



تعیین پراکندگی اندازه و شکل بلورهای پلاژیوکلاز و مدت اقامت آنها در توده آذرین چاه موسی (جنوب شاهرود)

عاطفه حسینی، مریم شبی*

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۲۶، نسخه نهایی: ۹۹/۵/۱)

چکیده: به دلیل اهمیت بلورهای پلاژیوکلاز در بازسازی فرایندهای سردشدن ماگما، پراکندگی اندازه و شکل بلوری این کانی‌ها با استفاده از روش کمی پراکندگی اندازه بلور (CSD) برای توده نیمه عمیق چاه موسی (شمال غرب ترو، استان سمنان) بررسی شد. شیب نمودارهای CSD، لگاریتم طبیعی توزیع پراکندگی چگالی تراکمی بلور (n) نسبت به طول بلور (L)، نشان می‌دهد که درشت بلورهای پلاژیوکلاز در این توده آذرین دارای نرخ هسته‌بندی $1/4 \times 10^{-8}$ تا $9/27 \times 10^{-9} \text{ mm/s}$ بوده و در گستره زمانی ۱۱۸/۶۲ تا ۶۳۰/۷ سال در آشیانه ماگمایی رشد کرده‌اند. مدت اقامت محاسبه شده با ماهیت نیمه‌عمیق نمونه‌های مورد بررسی همخوانی دارد. همچنین، نمودارهای CSD فرایند آمیختگی جمعیت بلوری را نشان می‌دهند و بیانگر دوره‌های متعدد تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت است. نتایج حضور دست کم دو جمعیت بلوری را نشان می‌دهند: درشت بلورهایی که طی سرد شدن مذاب تشکیل شده‌اند و آنهایی که طی برداشته شدن فشار با سرعت هسته‌بندی متفاوتی شکل گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پراکندگی/اندازه بلور (CSD)؛ پلاژیوکلاز؛ چاه موسی.

مقدمه

بافت سنگ‌های مختلف با نرخ سرد شدن، جریان سیال‌ها، ترکیب مایع، نرخ رشد و هسته‌بندی و ته‌نشینی یا شناوری بلورها کنترل می‌شود [۱]. در مجموع، نرخ رشد و هسته‌بندی بلور، انباشت بلور و جدایش، درشت‌شدگی، آمیختگی ماگمایی و ماگماهای چند خاستگاهی، فرایندهای سنگ‌شناسی نامیده می‌شوند که بویژه از بررسی‌های بافتی سنگ‌ها مشخص می‌شوند [۲]. با بررسی توزیع اندازه بلور در سه بعد (CSD)، رابطه بین اندازه بلور و چگالی تراکمی بلور تعیین شده و اطلاعات بسیاری از چگونگی تبلور سنگ‌ها به دست می‌آید. به منظور محاسبه پراکندگی اندازه بلور مارش و کشمن [۴،۳] نموداری براساس لگاریتم طبیعی چگالی تراکمی بلور (n) نسبت به طول بلور (L) طراحی کردند که در آن خط به دست آمده CSD نامیده می‌شود. روش پراکندگی اندازه بلور به منظور برآورد شرایط فیزیکی تبلور، زمان تبلور و سهم حجمی بلورها، رشد و

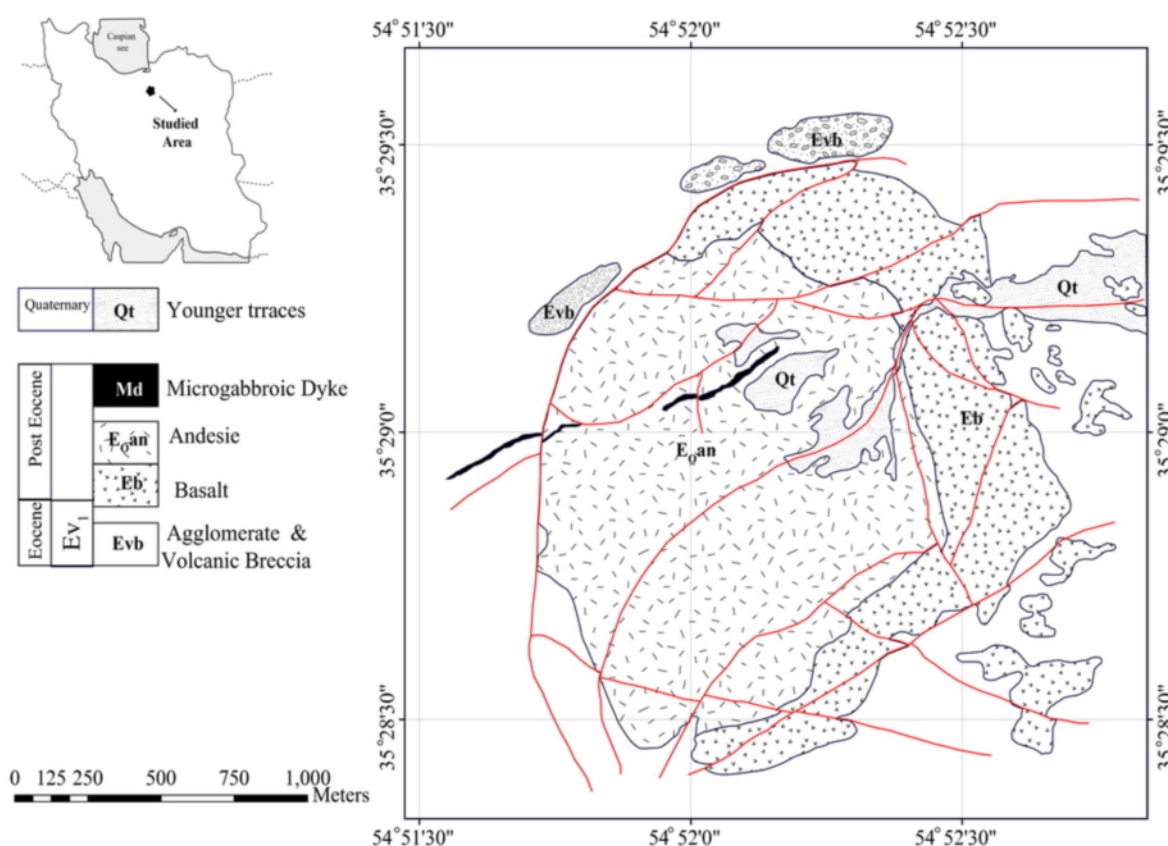
هسته‌بندی بلور، سرعت سردشدگی ماگما و شنایی مهمترین فرایندها طی انجماد به ویژه نقش نسبی جدایش، تراکم و درشت‌شدگی بافتی (بلوغ استوالد) و آمیختگی جمعیت‌های بلوری متفاوت در ماگما استفاده می‌شود [۵، ۶]. از مهمترین پژوهش‌ها پیرامون CSD که در ایران انجام شده است می‌توان به کارهای مسعودی و همکاران [۷]، ریسی و همکاران [۸]، پورخرسندی و همکاران [۹]، زاد صالح و پورخرسندی [۱۰] و آیتی و مهدوری [۱۱] اشاره کرد. در این پژوهش، نتایج بررسی‌های کمی بافت و توزیع اندازه بلورهای پلاژیوکلاز به منظور محاسبه مدت اقامت و سرعت هسته‌بندی آنها در توده نیمه عمیق چاه موسی (شمال غرب ترو) استفاده شده است. همچنین فرایندهای تکامل ماگمایی برپایه نتایج برآمده از نمودارهای CSD بررسی شده است.

توده نیمه عمیق و بیضوی شکل چاه‌موسی با مساحت $3/45 \text{ km}^2$ در بخش شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی در

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۷۳۰۷۳۳، نامبر: ۳۲۳۹۶۰۰۷، پست الکترونیکی: sheibi@shahroodut.ac.ir

بر اساس نتایج بررسی‌های بافت مغناطیسی [۱۳] مشخص شد که توده نیمه عمیق مورد بررسی دارای ترکیب غالب آندزیت پورفیری بوده و در محل تماس واحد برش‌های آتشفشانی و توف‌های قرمز واحد آذرآواری-آتشفشانی ائوسن (E_{vb}) جایگیری نموده تزریق شده است. این توده از نظر ترکیب به دو دسته قابل تقسیم است. لبه شرقی این توده نیمه عمیق در صحرا رنگ تیره‌تری نسبت به سایر بخش‌ها دارد و ترکیب آن بازالتی است، در حالیکه بیشتر آن ترکیب غالب آندزیت دارد (شکل ۱). درشت بلورهای پلاژیوکلاز، سوزن‌های آمفیبول و مقادیر کمتر بیوتیت مهم‌ترین کانی‌های موجود در این سنگ‌ها هستند. در صحرا، اندازه این بلورها از بخش‌های لبه‌ای به سمت مرکز بزرگتر می‌شود. بررسی بافت مغناطیسی نشان می‌دهد که این توده نیمه عمیق در یک پهنه برشی راستالغز به روش بالونی شدن (تورم درجای مخزن) در شرایط زمین ساختی ترافشارشی جایگزین شده است [۱۳].

نوار ماگمایی تروود - چاه شیرین قرار دارد. زمین شناسی این توده نیمه عمیق و سنگ‌های کنار آن بررسی شده است [۱۲]. بر اساس نتایج این بررسی‌ها زمین‌شناسی و به ویژه شواهد ساختاری موجود به نظر می‌رسد که توده نیمه عمیق چاه موسی با ترکیب غالب آندزیت پورفیری نخست با ترکیب در توالی آذرآواری ائوسن تزریق شده و سپس میزبان کانه‌زایی مس و دگرسانی‌های گرمایی متعددی شده است. بیشتر واحدهای سنگی ناحیه مورد بررسی را واحدهای آذرآواری-آتشفشانی ائوسن (E_{vb}) تشکیل می‌دهند (شکل ۱). این سنگ‌ها دارای ماهیت آذرآواری هستند و از توف قرمز رنگ، کنگلومرا، جوش آتشفشانی و برش آتشفشانی تشکیل شده‌اند. در بخش‌های بالاتر این واحد، یک افق جوش آتشفشانی دیده می‌شود که قطعه‌های متنوع آذرین و رسوبی به ویژه قطعه‌های کاملاً گردشده کربناتی در آن وجود دارند. بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساختاری و ژئوشیمیایی، این سنگ‌ها در جایگاه زمین ساختی وابسته به فروانش و در راستای یک کرانه فعال قاره‌ای با ماهیت آهکی قلیایی تشکیل شده‌اند [۱۲].

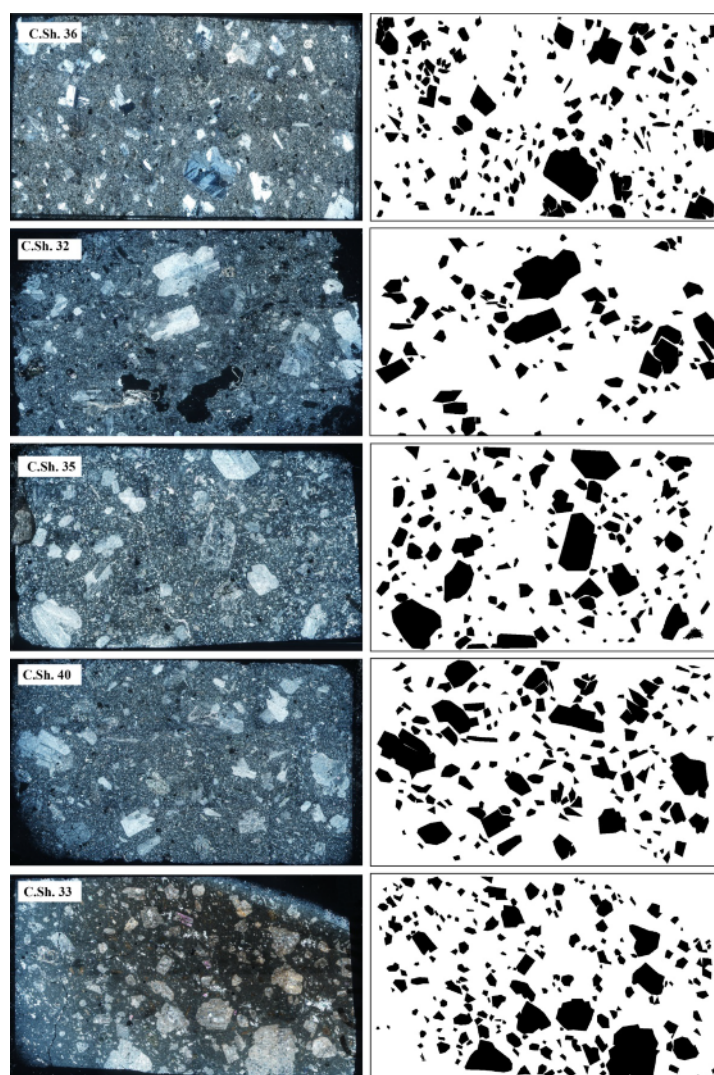


شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی توده نیمه عمیق چاه موسی و معرفی واحدهای سنگی رخنمون یافته.

روش بررسی

به منظور تحلیل کمی پراکندگی اندازه بلورهای پلاژیوکلاز، از بین بیش از ۸۰ نمونه سنگی برداشت شده از بخش‌های مختلف توده نیمه عمیق چاه موسی، ۶ نمونه از لبه و ۵ نمونه از بخش‌های مرکزی آن برای بررسی CSD انتخاب شدند. بافت‌های موجود با استفاده از روش مرجع [۵] تحلیل شد. پس از تهیه و بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی، تصاویر میکروسکوپی بسیاری با بزرگنمایی ۱/۲۵X از هر مقطع تهیه شد. این تصاویر در نرم افزار Photoshop به صورت موزائیکی کنار هم قرار داده شده و تصاویری کلی از هر مقطع نازک سنگی آماده شد (شکل ۲). در ادامه با نرم‌افزار JmicroVision همه پلاژیوکلازهای موجود در هر مقطع به طور دستی رسم شده (شکل ۲) و

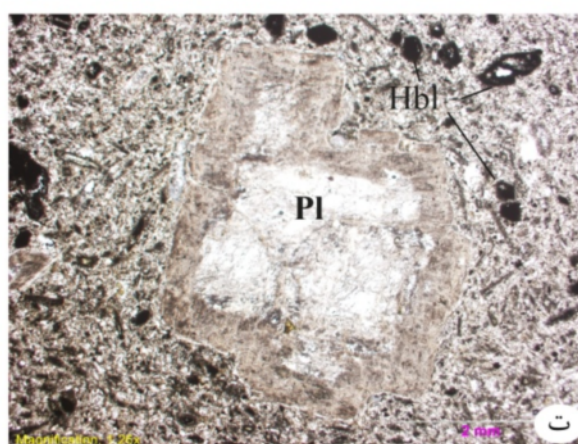
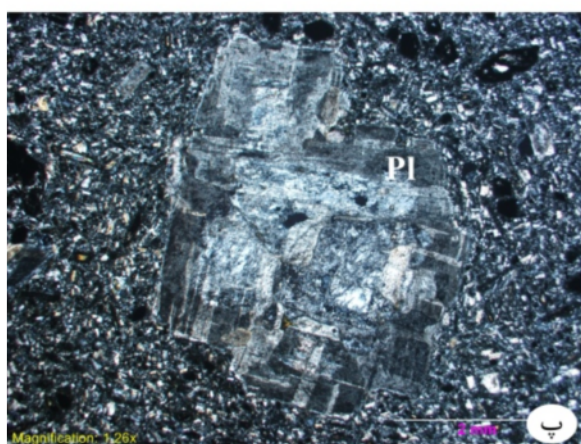
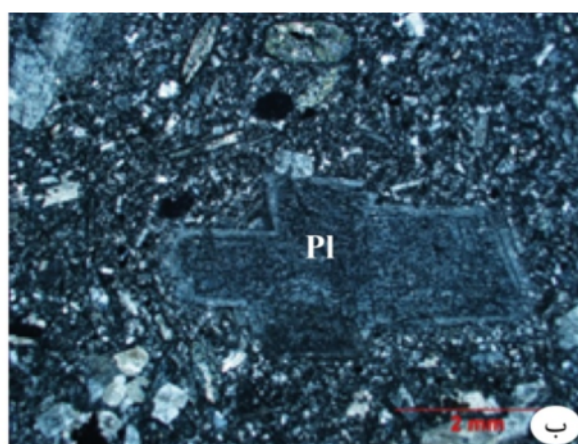
داده‌های دوبعدی هر بلور (طول، عرض، مساحت و ...) استخراج شدند. با معرفی واحد و مقیاس هر تصویر میکروسکوپی در این نرم‌افزار، مساحت اندازه‌گیری شده کلی هر یک از تصاویر محاسبه شده است. در مرحله بعد، برای تبدیل داده‌های به دست آمده از دو بعد بلورهای پلاژیوکلاز در مقطع نازک به مقادیر واقعی سه بعدی آنها، از نرم‌افزار تخصصی correction CSD استفاده شد. برای محاسبه CSD براساس اندازه‌گیری‌های 2D و CSD correction، میانگین شکل بلوری به صورت نسبت تصویر بلور S:I:L (به ترتیب محور کوچک، متوسط و بزرگ بهترین بیضی منطبق با بلور) بدست می‌آید [۱۴].



شکل ۲ تصاویر موزائیکی شده (سمت چپ) و سیاه و سفید (سمت راست) تهیه شده از مقاطع نازک میکروسکوپی توده نیمه عمیق چاه موسی (X ۱/۲۵). مقاطع در تیغه‌های شیشه‌ای ۲۵ در ۷۵ میلیمتر مربع تهیه شده‌اند.

نسبت ابعاد شکل فرضی (بهترین بیضی منطبق با بلور) برای بلورهای پلاژیوکلاز در هر یک از مقاطع بررسی شده با نرم افزار CSDslice به دست آمد. بهترین بیضی منطبق با بلور به عنوان مدل انتخابی در نظر گرفته می شود. با توجه به شکل-دار بودن بیشتر بلورها، میزان گردشگری برای بلورهای پلاژیوکلاز مورد بررسی ۰/۳ در نظر گرفته شد که بیانگر شکلی بین بیضی و متوازی الاضلاع است. عامل شکل نیز متناسب با شکل بلورها (شکل های مکعبی ۱:۱:۱؛ منشوری ۱:۱:۱۰؛ تیغه-ای ۱:۱۰:۱۰؛ صفحه ای ۱:۲:۵) تعیین شد. در پایان، طول و عرض همه بلورهای اندازه گیری شده در هر مقطع نازک (داده-های دو بعدی هر بلور) در نرم افزار CSDslice فراخوانی شد و بهترین ابعاد بلوری و نمودار اندازه نسبت به چگالی تراکمی رسم گردید. یکای اندازه بلورها mm و برای چگالی انباشتی mm^{-4} است. در این پژوهش، نرخ رشد بلورهای پلاژیوکلاز

۱۰^{-۹} mm/s در نظر گرفته شد [۱۵] و زمان رشد و هسته بندی بلورها و میانگین زمان اقامت بلور با استفاده از رابطه مرجع [۱۶] تعیین شد. پلاژیوکلاز فراوان ترین کانی این توده نیمه عمیق را تشکیل می دهد. این بلورها اغلب به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار هستند و اندازه آن ها از ۱ میلی متر در ریزسنگ ها تا بیش از یک سانتیمتر در درشت بلورها متغیر است (شکل-های ۳ب و ۳و). پلاژیوکلازها به صورت مجزا و انباشته های گلوبروپورفیری دیده می شوند. همچنین بافت های نامتعادل مانند بافت غربالی (شکل ۳ب)، ماکل مرکب و منطقه بندی ساده تا پیچیده (شکل های ۳پ و ۳ت) و یا روهمرشدی رورشدی در بلورهای پلاژیوکلاز فراوان دیده می شوند. همه این شواهد گواهی بر رشد چند مرحله ای و فرایند آمیختگی طی تبلور مخزن هستند.



شکل ۳ الف- ساخت پورفیری در سنگ های آندزیتی توده نیمه عمیق چاه موسی. ب- بلور پلاژیوکلاز با منطقه بندی عادی (لبه آلبیتی) و روهمرشدی رورشدی؛ پ- بلور پلاژیوکلاز با ماکل مرکب و منطقه بندی پیچیده؛ ت- تصویر پ در نور طبیعی.

بحث و بررسی

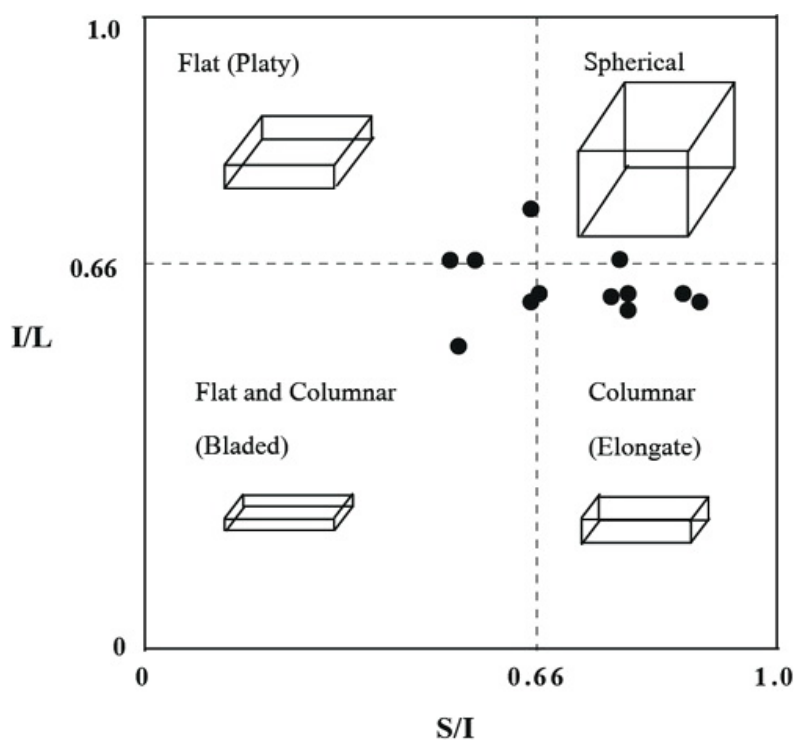
فراوانی پلاژیوکلاز به دلیل ثبت تاریخچه فرایندهای ماگمایی برای استفاده از روش پراکندگی اندازه بلور مناسب است. همچنین وجود ماکل، منطقه بندی و رورشدی در پلاژیوکلاز می تواند برای اثبات شرایط آمیختگی ماگمایی و دیگر فرایندهای مخزن ماگمایی کاربرد داشته باشد. پردازش و تحلیل توزیع اندازه بلورهای پلاژیوکلاز برای ۱۱ نمونه از مقاطع نازک از مرکز و لبه توده مورد بررسی دربردارنده بلورهای قابل تشخیص و متمایز انجام شد. تصاویر مقاطع میکروسکوپی به همراه تصاویر دوتایی (سیاه و سفید) برای تعدادی از بلورهای پلاژیوکلاز نمونه های مورد بررسی در شکل ۲ آورده شده است. نتایج بررسی توزیع ابعاد دو بعدی (طول و عرض) برای ۱۸۷۳ بلور پلاژیوکلاز اندازه گیری شده در مقایسه با نتایج استفاده از نمودار مرجع [۱۷] نشان می دهد که بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز در گستره بلورهایی به شکل منشوری و تعداد کمی از آنها در گستره تیغه ای و تخته ای قرار دارند (جدول ۱ و شکل ۴). نمودار توزیع عرض/طول دو بعدی برای هر نمونه (خط قرمز)،

به همراه بهترین شکل پیشنهادی مناسب توسط CSDslice تعیین شد (شکل ۵).

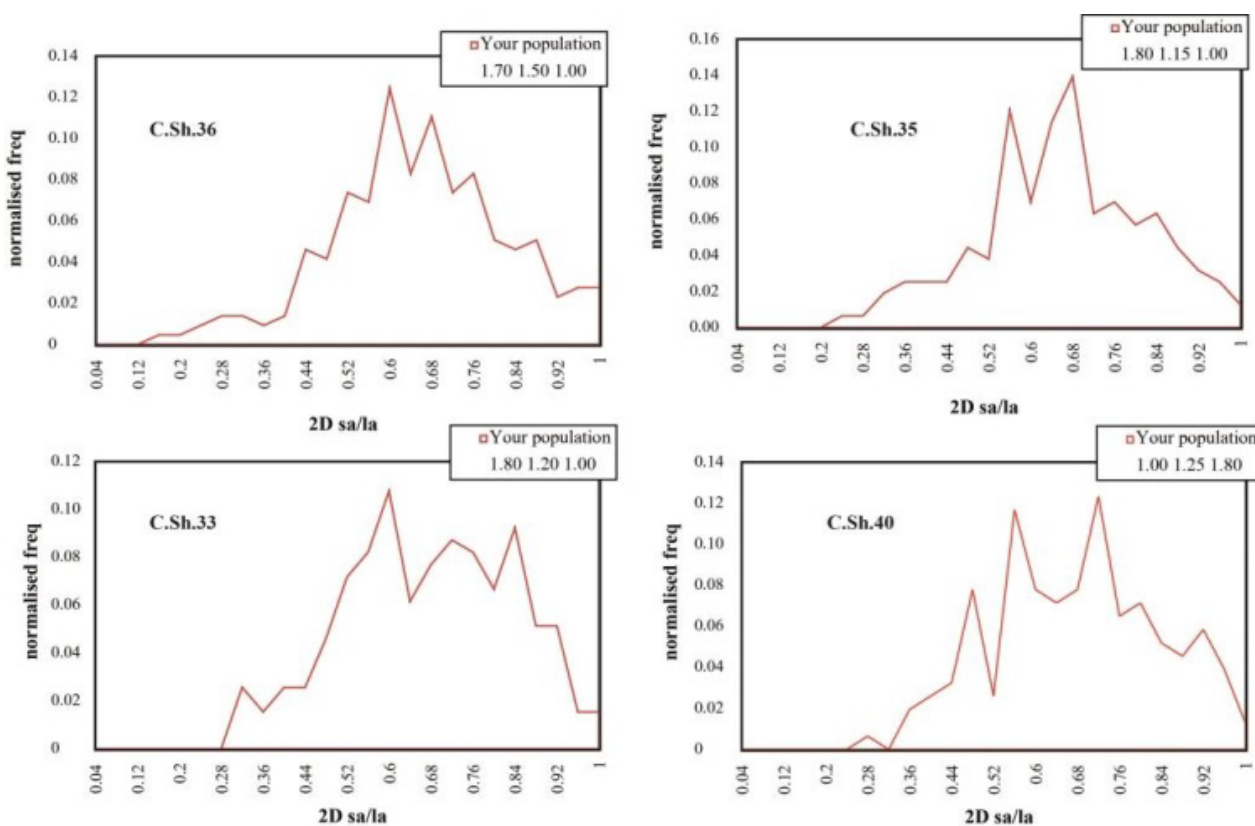
نمودارهای پراکندگی اندازه بلور (CSD): همه بررسی های CSD به تفسیر منحنی های به دست آمده در شرایط سرد شدن ماگما می پردازد. در شکل ۶، جمعیت های مختلف بلورهای پلاژیوکلاز و ارتباط آنها با منحنی های CSD نشان داده شده است [۱۸]. اگر منحنی CSD یک خط صاف و مستقیم باشد، فرایند سرد شدن ساده ماگما را نشان می دهد و شکستگی و انحنا در نمودارهای CSD نشان دهنده دگرگونی در مخزن ماگمایی است [۱۶]. برای مثال، ورود یک ماگمای جدید به مخزن موجب تغییر در دما، نرخ رشد اولیه و هسته بندی بلورها می شود. همچنین شیب تند در نمودارهای CSD نشانگر نرخ هسته بندی و توقف کوتاه مدت و شیب کم بیانگر زمان توقف طولانی و سرعت هسته بندی آهسته تر در محفظه ماگمایی است [۱۶]. بلورهای درشت در عمق بیشتر و بلورهای کوچک تر در مناطق سطحی و با سرعت تبلور بالاتر رشد کرده اند. منحنی های غیر خطی CSD حضور دست کم دو جمعیت بلوری را نشان می دهند [۱۹].

جدول ۱ پارامترهای شکل بلورها به همراه نسبت محور کوچک به متوسط (S/I) و محور متوسط به بلند (I/L) برای بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه های سنگی مورد بررسی.

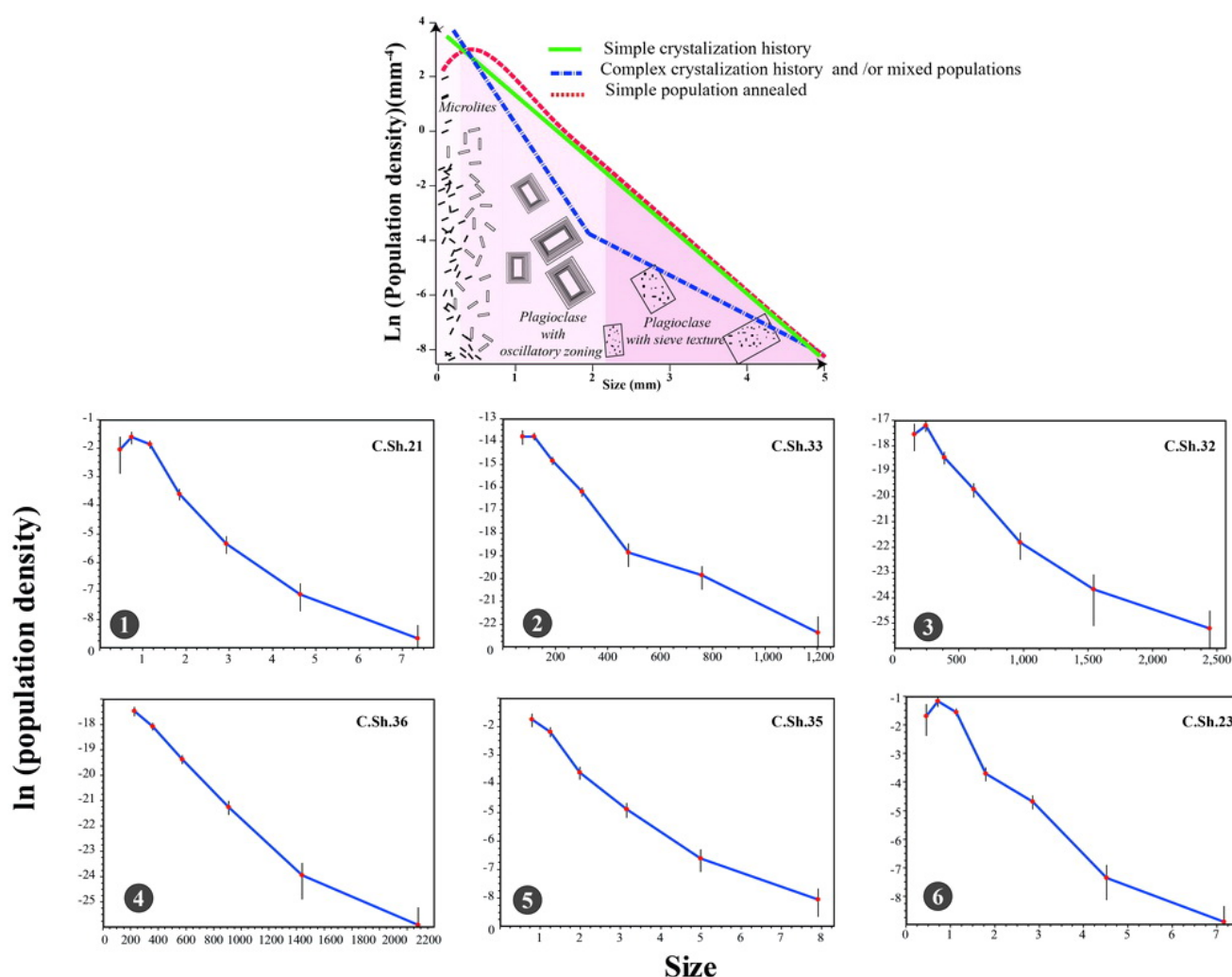
شکل بلور	I/L	S/I	ابعاد بلور	نمونه
منشوری	۰/۶	۰/۸	۱ ۱/۲ ۱/۸	CH۲۰
منشوری	۰/۶	۰/۹	۱ ۱/۱ ۱/۶	CH۲۱
تیغه ای	۰/۷	۰/۶	۱ ۱/۵ ۲/۱	CH۲۲
منشوری	۰/۷	۰/۸	۱ ۱/۲ ۱/۷	CH۲۳
منشوری	۰/۶	۰/۹	۱ ۱/۱ ۱/۶	CH۲۴
منشوری	۰/۶	۰/۷	۱ ۱/۳ ۱/۹	C.Sh۳۱
تخته ای	۰/۸	۰/۷	۱ ۱/۴ ۱/۷	C.Sh۳۲
منشوری	۰/۶	۰/۸	۱ ۱/۲ ۱/۸	C.Sh۳۳
منشوری	۰/۶	۰/۸	۱ ۱/۱۵ ۱/۸	C.Sh۳۵
تیغه ای	۰/۸	۰/۶	۱ ۱/۵ ۱/۷	C.Sh۳۶
تیغه ای	۰/۵	۰/۶	۱ ۱/۵ ۲/۶	C.Sh۴۰



شکل ۴ نمودار تعیین شکل سه بعدی بلورها، [۱۷] (S/I) محور کوتاه به محور متوسط و (I/L) محور متوسط به محور بلند.



شکل ۵ نمودارهای عرض به طول نسبت به فراوانی رسم شده در نرم افزار CSDslice برای تعیین شکل دو بعدی بلورهای پلاژیوکلاز برخی از مقاطع مورد بررسی.



شکل ۶ الف) نمودار تغییرات فراوانی و اندازه بلورها به صورت تابعی از زمان اقامت آنها [۱۳-۱۸]. که شیب منحنی CSD متناسب با تاریخچه تبلور تغییر می‌کند. ب) برخی از نمودارهای CSD رسم شده برای نمونه‌های آندزیتی توده نیمه عمیق چاه موسی.

در نرخ سرد شدن ماگما، انباشت بلوری و یا آمیختگی ماگمایی در ماگماهای طبیعی باشد [۱۵]. بلکه، این انحنا می‌تواند نشانه حضور دو جمعیت بلوری باشد که طی برداشته شدن فشار همراه با نظام‌های هسته‌بندی جداگانه‌ای تشکیل شده‌اند [۱۵]. بالا آمدگی مشخص سمت چپ نمودار برای نمونه‌هایی چون ۲۱ و ۲۳ می‌تواند به دلیل درشت شدگی در اثر بالا بودن نرخ رشد بلوری باشد [۱۴]. وجود درشت بلورها و ریزسنگ‌ها در مقاطع مورد بررسی نشانگر شرایط متفاوت تبلور و تنوع بافتی است. با ابعاد مختلف (جدول ۲) نشان می‌دهند که این بلورها دست کم در چند مرحله متبلور شده‌اند. مقایسه نمودارهای CSD نمونه‌های آندزیتی مورد بررسی با مدل‌های CSD استاندارد [۱۸] پیشنهاد می‌کند که این نمودارها به دلیل تغییرات قابل

نمودارهای CSD رسم شده برای همه ۱۱ نمونه مورد بررسی صرف نظر از محل برداشت (مرکز یا لبه توده آذرین چاه موسی) بسیار شبیه هستند (شکل ۶). به جز نمونه شماره C.Sh.36، منحنی سایر نمودارها تقعر به سمت بالا دارد. که می‌تواند نشان‌دهنده هر یک از فرایندهای جدایش بلور طی تبلور، انباشت، افزایش تبلور، انباشت بلورهای کوچک و یا آمیختگی ماگمایی و جمعیت‌های بلوری باشد [۱۳، ۱۵]. بر اساس بررسی‌های تجربی، تقعر رو به بالا نمی‌تواند نتیجه تغییر شکستگی موجود در برخی از نمودارهای CSD مقاطع بررسی شده نشان می‌دهد که روند تبلور و انجماد بلورها عادی نبوده و سردشدگی ماگما هم زمان با نوسان‌هایی در شرایط فیزیکی آن به رخ داده است. شیب متفاوت نمودارهای CSD برای بلورهای

ملاحظه در شیب و تقعر به سمت بالا، شواهدی از جمعیت بلوری آمیخته دارند. این فرایند می‌تواند نشان دهنده دوره‌های متعدد توقف و تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت و درشت شدگی بلوری طی صعود ماگما باشد. جمع‌بندی شواهد بافتی و نتایج به دست آمده از تحلیل نمودارهای پراکندگی اندازه بلورهای پلاژیوکلاز (CSD) در منطقه چاه موسی نشانگر نوعی ناپایداری و عدم تعادل در محیط انجماد و تبلور نهایی ماگماست. منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز نشان دهنده رشد و انحلال بلور بوده که ممکن است توسط تغییر در سرعت هسته‌بندی یا تغییر در ترکیب شیمیایی آن به دلیل پشدن و خالی‌شدن دوره‌ای آشیانه ماگمایی و با آمیختگی ماگمایی صورت گرفته باشد.

برآورد زمان رشد و سرعت هسته‌بندی: با اندازه‌گیری ابعاد بلورها می‌توان سرعت رشد و هسته‌بندی (مدت رشد) بلور را محاسبه کرد. در شرایط عادی تبلور انتظار می‌رود که با رشد بلورها و بزرگتر شدن آنها، هسته‌بندی و چگالی انباشتی کاهش یافته و نمودار CSD شیب منفی داشته باشد. این در حالی است که با ورود یک ماگمای جدید به مخزن و آمیختگی ماگمایی، اشباع-شدگی در نتیجه هسته‌بندی و تراکم در اثر متبلور شدن بلورهای دانه ریز افزایش می‌یابد که این امر باعث ایجاد شیب مثبت و شکستگی در منحنی CSD می‌شود. در این پژوهش،

میانگین ابعاد شکل انتخابی برای بلورهای پلاژیوکلاز، مدت اقامت ماگما در محفظه ماگمایی و سرعت هسته‌بندی مربوط به هر نمونه نرم‌افزار CSDcorrection محاسبه شد. سرعت هسته‌بندی بر اساس رابطه $J=n_0G$ محاسبه گردید که در آن، G میانگین نرخ رشد خطی و n_0 چگالی هسته‌بندی در نقطه‌ای است که L به صفر میل می‌کند. مدت اقامت بلورهای پلاژیوکلاز در محفظه ماگمایی و سرعت هسته‌بندی آنها که بر اساس شیب و عرض از مبدا برای هر یک از نمودارهای توزیع اندازه بلور محاسبه شد در جدول ۲ آورده شده است.

شیب خطها با میانگین زمان اقامت بلور در سامانه ارتباط دارد و با استفاده از رابطه $TR = -1/G * m * 31536000$ [۱۶] تعیین شد. در این رابطه، t زمان اقامت بلور در مخزن ماگما بر حسب سال، G نرخ رشد بلور بر حسب میلیمتر بر ثانیه، m شیب نمودار و عدد 31536000 برای تبدیل یکای ثانیه به سال است. نتایج نشان می‌دهد که مدت رشد بلورهای پلاژیوکلاز و سرعت هسته‌بندی آنها در توده نیمه عمیق چاه موسی به ترتیب برابر با $118/6$ تا $630/7$ سال و $1/5 \times 10^{-9}$ تا $9/27 \times 10^{-9}$ mm/s است. زمان کمتر از 1000 سال است و با تبلور بلورهای پلاژیوکلاز در اعماق کم پوسته و ماهیت نیمه عمیق توده آذرین چاه موسی همخوانی دارد.

جدول ۲ شیب، عرض از مبدا و نرخ هسته‌بندی و زمان رشد برای هریک از نمودارهای CSD رسم شده

نمونه	شیب	عرض از مبدا	نرخ هسته بندی mms ⁻¹	زمان رشد Year
CH۲۰	-۱/۰۵	-۱/۵۰	$1/5 \times 10^{-9}$	۳۳۱/۱۲
CH۲۱	-۱/۳۵	-۰/۶۲	$6/2 \times 10^{-10}$	۴۲۵/۷
CH۲۲	-۰/۰۲	-۹/۲۷	$9/27 \times 10^{-9}$	۶۳۰/۷
CH۲۳	-۱/۵۵	-۰/۰۷	7×10^{-11}	۴۸۸/۸
CH۲۴	-۱/۴۴	-۰/۴۸	$4/8 \times 10^{-9}$	۴۵۴/۱
C.Sh۳۱	-۱/۳۴	-۰/۶۵	$6/5 \times 10^{-9}$	۴۲۴
C.Sh۳۲	-۰/۹۳۵	-۱/۷۸	$1/78 \times 10^{-9}$	۲۹۶/۴۸
C.Sh۳۳	-۳۶/۵۹	۱۵/۰۸	$1/5 \times 10^{-9}$	۱۲۸/۹۱
C.Sh۳۵	-۱/۰۲	-۱/۱۸	$1/18 \times 10^{-9}$	۳۲۱/۶
C.Sh۳۶	-۰/۰۰۵	-۱۶/۱۴	$1/6 \times 10^{-8}$	۱۷۶/۶
C.Sh۴۰	-۳۳/۶۷	۱۴/۹۷	$1/4 \times 10^{-9}$	۱۱۸/۶

برداشت

نتایج به دست آمده از بررسی پراکندگی اندازه بلور (CSD) در توده نیمه عمیق چاه موسی نشان می‌دهد که بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز دارای شکل منشوری هستند و تغییر در اندازه طول آنها بیشتر از عرض است. همچنین مدت رشد بلورهای پلاژیوکلاز و سرعت هسته‌بندی به ترتیب برابر با ۱۱۸/۶ تا ۶۳۰/۷ سال و $1/5 \times 10^{-9}$ تا $9/27 \times 10^{-9}$ mm/s است. شکستگی موجود در نمودارهای CSD مقاطع بررسی شده نشان می‌دهد که روند تبلور و انجماد بلورها، عادی نبوده و سردشدگی ماگما هم زمان با نوسان‌هایی در شرایط فیزیکی آن رخ داده است. شیب متغیر نمودارهای CSD برای بلورهای با ابعاد متفاوت نشان می‌دهند که این بلورها دست کم در چند مرحله متبلور شده‌اند. این امر باتوجه به همیافتی درشت بلورها و ریزسنگ‌ها در مقاطع نازک میکروسکوپی تایید می‌شود. حضور جمعیت‌های بلوری مختلف نشان دهنده دوره‌های متعدد توقف و تبلور در محفظه‌های ماگمایی متفاوت در مسیر صعود ماگما به سطح زمین است. وجود بافت‌های گلومروپورفیری، غربالی و منطقه‌بندی در بلورهای پلاژیوکلاز در توده نیمه عمیق چاه موسی نشانگر نوعی ناپایداری و عدم تعادل در محیط انجماد و تبلور نهایی ماگماست.

قدردانی

نویسندگان مقاله از آقایان دکتر داوود رئیسی و مهندس محسن زادصالح به دلیل در اختیار گذاشتن نرم افزارهای لازم و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان کمال تشکر را دارند.

مراجع

- [1] Lofgren G. E., "The effect of nucleation on the basaltic textures. Abstracts with programs, Geological Society of America, 11 (1979) 467-468.
- [2] Higgins M. D., Roberge J., "Three magmatic components in the 1973 eruption of Eldfell volcano, Iceland: Evidence from plagioclase crystal size distribution (CSD) and geochemistry, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 161 (2007) 247-260.
- [3] Marsh B., "Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I", Theory Contributions to Mineralogy and Petrology, 99 (1988) 277-291.
- [4] Cashman K.V., Marsh B.D., "Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization II. Makaopuhi Lava Lake", Contributions to Mineralogy and Petrology, 92 (1988) 292-305.
- [5] Higgins M.D., "Quantitative textural measurement in igneous and metamorphic petrology, Cambridge University Press, United States of America (2006).
- [6] Driscoll B.O., Donaldson C.H. Troll, V.R. Jerram, D.A. Emeleus, H., "An origin for harrisitic and granular olivine in the rum layered suite, NW Scotland: a crystal size distribution study", Journal of Petrology, 48 (2007) 253-270.
- [7] Masoudi F., Ghorbani M., Rahimzadeh B., 2009, "Study of physical conditions and magmatic evolution of volcanic rocks in East Of Qazvin", Iranian Journal Of Geology 3, Number 11, 67 – 75.
- [8] Raeisi D., Dargahi S., Moeinzadeh H., Arvin M., "Using Numerical Modeling for Estimation of Rate of Nucleation and Growth Time of Plagioclase Microlites from Quaternary Gandom Beriyān Basaltic Flows", NE of Kerman. Journal of Geoscience, 22(85) (2012) 199-204. doi: 10.22071/gsj.2012.54042
- [9] Pourkhorsandi H., Mirnejad H., Raiesi D., Hassanzadeh J., "Crystal size and shape distribution systematics of plagioclase and the determination of crystal residence times in the micromonzogabbros of Qisir Dagħ, SE of Sabalan volcano (NW Iran), Geologica Carpathica, 66, 4 (2015) 257-268 doi: 10.1515/geoca-2015-0024.
- [10] Zadsaleh M., Pourkhorsandi H., "Quantitative textural investigation of trachyandesites of Damavand volcano (N Iran): Insights into the magmatic processes", Journal of African earth sciences 120 (2016) 238-247.
- [11] Ayati F., Mahdevari S., "Investigation of crystal size distribution in igneous rocks: Guide to the magma evolution in magma chambers", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 18 (3) (2010) 419-430.
- [12] Imamjome A., Rastad E., Bouzari F., Rashidnezhad N., "An introduction to individual disseminated veinlet and vein mineralization system of Cu (Pb-Zn) in the Chah Musa and Gholle [1] Kaftaran mining district, eastern part of the Troude-Chah Shirin magmatic arc, Geosciences, Scientific Quarterly Journal, 18, 112-125 (in Persian) (2009).
- [13] Seifivand A., Sheibi, "Ballooning emplacement and alteration of the Chah-Musa subvolcanic intrusion (NE Iran) inferred from magnetic susceptibility and fabric", Geological

dynamics of crystallization II. Makaopuhi Lava

- [17] Zingg T., "Contribution to the gravel analysis (*Beitrag zur Schotteranalyse*)", Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 15 (1998) 38–140.
- [18] Zadsaleh M., Pourkhorsandi H., "Quantitative textural investigation of trachyandesites of Damavand volcano (N Iran): insights into the magmatic processes", Journal of African Earth Sciences, 120 (2016) 238-247.
- [19] Vinet N., Higgins M. D., "Magma Solidification Processes beneath Kilauea volcano, Hawaii: A Quantitative Textural and Geochemical Study of the 1969-1974 Mauna Ulu Lavas", Journal of Petrology, 6 (2010) 1297-1332.
- Magazine (2019)
doi:org/10.1017/S0016756819001158.
- [14] Higgins M.D., "Measurement of crystal size distributions", American Mineralogist 85 (2000) 1105- 1116.
- [15] Brugger C.R., Hammer J.E., "Crystal size distribution analysis of plagioclase in experimentally decompressed hydrous rhyodasite magma", Earth and Planetary Science Letters, 300 (2010) 246-254.
- [16] Marsh B. D., "On the interpretation of crystal size distribution in magmatic systems", Journal of Petrology, 39 (1998) 553-599.