

نرخ هسته‌بندی و رشد بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی منطقه عباس‌آباد، شرق شهرود

* لیلا بزرگ‌ری، حبیب‌الله قاسمی، مهدی رضائی کهخائی*

دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شهرود، شهرود

(دریافت مقاله: ۹۶/۱/۲۲، نسخه نهایی: ۹۶/۳/۱۰)

چکیده: نوار ماقمایی ائوسن کاهک- عباس‌آباد، در کرانه شمال شرقی پهنه ساختاری ایران مرکزی، از داورزن در غرب سبزوار تا میامی در شرق شهرود امتداد دارد. واحدهای سنگی این نوار شامل تناوبی از سنگ‌های آتشفشاری بازی - حدواسط (الیوین بازالت، بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت بازالت، تراکی آندزیت و آندزیت) و سنگ‌های آذرآواری - رسوبی (انواع توف، برش، آگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا، سنگ آهک نومولیتی و سنگ آهک توفی) به سن ائوسن میانی - پسین و سنگ‌های رسوبی الگیوسن و کواترنری هستند. سنگ‌های آتشفشاری این نوار، یک سری تفریقی پیوسته با خاستگاه مشترک از یک ماقمای والد بازالتی هستند. گدازه‌های بازالتی - آندزیتی منطقه از آنجا که از نوع پیروکسن پورفیری، پلازیوکلاز پورفیری و پیروکسن - پلازیوکلاز پورفیری هستند، نمونه‌های مناسبی برای بررسی‌های توزیع اندازه بلور (CSD) به شمار می‌روند. براساس نتایج این پژوهش، درشت بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن موجود در سنگ‌های آتشفشاری منطقه، به ترتیب در گستره زمانی ۸۶ تا ۱۱۸ سال و با نرخ هسته‌بندی از $10^{-1} \times 10^{-1} \times 10^{-1} \times 10^{-1}$ میلی‌متر بر ثانیه و در گستره زمانی $10^3 \times 10^4 \times 10^5 \times 10^6$ تا $10^4 \times 10^5 \times 10^6$ میلی‌متر بر ثانیه در آشیانه ماقمایی رشد کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه بلور (CSD)، سنگ‌های بازالتی - آندزیتی، عباس‌آباد، شهرود.

روش اندازه‌گیری توزیع اندازه بلور در گدازه‌ها پرداختند. آن‌ها در تکمیل بحث CSD دریافتند که میزان هسته‌بندی بلورها، روندی عکس اندازه آنها دارد، یعنی هر چه هسته‌بندی سریع‌تر باشد، بلورهای ایجاد شده اندازه کوچک‌تری خواهند داشت. در سال‌های اخیر، با پیروی از روش مارش [۱]، تحلیل‌های کمی بافت در سنگ‌های آذرین با نتایج بررسی‌های زمین‌شیمی ترکیب شده و برای ارزیابی نقش فرایندهای ماقمایی (همانند تراکم، جدایش، اختلال و درشت‌شدگی بافتی)، در تبلور سنگ-ها مورد استفاده قرار گرفته است [۵-۶، ۸-۱۳]. به عنوان مثال، آلوس و همکاران [۱۴] به کمک روش CSD و داده‌های ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ برای بلورهای پلازیوکلاز، خاستگاه

مقدمه در بررسی‌های کمی بافت‌های آذرین، اندازه دانه‌ها رایج‌ترین پارامتر مورد مطالعه است. بر این اساس، چگونگی توزیع اندازه دانه‌ها (Crystal Size Distribution=CSD) در سنگ می‌تواند اطلاعات مفیدی برای حل مسائل سنگ‌شناسی مهم نظیر سرعت رشد و مدت زمان تبلور کانی‌ها در اختیار پژوهشگران قرار دهد [۱-۵]. این بررسی‌ها، شرایط فیزیکی تبلور ماقما را مشخص می‌کنند و تکمیل‌کننده بررسی‌های زمین‌شیمیایی و ایزوتوپی هستند [۶، ۵]. موضوع CSD در سال ۱۹۸۸ پس از انتشار مقاله‌های مارش و کاشمن توسعه یافت [۲، ۱]. راندولف و لارسون [۷] از نخستین پژوهشگرانی بودند که به معرفی کاربرد

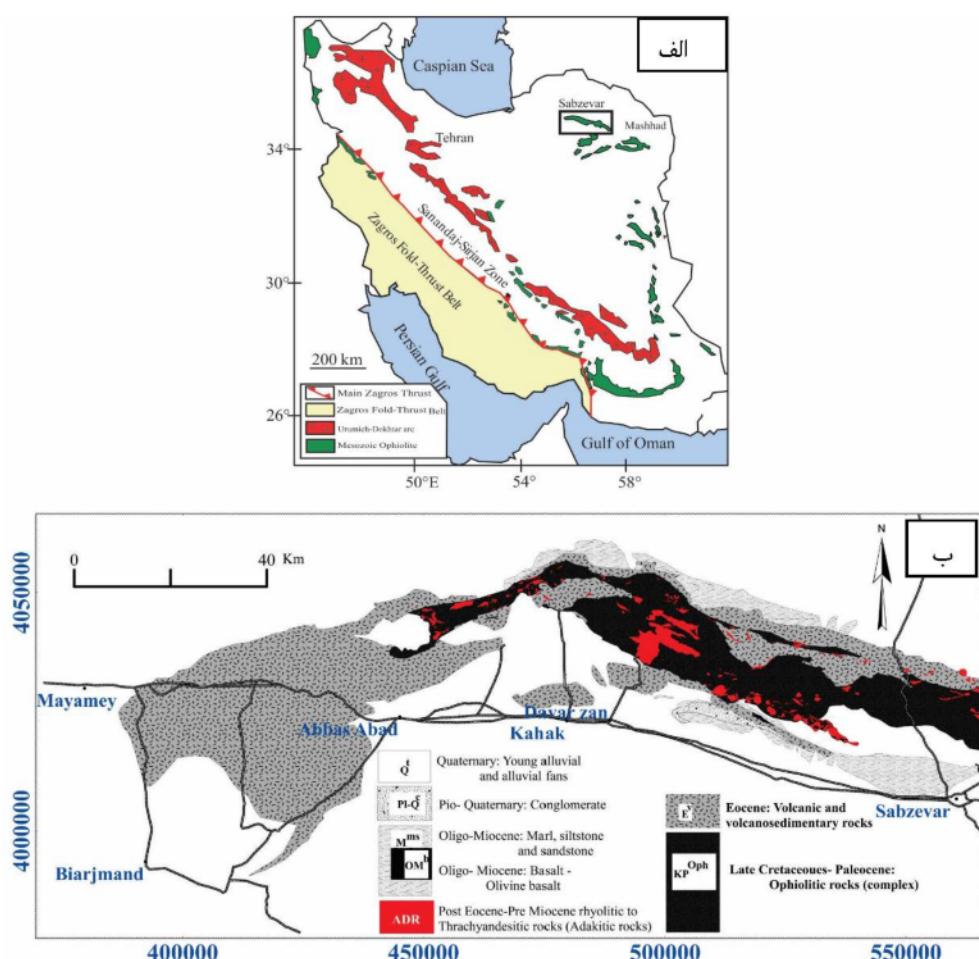
زمان رشد $2/53$ تا $3/21$ سال با نرخ هسته‌بندی از $\times 10^{-9}$ تا $10^{-9} \times 10^{-9}$ میلی‌متر بر ثانیه برای ریزبلورهای پلازیوکلاز در این روانه‌هاست. رحیمی چاکدل و بویل [۲۴]، توزیع اندازه بلور کوارتز را در گارنت شیست موله فرانسه با استفاده از تصاویر الکترون برگشتی (BSE) تحلیل کرده‌اند. ایزدی کیان و همکاران [۲۵]، زمان سنجی رشد پورفیروبلاست‌ها و ارتباط آن با گامهای دگرگیختی را در سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان بررسی کردند. ترکیان و همکاران [۲۶]، از داده‌های آماری پراکنده‌گی اندازه بلورهای پیروکسن در مطالعه فرایندهای سنگ‌شناسی مراکز آتشفسانی شمال شرق قزوین در کردستان استفاده کردند و زمان رشد پیروکسن‌ها را بین ۱۷ تا ۳۶ سال در طی دوره فوران به دست آوردند. پورخورسندی و همکاران [۲۷]، قوانین توزیع شکل و اندازه بلورهای پلازیوکلاز و زمان‌های اقامت آن‌ها را در توده میکرومونزوجاً باروبی قصیرداغ در جنوب شرق کوه آتشفسانی سبلان را بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که زمان اقامت ماقما در این توده کم عمق حدود ۴۵۷ تا ۶۸۵ سال بوده است. الیاسی گولونجی و شیخ بگلو [۲۸] به بررسی توزیع اندازه بلورهای پیروکسن در آندزیت‌های علی‌آباد در سقز پرداخته و به این ترتیب زمان تبلور بلورهای پیروکسن را در اتفاق ماقمایی بین ۳ تا ۸ سال برآورد کرده و شواهد اختلط ماقمایی را بررسی کرده‌اند. مجرد و شیخ بگلو [۲۹] نیز توزیع اندازه بلورهای آمفیبول و پلازیوکلاز را در داسیت‌های آداسیتی زنبیل در ارومیه به عنوان شاهدی بر اختلط ماقمایی و درشت‌شده‌گی بافتی بررسی کرده و دریافتند که زمان تبلور و رشد بلورهای دانه‌ریز بین ۱۵ تا ۲۰ و درشت بلورها بین ۳۰ تا ۳۸ سال بوده است. مجرد آلمان آباد [۳۰] توزیع اندازه پورفیروبلاست‌های کیانیت و استارولیت در سنگ‌های پلیتی دگرگون شده حمزه قاسم و خزانی بالا (شاھیندز) را بررسی کرد.

نوار ماقمایی داورزن- عباس آباد (شکل ۱)، در برگیرنده ضخامت زیادی از گذاره‌های بازالتی- آندزیتی اثوسن پسین است که به دلیل داشتن ساخت‌ها و بافت‌های پورفیری و مگاپورفیری، نمونه‌های مناسبی برای بررسی‌های CSD هستند (شکل‌های ۲ و ۳). در این پژوهش، برای نخستین بار، از بافت و توزیع اندازه بلورها در درشت‌بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن سنگ‌های منطقه، بهمنظور شناخت فرایندهای حاکم بر تحول ماقمایی در آشیانه ماقمایی و تعیین خاستگاه فرایندهای فیزیکی حاکم بر تبلور سنگ‌های آتشفسانی منطقه استفاده شده است.

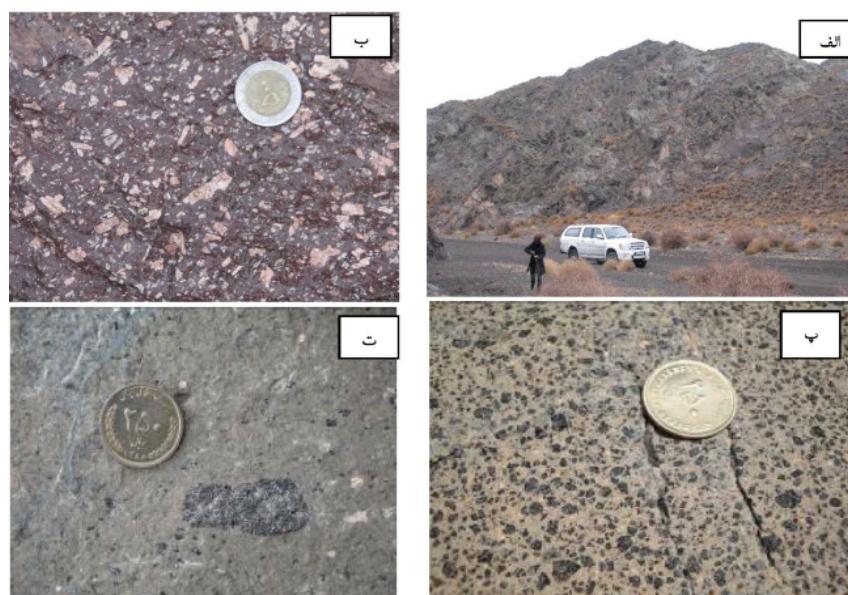
انکلاوهای میکروگرانیت‌تئیدی روشن موجود در توده گرانیتی Salto در برزیل را بررسی کردند. همچنین گاتو و همکاران [۱۵] نیز با استفاده از این روش به بررسی تاریخ تشکیل بازالت‌های شمال غرب آفریقا پرداختند. از دیگر پژوهش‌هایی که اخیراً انجام شده است می‌توان به کارنی و همکاران [۱۶]، زیگ و لافگرن [۱۷] و رانو و کاروف [۱۸] اشاره نمود.

تعیین ارتباط کمی بین بافت سنگ امکان پیش‌بینی تغییرات بافتی در سه بعد را فراهم می‌آورد [۱۲، ۵] و تحلیل تصویر مقاطع نازک در سه بعد می‌تواند تا حد زیادی ویژگی‌ها و فرایندهای مختلف درگیر در ایجاد کانی‌ها را روشن سازد. بافت سنگ‌ها می‌تواند به طور کمی توسط اندازه‌گیری پارامترهایی همچون اندازه، شکل، جهت‌گیری و موقعیت عمول اجزاء سازنده، فضای اشغال شده توسط بلورها و قطعات تعیین شود [۱۲]. اثربخشی این روش، به کیفیت تصویرها و آگاهی از بافت‌سنگ برای تشخیص اجزاء آن، بستگی دارد. در نتیجه، این روش، تکمیل‌کننده تجزیه و تحلیل‌های معمول سنگ‌نگاری محسوب می‌شود. تهیه مقاطع نازک از سنگ‌ها و بررسی پارامترهای سه‌بعدی بافت آن‌ها، روشی مناسب برای این کار است [۹]. برای بررسی اندازه و توزیع سه بعدی بلورها به روش کمی، می‌توان از داده‌های به دست آمده از دو بعد مقاطع نازک برای استفاده کرد [۱۹، ۱۳-۵].

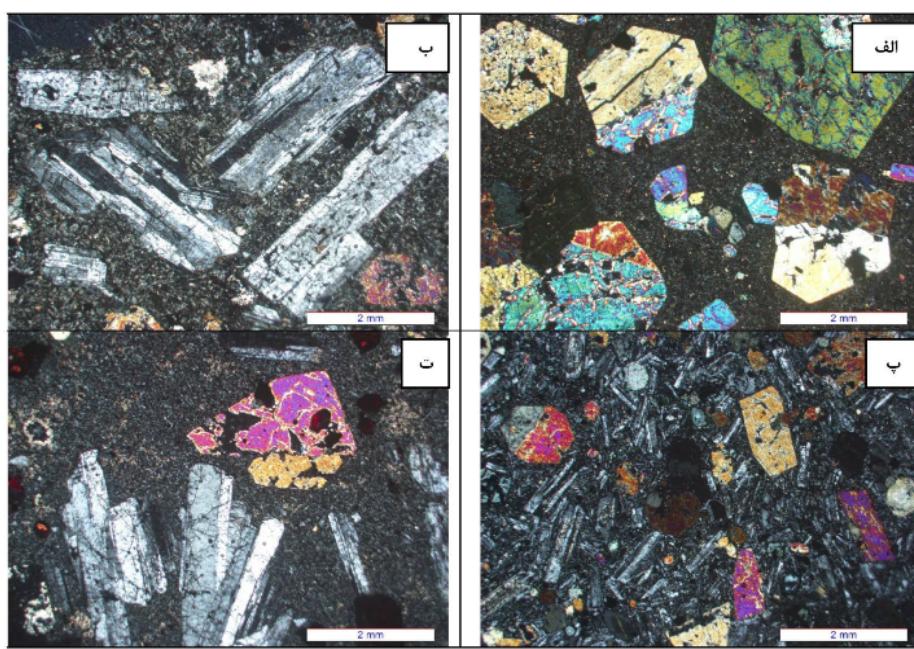
پژوهشگران ایرانی نیز در دو دهه اخیر به بررسی توزیع اندازه بلور در سنگ‌های آذرین و دگرگونی پرداخته‌اند. همام [۲۰]، به بررسی توزیع اندازه بلورهای گارنت، استارولیت، کیانیت و آندالوزیت در سنگ‌های هاله دگرگونی آردانا در اسکاتلندر پرداخته است. مسعودی و همکاران [۲۱]، شرایط فیزیکی و تحولات تبلور ماقما در سنگ‌های آتشفسانی شرق قزوین را به روش CSD بر بلورهای پلازیوکلاز بررسی کرده‌اند. براساس این پژوهش، مدت زمان رشد پلازیوکلاز در واحدهای سنگی مختلف از ۲۱ تا ۸۰ سال متفاوت بوده است. آیتی و مهدوری [۲۲]، با بررسی توزیع اندازه بلورها در سنگ‌های آذرین، روند تکامل ماقما در اتفاق‌های ماقمایی را مطالعه کرده‌اند. بر پایه‌ی این پژوهش، حضور سه توزیع جمعیتی متفاوت در بلورهای آمفیبول موجود در سنگ‌ها نشانگر شرایط متفاوت تبلور در عمق‌های متفاوت و دست کم سه اتفاق ماقمایی است. رئیسی و همکاران [۲۳]، از مدل‌سازی عددی برای برآورد سرعت هسته‌بندی و زمان رشد ریزبلورهای پلازیوکلاز در روانه‌های بازالت کواترنری گندم بریان در شمال شرقی کرمان استفاده کرده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشانگر



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی (الف) و نقشه زمین‌شناسی ساده شده (ب) نوار مانگماپی داورزن- عباس آباد. برگرفته شده از مرجع [۳۴].



شکل ۲ (الف) نمایی از تناب و سنگ‌های آندزیتی- بازالتی در نزدیکی عباس آباد در امتداد جاده عباس آباد- میامی. (ب) تصویر نمونه دستی از ساخت پلازیوکلاز پورفیری در سنگ‌های آندزیتی منطقه. (پ) تصویر نمونه دستی از ساخت پیروکسن پورفیری در سنگ‌های بازالتی منطقه. (ت) تصویر ماکروسکوپی از ساخت پیروکسن- پلازیوکلاز پورفیری در سنگ‌های منطقه.



شکل ۳ تصویرهایی از انواع بافت‌های سنگ‌های آتشفشاری منطقه عباس‌آباد. (الف) بافت پیروکسن پورفیری، (ب) بافت پلاژیوکلاز پورفیری، (پ) و (ت) بافت پیروکسن-پلاژیوکلاز پورفیری.

سنگ‌های آتشفشاری منطقه دارای بافت‌های ریزبلوری پورفیری، هیالومیکرولیتی پورفیری، جریانی (تراکیتی)، گلومرپورفیری و غربالی هستند (شکل ۳). تنوع بافتی، تغییر و تحول پیوسته شامل ظهرور و حذف برخی از کانی‌ها و حضور بافت‌های ناتعادلی (غربالی، خوردگی، اسکلتی و کناره‌های تحلیل رفته و جذبی)، بیانگر مسیر پیچیده شکل‌گیری ماقما و بروز فرایندهای مختلف تحول ماقمایی در آشیانه‌های پوسته‌ای است [۳۳].

پیشینه و روش انجام پژوهش

روش توزیع اندازه بلور بیشتر جهت بررسی فرایندهای مرتبط با صعود، جایگزینی و فوران ماقما استفاده می‌شود. این فرایندها شامل برآورد شرایط فیزیکی تبلور ماقما، زمان تبلور و سهم حجمی بلورها، فرایندهای جنبشی رخ داده طی تبلور (رشد و هسته‌بندی)، سرعت سردشدنگی طی انجام ماقما، بهویژه ارزیابی نقش نسبی تفریق، تراکم و درشت‌شدنگی بافتی (تکامل استواولد)، اختلاط جمعیت‌های بلوری متفاوت در ماقما هستند [۱۲-۹]. نرخ رشد و هسته‌بندی بلور، انباشت بلوری و تفریق، درشت‌شدنگی، اختلاط ماقمایی و چندزادگاهی ماقماها، فرایندهای سنگ‌شناسی نامیده می‌شوند. از میان کاربردهای یاد شده برای بررسی‌های CSD، اختلاط ماقمایی و چندزادگاهی ماقماها، به همراه انباشت بلوری و تفریق، سبب تغییر ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌ها می‌شوند. درشت‌شدنگی، تغییرات

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی، با عنوان نوار ماقمایی داورزن- عباس‌آباد، در بین طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی در امتداد بزرگراه شاهروド- مشهد و بعد از میامی واقع است (شکل ۱). این منطقه به دلیل تنوع سنگی، داشتن منابع اقتصادی مانند مس و سهولت دسترسی، از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده و بررسی‌های مختلفی بر آن انجام شده است. از جدیدترین بررسی‌ها می‌توان به کار موسوی [۳۱]، الهیاری [۳۲]، قاسمی و همکاران [۳۳] و قاسمی و رضائی کهخائی [۳۴] اشاره کرد. این نوار شامل، توالی ضخیمی از سنگ‌های آتشفشاری، آذرآواری و رسوبی وابسته به ائوسن میانی- پسین و سنگ‌های رسوبی الیگوسن و کواترنری است. سنگ‌های آذرین این نوار، در یک محیط کشنی درون کمانی، ناشی از فروزانش لبه شمالی سنگ‌کره اقیانوسی حوضه نئوتیس سبزوار به زیر لبه جنوبی البرز شرقی، در زمان ائوسن تشکیل شده است. روابط صحرایی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه، بیانگر وجود یک طیف ترکیبی پیوسته از سنگ‌های آتشفشاری (الیوین بازالت، بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزی بازالت، آندزی بازالت و آندزیت)، و رابطه زیشی آن‌ها از طریق خط نزول مایع (جدایش بلور- مذاب) است [۳۴، ۳۳].

استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل‌گر تصویر همانند ایمیج جی. در این پژوهش، از روش سوم برای تعیین حاشیه بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن استفاده شد.

به منظور تحلیل کمی توزیع اندازه بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن، از بین نمونه‌های سنگی برداشت شده از واحدهای بازالتی- آندزیتی پورفیری مورد بررسی، تعداد ۸ نمونه انتخاب و در کارگاه مقطع گیری دانشگاه صنعتی شاهرود، از آن‌ها در سه جهت، مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شد (جدول ۱). نمونه‌های انتخابی، دارای درشت بلورهایی سالم از پلازیوکلاز و پیروکسن بودند. از مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها، در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه صنعتی شاهرود، با میکروسکوپ سنگنگاری مجهر به دوربین تصویربرداری، تصاویر مناسب تهیه شد. برای این منظور، از عدسی با بزرگنمایی ۲,۵ استفاده گردید. سپس، با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ تصاویر هر مقطع، به صورت موزائیک در کنار هم قرار گرفتند، تا تصویر کاملی از کل مقطع سنگ به دست آید. حاشیه‌های هر کدام از بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن، به روش دستی، در نرم‌افزار ایلاستریتور به صورت دورنگی (تصاویر سیاه و سفید) مشخص و بلورهای به هم چسبیده، از هم جدا شدند (شکل‌های ۴ و ۵). در پایان کار، عکس‌ها با فرمت tif ذخیره می‌شوند و برای پردازش آنها از نرم‌افزارهای تخصصی تحلیل‌گر تصاویر همانند ایمیج جی و CSDcorrection استفاده می‌شود. پارامترهایی چون مساحت، محیط، محور بزرگ، محور کوچک، طول و عرض بلورها به کمک نرم افزار ایمیج جی محاسبه شده و برآورد نسبتاً واقعی از شکل بلورها ارائه می‌شود. با استفاده از داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار ایمیج جی و به منظور تبدیل داده‌های دوبعدی مقاطع نازک به مقادیر واقعی سه بعدی، از نرم افزار تخصصی CSD استفاده می‌شود.

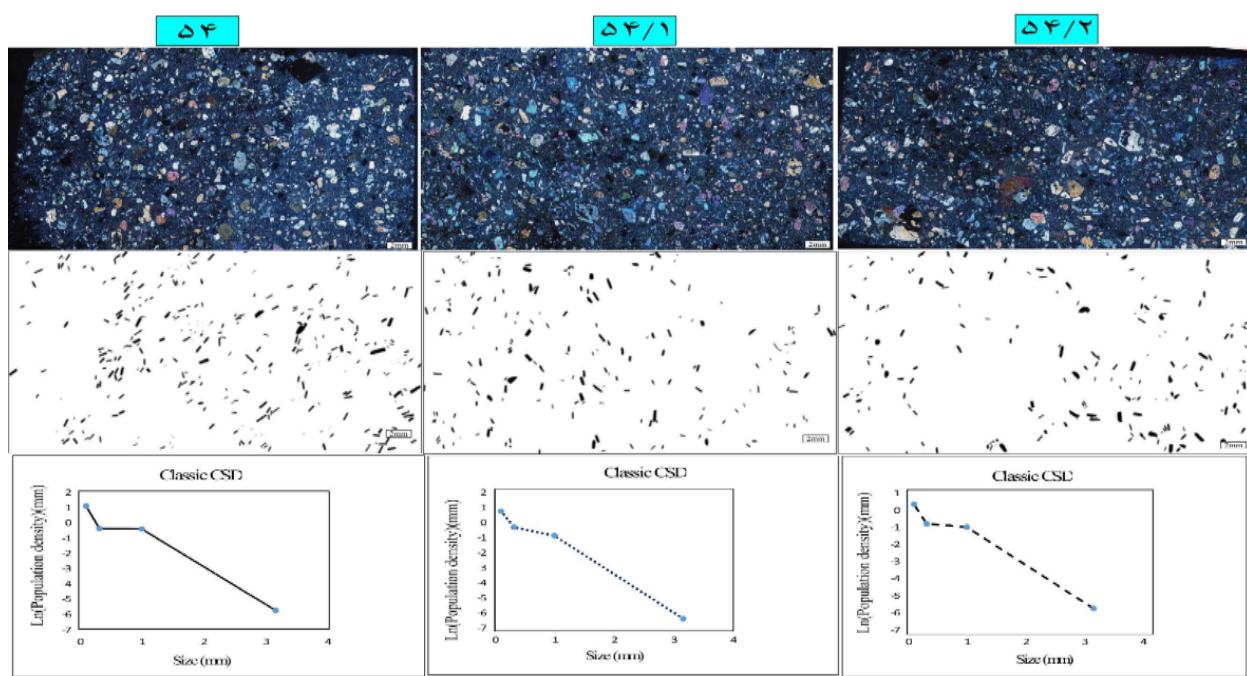
هسته‌بندی و رشد بلورها نیز تنها از طریق بررسی‌های بافتی سنگ‌ها قابل تشخیص هستند [۱۰].

Mehmetrin پارامترهای قابل اندازه‌گیری در روش توزیع اندازه بلور، اندازه و تراکم دانه‌ها هستند. اندازه دانه شامل فضای اشغال شده توسط دانه (بلور) است. اندازه دانه ویژگی سه بعدی از دانه است که می‌تواند به چندین روش مختلف تعیین شود؛ معمولاً اندازه‌گیری خطی، مناسب‌تر است. تراکم جمعیت بلوری، شامل مقدار عددی بلورهای یک کانی در واحد حجم، در چند گستره‌ی اندازه‌گیری است. هر دوی این پارامترها (اندازه و تراکم)، زیر مجموعه‌ای از یک پارامتر مهمتر با عنوان توزیع اندازه بلور هستند. تعیین اندازه و تراکم بلورها، براساس اندازه‌گیری آماری سطح مقطع بلورها در برش سطح سنگ (اسلب)، در مقیاس‌های ماکروسکوپی یا میکروسکوپی استوار است.

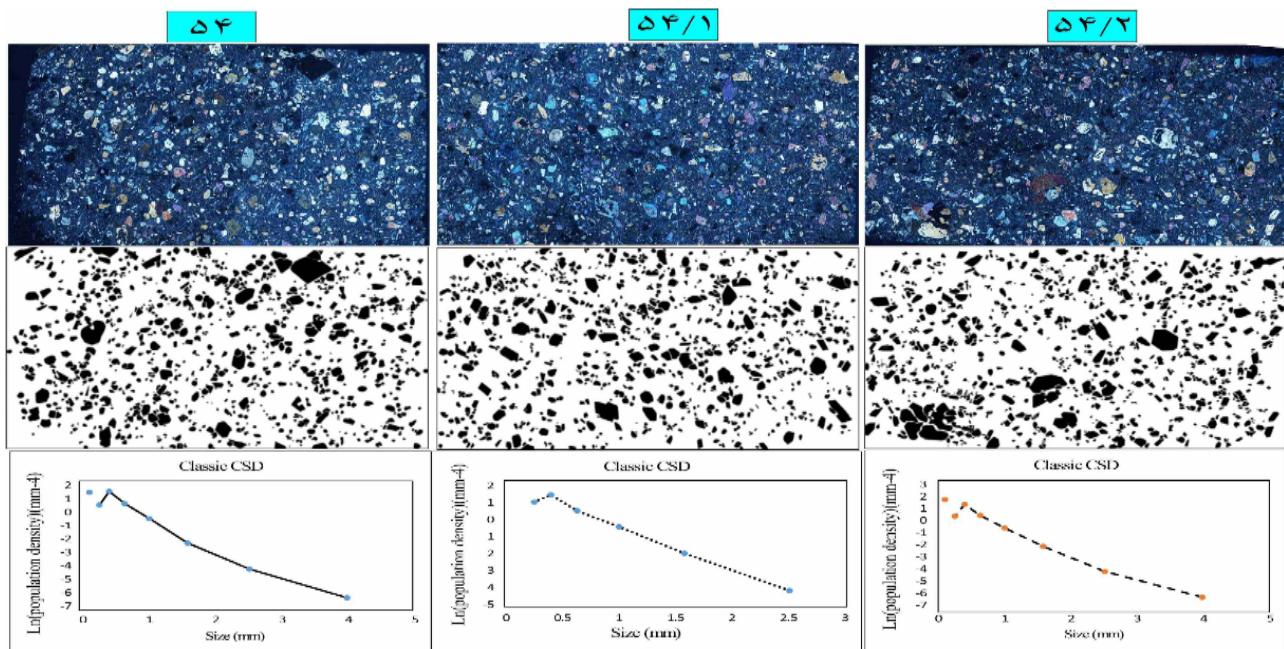
داده‌های توزیع اندازه بلور، روی یک نمودار Ln(n) (تراکم جمعیت) نسبت به اندازه L (بزرگترین بُعد بلور) رسم می‌شوند. واحد اندازه‌گیری اندازه بلورها mm و برای تراکم جمعیت بلورها mm^{-4} است [۱، ۴، ۵، ۱۲-۹، ۳۸-۳۵]. ساده‌ترین روش برای تعیین اندازه بلورها، اندازه‌گیری طول و عرض آن‌ها در مقیاس میکروسکوپیکی است. روش پیچیده‌تر، تصویربرداری از کل یا بخشی از یک مقطع نازک است که به سه روش قابل انجام است: ۱- اندازه‌گیری طول و عرض بلورها با استفاده از خطکش به صورت دستی یا با استفاده از نرم‌افزار. ۲- بازترسیم حاشیه بلورها بر یک کاغذ شفاف و سپس تهیه تصویر روش شده آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل‌گر تصویر. ۳- فرآخوانی تصاویر تهیه شده از برش‌های کوچک یا مقاطع میکروسکوپی سنگ‌ها با استفاده از نرم‌افزارهایی چون کورل درا، فتوشاپ و غیره، تعیین حاشیه بلورها، جدا کردن بلورهای به هم چسبیده از یکدیگر و در نهایت، تعیین اندازه بلورها با

جدول ۱ مشخصات نمونه‌های سنگی و مختصات جغرافیایی محل برداشت آنها بر اساس UTM.

شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی		نام سنگ شناسی	محل نمونه گیری	سن نمونه
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی			
۱۰ AB	۴۴۴۴۴۷.۲۸	۴۰۳۰۵۶۴.۶۸	الیوین بازالت	عباس‌آباد	اوسن پسین
۲۶AB	۴۷۸۹۹۱.۸۶	۴۰۳۰۲۴۱.۷۶	الیوین بازالت	کاهک	
۲۸ AB	۴۷۹۰۲۱.۶۲	۴۰۳۰۱۸۹.۹۲	الیوین بازالت	کاهک	
۴۱AB	۴۰۴۰۵۰.۵۳	۴۰۳۰۱۴۱.۸۰	الیوین بازالت	کاهک	
۴۲AB	۴۰۴۳۸۰.۷۹	۴۰۳۰۱۳۸.۱۵	الیوین بازالت	میاندشت	
۴۶AB	۴۰۴۴۱۴۰.۰۷	۴۰۲۷۴۰.۵۰۰	الیوین بازالت	میاندشت	
۴۹AB	۴۳۳۴۴۱.۶۸	۴۰۲۷۴۰.۵۰۰	تراکی آندزیت	عباس‌آباد	
۵۴AB	۴۳۴۵۸۲۰.۲۱	۴۰۲۶۲۱۴.۹۰	تراکی بازالت	عباس‌آباد	



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از مقاطع سنگ‌های تراکی بازالتی در سه بعد (نمونه‌های شماره ۵۴، ۵۴/۱ و ۵۴/۲) به همراه تصاویر دورنگی و نمودارهای CSD آن‌ها برای بلورهای پلازیوکلаз. همه تصاویر دارای مقیاس ۲ میلی‌متر بوده و با عدسی ۲۵ میکروسکوپ تهیه شده‌اند.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از مقاطع تهیه شده از نمونه سنگ تراکی بازالتی در سه بعد (۵۴، ۵۴/۱ و ۵۴/۲) به همراه تصاویر دورنگی و نمودارهای CSD آن‌ها برای بلورهای پیروکسن. همه تصاویر دارای مقیاس ۲ میلی‌متر بوده و با عدسی ۲۵ میکروسکوپ تهیه شده‌اند.

محاسبه می‌شود [۵، ۸، ۱۰، ۱۱]. در نرمافزار CSD، بهترین خطی که از داده‌ها عبور می‌کند، نشان می‌دهد که با توجه به مقدار خطأ، داده‌ها تا چه حد با خط مستقیم تطابق دارند. این تطابق با علامت اختصاری Q بیان می‌شود. مقادیر Q بزرگتر از

بهترین بیضی منطبق بر بلور، به عنوان مدل انتخابی در نظر گرفته می‌شود. عدد گردشگی برای بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن از بین اعداد صفر یا یک در نظر گرفته می‌شود. سپس، رگرسیون حجم، تقاطع و شب، از طریق نرمافزار CSD

استفاده از نرم افزار CSDcorrection بین ۱:۳:۳ تا ۵:۵ تعیین شد. با توجه به مشاهدات، برای همه مقاطع تهیه شده از نمونه سنگ‌های آتشفشنایی، گردش‌گی برابر با 0.3 در نظر گرفته شد، که ترکیبی بین مدل‌های بیضی و متوازی‌الاضلاع است. در این پژوهش، براساس نظر بروگر و همر [۱۱]، نرخ رشد 10^{-11} ، برای درشت بلورهای پلازیوکلاز و نرخ رشد 10^{-10} ، برای ریزبلورهای پلازیوکلاز لحاظ شد. میانگین مدت زمان اقامت بلور و نرخ هسته بندی بلورهای پلازیوکلاز برای نمودارهای توزیع اندازه بلور با شبیه زیاد به ترتیب برابر با 48 و 40 سال و $mms^{-1} \times 10^{-8} = 3/3 - 1/1 \times 10^{-8}$ و برای CSD‌های با شبیه کم نیز به ترتیب برابر با 118 و 56 سال و $mms^{-1} = 8/1 \times 10^{-8} - 8/1 \times 10^{-10}$ براورد شد (جدول ۴). تراکم جمعیت بلورهای پلازیوکلاز برای هر یک از مقاطع نمونه سنگ‌های آتشفشنایی موجود در منطقه توسط نرم‌افزار (CSD) $4 \text{ mm} - 10.82 \text{ mm} - 15/15 \text{ mm}$ - ارزیابی شد. در شکل ۴ تصویرهای تهیه شده از مقاطع مربوط به یک نمونه سنگ تراکی بازالتی در راستاهای مختلف به همراه تصاویر دورنگی و نمودارهای CSD مربوط به هریک از آنها آورده شده است. کیفیت CSD‌ها در اصل به اندازه نمونه (تعداد کل بلورها) بستگی دارد [۱۹]. این مقادیر با یافته‌های موک و جرام [۳۹]، همخوانی دارد که نشان دادند برای اندازه‌گیری دقیق یک CSD سه بعدی از داده‌های دو بعدی، به نمونه‌های با بیش از تقریباً 200 بلور نیاز است.

۱/۰ نشان‌دهنده تطابق خوب ولی مقادیر بزرگتر از 0.01 نیز قابل قبول هستند [۵]. همچنین، گستره‌هایی با کمتر از 5 بلور، از فهرست داده‌های CSD حذف می‌شوند، زیرا دقت لازم را ندارند (جدول های ۲ و ۳) [۱۰]. حد پائین CSD، کوچک‌ترین بلور قابل اندازه‌گیری است و به معنای کوچک‌ترین بلور موجود در سنگ نیست. اندازه بلورها، باید بزرگ‌تر از ضخامت استاندارد یک مقاطع نازک (0.03 میلی‌متر) باشند. اگر بلورها کوچک‌تر از این حد باشند، اندازه‌گیری نمی‌شوند [۵]. حد بالای اندازه در روش CSD، تعداد دانه‌های بزرگی است که در بزرگ‌ترین گستره اندازه موجود هستند.

بحث

توزیع اندازه، نرخ رشد و مدت زمان اقامت بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن در آشیانه ماقمایی
پردازش و تحلیل توزیع اندازه بلورهای پلازیوکلاز در 7 نمونه و پیروکسن‌ها در 6 نمونه انجام شد چنانکه گفته شد واحد به کار رفته برای اندازه بلورها mm است.

در مقاطع تهیه شده از سنگ آتشفشنایی منطقه عباس‌آباد در سه بعد، بلور پلازیوکلاز در مساحتی به وسعت 775 mm^2 665 اندازه‌گیری شدند. علت انتخاب بلورهای پلازیوکلاز، مقدار فراوانی بالا و سرعت تبلور نسبتاً پایین آن‌هاست که سبب می‌شود تاریخچه فرایندهای پیچیده حاکم بر آشیانه‌های ماقمایی را به خوبی در خود ثبت کنند. ابعاد این بلورهای پلازیوکلاز با

جدول ۲ تعداد بلورهای پلازیوکلاز در هر گستره از مساحت اندازه‌گیری شده نمونه سنگ‌های تراکی بازالتی با شماره نمونه ۵۴.

۵۴PL	بازه	$0.0316-0.1$	$0.1-0.316$	$0.316-1$	$1-3.16$	$3.16-10$	$10-316$	$316-100$
	تعداد بلور	۱۱	۴۰	۱۸۹	۹	۰	۰	۱
۵۴-۱PL	بازه	$0.0316-0.1$	$0.1-0.316$	$0.316-1$	$1-3.16$			
	تعداد بلور	۹	۳۴	۱۲۴	۵			
۵۴-۲PL	بازه	$0.0316-0.1$	$0.1-0.316$	$0.316-1/00$	$1/00-3/16$			
	تعداد بلور	۶	۲۵	۱۱۸	۱۰			

جدول ۳ تعداد بلورهای پیروکسن در هر گستره از مساحت اندازه‌گیری شده نمونه سنگ‌های تراکی بازالتی با شماره نمونه ۵۴.

۵۴Px	بازه	$0.0562-0.1$	$0.1-0.0562$	$0.0562-0.562$	$0.562-1$	$1-1.78$	$1.78-3.16$	$3.16-5.62$
	تعداد بلور	۸	۰	۱۴۵	۱۹۴	۱۶۳	۵۶	۱۳
۵۴-۱Px	بازه	$0.0631-0.1$	$0.1-0.158$	$0.158-0.251$	$0.251-0.398$	$0.398-0.631$	$0.631-1$	$1-1.58$
	تعداد بلور	۴	۰	۶۸	۱۵۵	۱۴۴	۱۳۰	۶۵
۵۴-۲Px	بازه	$0.056-0.1$	$0.1-0.178$	$0.178-0.316$	$0.316-0.562$	$0.562-1$	$1-1.78$	$1.78-3.16$
	تعداد بلور	۱۲	۰	۱۲۹	۱۹۲	۱۵۸	۷۸	۱۲

جدول ۴ شبیب، محل تقاطع و نرخ هسته‌بندی و زمان رشد هر یک از نمودارهای CSD بلورهای پلازیوکلаз در نمونه‌های آندزیتی و بازالتی که دارای شکستگی هستند.

زمان رشد (Yr)	سرعت هسته بندی برای خط با شبیب کم mms^{-1}	CSD محل تقاطع برای خط با شبیب کم	خط دارای شبیب کم	زمان رشد (Yr)	سرعت هسته بندی برای خط با شبیب زیاد mms^{-1}	CSD محل تقاطع خط با شبیب زیاد	خط دارای شبیب زیاد	سهمی بلور حجمی	نمونه
۱۰۶,۰۵	$1,۰۵ \times 10^{-۱۰}$	۱,۰۵	-۲,۹۹	۰,۸۷	$1,۶۹ \times 10^{-۸}$	۱,۶۹	-۳,۶۱	۳,۴۹	AB ۲۸
۱۱۷,۴۴	$0,۶۶ \times 10^{-۱۰}$	۰,۶۶	-۲,۷۰	۱,۱۵	$0,۶۹ \times 10^{-۸}$	۰,۶۹	-۲,۷۴	۳,۸۶	AB ۲۸-۱
۸۵,۷۰	$0,۷۲ \times 10^{-۱۰}$	۰,۷۲	-۳,۷۰	۰,۸۰	$0,۹۵ \times 10^{-۸}$	۰,۹۵	-۳,۹۶	۱,۶۲	AB ۲۸-۲
۵۲,۰۶	$2,۷۷ \times 10^{-۱۰}$	۲,۷۷	-۶,۰۹	۰,۴۷	$۲,۱۶ \times 10^{-۸}$	۳,۱۶	-۶,۶۸	۲,۶۹	۴۱AB
۶۹,۲۳	$1,۸۶ \times 10^{-۱۰}$	۱,۸۶	-۴,۵۸	۰,۵۴	$۲,۷۰ \times 10^{-۸}$	۲,۷۰	-۵,۸۰	۲,۵۰	۴۱-۱AB
۴۹,۳۱	$۳,۷۵ \times 10^{-۱۰}$	۳,۷۵	-۶,۴۳	۰,۴۵	$۴,۱۱ \times 10^{-۸}$	۴,۱۱	-۶,۹۹	۴,۴۰	۴۱-۲AB
۱۱۹,۶۵	$1,۲۹ \times 10^{-۱۰}$	۱,۲۹	-۲,۶۵	۱,۱۵	$1,۴۱ \times 10^{-۸}$	۱,۴۱	-۲,۷۵	۹,۴۸	AB ۴۳
۱۱۷,۴۴	$0,۶۷ \times 10^{-۱۰}$	۰,۶۷	-۲,۷۰	۱,۱۳	$0,۷۸ \times 10^{-۸}$	۰,۷۸	-۲,۷۹	۵,۴۱	AB ۴۳-۱
۱۱۰,۴۸	$1,۳۵ \times 10^{-۱۰}$	۱,۳۵	-۲,۸۷	۱,۰۶	$1,۵۰ \times 10^{-۸}$	۱,۵۰	-۲,۹۹	۷,۴۰	۴۳-۲AB
۱۰۵,۳۴	$1,۲۳ \times 10^{-۱۰}$	۱,۲۳	-۳,۰۱	۱,۰۳	$1,۳۷ \times 10^{-۸}$	۱,۲۷	-۳,۰۵	۴,۴۳	۴۶AB
۱۱۰,۴۸	$1,۴۳ \times 10^{-۱۰}$	۱,۴۳	-۲,۸۷	۱,۰۷	$1,۵۳ \times 10^{-۸}$	۱,۵۳	-۲,۹۴	۶,۲۰	AB ۴۶-۱
۱۱۴,۰۶	$1,۷۰ \times 10^{-۱۰}$	۱,۷۰	-۲,۷۸	۰,۱۱	$1,۷۳ \times 10^{-۷}$	۱,۷۳	-۲,۷۹	۸,۵۸	۴۹-۱AB
۱۰۴,۹۹	$2,۲۶ \times 10^{-۱۰}$	۲,۲۶	-۳,۰۲	۰,۱۰	$2,۳۰ \times 10^{-۷}$	۲,۳۰	-۳,۰۳	۱۸,۴	۴۹-۲ AB
۸۷,۸۳	$1,۷۴ \times 10^{-۱۰}$	۱,۷۴	-۳,۶۱	۰,۷۹	$2,۶ \times 10^{-۸}$	۲,۰۶	-۴	۵,۱۳	AB ۵۴
۸۹,۰۷	$1,۲۴ \times 10^{-۱۰}$	۱,۲۴	-۳,۵۶	۰,۷۷	$1,۶۷ \times 10^{-۸}$	۱,۶۷	-۴,۱۱	۲,۷۷	۵۴-۱AB
۸۱,۷۲	$1,۴۶ \times 10^{-۱۰}$	۱,۴۶	-۳,۸۸	۰,۷۸	$1,۶۰ \times 10^{-۸}$	۱,۶۰	-۴,۰۳	۲,۳۲	AB ۵۴-۲
۱۰۹,۷۲	$0,۹۳ \times 10^{-۱۰}$	۰,۹۳	-۲,۸۹	۱,۰۵	$1,۳۴ \times 10^{-۸}$	۱,۲۴	-۳	۱,۶۲	AB ۱۰
۱۱۱,۶۵	$-۲,۸۴ \times 10^{-۱۰}$	-۲,۸۴	-۲,۸۴	۱,۰۶	$1,۲۱ \times 10^{-۸}$	۱,۲۱	-۲,۹۹	۱,۵۳	AB ۱۰-۱
۱۲۲,۶۷	$0,۱۵ \times 10^{-۱۰}$	۰,۱۵	-۲,۳۹	۱,۱۳	$0,۸۵ \times 10^{-۸}$	۰,۸۵	-۲,۸۰	۳,۵۴	AB ۱۰-۲

افزار CSDcorrection بین ۲:۱:۸ تا ۱:۲:۱ ارزیابی شد. گردشگری بلورهای پیروکسن برای تمامی مقاطع برابر با ۰,۵ در نظر گرفته شد. میانگین مدت اقامت بلور و نرخ هسته بندی بلورهای پیروکسن برای نمودارهای توزیع اندازه بلور با شبیب زیاد به ترتیب از $۱,۸ \times 10^{-۳}$ - $۱,۳ \times 10^{-۳}$ سال و $4-9 \times 10^{-۶} \text{ mms}^{-1}$ و برای CSDهای با شبیب کم نیز به ترتیب برابر با $1-۱,۶ \times 10^{-۳} \text{ mms}^{-1}$ - $۱,۲ \times 10^{-۳} \text{ mms}^{-1}$ سال و $3-۹ \times 10^{-۶} \text{ mms}^{-1}$ برآورد شد (جدول ۵). تراکم جمعیت بلورهای پیروکسن برای سنگ‌های ۵ و ۶. تراکم جمعیت بلورهای پیروکسن برای سنگ‌آتشفسانی نیز با نرم افزار CSD برابر با 20 mm^{-4} - ۱۴ mm^{-4} ارزیابی شد.

تحلیل توزیع اندازه بلورهای پیروکسن در ۲۰ نمونه از نمونه مورد بررسی که بلور پیروکسن به تعداد کافی دارند، صورت گرفت. روند کار مشابه تحلیل توزیع اندازه بلورهای پلازیوکلاز است، با این تفاوت که نرخ رشد بلورهای پیروکسن برابر با 10^5 در نظر گرفته شد [۱۱]. تصویر مقاطع میکروسکوپیکی یکی از نمونه‌های مورد بررسی که هر یک در سه بعد تهیه شده نیز به همراه تصاویر دورنگی (سیاه و سفید) بلور مورد بررسی (پیروکسن) و نمودارهای CSD رسم شده برای هر یک از آنها توسط نرم‌افزار CSD کارکشن در شکل ۵ آورده شده است.

نسبت ابعاد شکل فرضی (بهترین بیضی منطبق با بلور) برای بلورهای پیروکسن موجود در این مقاطع با استفاده از نرم-

جدول ۵ میانگین زمان رشد و سرعت هسته بندی هر یک از نمودارهای CSD بلورهای پیروکسن، در نمونه‌های آندزیت-بازالتی که دارای شکستگی هستند.

میانگین سرعت هسته بندی برای خط با شبیب کم (mms^{-1})	میانگین سنی (yr)	میانگین سرعت هسته بندی برای خط با شبیب زیاد (mms^{-1})	میانگین سنی (yr)	میانگین سرعت هسته بندی برای خط با شبیب زیاد (mms^{-1})	میانگین سنی (yr)	نمونه
$0,۷۸ \times 10^{-۵}$	$1,۲۱ \times 10^{-۳}$	$0,۸۱ \times 10^{-۵}$	$1,۱۸ \times 10^{-۳}$	$AB ۱۰$		
$0,۸۹ \times 10^{-۵}$	$1,۳۴ \times 10^{-۳}$	$0,۴۵ \times 10^{-۵}$	$1,۳۳ \times 10^{-۳}$	$AB ۲۶$		
$0,۹۹ \times 10^{-۵}$	$1,۶ \times 10^{-۳}$	$0,۴۳ \times 10^{-۵}$	$1,۵۶ \times 10^{-۳}$	$AB ۲۸$		
$-0,۱۸ \times 10^{-۵}$	$1,۶۷ \times 10^{-۳}$	$-0,۵۱ \times 10^{-۵}$	$1,۶۱ \times 10^{-۳}$	$AB ۴۳$		
$-0,۵۵ \times 10^{-۵}$	$2,۰۱ \times 10^{-۳}$	$-0,۱۹ \times 10^{-۵}$	$1,۸۲ \times 10^{-۳}$	$46AB$		
2×10^{-۵}	$1,۰۲ \times 10^{-۳}$	$2,۲۳ \times 10^{-۵}$	$9,۷۳ \times 10^{-۴}$	$54AB$		

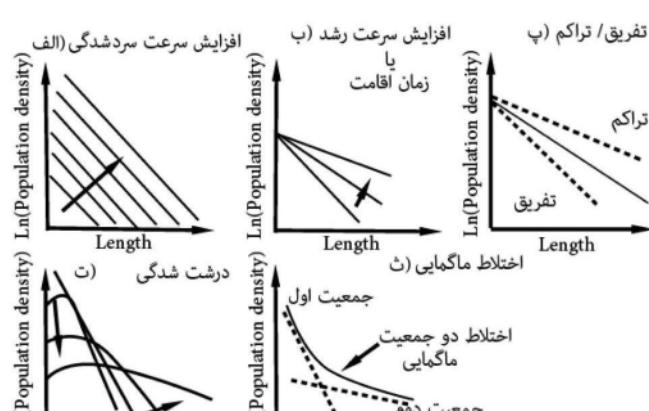
جدول ۶ شب، محل تقاطع و سرعت هسته‌بندی و رشد هر یک از نمودارهای CSD بلورهای پیروکسن در نمونه‌های آندزیت-بازالتی که دارای شکستگی و خمیدگی هستند.

نمونه	سهم بلور	خط حجمی	خط دارای شبیب زیاد	تقاطع خط دارای شبیب زیاد	سرعت هسته بندی برای خط با شبیب زیاد	زمان رشد (Yr)	خط دارای شبیب کم	تقاطع خط دارای شبیب کم	سرعت هسته بندی برای خط با شبیب کم	زمان رشد (Yr)	خط دارای شبیب کم	زمان رشد (Yr)	زمان هسته بندی برای خط با شبیب کم	زمان رشد (Yr)	زمان هسته بندی برای خط با شبیب کم	زمان رشد (Yr)	زمان هسته بندی برای خط با شبیب کم	زمان رشد (Yr)	
AB ۱۰	۹/۲۱	-۲۹۴	۰/۹۳	-۰/۹۳	۰/۹۳×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۷×۱۰ ^{-۳}	-۲۹۰	۰/۹۴	-۰/۹۴	۱/۰۹×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲	-۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲×۱۰ ^{-۳}	۱/۰۲	-۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲×۱۰ ^{-۳}	۱/۰۲	-۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}
AB ۱۰-۱	۱۷/۹	-۲۵۲	۱/۰۵	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲×۱۰ ^{-۳}	-۲۴۴	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۲۵×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۴۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۱۰-۲	۹/۱۱	-۲۵۹	۰/۴۶	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲۲×۱۰ ^{-۳}	-۲۵۳	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۲۵×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۵	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۶	۹/۲۸	-۲۳۱	۰/۴۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۳۷×۱۰ ^{-۳}	-۲۱۸	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۴۵×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۵	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۶-۱	۱۶/۱	-۲۷۴	۰/۷۵	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۵×۱۰ ^{-۳}	-۲۲۲	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۱۶×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۱۰۲	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۶-۲	۱۶/۳	-۲۲۳	۱/۴۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۴۲×۱۰ ^{-۳}	-۲۱۵	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۴۷×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۸	۲۴/۷	-۲۱۰	۰/۱۳	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۵۰×۱۰ ^{-۳}	-۲۰۳	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۵۶×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۸-۱	۲۱/۶	-۲۰۲	۰/۴۸	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۵۶×۱۰ ^{-۳}	-۱۹۹	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۵۹×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۳۸	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۲۸-۲	۲۹/۹	-۱۹۸	۰/۴۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۶۵×۱۰ ^{-۳}	-۱۹۲	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۶۵×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۳۱	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۴۳	۲۰/۶	-۱۸۱	۰/۱۳	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۷۵×۱۰ ^{-۳}	-۱۷۳	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۸۳×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۲۸	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۴۳-۱	۲۱/۹	-۱۹۱	۰/۱۱	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۸۶×۱۰ ^{-۳}	-۱۹۰	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۶۶×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۱۱	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
۴۳-۲AB	۱۵/۸	-۲۲۳	۰/۲۷	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۹۴×۱۰ ^{-۳}	-۲۰۷	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۱۵۴×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۱۷	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
۴۶AB	۱۹/۷	-۱۷۱	۰/۱۶	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۸۵×۱۰ ^{-۳}	-۱۷۰	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۲۰۲×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۲۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۴۶-۱	۲۸/۷	-۱۶۸	۰/۱۵	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۸۸×۱۰ ^{-۳}	-۱۴۷	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۲۱۵×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۴۶	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۴۶-۲	۱۸/۸	-۱۸۱	۰/۲۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۸۷×۱۰ ^{-۳}	-۱۴۹	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۲۴۹×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۴۹	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
۵۴ AB	۲۱/۸	-۲۴۲	۰/۴۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲۴۲×۱۰ ^{-۳}	-۲۳۳	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۲۵۲×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۱	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۵۴-۱	۲۲/۱	-۲۲۹	۰/۲۹	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۲۰۵×۱۰ ^{-۳}	-۳۱۱	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۱۰۲×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۲۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰
AB ۵۴-۲	۲۰/۵	-۲۰۶	۰/۲	-۰/۹۴	۰/۹۴×۱۰ ^{-۵}	۱/۰۱۰۰×۱۰ ^{-۳}	-۲۸۸	۰/۹۰	-۰/۹۰	۱/۰۱۰۰×۱۰ ^{-۳}	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۷۴	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰×۱۰ ^{-۵}	-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۹۰

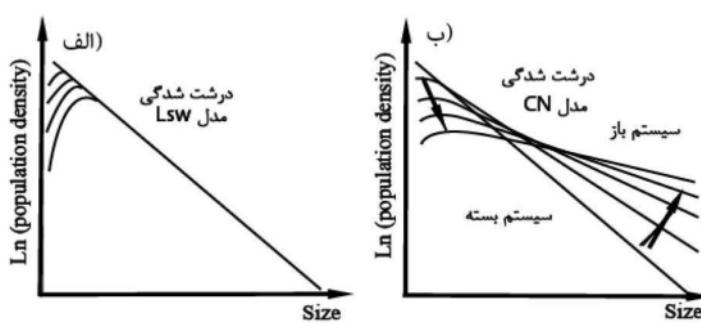
داده‌اند. با مقایسه نمودارهای توزیع اندازه بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های بازالتی - آندزیتی عباس‌آباد (شکل‌های ۶ تا ۹)، می‌توان تفسیرهای مناسبی ارائه کرد. برای درشت‌شدنگی بلور، دو مدل فرض شده است: (۱) مدل LSW (۲) مدل CN. در مدل LSW فرض می‌شود که سیستم رقیق است (همانند مagmaهای بازالتی) و برهمنشی بین بلورها وجود ندارد و در این صورت، همه بلورها فوری با سیال همگن اطراف، ارتباط مستقیم برقرار می‌کنند. در مدل CN، بلورها با هم و با سیال پیرامون ارتباط برقرار می‌کنند [۵] (شکل ۷).

تفسیر منحنی‌های CSD برای بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های بازالتی - آندزیتی عباس‌آباد در بررسی‌های CSD، تفسیر شکل نمودارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شکست یا خمیدگی در این نمودارها، به فرایندهایی چون انباست و از بین رفتن بلور، تراکم، اختلاط جمعیت‌های بلوری و هسته‌بندی نهایی بلور در اثر فرایند بازپخت یا تکامل بافتی استوالد (درشت‌شدنگی) نسبت داده می‌شود [۵، ۱۲].

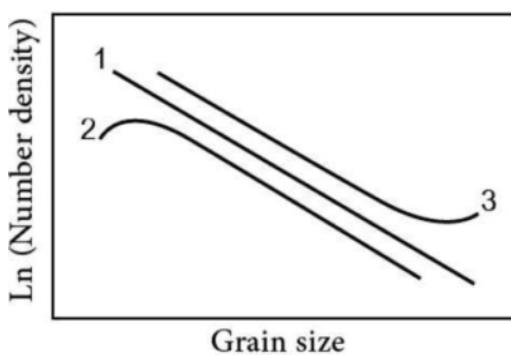
هیگینز و روبرگ [۱۰]، هیگینز [۵]؛ و لنتز و مک سوئین [۴۰] و واندرزوان و همکاران [۱۲] نمودارهایی برای تفسیر شکل‌های مختلف توزیع اندازه بلورها در سنگ‌های آذرین ارائه



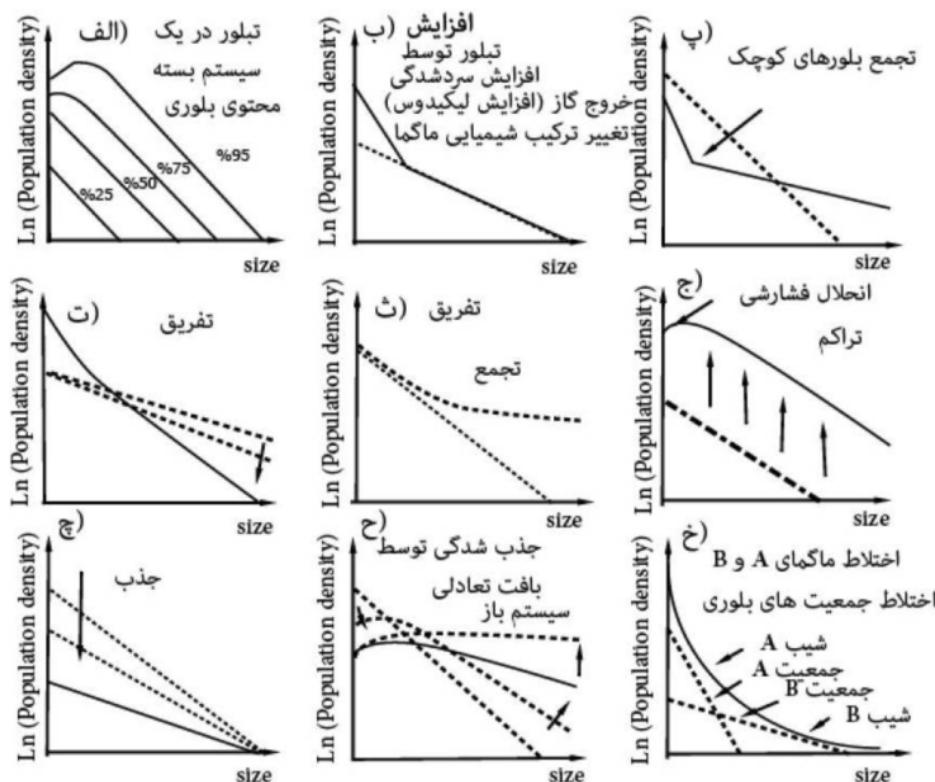
شکل ۶ نمودارهای نشان‌دهنده فرایندهای موثر بر شکل CSD سنگ‌های magmaی [۱۰]. (الف) افزایش سرعت سردشدنگی. (ب) افزایش زمان اقامت. (پ) افزایش سرعت رشد. (ت) درشت‌شدنگی بلورها. (ث) اختلاط magmaی. (ج) ابتدا جمعیت اول و جمعیت دوم magmaی.



شکل ۷ نمودارهای نشان دهنده دو نوع مدل درشت شدگی بلور: (الف) مدل LSW و (ب) مدل CN [۵].



شکل ۸ نمودار نشان دهنده فرایندهای موثر بر شکل CSD سنگ‌های ماقمایی [۴۰]: ۱- رشد و هسته‌بندی متواالی بلورها. ۲- تهی‌شدگی از بلورهای کوچک شاید به دلیل درشت شدگی یا توقف هسته‌بندی همراه با رشدی متواالی. ۳- فراوانی بلورهای بزرگ شاید به دلیل انباشت یا افزایش درشت بلورها.



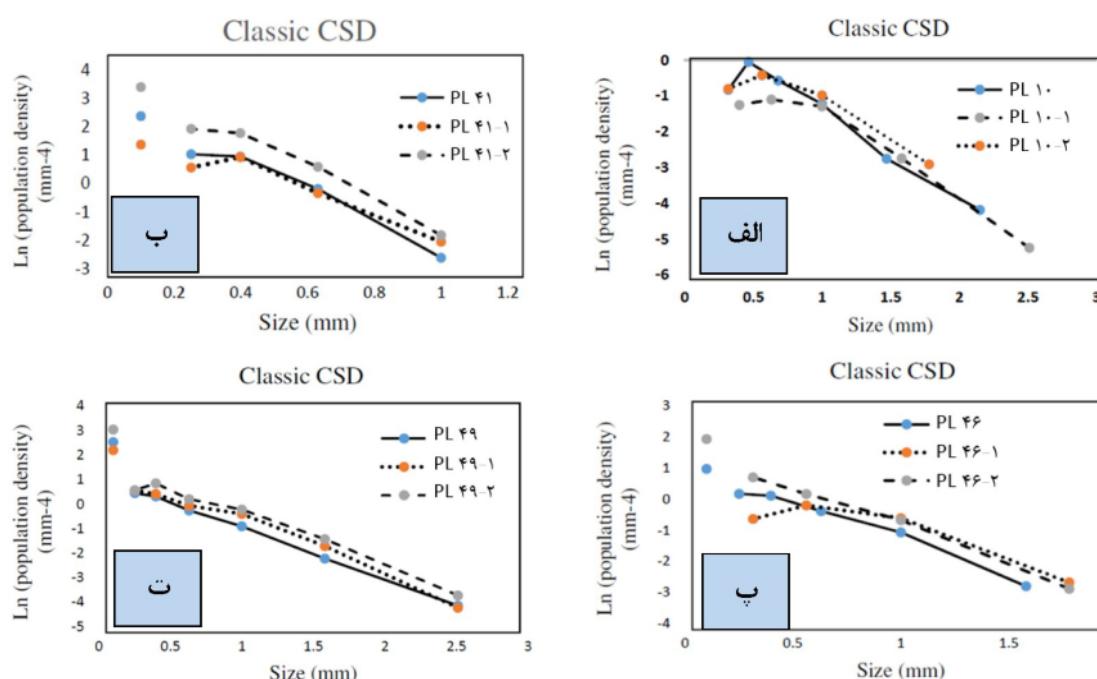
شکل ۹ نمودارهای نشان دهنده فرایندهای موثر بر شکل CSD سنگ‌های ماقمایی [۱۳].

فشاری از فرایندهای مکانیکی محسوب می‌شود، که در آن آرایش دوباره و فشردگی بلورها، سبب خروج سیال‌های موجود در منافذ آن‌ها می‌شود.

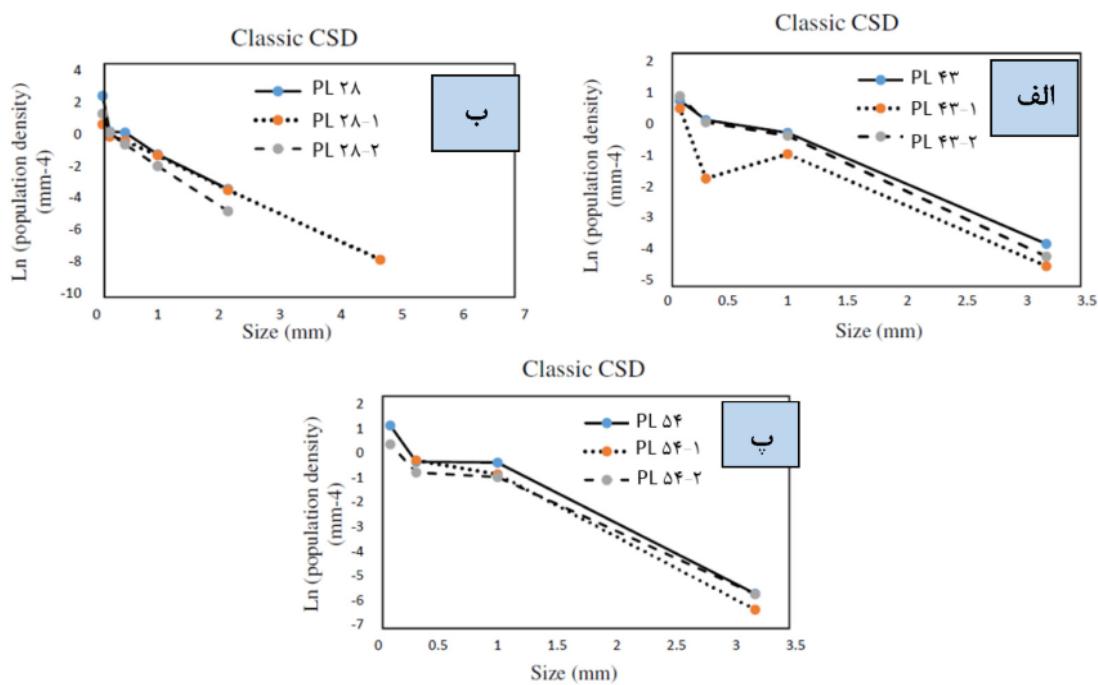
خمش به سمت بالا در سمت چپ نمودارهای CSD نمونه سنگ‌های AB، ۴۳ AB و ۵۴AB (شکل ۱۱) می‌تواند نشان‌دهنده اختلال جمعیت‌های بلوری، تجمع بلورهای کوچک، افزایش تبلور بلورهای پلازیوکلاز به دلیل افزایش سرعت سردشدن، خروج گازها و مواد فرار و یا تغییر ترکیب شیمیایی ماسه باشد که با نمودار ث در شکل ۶ و نمودارهای ب، پ و خ در شکل ۹، همخوانی دارند.

شکل ۱۲ نمودارهای CSD را برای بلورهای پیروکسن AB، ۴۳ AB و ۵۴AB از سنگ‌های بازالتی-آندزیتی منطقه عباس‌آباد نشان می‌دهد. خمش به سمت بالا در سمت راست این نمودارها با نمودار ث در شکل ۶ و نمودارهای ب، پ، ت، ث و خ در شکل ۹، همخوانی دارد. لنتز و مکسونین [۴۰]، معتقدند که چرخش به سمت بالا در جهت بزرگترین اندازه‌های بازه، ممکن است به دلیل انباست یا افزایش بلورهای بزرگ یا به عبارتی دیگر به علت تهنشینی یا تفریقی بلورها طی تبلور جدایشی باشد (منحنی ۳ در شکل ۸). به علاوه، این امر می‌تواند پیامد اختلال جمعیت‌های بلوری نیز باشد.

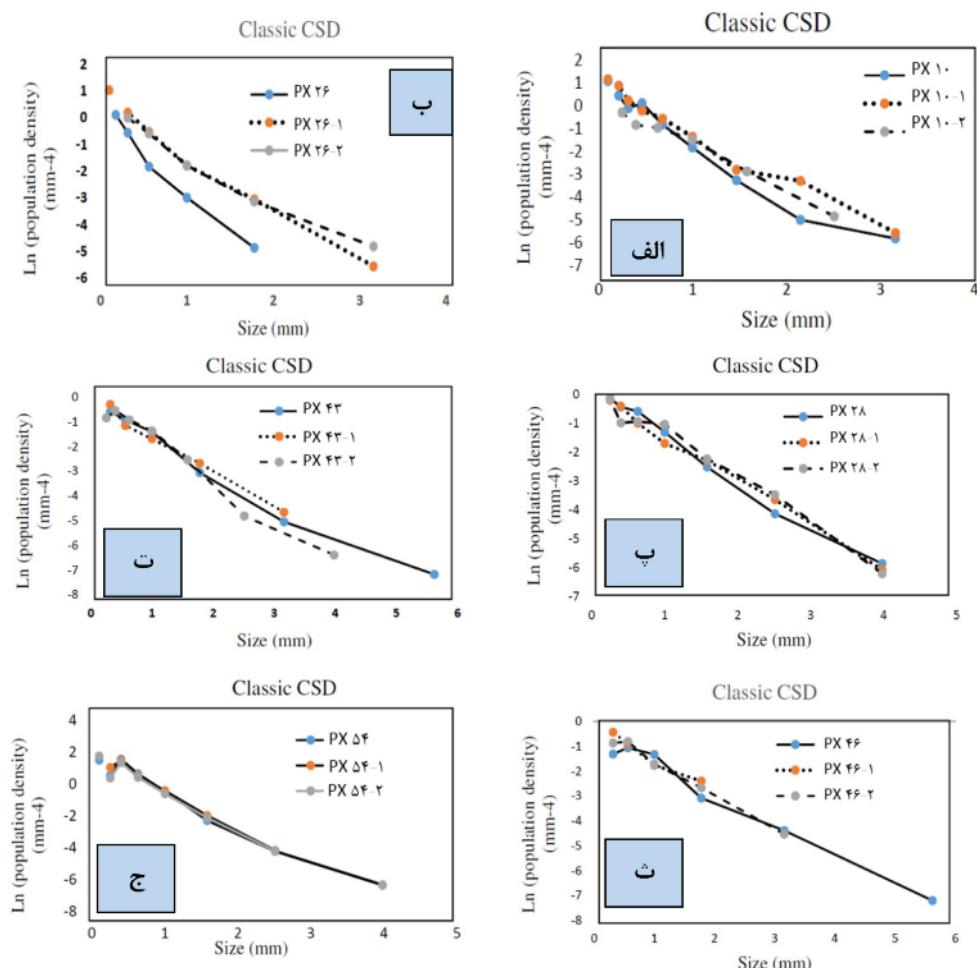
شکل ۱ نمودارهای CSD را برای بلورهای پلازیوکلاز موجود در سنگ‌های شماره ۱۰ AB، ۴۱ AB، ۴۶ AB و ۴۹ نشان می‌دهد. به اعتقاد لنتز و مکسونین [۴۰] روند خطی در نمودارها، نشانگر رشد و هسته‌بندی پی‌دریبی بلورها (درشت شدگی) و شرایط یکنواخت محیط تبلور است. درشت‌شدگی می‌تواند ناشی از توقف کامل هسته‌بندی و تداوم رشد باشد که در آن، بلورهای کوچک‌تر به خرج بلورهای بزرگ‌تر، مصرف می‌شوند. با توجه به مدل‌های LSW و CN هیگیتز [۵] (شکل ۷)، روند نمودارهای CSD در سنگ‌های CN پیروی می‌کند (شکل‌های ۱۰ الف، ب و پ). در مدل CN، بلورها از طریق فرایند انتشار، با هم و با سیال‌ها (ماگما) تبادل ماده و انرژی دارند و رشد بلور را کنترل می‌کنند. خمیدگی به سمت پایین در نمونه‌های AB، ۴۱ AB و ۴۶ AB می‌تواند نشان‌گر انحلال ناشی از فشار نیز باشد (مقایسه شکل‌های ۱۰ الف، ب و پ با نمودار ج در شکل ۹). به اعتقاد هیگیتز [۵]، نمودارهای CSD حاصل از انحلال فشاری، مشابه نمودارهای CSD حاصل از درشت‌شدگی هستند. اگرچه این دو فرایند درست مثل هم نیستند، ولی انحلال فشاری نیز همانند درشت‌شدگی تمایل دارد که انرژی کل سیستم را کمینه کند. در این مدل، بلورهای با اندازه‌های مختلف می‌توانند در اثر فشار حل شوند. انحلال



شکل ۱۰ نمودارهای جمعیت بلوری نسبت به اندازه دانه (CSD) برای بلورهای پلازیوکلاز در سنگ‌های بازالتی-آندزیتی منطقه عباس‌آباد.



شکل ۱۱ نمودارهای جمعیت بلوری نسبت به اندازه دانه (CSD) برای بلورهای پلازیوکلаз در سنگهای بازالتی- آندزیتی منطقه عباس آباد.



شکل ۱۲ نمودارهای جمعیت بلوری در برابر اندازه دانه (CSD) برای بلورهای پیروکسن در سنگهای بازالتی- آندزیتی منطقه عباس آباد.

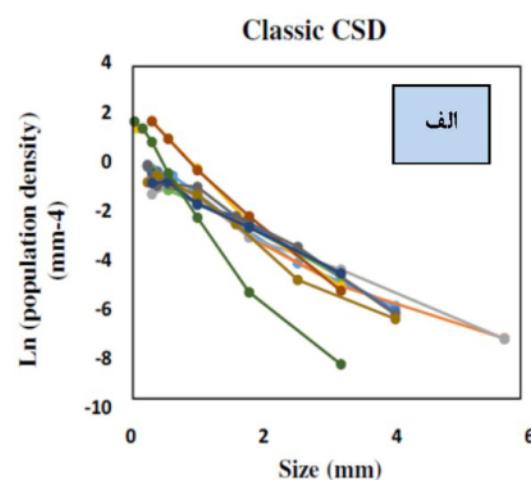
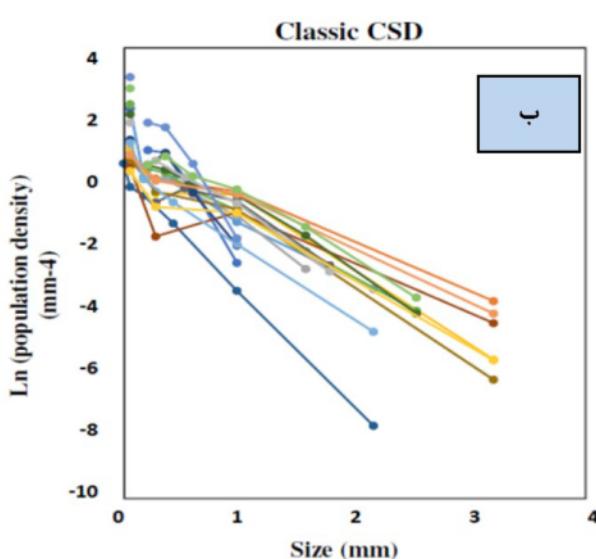
فرایندهای آشیانه ماگمایی پویا (تلور تفریقی و اختلاط) را تأیید می‌کند.

برداشت

بررسی کمی بلورهای پلازیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های بازالتی و آندزیتی منطقه عباس‌آباد نشان می‌دهد که مجموعه‌ای از فرایندهای سنگ‌شناسی آشیانه ماگمایی نظری انباشت، تفریق، درشت‌شدنگی و اختلاط جمعیت‌های بلوری در مخزن یا مخازن تغذیه کننده فعالیت ماگمایی بازالتی - آندزیتی منطقه در زمان ائوسن پسین رخ داده است. مجموعه این فرایندها، در کنار حضور بافت‌های گلومروبورفیری، پورفیری، میکرولیتی پورفیری و ناتعادلی، نشانگر آن است که تغییر و دگرگونی سیستم ماگمایی فعال در منطقه، در یک سیستم باز و پویا (دینامیک) رخ داده است. در این سیستم، ماگماها در طی فوران و یا اقامت در آشیانه ماگمایی، دوباره مورد هجوم ماگمای جدید قرار می‌گرفته‌اند. وجود شکست و خمیدگی در نمودارهای CSD نشانگر بروز تغییرات ماگمایی به دلیل انجام حرکات همرفتی در آشیانه ماگمایی و یا ورود یک ماگمای جدید به داخل مخزن ماگمایی است که سبب بروز فرایندهای سنگ‌شناسی در آشیانه‌های ماگمایی پویا شده است.

نمودارهای ث و ج در شکل ۱۲ دارای اندکی خمیدگی رو به پایین در سمت چپ هستند که می‌تواند نشان‌دهنده درشت‌شدنگی بلوری باشد و با نمودار ت در شکل ۶، منحنی ۲ در شکل ۸ و نمودار ح در شکل ۹ قابل مقایسه است. درشت‌شدنگی در این نمودارها از مدل CN [۵] پیروی می‌کند و با نمودار ب در شکل ۷، همخوانی دارد.

شکل ۱۳، همه نمودارهای CSD بلورهای پیروکسن (الف) و پلازیوکلاز (ب) را در سنگ‌های بازالتی - آندزیتی منطقه عباس‌آباد در یک نمودار نشان می‌دهد. نمودار بلورهای پیروکسن، بیانگر روندهای تفریق، انباشت و اختلاط جمعیت‌های بلوری هستند (مشابه با نمودار ث در شکل ۶، منحنی ۳ در شکل ۸، نمودارهای ت و ث در شکل ۹). نمودار بلورهای پلازیوکلاز نیز مجموعه‌ای از فرایندهای سنگ‌شناسی انباشت، تفریق، درشت‌شدنگی و اختلاط را به تصویر می‌کشند (مشابه با نمودارهای پ، ت، ث در شکل ۶، منحنی‌های ۱، ۲ و ۳ در شکل ۸، گزینه ب در شکل ۷ و نمودارهای ب، پ، ح و خ در شکل ۹). نتایج حاصل از تحلیل نمودارهای توزیع اندازه بلور در این پژوهش، با نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شیمیایی [۳۲، ۳۴] همخوانی دارد و خاستگاه مشترک نمونه‌ها از طریق



شکل ۱۳ همه نمودارهای جمعیت‌های بلوری پیروکسن و پلازیوکلاز در سنگ‌های بازالتی - آندزیتی منطقه عباس‌آباد. الف- برای بلورهای پیروکسن، که روند تفریق، انباشت و اختلاط جمعیت‌های بلوری را نشان می‌دهند و ب) برای بلورهای پلازیوکلاز، که مجموعه‌ای از فرایندهای سنگ‌شناسی انباشت، تفریق، درشت‌شدنگی و اختلاط را به تصویر می‌کشند.

- [10] Higgins M.D., Roberge J., “*Three magmatic components in the 1973 eruption of Eldfell volcano, land: Evidence from plagioclase crystal size distribution (CSD) and geochemistry*”, Journal of Volcanology and Geothermal Research 161(2007) 247–260.
- [11] Brugger C. R., Hammer J. E., “*Crystal size distribution analysis of plagioclase in experimentally decompressed hydrous rhyodacite magma*”, Earth and Planetary Science Letters 300 (2010) 246-254.
- [12] Yung Z. F., “*Combining Quantitative Textural and Geochemical Studies to understand the Solidification Processes of a Granite Porphyry: Shaggusi, East Qinling, China*”, Journal of petrology 53(9) (2012) 1807- 1835.
- [13] Van der Zwan F.M., Chadwick P.C., Troll V.R., “*Textural history of recent basaltic-andesites and plutonic inclusion from merapi volcano*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 166 (2013) 43-63.
- [14] Alves A., Pereira G.S., Janasi V.A., Higgins M., Polo L.A., Juriaans O.S., Ribeiro B.V., “*The origin of felsic microgranitoid enclaves: insights from plagioclase crystal size distributions and thermodynamic models*”, Lithos 239 (2015) 33-44.
- [15] Cato M.J., Fagan A.L., Gross J., “*Crystal size distribution of low-Ti Lunar basalt Northwest Africa*”, 47th Lunar and Planetary Science Conference (2016), P. 2751.
- [16] Ni H., Keppler H., Walte N., Schiavi F., Chen Y., Masotta M., Li Z., “*In situ observation of crystal growth in a basalt melt and the development of crystal size distribution in igneous rocks*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 167 (2014) 1-13.
- [17] Zieg M.J., Lofgren G.E., “*An experimental investigation of texture evolution during continuous cooling*”, Journal of Volcanology and Geothermal Research 154 (2006) 74-88.
- [18] Rannou E., Caroff M., “*Crystal Size Distribution in Magmatic Rocks: Proposition of a SyntheticTheoretical Model*”, Journal Petrology 51 (2010) 1087-1098.
- [19] Gulda G. A. R., “*Crystal size Distribution Derived from 3D Dataset: Sample size*

قدرتانی

نویسندها از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شهرورد به سبب حمایت‌های مالی و معنوی از انجام این پژوهش قدردانی می‌کنند.

مراجع

- [1] Marsh B.D., “*Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 99 (1988) 277-291.
- [2] Cashman K. V., Ferry J. M. “*Crystal size distribution (CSD) in rocks and kinetics and dynamics of crystallization*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 99 (1988) 401-415.
- [3] Resmini R.G., “*Modeling of crystal size distribution (CSDs) in sills*”, Journal of volcanology and geothermal research 161 (2007)118-130.
- [4] Bindeman I.N., “*Crystal sizes in evolving silicic magma chambers*”, Journal of Geology 31 (2003) 367–370.
- [5] Higgins M.D., “*Quantitative Textural Measurement in Igneous and Metamorphic Petrology*”, Cambridge university, United state of America (2006).
- [6] Higgins M.D., “*Magma dynamics beneath kameni volcano, Thera, Greece, as revealed by Crystal size and shape measurements*”, Journal of volcanology and geothermal Reserch 70 (1996) 37-48.
- [7] Randolph A.D., Larson M.A., “*Theory of Particulate Processes*” Academic Press, New York (1971).
- [8] Higgins M. D., “*A crystal size distribution study of the kiglapit layered mafic intrusion, Labrador, Canada: evidence for textural coarsening*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 144 (2002) 314-330.
- [9] Higgins M. D., Roberge J., “*Crystal Size Distribution of Plagioclase and Amphibole from Soufriere Hills Volcano, Montserrat: Evidence for Dynamic Crystallization- Textural Coarsening Cycles*”, Journal of petrology 44 (2003) 1401-1411.

- andesite, Sagez-NW IRAN: Calculate of Resident Time Pyroxene in magma chamber and Evidence for magma mixing”, Applied Science Reports 15 (1) (2016) 23-30.*
- [29] Modjarrad M., Sheykhabglou S., “*Crystal size distribution of amphibole and plagioclase from Zanbil adakitic dacites, Urmia-Iran: Evidence for magma mixing and textural coarsening*”, Acta Geodyn. Geomater 13 1 (181) (2016) 89-101.
- [30] Modjarrad M., Sheykhabglou S. “*Crystal Size Distribution of kyanite and staurolite from Hamza Qassim and Khazai Bala Metapelites-southeast Shahin-Dezh; confirmation to regional metamorphism conditions at the area*” Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (2016) 99-108.
- [31] Shah-Hosini E., “*Petrology, Geochemistry and Mineralization potential of igneous rock in North-Northeast Semnan*” M.Sc. Thesis, Geosciences Department, Shahrood University OF Technology (2007) 148p.
- [32] Allahyari S., “*Petrogenesis of upper Eocene igneous rocks of Kahak-Abbas abad magmatic belt*” M.Sc. Thesis, Geosciences Department, Shahrood University OF Technology (2010) 152p.
- [33] Taheri A., Allahyari S. Ghasemi H., Sadeghian M., “*Stratigraphic Position and Textural Analysis of Volcanic Rocks of Abbas Abad Volcano-Sedimentary Belt, NE Shahrood*” Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan 29 (2013) 25-42.
- [34] Ghasemi H., Rezaei-Kahkhaei M., “*Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran*”, Mineralogy and Petrology 109 (2) (2015) 235-252.
- [35] Holden, E.J., Moss, S., Russell, J.K., Denith, M.C., “*An image analysis method to determine crystal size distributions of olivine in kimberlite*”, Computational Geosciences 13 (2009) 255-268.
- [36] Cashman K.V., “*Crystallization of Mount St. Helens 1980-1986 dacite: a quantitative textural approach*” Bulletin of Volcanology 50 (1988) 194-209.
- [37] Higgins M.D., Chandrasekharam D., “*Nature of sub-volcanic magma chamber, Deccan Uncertainties*”, Journal of petrology 47 (2006) 1245-1254.
- [20] Homam S.M., “*Crystal size distribution in metamorphic rocks: an example for the relationship between nucleation and growth rates with overstepping*” Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 11 (2003) 65-81.
- [21] Masoudi F., Ghorbani M., Ahimzadh B.R., ”*Study of physical conditions and magmatic evolution of volcanic rocks*” Iranian Journal of Geology, 3 (2009) 67-75.
- [22] 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 (2010) 419-430.
- [23] 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 Beriyan Basaltic Flows, NE of Kerman*” Geosciences 22: (2013) 199-204.
- [24] Rahimi Chakdel A., Boyle A.P., “*Crystal size distribution analysis of quartz in sector-zoned of garnet schist using Back-scatter electron images*”, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (3) (2012) 49-58.
- [25] Izadi-Kian L., Mohajel-Kafshdouz M., Alavi S.A., Sepahi-Garoo A.A., Hoseinidust S.J., “*Timing of porphyroblasts growth and their relation to deformation stages in metamorphic rocks of the Hamedan area*” Petrology 4 (2013) 1-18.
- [26] Torkian A., Salehi N., Kord M., “*The use of quantitative data crystal size distributions (CSD) of pyroxenes crystals in study of petrological process of NE-Qorveh volcanic centers (Kurdistan)*” Petrology 4 (2013) 33-46.
- [27] 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 Dagh, SE of Sabalan volcano (NW Iran)*”, GEOLOGICA CARPATHICA 66 (4) (2015) 275-268.
- [28] Elyassi Golonji I., Sheykhabglou S., “*Crystal Size Distribution of Pyroxenes from Aliabad*

- [39] Mock A., Jerram D.A., “*Crystal Size Distributions (CSD) in Three Dimensions: Insights from the 3D Reconstruction of a Highly porphyritic Rhyolite*”, Journal of Petrology 46 (2005) 1524-1541.
- [40] Lentz R.C.F., McSween Y.H., “*Crystallization of the basaltic Shergottites: Insights from crystal size distribution (CSD) analysis of pyroxenes*”, Meteoritics and Planetary science 35 (2000) 919-927.
- province, India: Evidence from quantitative textural analysis of plagioclase megacrysts in the Giant plagioclase basalts”, Journal of petrology 48 (2007) 885-900.
- [38] Vinet N., Higgins M. D., “*Magma Solidification Processes beneath Kilauea Volcano, Hawaii: a Quantitative Textural and Geochemical study of the 1969-1979 Mauna Ulu Lavas*”, Journal of petrology 51 (2010) 1297-1332.