاشیه‌های تیتان‌اوزیت‌دار قهوه‌ای متبلور شده‌اند. نظریه آمیختگی ماگمایی به عنوان یکی از دلایل زونینگ در پیروکسن‌ها توسط (Atherton & Edmunds, 1966); Brooks & Rucklidge (1973) گزارش شده است. حالت خوردگی در فنوکریست‌های پیروکسن منطقه که ساخت زونه بلور را قطع می‌کند (شکل ۴-d)، می‌تواند دلیلی بر آمیختگی و عدم تعادل شیمیایی پیروکسن‌های یاد شده باشد. این بلورها نمی‌توانند با ماگماهای میزبان مافییک‌شان در تعادل بوده و این چنین استنباط می‌شود که آنها از یک مذاب در معرض تفریق جزء به جزء شده‌ای که بعداً با ماگمای مافییک مخلوط شده‌است، متبلور شده‌اند. این آمیختگی می‌تواند در گوشته یا در مخزن پوسته‌ای اتفاق بیافتد (Atherton & Edmunds, 1966; Brooks & Rucklidge, 1973). در مدل ارائه شده توسط (Duda and Schminke, 1985) برای بازالت‌های ایفل، ماگمای مافییک بالا آمده در نزدیکی مرز پوسته و گوشته تفریق پیدا می‌کند و مذاب مشتق شده دارای درشت بلورهای پیروکسن سبز رنگ است که با تیپ‌های جدیدی از ماگمای اولیه مخلوط شده است. یک مدل مشابه را می‌توان برای منشأ کلیئوپروکسن‌های دایک‌های آندزیتی حسن‌آباد به کار برد، به طوری که مذاب‌های آناتکتیک در سنگ‌های دیواره محفظه‌های ماگمای پوسته ژرف تشکیل و نمی‌تواند خارج شوند. ژرفای تبلور این بلورها مشخص نیست اما ترکیب تیتان‌اوزیت‌های اطراف، بیانگر این مطلب است که آنها در ژرفاهای زیاد پوسته متبلور می‌شوند (احتمالاً نه در ژرفاهای بیشتر از مرز پوسته و گوشته) (Onuma et al., 1981). تأثیر تفریق چند فشاری و آمیختگی ماگمایی در تشکیل زونینگ این پیروکسن‌ها دو عاملی هستند که جدا کردن آنها از همدیگر مشکل است، به طوری که حفظ تهنشست‌های فشار بالا می‌تواند یک اثر ترکیبی مشابه آمیختگی با یک ماگمای اولیه داشته باشد.

۵-۵. نتیجه‌گیری

تجزیه نقطه‌ای SEM کلیئوپروکسن‌های منطقه نشان می‌دهد که کلیئوپروکسن‌ها از مرکز به سمت حاشیه ناهمگن و دارای زون‌بندی نوسانی هستند و مرز بین زون‌ها، ناگهانی است که این موضوع نشان‌دهنده تغییرات ناگهانی در ترکیب شیمیایی مواد تشکیل دهنده است. بنابراین زونینگ موجود در هنگام رشد کانی به وجود آمده است. کلیئوپروکسن‌های زونینگ‌دار دایک‌های آندزیتی حسن‌آباد بیانگر مدل تکاملی پیچیده‌ای است که آمیختگی ماگمایی در ژرفا نقش مهمی را ایفا می‌کند.

کانی‌های ولاستونیت + دیوپسید + گارنت + وزوویانیت + کلسیت + کلیئونیت + مارگاریت؛ ۳- زون وزوویانیت - دیوپسید (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت + دیوپسید + گارنت + کلسیت + اپیدوت + ترمولیت)؛ ۴- زون کلسیت - اپیدوت (شامل مجموعه کانی‌های وزوویانیت + اپیدوت + کلسیت + گارنت).

در قسمت باختر و شمال‌باختر روستای حسن‌آباد دایک‌های بزرگی با ترکیب آندزیت در دیوریت‌ها، کوآرتز دیوریت‌ها و گرانودیوریت‌ها دیده می‌شود. این دایک‌ها غالباً دارای روند NE-SW بوده و به رنگ خاکستری تیره تا روشن و گاهی به رنگ خاکستری مایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند. این دایک‌ها به طول و عرض تقریبی بیست و پنج در سه متر، توده نفوذی منطقه را قطع نموده است (شکل ۳). پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن به میزان کمتر آپاتیت، زیرکن و اسفن اجزای این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند.

۳-۳. شیمی پیروکسن

درشت بلورهای کلیئوپروکسن در دایک‌های آندزیتی حسن‌آباد معمولاً بلورهای بی‌شکل (انهدرال)، قهوه‌ای کمرنگ متمایل به سبز بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرون هستند. رنگ آنها به سمت حاشیه تیره‌تر می‌شود و زونینگ هم‌مرکز، منقطع یا نوسانی را نشان می‌دهد (شکل ۴).

تجزیه نقطه‌ای به وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) Vega مدل VG2080573IR در مرکز متالورژی رازی روی یک نمونه از کلیئوپروکسن‌های زونه در دایک‌های آندزیتی اطراف حسن‌آباد انجام شده است (شکل ۴-b و جدول ۱).

ترکیب کلی کلیئوپروکسن‌های مورد مطالعه در نمودار J-Q (Morimoto et al., 1988) بدون در نظر گرفتن نوع پیروکسن مشخص شده و همگی در محدوده پیروکسن‌های کلسیم - منیزیم - آهن‌دار قرار می‌گیرند (شکل ۵) و به علت کمبود سدیم همگی در نزدیک محور Y مجتمع می‌شوند. از نمودار سه‌تایی Di-Hd(+Ac)-Ts (Huckenholtz et al., 1974) برای نمایش تغییرات ترکیبی کلیئوپروکسن‌ها استفاده شده است (شکل ۶). این شکل محدوده ترکیبی درشت بلور پیروکسن را در هفت نقطه نشان می‌دهد. این تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیب پیروکسن‌های زمینه (شکل ۴-d) در سنگ‌های نیمه قلیایی شبیه حاشیه درشت بلورهای تحول یافته است. مطابق شکل ۶ بلور پیروکسن تجزیه شده در محدوده ترکیبی پیروکسن‌های غنی از کلسیم و پیروکسن‌های کلسیم - سدیم‌دار دیده می‌شود. پیروکسن تجزیه شده با طول ۴ mm در آندزیت حسن‌آباد مشخص‌کننده هسته بی‌رنگ بی‌شکل و حاشیه قهوه‌ای کمرنگ است. با استفاده از مشاهدات میکروسکوپی و تجزیه‌های پروپ، سه گروه پیروکسن را می‌توان شناسایی کرد. این بلور زونه از مرکز به سمت حاشیه ترکیب نوسانی به صورت: ۱- دیوپسید کروم‌دار (Chrome-diopsides) (بی‌رنگ)، ۲- سالیته - فروسالیته (Salites-ferrosalites) (سبز چمنی)، ۳- تیتان‌اوزیت (Titanaugite) (بی‌رنگ تا قهوه‌ای روشن) را نشان می‌دهد.

۳-۱. دیوپسید کروم‌دار

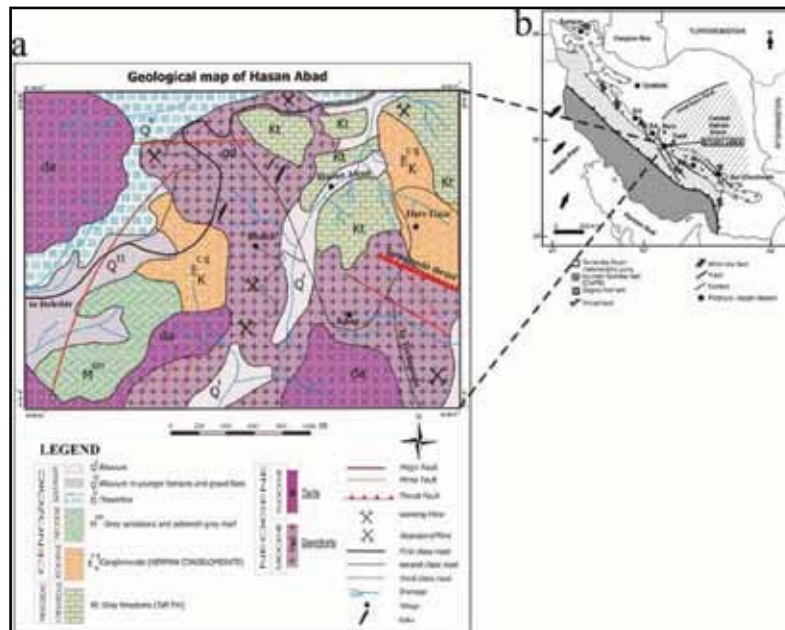
درشت بلورهای بی‌شکل و بی‌رنگ هستند. کلیئوپروکسن‌های موجود در دیوریت‌ها و همچنین اسکارن‌های این منطقه از همین نوع هستند. ترکیب دیوپسیدهای کروم‌دار بین یک مقدار نسبتاً محدود تغییر می‌کند. آنها منیزیم‌دارترین پیروکسن‌های مورد مطالعه هستند. مقدار منیزیم آنها بین ۰/۹۱ تا ۰/۹۳ تغییر می‌کند. مقدار TiO_2 کم است (کمتر از ۰/۵ درصد وزنی) و مقدار Cr_2O_3 از ۰/۸۴ تا ۱/۳۵ درصد وزنی است.

۳-۲. سالیته - فروسالیته

درشت بلورهای سبز کم رنگ تا چمنی می‌باشند که گروه مشخصی را در تمام نمودارها می‌سازند (شکل ۶، ۷، ۸) که منشأ بیگانه بلور آنها را تأیید می‌کنند. مقدار

در ایجاد زونینگ پیروکسن های منطقه مورد مطالعه کمک می کنند. منشأ بلورهای سالیست و فروسالیست آندزیت های حسن آباد تقریباً از سنگ های دیواره گوشته بالایی غیر عادی در نظر گرفته می شوند.

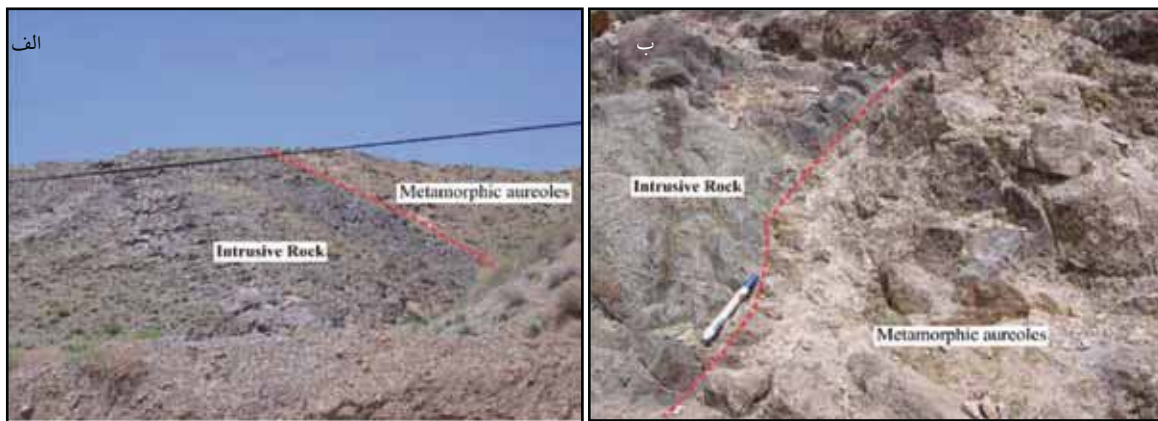
ماگمای بازالت قلیایی در طول بالا آمدن با یک مذاب تفریق شده ای که از آهن غنی است و دارای بلورهای تیتان اوژیت است، مخلوط می شود. در کل دوره های پایان و شروع تفریق ماگما (stop-start magmatic differentiation) در سطوح مختلف پوسته، آمیختگی ماگمایی و اثرات جنبشی (عدم تعادل)، همگی به طور قابل توجهی



شکل ۱- (a) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در جنوب باختری شهرستان یزد. (b) نقشه راهنمای موقعیت منطقه مورد مطالعه در زون ارومیه- دختر و زون های زمین ساختی اصلی ایران. M: نهشته های مس پورفیری میدوک. SA: بخش جنوبی نهشته های پورفیری اردستان. SH: نهشته های مس پورفیری شریف آباد (قسمت b برگرفته از: Zarasvandi and Liaghat, 2005).

جدول ۱- نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ از بلور پیروکسن مربوط به شکل ۴- b (نوع پیروکسن هر نقطه تجزیه شده بر اساس شماره های شکل ۴- b در بالای ستون ها آورده شده است).

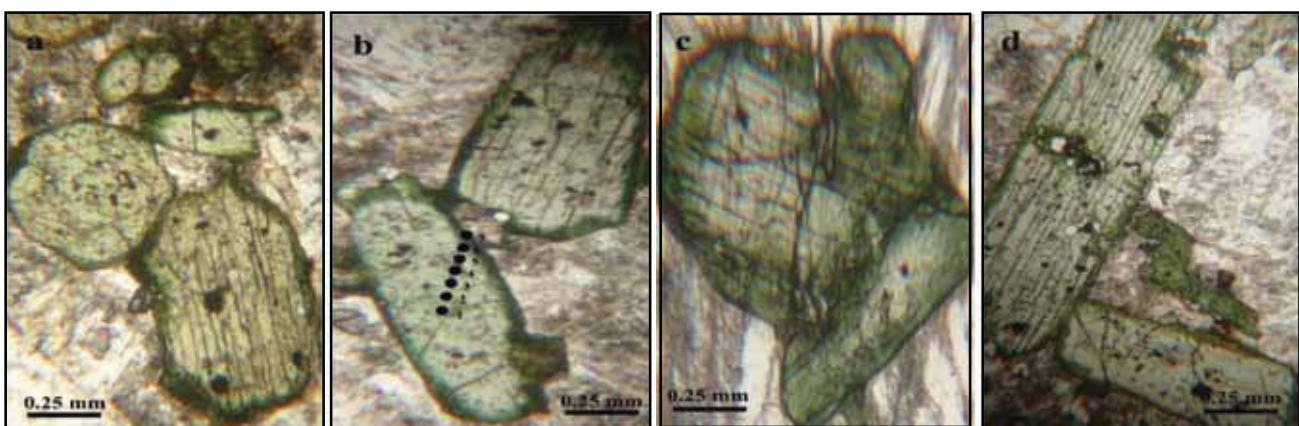
Sample.n	Sz1.Di	Sz2.Sa	Sz3.Au	Sz4.Au	Sz5.Di	Sz6.Sa	Sz7.Au
SiO ₂	51.49	49.40	42.05	47.14	53.20	50.40	48.94
TiO ₂	0.38	0.16	4.13	2.84	-	0.31	1.32
Al ₂ O ₃	5.60	1.40	11.59	6.90	3.40	2.39	8.21
Cr ₂ O ₃	0.84	-	-	-	1.35	-	0.55
FeO	2.60	18.89	7.57	6.50	2.50	14.66	4.49
MnO	-	2.10	0.18	0.50	0.15	0.50	0.07
MgO	15.70	6.12	10.35	12.60	17.60	7.90	14.55
CaO	20.98	19.26	22.60	23.12	21.20	21.99	21.35
Na ₂ O	1.30	1.10	0.92	0.62	0.58	1.08	0.82
Total	98.89	97.43	99.39	100.22	99.98	99.23	100.3
Si	1.85	1.93	1.58	1.78	1.92	1.94	1.78
Ti	0.02	-	0.12	0.08	-	0.01	0.04
Al	0.25	0.07	0.51	0.31	0.15	0.11	0.35
Cr	0.03	-	-	-	0.04	-	0.02
Fe ³⁺	0.04	0.11	0.13	0.07	0.02	0.04	0.06
Fe ²⁺	0.04	0.54	0.11	0.16	0.05	0.43	0.08
Mn	-	0.07	0.01	0.03	-	0.02	-
Mg	0.85	0.30	0.58	0.69	0.95	0.45	0.79
Ca	0.75	0.79	0.91	0.91	0.84	0.91	0.83
Na	0.10	0.09	0.04	0.04	0.07	0.08	0.06
Mg-num	0.91	0.40	0.70	0.76	0.93	0.48	0.85



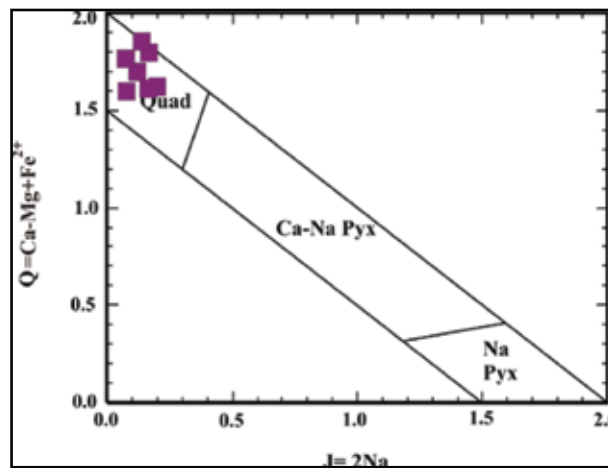
شکل ۲- تصاویری از همبری توده نفوذی در منطقه مورد مطالعه. الف) نمایی دور از همبری (ب) همبری از فاصله نزدیک‌تر (دید به باختر).



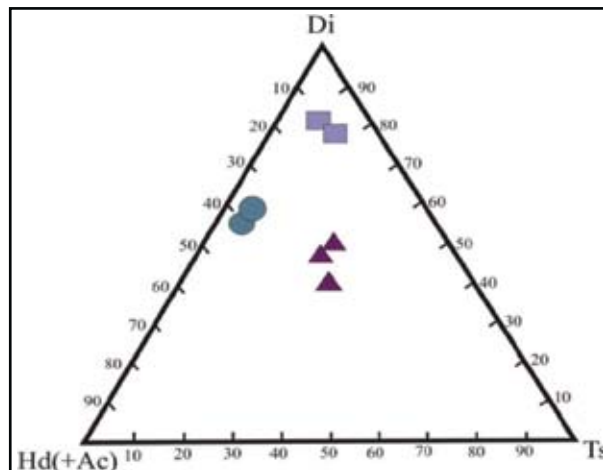
شکل ۳- نمایی از یک دایک آندزیتی در سنگ‌های دیوریتی باختر روستای حسن‌آباد (دید به باختر).



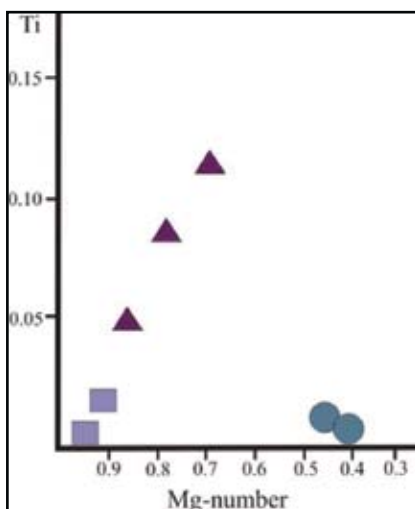
شکل ۴- (a و c) تصاویر میکروسکوپ نوری تعدادی از درشت‌بلورهای پیروکسن زونینگ‌دار در دایک‌های آندزیتی باختر و شمال باختر روستای حسن‌آباد. (b) بلور مطالعه شده در این نوشتار. دوائر سیاه نشان‌دهنده مکان تجزیه‌ها است. (d) پیروکسن‌های زمینه که از لحاظ ترکیبی مشابه حاشیه‌های درشت‌بلورهای پیروکسن زونینگ‌دار است در اینجا آشکارا قابل دیدن هستند.



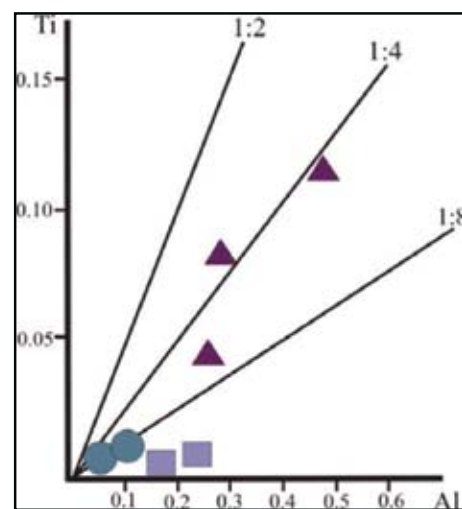
شکل ۵- ترکیب کلی کلینوپیروکسن‌های دایک‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار Q-J (Morimoto et al., 1988)، بدون تفکیک نوع آنها بر اساس نتایج تجزیه الکترون میکروپروب از بلور پیروکسن مربوط به شکل ۴- b.



شکل ۶- نمایش ترکیبات کلینوپیروکسن بلور مورد نظر در دایک آندزیتی باختر روستای حسن آباد توسط نمودار سه‌تایی Di-Hd(+Ac)-Ts (Huckenholz et al., 1974). Ts مولکول تچرماک کل (total Tschermak's molecule) است (CaTs+FATs+TiTs). مربع: دیوسید کروم‌دار. دایره: سالیت- فروسالیت. مثلث: تیتان‌اوژیت.



شکل ۸- نمایش Ti در برابر مقدار منیزیم کلینوپیروکسن بلور مورد نظر در دایک آندزیتی باختر روستای حسن آباد. نمادها مشابه شکل ۶ است.



شکل ۷- تغییرات Ti و Al کلینوپیروکسن بلور مورد نظر در دایک آندزیتی باختر روستای حسن آباد. نمادها مشابه شکل ۶ است.

کتابنگاری

دهقان‌منشادی، ب.، ۱۳۷۹- مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی ماگماتیسیم و دگرگونی منطقه دره زرشک - توران پشت، جنوب غربی یزد. رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
 زندی‌فر، س.، ۱۳۸۷- بررسی کانی‌شناسی دگرگونی مجاورتی توده‌نفوذی روستای حسن‌آباد یزد (جنوب غرب تفت). رساله کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

References

- Atherton, M. P. & Edmunds, W. M., 1966- A electron microprobe study of some zoned garnets from metamorphic rocks, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 185-193.
- Barton, M., Varekamp, J. C. & Bergen, V. M. J., 1982- Complex zoning of clinopyroxenes in the lavas of Vulcini, Latium, Italy: evidence for magma mixing, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14: 361-388
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Brooks, C. K. & Rucklidge, J. C., 1973- A tertiary lamprophyre dyke with high pressure xenoliths and megacrysts from Wiedemanns Fjord, East Greenland, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42: 197-212
- Brooks, C. K. & Printzlau, I., 1978- Magma mixing in mafic alkaline volcanic rocks: the evidence from relict phenocryst phases and other inclusions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 4: 315-331
- Chinner, G. A., 1962- Almandine in thermal aureoles, *J. Petrol.* 3: 316-340.
- Dessai, A. G., Rock, N. M. S., Griffin, B. J. & Gupta, D., 1990- Mineralogy and petrology of some xenolith-bearing alkaline dykes associated with Deccan magmatism, south of Bombay, India, *Eur. J. Mineral.*, 2: 667-685
- Dobosi, G., 1986- Chemistry of clinopyroxenes from the Lower Cretaceous alkaline volcanic rocks of the Mecsek Mountains, south Hungary, *N. Jb. Mineral. Abh.*, 156: 281-301
- Downes, H., 1989- Magma mixing in undersaturated alkaline volcanics, Cantal, Massif Central, France, *Mineral. Mag.*, 53: 43-53
- Duda, A. & Schminke, H. U., 1985- Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas: evidence from green-core clinopyroxenes (Eifel, FRG), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 91: 340-353
- Gamble, R. P. & Taylor, L. A., 1980- Crystal/liquid partitioning in augites: effects of cooling rate, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47: 21-33
- Huckenholz, H. G., Lindhuber, W. & Springer, J., 1974- The join Ca- SiO₃ - Al₂O₃ - Fe₂O₃ of the CaO - Al₂O₃ - F%O₃ - SiO₂ quaternary system and its bearing on the formation of granditic garnets and fassaitic pyroxenes, *N. Jb. Mineral. Abh.*, 121: 60-207
- Jankovic, S., 1984- Metallogeny of the Alpine granitoids in the Tethyan-Eurasian metallogenic belt, in *Proceedings of the 27th International Geological Congress, Moscow, August 4-14, 12: Utrecht, Netherlands, VNU Science Press, 247-273.*
- Kouhi, A., Sugawara, Y., Kashima, K. & Sunagawa, I., 1983- Laboratory growth of sector zoned clinopyroxenes in the system CaMgSi₂O₆-CaTiAl₂O₆, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 83: 177-184
- Larsen, L. M., 1981- Sector zoned aegirine from the Ilimaussaq alkaline intrusion, south Greenland *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 285-291
- Liotard, J. M., Briot, D. & Brivin, P., 1988- Petrological and geochemical relationships between pyroxene megacrysts and associated alkali basalts from the Massif Centrale (France), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98: 81-90
- Lloyd, F. E., 1981- Upper-mantle metasomatism beneath a continental rift: clinopyroxenes in alkali mafic lavas and nodules from South West Uganda, *Mineral. Mag.*, 44: 315-323
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Akoi, K. & Gottardi, G., 1988- Nomenclature of pyroxenes, *Mineral. Mag.*, 65: 1-28.
- Onuma, K., Akasaka, M. & Yagi, K., 1981- The bearing of the system CaMgSi₂O₆-CaAl₂SiO₆-CaFeAlSiO₆ on fassaitic pyroxene, *Lithos*, 14: 173-182
- Segalstad, T. V., 1979- Petrology of the Skien basaltic rocks, southwestern Oslo Region, Norway, *Lithos*, 12: 221-239
- Tracy, R. J. & Robinson, N. P., 1977- Zoned titanium augite in alkali olivine basalt from Tahiti and the nature of titanium substitution in augite, *Amer. Mineral.*, 62: 634-645
- Tyler, R. C. & King, B. C., 1967- The pyroxenes of the alkaline igneous complexes of eastern Uganda, *Mineral. Mag.*, 36: 5-21
- Wass, S. Y., 1973- The origin and petrogenetic significance of hourglass zoning in titaniferous clinopyroxenes, *Mineral. Mag.*, 39: 133-144
- Wass, S. Y., 1979- Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks, *Lithos* 12: 115-132
- Zarasvandi, A. & Liaghat, S., 2005- Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran, *International Geology Review*, 47: 620-646

Origin of Zoned Pyroxene in the Daykes of Sub Alkali Andesite of Hassan-Abad Village of Yazd- South-West of Taft

S. Zandifar^{1*}, M. V. Valizadeh¹, M. A. Barghi¹ & M.R. Foroodijahromi²

¹School of Geology, University College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

² Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Campus, Tehran, Iran

Received: 2008 November 05

Accepted: 2009 June 27

Abstract

In the west and north west of Hassan-Abaad village of Yazd, massive dikes of alkali andesite in the diorite, quartz diorite and granodiorite are observed. Clinopyroxene phenocrysts in these rocks have obvious zoning. Reconnaissance work indicates that groundmass pyroxenes in the alkaline rocks are similar to the more evolved phenocryst rims. Obtained data from core to rim of Clinopyroxene phenocrysts by SEM point analysis, show that Clinopyroxene composition, contains Chrome-diopsides, Salites-ferrosalites and Titanaugite. Clinopyroxene zoning formed during crystal growth. These pyroxenes are believed to record an intricate history of stop-start differentiation, magma-mixing, entry or disappearance of high-pressure precipitates. The salitic and ferrosalitic crystals of the Hassan-Abaad andesite also represent accidental fragments of anomalous upper mantle wall rocks.

Keywords: Clinopyroxen, Andesite daykes, Zoning, Hassan-Abaad

For Persian Version see pages 151 to 156

*Corresponding author: S. Zandifar; E-mail: tec1319_sh@yahoo.com

Studying Yazd Subsidence Using InSAR and Precise Leveling

M. Amighpey^{1*}, S. Arabi¹ & A. Talebi¹

¹National Cartographic Center of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2009 March 04

Accepted: 2009 July 21

Abstract

Blemish of subsidence and land ruptures such as destroying aquifer systems, damaging structures and disordering water main, are usually irreparable and expensive. One of the regions with a high rate subsidence in Iran is the Yazd-Ardakan plain that subsides with a maximum rate of 12 cm per year based on levelling and InSAR observation. It is obvious that such a high rate subsidence is the result of water extra exploiting and groundwater levels at piezometric wells confirm this in the region. Management of water drafting in this region is a necessary work in this region.

Key words: InSAR, Subsidence, Leveling, Yazd-Ardakan plain, Aquifer.

For Persian Version see pages 157 to 168

* Corresponding author: M. Amighpey; E- mail: amighpey@yahoo.com