

Mineral chemistry, Thermo-barometry and Crystal Size Distribution of volcanic rocks from Shirinak: Implication for genesis of volcanic rocks in the southeast of Urumieh-Dokhtar (Kerman province)

Mohsen Naderi ¹, Fatemeh Sepidbar ^{2*} and Davoud Raeisi ²

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Tehran, Tehran

Abstract

The Shirinak volcanic rocks, known as Dahaj-Sarduieh belt in Kerman province, are exposed southeast of Urumieh-Dokhtar volcanic belt. Petrographically, the volcanic rocks are basalts and andesite, which consist mainly of plagioclase, clinopyroxene, olivine as well as calcite, quartz and chlorite as the secondary minerals. All of these minerals set in fine grain matrix with porphyric and glomeroporphyric textures. Based on mineral chemistry data, plagioclases range from labradorite to bytownite and have been undergone compositional and thermal mixing. They mostly show sieve texture. CSD (crystal size distribution) study shows that the shape of plagioclase microlites is tablet with aspect ratio of 1:7:10 for short:intermediate:long axes, respectively. Moreover, three-dimensional shape of plagioclase crystals, nucleation and growth time were estimated 40.27 years, which is completely consistent with the nature of basalt. Based on dip of CSD diagram, magma mixing process has been clearly involved in the magma genesis. The pyroxenes studied are augite in composition that were physically crystallized in moderate to high pressure and temperature of 550-1110° C. They crystallized from a magma likely with about 10% fluid and in variable fO_2 condition. On the base of pyroxene chemistry, the basic rocks from Shirinak belong to tholeiitic to calcalkaline series in volcanic arc setting (Neo-Tethys subduction).

Key words: mineral chemistry, crystal size distribution, sieve texture, volcanic arc, Shirinak Uumieh-Dokhtar

* f.sepidbar@ut.ac.ir

پتروولوژی، سال هشتم، شماره سی ام، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۸۱-۱۹۸
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

شیمی کانی، دما - فشارسنجی و بررسی پراکندگی اندازه بلور در سنگ‌های آتشفشانی شیرینک: توضیحی برای پیدایش سنگ‌های آتشفشانی در جنوب‌خاوری ارومیه - دختر (استان کرمان)

محسن نادری^۱، فاطمه سپیدبر^{۲*} و داوود ریسی^۲

^۱ گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ دانشکده زمین‌شناسی پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در بخش جنوب‌خاوری پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر جای دارند. این سنگ‌ها در استان کرمان به نام پهنه دهج- ساردوییه شناخته می‌شوند. برپایه یافته‌های سنگ‌نگاری، گدازه‌های منطقه بازالت و اندزیت هستند. این سنگ‌ها بیشتر از کانی‌های درشت‌بلور پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیوین، به همراه کانی‌های ثانویه (مانند: کوارتز، کلسیت و کلریت) در زمینه‌ای میکروولیتی و ریزبلور ساخته شده‌اند. برپایه بررسی شیمی کانی، پلاژیوکلازها لابرادوریت و بیتونیت هستند و هنگام پیدایش، دچار آمیختگی دمایی و ترکیبی شده و بافت غربالی نشان می‌دهند. با پردازش تصویر مقطع‌های نازک و با به‌کارگیری روش پراکندگی اندازه بلور (CSD)، شکل سه‌بعدی بلورهای پلاژیوکلاز و همچنین، زمان رشد و سرعت هسته‌بندی این بلورها برآورد شد. از این رو، شکل پلاژیوکلازها، تخته‌ای و نسبت محورهای کوتاه: متوسط: بلند به ترتیب برابر با ۱:۷:۱۰ به دست آمد. برپایه داده‌های به دست آمده زمان رشد بلورهای پلاژیوکلاز منطقه ۴۰/۲۷ سال باشد که با سرشت ماگماهای بازالتی همخوانی دارد. برپایه تغییرات شیب نمودار CSD، تأثیر آمیزش ماگمایی بر پیدایش ماگما به خوبی آشکار است. کلینوپیروکسن‌های منطقه از نوع اوژیت بوده و از دیدگاه شرایط فیزیکی، در فشار متوسط تا بالا و دمای ۵۵۰ تا ۱۱۱۰ درجه سانتیگراد متبلور شده‌اند. از دیدگاه شرایط شیمیایی، پیدایش این کانی‌ها در محیطی با اکسیژن متغیر روی داده و میزان آب ماگما نزدیک به ۱۰ درصد برآورد شده است. بررسی‌های سنگ‌زایی برپایه شیمی کلینوپیروکسن نشان‌دهنده جای داشتن سنگ‌های بازیک منطقه در گستره سری‌های توله‌ایتی تا کالک‌آلکان و وابسته به کمان‌های آتشفشانی (فرورانش نئوتتیس) است.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی، پراکندگی اندازه بلور، بافت غربالی، کمان آتشفشانی، شیرینک، ارومیه - دختر

* f.sepidbar@ut.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

مقدمه

دهج- ساردوییه شناخته می‌شود. این پهنه یک کمپلکس خطی آذرین درونی- بیرونی با سبترای بیشتر از ۴ کیلومتر است که کمابیش به موازات پهنه کوهزایی زاگرس رخنمون دارد. بررسی پهنه ارومیه- دختر اهمیت بسیاری دارد؛ زیرا پیامد رخداد بسته‌شدن اقیانوس آلپی نئوتتیس بوده و یا به گفته دیگر، پیامد هضم پوسته اقیانوسی نئوتتیس به‌هنگام فروانش به زیر پوسته قاره‌ای است (Verdel *et al.*, 2011).

Naderi (۲۰۱۲) زمین‌شناسی ناحیه شیرینک را بررسی کرده و برپایه شیمی سنگ‌کل نشان داده است که این سنگ‌ها از سری کالک‌آلکالن و کالک‌آلکالن با گرایش به سری توله‌ایتی هستند. هرچند شیمی سنگ کل این سنگ‌ها بررسی شده است؛ اما تا اکنون هیچ بررسی درباره شیمی کانی و پراکندگی اندازه بلور در این سنگ‌ها انجام نشده است. در این پژوهش تلاش شده است تا با به‌کارگیری داده‌های تجزیه ریزکاوا الکترونی (الکترون میکروپروب) و CSD، ترکیب کانی‌ها و شکل آنها در سنگ‌های گوناگون مجموعه آتشفشانی شیرینک بررسی شده و سنگ‌شناسی، خاستگاه زمین‌ساختی، سرشت ماگمایی و شرایط دما و فشار پیدایش آنها بررسی شوند.

روش انجام پژوهش

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، پس از بررسی‌های نخستین و شناخت کلی از منطقه، بازدید صحرائی در شهریور و مهرماه سال ۱۳۹۰، در چهار روز انجام شد. در این راستا، بیش از ۱۰۰ نمونه سنگی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری برداشت شد. تلاش شد نمونه‌ها به‌گونه‌ای برداشت شوند که کمترین هوازدگی و دگرسانی را داشته باشند. پس

بررسی سنگ‌های ماگمایی با سرشت توله‌ایتی تا کالک‌آلکالن که در پهنه‌های فروانش پدید آمده‌اند، اهمیت بالایی دارد. بررسی‌های گذشته نشان می‌دهند که تغییرات شیمیایی در این‌گونه سنگ‌ها، پیامد عواملی مانند جدایش بلوری، هضم، آمیزش ماگمایی و یا آرایش هستند (Lindh *et al.*, 2006). سنگ‌شناسی و بررسی شیمی کانی‌های اصلی از روش‌هایی هستند که در سنگ‌شناسی آذرین به‌گونه گسترده‌ای در بررسی فرایندهای درگیر در پیدایش سنگ‌های ماگمایی به‌کار برده می‌شوند. از این‌رو، شیمی کانی‌هایی مانند پیروکسن و پلاژیوکلاز اطلاعات ارزشمندی درباره خاستگاه و شرایط پیدایش ماگما را فراهم می‌آورد (Schweitzer *et al.*, 1979; Leterrier *et al.*, 1982). از سوی دیگر، برخی پدیده‌ها (مانند: آهنگ سردشدن، جریان سیال‌ها، ترکیب مایع، آهنگ رشد و هسته‌بندی، هسته‌بندی ناهمگن و ته‌نشینی یا شناوری بلورها) گسترش بافت در سنگ‌های بازالتی را کنترل می‌کنند. از متداول‌ترین روش‌ها برای اندازه‌گیری‌های بافتی، روش پراکندگی اندازه یا CSD (Crystal Size Distribution) است. CSD بازتابی از ویژگی‌های ذاتی سنگ‌ها (مانند: چگالی و یا ترکیب سنگ) است (Higgins, 2006). با این روش می‌توان فرایندهای ماگمایی درگیر در پیدایش ماگما را ارزیابی کرد؛ زیرا که پراکندگی اندازه بلور بازتابی از تاریخ تبلور آن است (Higgins and Roberge, 2003). سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در شمال و شمال‌خاوری روستای شیرینک از توابع شهرستان بردسیر (استان کرمان) هستند. از دیدگاه زمین‌شناسی، این منطقه بخشی از پهنه آتشفشانی

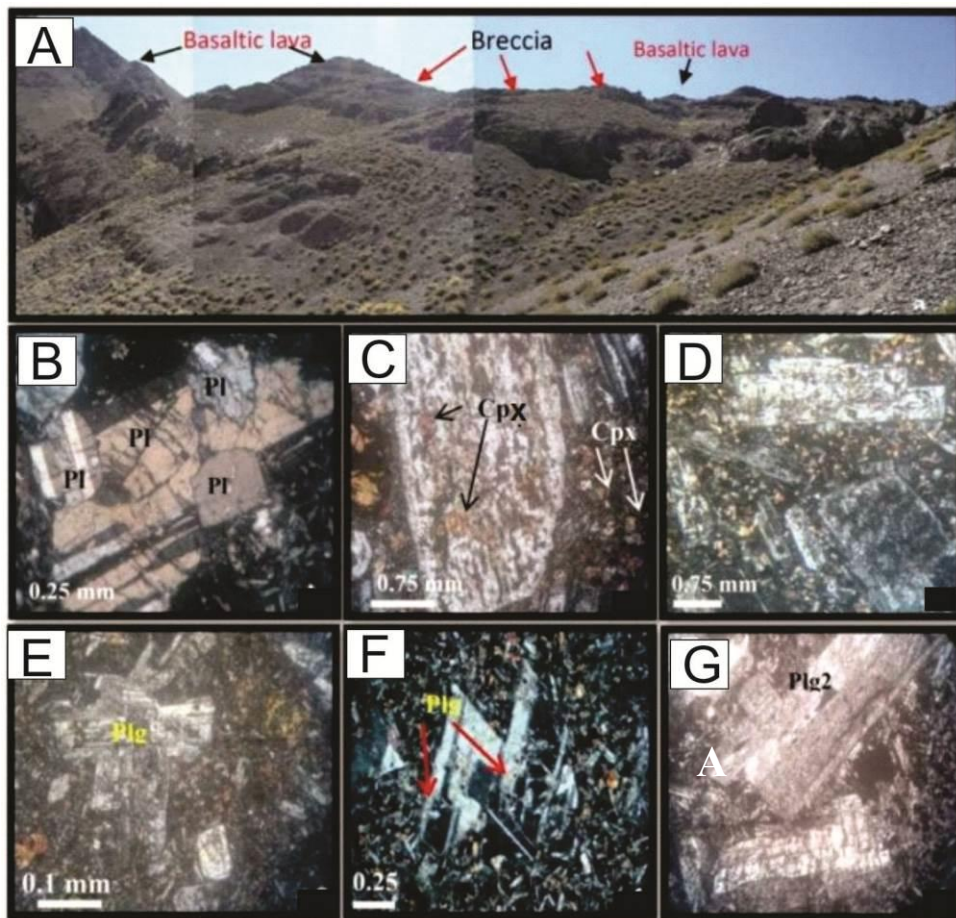
جایگاه زمین‌شناسی منطقه و سنگ‌نگاری

مجموعه‌ای از فعالیت‌های ماگمایی که در شمال‌باختری تا جنوب‌خاوری ایران دیده می‌شوند به فرورانش نئوتتیس و پهنه برخوردی زاگرس وابسته دانسته شده‌اند. این بخش از ایران که بخش بزرگی از ماگماتیسم کالک‌آلکان، شوشونیتی، آداکیتی و مجموعه‌های آتشفشانی رسوبی را در بر گرفته است، از جنوب به زاگرس چین‌خورده و از شمال به پهنه سنندج-سیرجان می‌رسد (Verdel et al., 2011). سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در ۷۰ کیلومتری جنوب کرمان و ۶۸ کیلومتری جنوب‌خاوری بردسیر و میان طول‌های جغرافیای ۲۹°۳۰' تا ۲۹°۳۸' شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۵۷° تا ۵۷°۷' خاوری جای دارد (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی این منطقه بخشی از پهنه ماگمایی ارومیه-دختر است که در استان کرمان به نام پهنه دهج-ساردوییه شناخته می‌شود. برپایه بررسی‌های Dimitrijevic و همکاران (۱۹۷۳)، واحدهای سنگ‌شناسی این منطقه بخشی از توالی‌های مجموعه هزار (در پهنه دهج-ساردوییه) هستند و در ائوسن بالایی پدید آمده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر بازالت، آندزیت، لایت، ریولیت و توف، با شکل‌ها و حجم‌های گوناگون بوده و به‌گونه نامنظم در توالی با واحدهای آذرآواری (پیروکلاستیک) دیده می‌شوند.

گدازه‌های بازالتی منطقه به‌صورت توالی‌های مختلفی همراه با آذرآواری‌ها، اپی‌کلاستیک‌ها و توف‌ها دیده می‌شوند. بیشتر این گدازه‌ها لایه‌بندی منظمی داشته و ستبرای آنها کمابیش تا نزدیک به ۸۰ متر نیز می‌رسد (شکل ۲- A). در پی پایداری بیشتر این گدازه‌ها در برابر فرسایش، رخنمون‌ها شکل صخره‌ای داشته و از توالی‌های اپی‌کلاستیک و آذرآواری مجاور

بلندتر هستند (شکل ۲). بافت کلی این سنگ‌ها پورفیری است که در آن بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین در زمینه‌ای ریز بلور با کانی‌های مشابه دیده می‌شوند. پلاژیوکلاز ۵۰ تا ۸۵ درصد فنوکریست‌ها و در برخی مقطع‌ها، ۹۵ درصد میکروفنوکریست‌های سنگ را در بر گرفته است. این کانی‌ها شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار بوده و اندازه آنها کمابیش ۲ تا ۴/۷۵ میلی‌متر است و گهگاه در مگاکریست‌ها تا ۱/۷ سانتیمتر نیز دیده می‌شوند. در سنگ‌های یادشده، پلاژیوکلازهای گوناگونی وجود دارند که ترکیب آنها با یکدیگر متفاوت است. با توجه به زاویه خاموشی ۳۶ تا ۴۳ درجه، ترکیب آنها از لابردوریت تا بیتونیت تغییر می‌کند و این پدیده با داده‌های شیمیایی این کانی کاملاً همخوانی دارد. از بافت‌های دیده‌شده در این کانی می‌توان بافت‌های غربالی (شکل ۲- B) و پوی‌کیلیتیک (شکل ۲- C) را نام برد. ویژگی‌هایی مانند رشد هم‌زمان (شکل ۲- D)، خوردگی (شکل ۲- E)، و لبه‌های تیزشده (شکل ۲- F) که گاهی به‌صورت متقاطع یکدیگر را قطع می‌کنند (شکل ۲- G)، نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود.

بلندای گدازه‌های آندزیتی از گدازه‌های بازالتی کمتر است و بیشترشان لایه‌بندی منظم‌تری داشته و با ستبرای بیشینه ۵۰ متر به‌همراه توالی‌های دیگر دیده می‌شوند (شکل ۳- A). همچنین، در برابر بازالت‌ها، این سنگ‌ها بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر و پیروکسن کمتری در زمینه ریزبلور خود دارند. در مقطع‌های نازک مجموعه فنوکریست آندزیت‌های منطقه، شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و گاه الیوین است. اندازه بلورهای پلاژیوکلاز در آندزیت پورفیری از ریز (۱ تا ۲ میلی‌متر) تا متوسط بلور (۵ میلی‌متر) است و در برخی توالی‌ها جهت‌یافتگی نشان می‌دهند (شکل ۳- B).



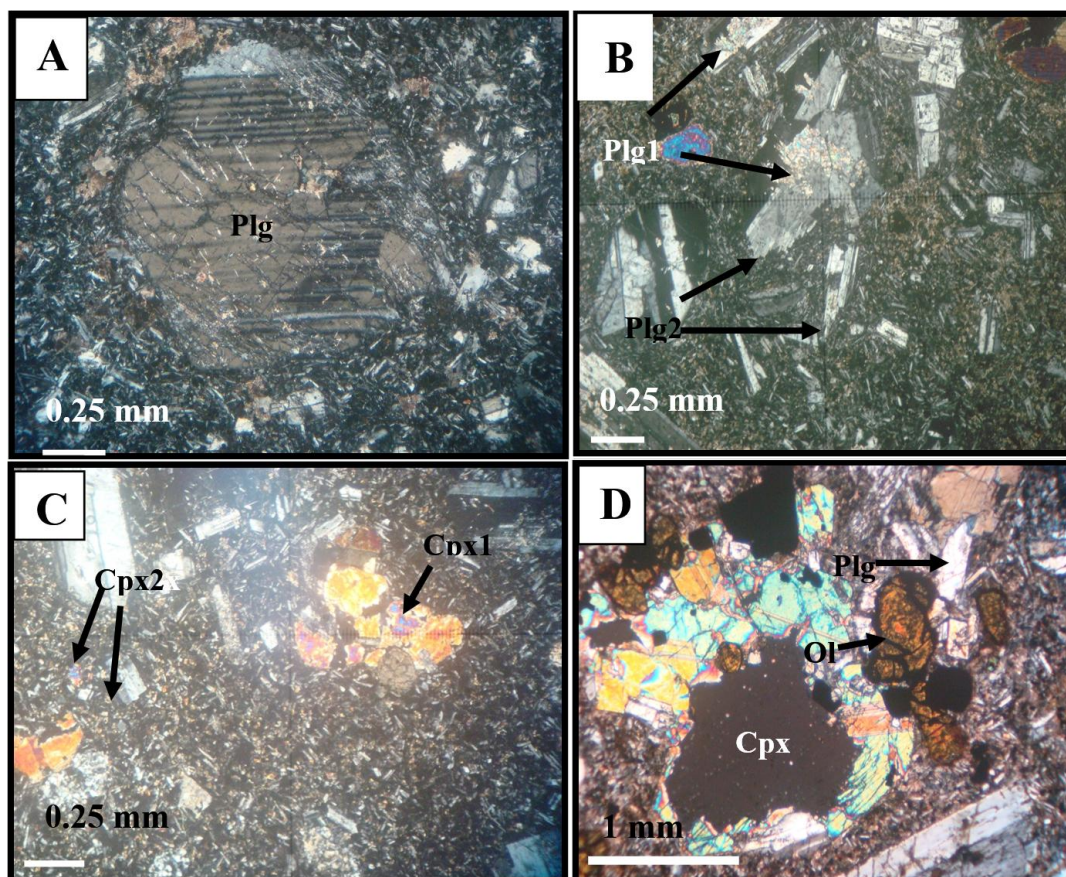
شکل ۲- تصویرهای صحرایی و میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان): (A) ویژگی‌های صحرایی گدازه‌های بازالتی، لایه‌های توف، اپی‌کلاستیک و آذرآواری، برش آتشفشانی؛ (B) بافت غربالی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز؛ (C) کلینوپیروکسن‌های ریز بلور در زمینه (Cpx2) و در فنوکریست پلاژیوکلاز (Cpx1) (بافت پوی کیلیتیک)؛ (D) رشد هم‌زمان در میان فنوکریست‌های پلاژیوکلاز؛ (E) خوردگی در فنوکریست پلاژیوکلاز (Plg1) و پلاژیوکلاز با دگرسانی سوسوریتی (Plg2)؛ (F) تیزشدگی گوشه‌های فنوکریست‌های پلاژیوکلاز؛ (G) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز که به‌صورت متقاطع همدیگر را قطع کرده‌اند



شکل ۳- تصویرهای صحرایی از سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان): (A) تغییر اندازه بلورهای پلاژیوکلاز و جهت‌یافتگی در برخی بلورهای پلاژیوکلاز گدازه‌اندزیتی؛ (B) گدازه‌اندزیتی هوازده با ارتفاع کمتر در برابر گدازه‌های بازالتی با رنگ هوازده خاکستری

حجم کانی‌های ریز بلور زمینه را می‌سازند. در مقطع‌های گوناگون، کشیدگی بلورهای درشت آنها از ۰/۵ تا ۵/۵ میلی‌متر است (شکل ۴- D). ویژگی‌های نوری این کانی (رنگ‌های تداخلی سری‌های نخستین و بخش پایانی سری سوم و همچنین، زاویه خاموشی ۱۵ تا ۴۵ درجه) نشان‌دهنده ترکیب دیوپسید-اوپتیت هستند. از بافت‌های دیده‌شده در این پیروکسن می‌توان حاشیه‌های خورده‌شده (شکل ۴- C) و پوی کیلیتیک را نام برد.

افزون‌بر زونینگ، پلاژیوکلازها دارای ماکل کالسباد-آلبیت و نشانه‌هایی از خوردگی در مرکز و لبه‌های تیز هستند (شکل ۴- A). افزون‌بر این، گاه بی‌شکل با حاشیه خورده‌شده و با ماکل پلی‌سنتیک ریز دیده می‌شوند (شکل ۴- B). پیروکسن یکی دیگر از کانی‌های مهم سازنده سنگ‌های آندزیتی منطقه است و پس از پلاژیوکلاز، فراوان‌ترین کانی این سنگ‌ها به‌شمار می‌رود. پیروکسن‌ها ۲ تا ۸ درصد فنوکریست‌ها و تا ۲۰ درصد



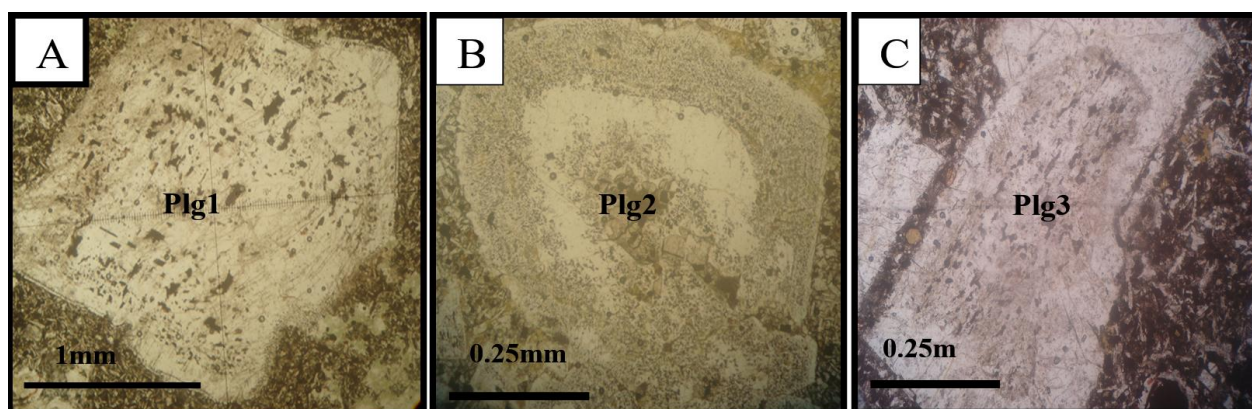
شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان): (A) خوردگی در مرکز فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Plg1) و تیزشدگی گوشه‌های فنوکریست‌ها (Plg2) در زمینه دگرسان‌شده و ریز بلور؛ (B) فنوکریست بی‌شکل پلاژیوکلاز با حاشیه خورده‌شده و ماکل پلی‌سنتیک ریز؛ (C) خوردگی در کلینوپیروکسن‌ها همراه با هم‌رشدی الیوین، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و کانی کدر در آندزیت‌ها؛ (D) کلینوپیروکسن به‌صورت بی‌شکل (Cpx1) و ریز بلور (Cpx2)

غربالی و پوی کیلیتیک از فراوان‌ترین آنها هستند. این بافت‌ها از بافت‌های ناعادلی بوده که در سنگ‌های

پلاژیوکلازهای گدازه‌های ناحیه شیرینک بافت‌های گوناگونی نشان می‌دهند که بافت‌های

به هم در یک بلور هستند (Ahmadimoghdam, 2011). این بافت انواع متفاوتی دارند و در هر دو نوع گدازه، کمابیش همه انواع این بافت‌ها یافت می‌شوند (شکل ۵).

آتشفشانی کوهزایی بسیار معمول هستند و از ثبت‌کننده‌های تغییرات فیزیکی در سیستم ماگمایی شناخته می‌شوند. بافت‌های غربالی معمولاً نشان‌دهندهٔ بجامانده‌های شبکه‌ای از مجاری مرتبط



شکل ۵- تصویرهای میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان): (A) بافت غربالی درشت و نامنظم با منطقه‌بندی (Plg5)؛ (B) پلاژیوکلاز با بافت پوی کیلیتیک، منطقه‌بندی و حاشیه روشن رنگ نازک (Plg8)؛ (C) بافت غربالی درشت در مرکز و مرکز خورده‌شده (Plg9)

در این معادله Tr برابر با زمان ماندگاری بلور در ماگمای فورانی (به سال)، G برابر با نرخ رشد بلور (به mm/s)، m برابر با شیب نمودار است و عدد 31536000 از تبدیل واحد ثانیه به سال به دست آمده است (Cashman and Marsh, 1988). میزان هسته‌بندی بلورها را نیز می‌توان در این نمودارها برآورد کرد؛ هرچه بلورها بزرگ‌تر باشند هسته‌بندی کمتری خواهند داشت و برعکس.

Cashman و Marsh (۱۹۸۸) نرخ رشد پلاژیوکلاز در ماگمای بازالتی را بررسی کرد و دریافتند که نرخ سردشدن متغیر و برای یک نرخ سردشدن ۳ ساله، نرخ رشد $10^{-9} mm/s$ و برای سردشدن ۳۰۰ ساله، نرخ رشد $10^{-10} mm/s$ است. در کل، ماگماهایی که چسبندگی بالاتری دارند نرخ انتشار کمتری دارند. افزایش نرخ رشد به

بررسی‌های پراکندگی اندازه بلور

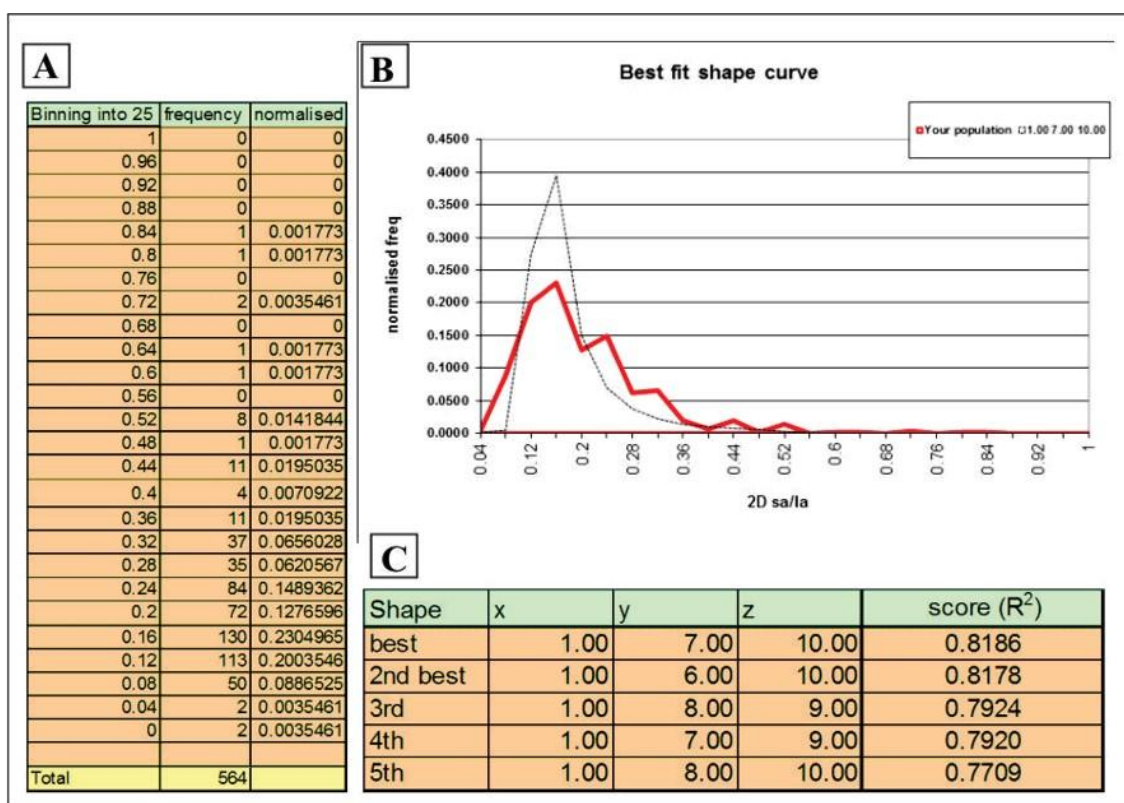
از آنجایی که بلور پلاژیوکلاز در ثبت رویدادهای آشیانه ماگمایی و همچنین، در منطقه اهمیت دارد، از روش پراکندگی اندازه بلور یا CSD، برای برآورد شکل سه‌بعدی و تاریخچه رشد این بلور بهره گرفته می‌شود (Marsh, 1988). CSD در واقع نشان‌دهندهٔ وابستگی میان اندازه بلور (mm) و چگالی تراکمی بلور (n) است و نمودار اندازه در برابر چگالی تراکمی عموماً وابستگی آشکاری میان آنها نشان می‌دهد (Higgins, 1998, 2000; Cashman and Marsh, 1988). این نمودارها تغییرات در فراوانی و اندازه بلورها را وابسته به زمان ماندگاری آنها در سیستم نشان می‌دهند. شیب خط‌ها به میانگین زمان ماندگاری بلور در سیستم بستگی دارد. این زمان با به‌کارگیری معادلهٔ ساده (Marsh, 1988) زیر به دست می‌آید:

$$Tr = -1 / G * m * 31536000$$

به‌کارگیری این نرم‌افزار، Marsh و Cashman (۱۹۸۸) لگاریتم طبیعی چگالی تراکمی بلور (n) در برابر درازای بلور (L) را رسم کردند و خط به‌دست‌آمده را CSD نامیدند. این روش به‌گونه گسترده‌ای در تفسیر فرایندهای ماگمایی برپایه بافت‌های دیده‌شده در سنگ آذرین درونی و بیرونی به‌کار برده می‌شود. در این بررسی، شکل پلاژیوکلازها، تخته‌های و نسبت محورهای کوتاه: متوسط: بلند به ترتیب برابر با ۱۰:۷:۱ به‌دست آورده شد (شکل ۶).

میزان یک واحد، زمان ماندگاری را به اندازه ۱۰ برابر کاهش می‌دهد و برعکس. این مسئله نشان‌دهنده حساس بودن زمان ماندگاری به مقدار نرخ رشد است. چون پراکندگی اندازه بلور بازتابی از تاریخ تبلور آن است، از آن می‌توان در توضیح فرایندهای ماگمایی بهره گرفت (Higgins and Roberge, 2003).

در این پژوهش، پس از اندازه‌گیری دستی شمار ۵۶۴ بلور پلاژیوکلاز (با به‌کارگیری نرم‌افزار CSDSlice)، شکل سه‌بعدی بلورها به‌دست آمد. با



شکل ۶- بررسی پراکندگی اندازه بلور پلاژیوکلازها در سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان): (A) بازه‌های فراوانی نسبت‌های پهنا به درازا؛ (B) برآورد شکل سه بعدی برپایه فراوانی نسبت‌ها

پس از به‌دست‌آوردن شکل سه‌بعدی بلورها، برای به‌دست‌آوردن شیب نمودار و یافتن نقطه n_0 نرم افزار CSD Corrections 1.39 به‌کار برده شد و شیب نمودار برابر با ۱/۲۷- و نقطه برابر با n_0 ۱/۳۹ به‌دست آورده شدند. برپایه داده‌های

n_0 ، میانگین زمان ماندگاری بلور در سیستم ۴۰/۲۷ سال به‌دست آمد (جدول ۱).

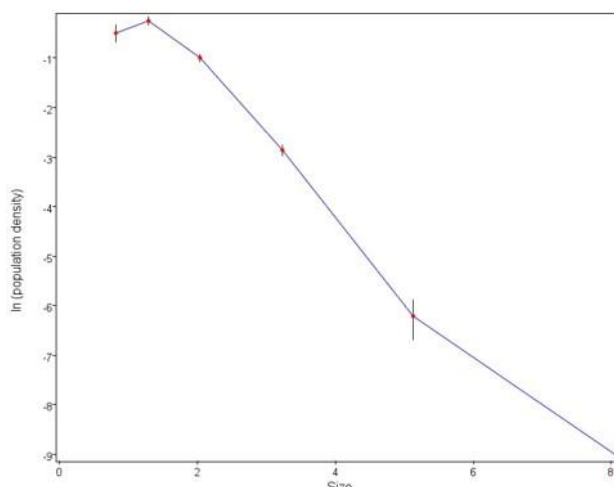
برای به‌دست‌آوردن شیب نمودار و یافتن نقطه n_0 نرم افزار CSD Corrections 1.39 به‌کار برده شد و شیب نمودار برابر با ۱/۲۷- و نقطه برابر با n_0 ۱/۳۹ به‌دست آورده شدند. برپایه داده‌های

مستقیمی برپایه تعاریف یادشده (الگوهای ایده‌ال در شکل ۸) نشان نمی‌دهند؛ بلکه دارای شکستگی و تغییرات شیب در آغاز و در هنگام مسیر رشد بلوری هستند. این پدیده می‌تواند نشان‌دهنده آمیختگی ماگمایی یا حضور درشت بلورها در خاستگاه ماگمای سازنده این سنگ‌ها باشد.

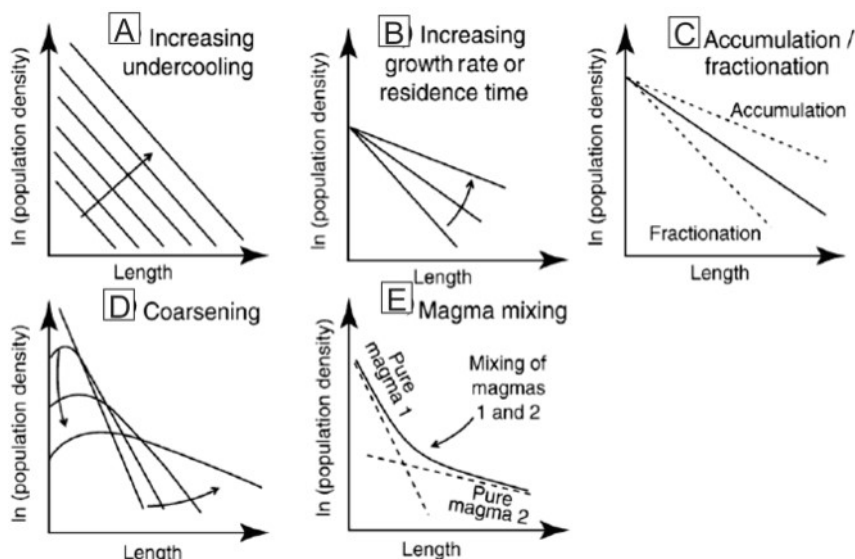
جدول ۱- داده‌های تجزیه پراکندگی اندازه بلور و برآورد زمان تبلور برای پلاژیوکلازهای سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان)

شیب	عرض از مبدا (no)	زمان رشد (t)	سرعت هسته‌بندی ($J=mm^{-3}/s^{-1}$)	سرعت رشد (mm/s^{-1})
1.27	1.39	40.27	1.3×10^{-9}	10^{-9}

همان‌گونه‌که در شکل ۷ دیده می‌شود، پلاژیوکلازهای منطقه شیب خط CSD



شکل ۷- نمودار پراکندگی اندازه بلور پلاژیوکلازهای اندازه‌گیری شده در سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) با به‌کارگیری نرم‌افزار Corrections 1.39 CSD (مقیاس درازای بلور در همه نمودارها به میلی‌متر است)



شکل ۸- تغییرات الگوهای نمودار CSD در پی فرایندهای فیزیکی درون آشیانه ماگمایی (Vinet and Higgins, 2010): (A) افزایش سرعت سردشدن؛ (B) کاهش شیب نمودار، افزایش نرخ رشد و زمان ماندگاری در آشیانه ماگما را در پی دارد؛ (C) تأثیر متفاوت جدایش یا انباشتگی بلور در سیستم؛ (D) پیامد وجود درشت بلور بر نمودار پراکندگی اندازه بلور؛ (E) آمیزش دو ماگما

شیمی کانی‌ها

شیمی پیروکسن: داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی برای پیروکسن‌های سنگ‌های بررسی شده (سنگ‌های مافیک و حدواسط) در جدول ۲ آورده شده‌اند. این کانی‌ها از نوع کلینوپیروکسن بوده، به صورت فنوکریست و ریزلور دیده می‌شوند. برپایه رده‌بندی Morimoto (۱۹۸۸) پیروکسن‌ها در چهار گروه جای می‌گیرند:

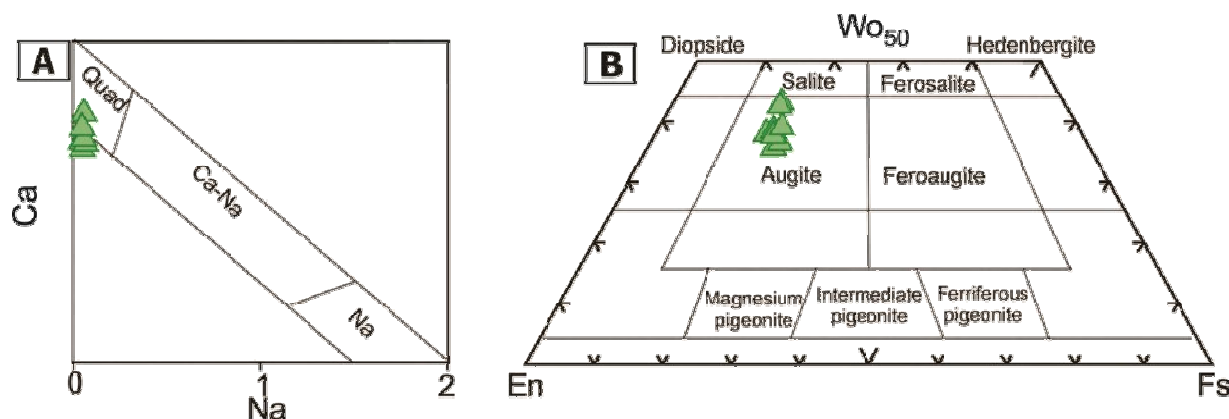
(۱) پیروکسن‌های (Ca-Mg-Fe Quad)؛ (۲) پیروکسن‌های Na-Ca؛ (۳) پیروکسن‌های Na؛ (۴) پیروکسن‌های دیگر (شکل ۹-A).
با توجه به جای گرفتن پیروکسن‌ها در ناحیه Quad می‌توان از نمودار Wo-En-Fs برای شناسایی نوع آنها بهره گرفت. این نمودار نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌ها از نوع اوزیت هستند (شکل ۹-B).

جدول ۲- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی کلینوپیروکسن سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) (برپایه درصد وزنی) به همراه فرمول ساختاری به دست آمده برپایه ۴ کاتیون و ۶ اتم اکسیژن (برپایه a.p.f.u.) و اعضای پایانی کلینوپیروکسن‌ها (برپایه درصد مولی)

Sample No.	Cpx- 2-1	Cpx- 2-2	Cpx- 2-3	Cpx-2-4	Cpx- 2-6	Cpx- 5-1	Cpx-5-2	Cpx-5-3
SiO ₂	53.31	52.84	63.58	54.34	53.82	53.67	54.55	54.06
TiO ₂	0.46	0.64	0.00	0.44	0.50	0.44	0.60	0.48
Al ₂ O ₃	2.85	3.63	20.90	2.92	3.01	3.39	5.59	3.49
Cr ₂ O ₃	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	8.97	10.13	0.26	9.33	9.13	9.08	9.35	8.95
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.30	0.45	0.07	0.35	0.34	0.44	0.37	0.34
MgO	14.37	14.83	0.00	13.52	15.54	14.62	12.15	14.12
CaO	19.55	17.40	6.98	19.07	17.52	18.23	17.04	18.48
Na ₂ O	0.00	0.00	7.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.84	99.92	99.24	99.97	99.86	99.87	99.65	99.92
Si	1.94	1.91	2.13	1.97	1.94	1.94	1.96	1.96
Ti	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Al	0.12	0.16	0.83	0.12	0.13	0.14	0.24	0.24
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.25	0.28	0.01	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.78	0.80	0.00	0.73	0.84	0.79	0.65	0.65
Ca	0.76	0.68	0.25	0.74	0.68	0.71	0.66	0.66
Na	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.87	3.85	3.70	3.83	3.86	3.85	3.78	3.78
Al- M1 ^(VI)	0.06	0.07	0.82	0.09	0.07	0.09	0.19	0.10
Al-T ^(IV)	0.06	0.09	0.00	0.03	0.06	0.06	0.04	0.05
Wollastonite	42.64	38.54	97.45	42.92	38.46	40.56	42.06	41.61
Enstatite	43.61	45.70	0.00	42.34	47.46	45.26	41.73	44.24
Ferrosilite	13.74	15.76	2.55	14.75	14.08	14.19	16.21	14.15

جدول ۲- ادامه

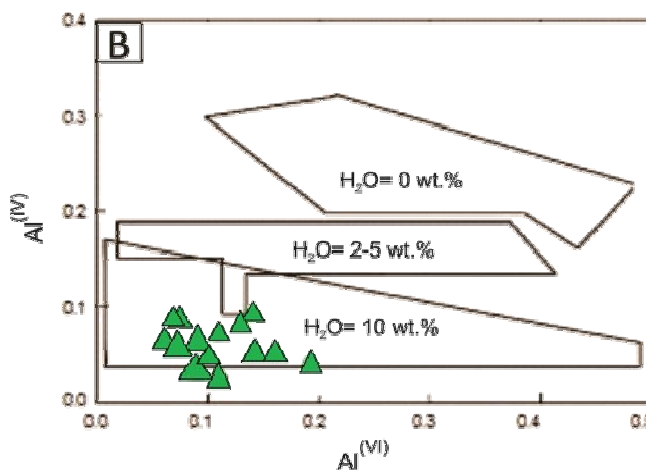
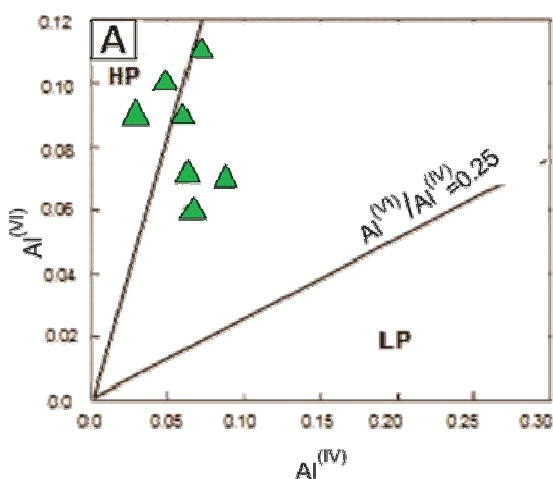
Sample No.	Cpx- 5-4	Cpx-5-6	Cpx- 5-7	Cpx- 5-9	Cpx-5-10	Cpx- 5-11	Cpx-5-12	Cpx-5-13
SiO ₂	52.97	55.42	53.33	54.81	56.65	53.90	53.59	54.47
TiO ₂	0.71	0.41	0.42	0.48	0.43	0.55	0.50	0.54
Al ₂ O ₃	5.36	2.46	4.89	3.48	3.38	4.56	4.28	4.88
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	9.10	9.14	8.52	7.37	8.47	8.45	8.98	8.16
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.32	0.40	0.32	0.27	0.32	0.27	0.39	0.33
MgO	12.71	13.38	13.86	15.13	14.20	12.50	13.95	13.47
CaO	18.84	18.55	18.64	18.33	19.86	19.50	18.31	18.13
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.01	99.76	99.98	99.87	103.31	99.78	100.00	99.98
Si	1.91	2.00	1.92	1.97	2.05	1.95	1.93	1.95
Ti	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Al	0.23	0.11	0.21	0.15	0.00	0.19	0.18	0.21
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.25	0.25	0.23	0.20	0.23	0.23	0.24	0.22
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01
Mg	0.68	0.72	0.75	0.81	0.76	0.67	0.75	0.72
Ca	0.73	0.72	0.72	0.71	0.77	0.76	0.71	0.70
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.83	3.81	3.85	3.85	3.83	3.91	3.84	3.82
Al- M1 ^(VI)	0.14	0.10	0.13	0.11	0.11	0.14	0.11	0.16
Al-T ^(IV)	0.09	0.00	0.08	0.03	0.03	0.05	0.07	0.05
Wollastonite	43.90	42.56	42.45	41.14	43.58	45.60	41.59	42.56
Enstatite	41.21	42.71	43.92	47.25	43.36	40.56	44.09	43.99
Ferrosilite	14.89	14.73	13.63	11.62	13.06	13.84	14.33	13.45



شکل ۹- جایگاه پیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) در: (A) گستره Quad و پیروکسن‌های دیگر (Morimoto, 1988); (B) نمودار رده‌بندی کلینوپيروکسن‌ها (Florán et al., 1978)

نمودار چه‌بسا نشان‌دهنده تبلور این کانی در مرحله‌های نخستین تبلور و پیش از بالا آمدن ماگماست.

افزون‌براین، توزیع آلومینیم در جایگاه تتراهدری و اکتاهدری کلینوپیروکسن روشی خوبی برای ارزیابی درصد تقریبی آب ماگما نیز به‌شمار می‌رود (Green, 1972; Helz, 1973). بر پایه این نکته، میزان آب ماگما در هنگام تبلور پیروکسن‌های بررسی‌شده ۱۰ درصد برآورد می‌شود (شکل ۱۰- B).



شکل ۱۰ ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) در: A) نمودار زمین‌فشارسنجی Al^{VI} در برابر Al^{IV} (Aoki and Shiba, 1973)؛ B) نمودار Al^{VI} در برابر Al^{IV} برای بررسی شرایط تبلور تقریبی برای پیروکسن‌ها (Helz, 1973)

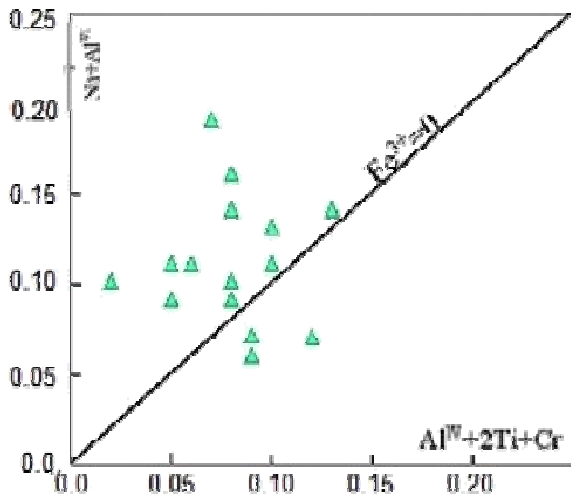
متوسط پیدایش این کانی‌ها همخوانی دارد (شکل ۱۰).

برای به‌دست‌آوردن فوگاسیته اکسیژن ماگمای سازنده سنگ‌های سازنده شیرینک، نمودار $Al^{VI}+2Ti+Cr$ در برابر $Na+Al^{IV}$ به‌کار برده شد (Schweitzer *et al.*, 1979). برپایه این نمودار می‌توان گفت شرایط محیطی پیدایش این سنگ‌ها دارای فوگاسیته متغیری از اکسیژن بوده است. در این نمودار، بیشتر نمونه‌ها در گستره فوگاسیته بالای اکسیژن جای گرفته‌اند (شکل ۱۲).

کلینوپیروکسن‌ها از مهمترین کانی‌های سازنده سنگ‌های آذرین بوده و بررسی ترکیب شیمیایی و به‌دست‌آوردن فرمول ساختاری آنها در بردارنده اطلاعات بسیار ارزشمندی درباره سنگ در برگیرنده آنهاست (Leterrier *et al.*, 1982). برای نمونه، مقدار و نوع Al در ساختار کلینوپیروکسن‌ها وابسته به فشار است و نمودار Al^{IV} در برابر Al^{VI} نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در ژرفای متوسط تا بسیار ژرف پدید آمده‌اند (شکل ۱۰- A). این

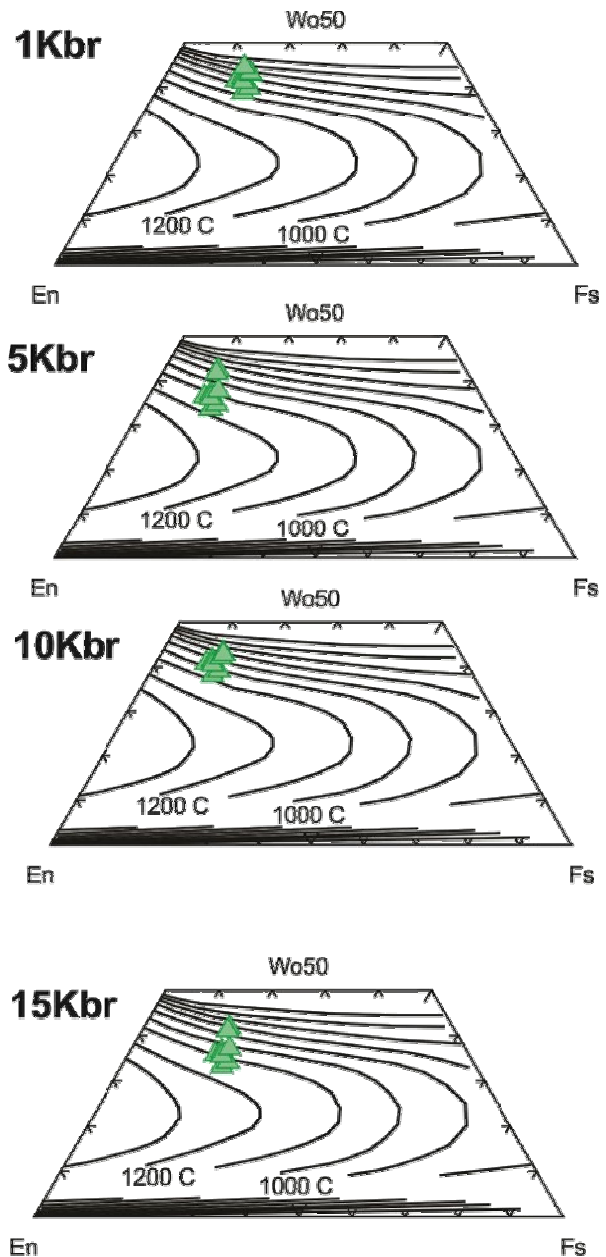
Lindsley (۱۹۸۳) برپایه درصد مولکولی ولاستونیت-انستاتیت-فروسیلیت در نمودار ولاستونیت-انستاتیت-فروسیلیت-هدنبرژیت (شکل ۱۱)، دما فشارسنجی ترسیمی را پیشنهاد کرد. همچنین، برای دماسنجی کلینوپیروکسن‌ها از منحنی‌های هم‌دما در نمودار رده‌بندی کلینوپیروکسن‌ها نیز بهره گرفت. دما فشارسنجی کلینوپیروکسن‌ها فشارهای گوناگون ۱ تا ۱۵ کیلو بار و دمای ۵۵۰ تا ۱۱۱۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد (شکل ۱۱) که با فشارهای بالا تا

(Leterrier *et al.*, 1982). بررسی ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های منطقه شیرینک در نمودار Na+Ca در برابر Ti، نشان دهنده سرشت ماگمایی ساب‌آلکالن (توله‌ایتی) آنهاست (شکل ۱۳- A).



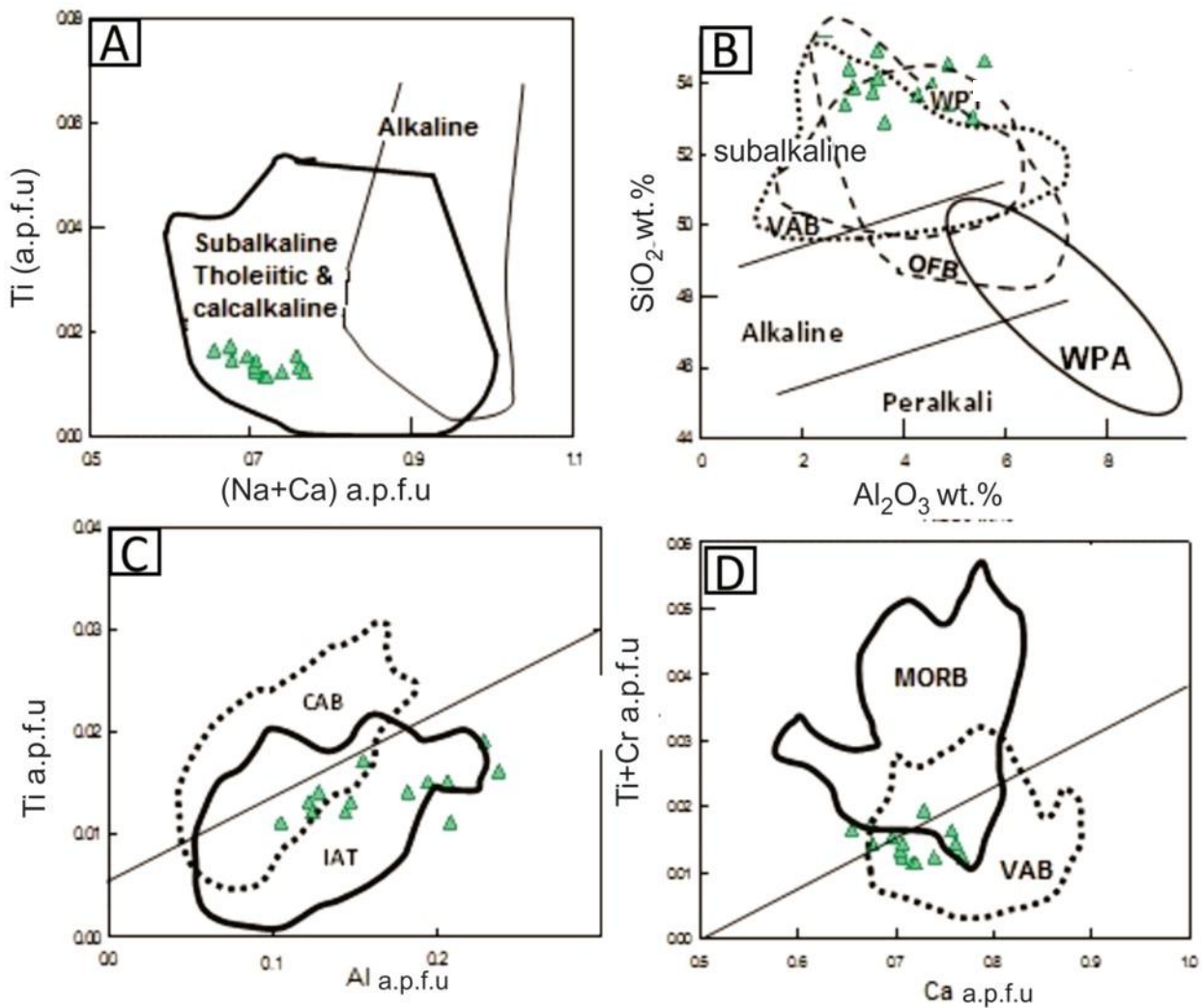
شکل ۱۲- نمودار $Al^{IV}+2Ti+Cr$ در برابر $Na+Al^{IV}$ برای به‌دست‌آوردن مقدار اکسیژن در محیط پیدایش کلینوپیروکسن سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) (در این نمودار شرایط متغیر اکسیژن برای بیشتر کلینوپیروکسن‌ها در محیط تبلورشان پیشنهاد شده است)

بر پایه نمودار Al_2O_3 در برابر SiO_2 ، نمونه‌ها در گستره ساب‌آلکالن و در گستره بازالت‌های کف اقیانوس و بازالت‌های کمان آتشفشانی جای گرفته‌اند (شکل ۱۳- B). همچنین، نمودار Al_{total} در برابر Ti نشان می‌دهد که نمونه‌ها در گستره کمان‌های آتشفشانی با سرشت توله‌ایتی تا کالک‌آلکالن جای گرفته‌اند (شکل ۱۳- C). برای شناسایی بیشتر، نمودار Ca در برابر $Ti+Cr$ پیروکسن‌ها به کار برده شد (شکل ۱۳- D) که در آن، سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در گستره بازالت کمان آتشفشانی جای گرفته‌اند.



شکل ۱۱- زمین‌دما فشارسنجی کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) بر پایه روش Lindsley (۱۹۸۳) در فشارهای ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلو بار

کلینوپیروکسن‌ها کانی‌هایی هستند که نشان‌دهنده خاستگاه و سنگ‌زایی مذاب میزبان خود بوده (petrogenic indicator) و در برابر دگرسانی پایدار هستند. از این‌رو، با به‌کارگیری ترکیب آنها می‌توان نوع سری ماگمایی و نوع پهنه زمین‌ساختی ماگمای سازنده آنها را شناسایی کرد



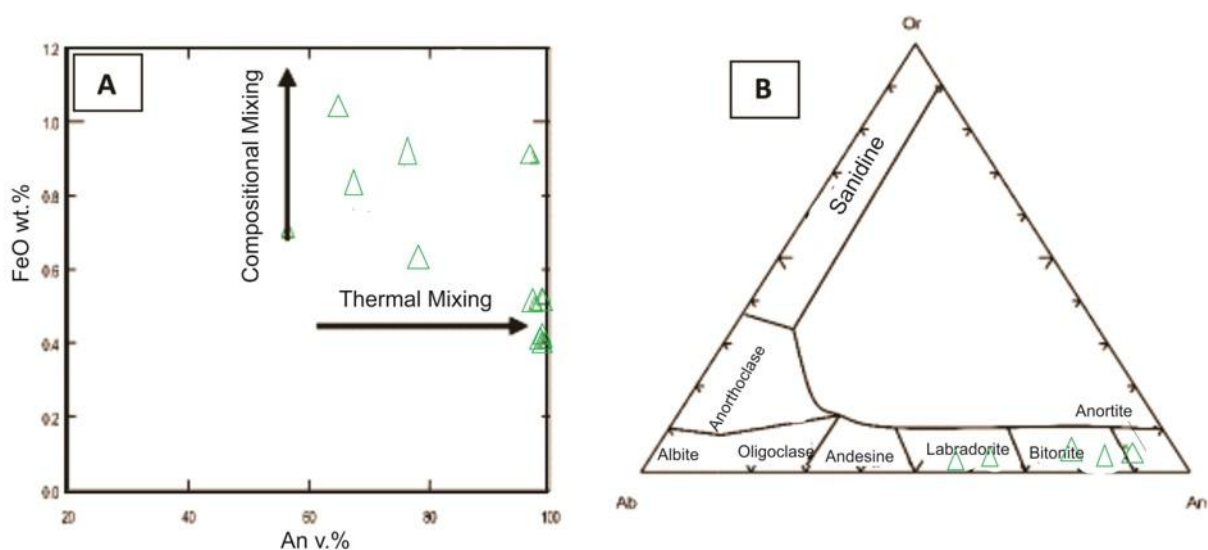
شکل ۱۳- به کارگیری ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های آتشفشانی بازالتی و بازالتیک‌آندزیتی شیرینک (استان کرمان) برای شناسایی سری ماگمایی در: (A) نمودار Na+Ca در برابر Ti (Leterrier *et al.*, 1982)؛ (B) نمودار Al_2O_3 در برابر SiO_2 (Nisbet and Pearce, 1977)؛ (C) نمودار Al_{total} در برابر Ti (Leterrier *et al.*, 1982)؛ (D) نمودار Ca در برابر Ti+Cr (Leterrier *et al.*, 1982)؛ WPT: توله‌ایت درون‌صفحه‌ای؛ VAB: بازالت آکالن؛ OFB: بازالت کف اقیانوسی؛ VAB: بازالت کمان آتشفشانی

بر پایه درصد وزنی FeO در برابر درصد مولی آنورتیت، این کانی‌ها در شرایط آمیختگی ترکیبی و دمایی پدید آمده‌اند. این داده‌ها با داده‌های به‌دست‌آمده از روش CSD و حضور بافت‌های ناتعادلی (مانند: غربالی) همخوانی دارد.

شیمی فلدسپار: داده‌های شیمی کانی فلدسپار سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (جدول ۳) نشان می‌دهد که پلاژیوکلازهای این سنگ‌ها در گستره ترکیبی لابرادوریت و بیتونیت جای گرفته‌اند (شکل ۱۴- A). همچنین، بر پایه نسبت این کانی و نیز

جدول ۳- داده‌های تجزیه ریزکاو الکترونی پلاژیوکلاز سنگ‌های آتشفشانی شیرینک (استان کرمان) (برپایه درصد وزنی) به‌همراه فرمول ساختاری به‌دست‌آمده آنها برپایه ۸ اتم اکسیژن (برپایه a.p.f.u.) و اعضای پایانی پلاژیوکلازها (برپایه درصد مولی)

Sample No.	Pla- 5-8	Pla- 2-5	pla- 17.1	pla- 17-2	pla- 17.3	pla-9-1	pla- 9-2	pla- 9-3	Pla-5-5	Pla- 2-7
SiO ₂	53.56	50.05	51.51	48.57	48.78	53.31	56.76	55.12	53.13	47.74
TiO ₂	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.03
Al ₂ O ₃	28.90	31.43	30.61	32.57	32.18	27.81	28.13	27.74	28.76	30.37
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	1.35	0.63	0.57	0.69	0.51	0.84	0.89	1.33	0.90	1.12
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO ₂	0.03	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.16
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	14.50	17.49	16.96	17.97	16.70	12.52	12.75	11.71	13.48	20.01
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	5.04	0.79	3.44	2.49	0.00
K ₂ O	0.22	0.37	0.11	0.18	0.17	0.43	0.51	0.50	0.50	0.54
Total	99.96	99.98	99.98	99.98	98.40	99.95	99.93	99.91	99.33	99.97
Si	2.42	2.28	2.34	2.22	2.26	2.43	2.54	2.49	2.42	2.22
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.54	1.69	1.64	1.76	1.75	1.50	1.48	1.48	1.55	1.66
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.04
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.70	0.86	0.83	0.88	0.83	0.61	0.61	0.57	0.66	1.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.07	0.30	0.22	0.00
K	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Total	4.84	4.87	4.85	4.89	4.87	5.05	4.76	4.92	4.91	4.96
Anorthite	84.37	97.54	99.23	98.82	98.80	56.52	86.22	63.19	72.54	96.89
Albite	14.11	0.00	0.00	0.00	0.00	41.17	9.67	33.59	24.25	0.00
Orthose	1.52	2.46	0.77	1.18	1.20	2.31	4.11	3.21	3.20	3.11



شکل ۱۴- ترکیب پلاژیوکلازها در بازالت‌های شیرینک (استان کرمان) در: (A) نمودار رده‌بندی فلدسپارها (Deer et al., 1992)؛ (B) درصد مولی آنورتیت در برابر درصد وزنی FeO برای شناسایی آمیزش در پلاژیوکلازها (Bowen, 1928)

بحث

آورده شده در شکل ۸-D (پیامد وجود درشت بلور بر نمودار پراکندگی اندازه بلور) و شکل ۸-E (آمیزش دو ماگما)، این تغییرات همانند هستند. چنین بافت‌هایی به‌طور معمول با شرایط ناعادلی گوناگونی که در هنگام تکامل سیستم ماگمایی رخ می‌دهند وابسته هستند. این شرایط ناعادلی چه‌بسا در پی تغییرات احتمالی در فشار، دما یا ترکیب شیمیایی پدید آمده باشند و شرایط تعادلی حاکم بر مجموعه ماگمایی را آشفته سازند.

نتیجه‌گیری

(۱) داده‌های به‌دست‌آمده از شیمی کانی پلاژیوکلاز و پراکندگی اندازه بلور آن نشان دهنده نقش پدیده آمیزش ماگمایی در فرایندهای پیدایش ماگمای این سنگ‌هاست. حضور بافت‌های ناعادل (مانند: بافت غربالی، چهره غبارآلود پلاژیوکلاز و حاشیه‌های خورده‌شده) نشانه دیگری از نقش پدیده آمیزش ماگمایی است.

(۲) بررسی‌های پراکندگی اندازه بلور و تغییرات ثبت شده در شیب نمودار رسم شده نشان دهنده تغییرات آشیانه ماگمایی هنگام تبلور پلاژیوکلاز در بازه زمانی ۴۰ ساله است.

(۳) برپایه یافته‌های شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها، روشن شد که این کانی‌ها در فشار بالا تا متوسط و در آغاز بالا آمدن ماگما پدید آمده‌ان. بیشتر این کانی‌ها نیز در محیطی با اکسیژن و میزان آب ماگما بالا (نزدیک به ۱۰ درصد) پدید آمده‌اند؛

(۴) داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی شیمی کلینوپیروکسن نشان دهنده جای داشتن سنگ‌های بازیک منطقه در گستره سری‌های توله‌ایتی تا کالک‌آلکانل وابسته به کمان‌های آتشفشانی است. شرایط یادشده با جایگاه این سنگ‌ها در مجموعه ارومیه دختر و شرایط حاکم بر این مجموعه سازگاری دارد.

ترکیب کلینوپیروکسن‌ها برگرفته از شیمی اندازه میزبان آنهاست. این ویژگی سبب می‌شود تا این کانی بتواند تفاوت میان ماگماهای بازالتی گوناگون را نشان دهد. این نکته اهمیت کلینوپیروکسن‌ها در شناسایی سری ماگمایی و در پایان، جایگاه پهنه زمین‌ساختی ماگمای سازنده سنگ میزبان را نشان می‌دهد (Leterrier *et al.*, 1982) (شکل ۱۳).

برپایه شیمی کانی کلینوپیروکسن، سنگ‌های آتشفشانی شمال‌باختری شیرینک از سری ماگمایی کالک‌آلکانل وابسته به کمان ماگمایی حاشیه قاره بوده است که با فوگاسیته بالای اکسیژن به‌دست‌آمده (شکل ۱۲) همخوانی دارد. همچنین، سنگ‌های آتشفشانی شیرینک در یک پهنه وابسته به فرورانش و در فشارهای بالا پدید آمده‌اند. در ادامه مذاب پدیدآمده بالا آمده و در هنگام کاهش فشار، کلینوپیروکسن‌های کم‌فشارتر را پدید آورده است. همچنین، برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری و شیمی کانی پلاژیوکلاز نیز می‌توان تا اندازه‌ای به تغییر در شرایط فیزیکی ماگما (مانند: فرایندهای هضم و آمیزش ماگمایی) پی برد. بافت‌های ناعادلی (مانند: بافت غربالی، غباری، فرایندهای جذب و منطقه‌بندی پلاژیوکلاز) در اندازه‌های شیرینک عموماً نشان دهنده تغییرات فیزیکی پدیدآمده در سیستم‌های ماگمایی هستند. در سنگ‌های آتشفشانی شیرینک، تغییر در فوگاسیته اکسیژن و آب و آمیزش ماگمایی را می‌توان عامل اصلی پدیدآورنده بافت غربالی دانست که با داده‌های شیمیایی کلینوپیروکسن همخوانی دارد.

داده‌های شیمیایی کانی پلاژیوکلاز را می‌توان با نمودارهای به‌دست‌آمده با روش پراکندگی اندازه این بلور مقایسه کرد. در کل، تغییرات دیده‌شده در شیب خط نمودار CSD (شکل ۷) نشان دهنده تغییر شرایط رشد بلوری هنگام تبلور در ماگماست. برپایه الگوهای

سپاس‌گزاری

احمدی‌پور برای راهنمایی‌های ارزنده‌شان در انجام این پژوهش و همچنین، از داوران گرامی مجله پترولوژی برای پیشنهادهای سازنده‌شان سپاس‌گزاری می‌شود.

دانشکده علوم بخش زمین‌شناسی دانشگاه باهنر کرمان هزینه این طرح پژوهشی را تأمین کرده است. از تلاش‌های آقای دکتر حمید

منابع

- Ahmadimoghadam, P. (2011) Petrography, geochemistry and petrogenesis of lava and pyroclastic rocks from Cheheltan Kuh in south-west of Bardsir (Kerman province). MSc thesis, University of Shahid Bahonar Kerman, Kerman, Iran (in Persian).
- Aoki, K. and Shiba, I. (1973) Pyroxene from lherzolite inclusions of itonomegata, Japan, *Lithos* 6(1):41-51.
- Bowen, N. L. (1928) The evolution of the igneous rocks. Princeton University Press, New Jersey, US.
- Cashman, K. V. and Marsh, B. D. (1988) Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallisation II. Makaopuhi Lava Lake. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92: 292-305.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992) An introduction to the rock forming minerals. 2nd Edition, Longman, London.
- Dimitrijevic, M. N., Djokovic, I., Cvetic, S. and Halavjatiz, J. (1973) Geological map of Rayen 1:100000 series, sheet 7449, Geological Survey of Iran, Iran.
- Floran, R. J., Grieve, R. A. F., Phinney, W. C., Warner, J. L., Simonds, C. H. and Blanchard, D. P. (1978) Manicouagan impact melt, Quebec 1, stratigraphy, petrology and chemistry. *Journal of Geophysical Research* 83: 2737-2759.
- Green, T. H. (1972) Crystallization of calc – alkaline andesite under controlled high pressure hydrous condition. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 34: 367-385.
- 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.
- Higgins, M. D. (1998) Origin of anorthosite by textural coarsening: quantitative measurements of ural sequence of textural development. *Journal of Petrology* 39: 1307-1325.
- Higgins, M. D. (2000) Measurement of crystal size distributions. *American Mineralogist* 85: 1105- 1116.
- Higgins, M. D. (2006) Quantitative textural measurement in igneous and metamorphic petrology. Cambridge university, USA.
- Higgins, M. D. and Roberge, J. (2003) Crystal size distribution (CSD) of plagioclase and amphibole from Soufriere Hills volcano, Montserrat: evidence for dynamic crystallization textural coarsening cycles. *Journal of Petrology* 44: 1401-1411.
- Leterrier, J., Grand Claude, P. and Marchal, M. (1982) A classification of volcania and plutonica rocks, using R1-R2 diagrams and major element. *Chemical Geology* 29(1-4):183-210.
- Lindh, A., Kjöllström, A. and Solyom, Z. (2006) Localised country-rock contamination and partial homogenisation of a mafic magma: an example from west central Sweden. *Lithos* 86: 212-228.
- Lindsley, D. H. (1983) Pyroxene thermometry, *American Mineralogist* 68: 477-493.

- Marsh, B. (1988) Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I. Theory. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 99: 277–291.
- Morimoto, N. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52(367): 535-550.
- Naderi, M. (2012) Geochemistry and petrogenesis of igneous rocks from N-NE of Sirinak region in south-west of Bardsir (Kerman Province). MSc thesis, University of Shahid Bahonar Kerman, Kerman, Iran (in Persian).
- Nisbet, E. G. and Pearce, J. A. (1977) Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63: 149-160.
- Schweitzer, E. L., Papike, J. J. and Bence, A. E. (1979) Statical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts. *American Mineralogist* 64: 501-513.
- Verdel, C., Wernicke, B. P., Hassanzadeh, J. and Guest, B. (2011) A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics* 30, TC3008.
- Vinet, N. and Higgins, M. D. (2010) Magma solidification processes beneath Kilaueavolcano, Hawaii: A quantitative textural and geochemical study of the 1969-1974 Mauna Ulu lavas. *Journal of Petrology* 6: 1297-1332.