



بررسی توزیع اندازه‌ی بلورها در سنگ‌های آذرین: رهنمودی بر روند تکامل ماگما در اتاقک‌های ماگمایی

فریماه آیتی*، سعید مهدوری^۲

۱- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور مرکز شهرکرد

۲- دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۸/۸/۲۳، نسخه نهایی: ۸۹/۲/۱)

چکیده: در این پژوهش از بررسی کمی بافت و توزیع اندازه‌ی بلورها بر فنوکریست‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز و کوارتز همراه با بررسی‌های ریز پردازشی و دما- فشارسنجی روی کانی آمفیبول استفاده کردیم تا در خصوص فرایندهای شکل‌گیری ماگما در اتاقک ماگمایی آگاهی‌هایی به دست آوریم. بررسی‌های سنگ‌نگاری و استفاده از دما- فشارسنجی همراه با بررسی منحنی‌های توزیع اندازه‌ی بلورها در سنگ‌های آذرین نئوژن جنوب غرب تهران، نشانگر حضور سه توزیع جمعیتی در آمفیبول‌هاست که حاکی از شرایط متفاوت تبلور در اعماق متفاوت و حضور حداقل سه اتاقک ماگمایی است. حضور پلاژیوکلاز در گدازه‌ها نشان دهنده‌ی تکامل ماگما در سطوح کم عمق‌تر و در شرایط فوگاسیته نسبتاً پایین‌تر آب و در اتاقک ماگمایی نزدیک به سطح است.

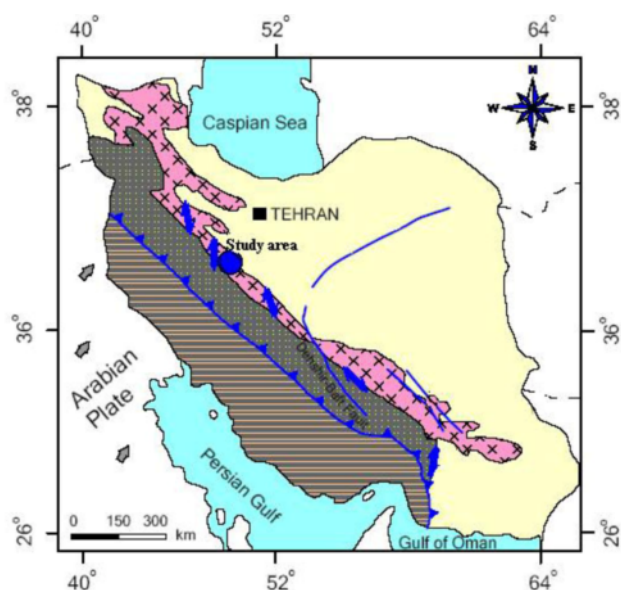
واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه‌ی بلورها، تکامل ماگما، اتاقک ماگمایی.

مقدمه

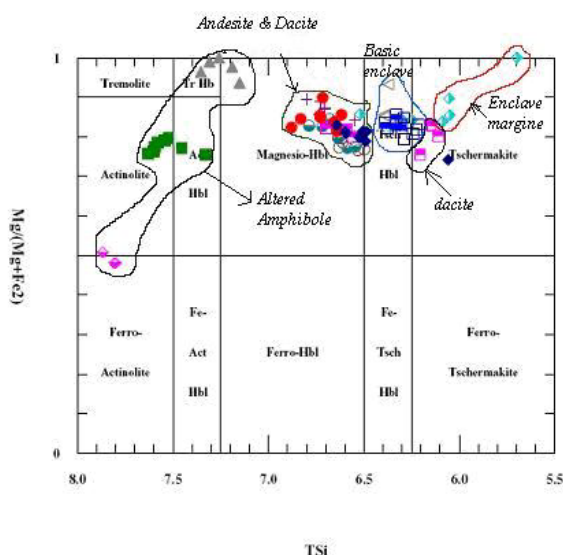
دارای ترکیب اکتینولیت - فرو اکتینولیت با دما و فشار پایین تا بسیار پایین (فشارهای منفی) هستند. حضور شواهدی از تبلور جدایشی، ارتباط‌های عناصر ناسازگار و سازگار، و شکل‌گیری تدریجی گروه‌های سنگی مورد بررسی همراه با بررسی‌های دیگر ژئوشیمی انجام شده بر روی سنگ‌های آذرین موجود در منطقه، می‌تواند تبلور جدایشی از یک ماگمای مادر اولیه را به عنوان خاستگاه سنگ‌های مورد بررسی مطرح سازد. احتمال جدایش و تبلور از یک ماگمای مادر اولیه و مشترک و ارتباط ژنتیکی بین سنگ‌های مافیک، حدواسط و اسیدی در منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان با عواملی همچون روندهای جدایشی مشخص بین آن‌ها در فراوانی عناصر اصلی و فرعی و شباهت بین الگوهای REE و نسبت‌های عناصر ناسازگار بین سنگ‌های مافیک، حدواسط تا اسیدی ثابت کرد [۱].

منطقه‌ی مورد بررسی در زون آتشفشانی ارومیه دختر و در ۱۲۰ کیلومتری جنوب غربی تهران قرار دارد (شکل ۱). سنگ‌های مختلف آذرین منطقه شامل آندزی بازالت، آندزیت، داسیت و نیز دیوریت و کوارتز دیوریت با بافت پورفیری است که به صورت مجموعه‌های آتشفشانی و ساب‌ولکانیک در منطقه ظاهر کرده‌اند. سنگ‌های آذرین مورد بررسی دارای ماهیت ژئوشیمیایی کالکوالکالن هستند. مجموعه‌ی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها از پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت همراه با پیروکسن و آثاری از فلدسپات پتاسیم تشکیل شده‌اند. آمفیبول‌ها در مجموعه‌ی سنگ‌های آذرین مورد بررسی دارای ترکیب‌های متنوع (چرماکیت، منیزیو هاستنگسیت، منیزیوهورنبلند، اکتینولیت) (شکل ۲) با دما و فشار متفاوتند. آمفیبول‌هایی که تحت تاثیر دگرسانی و دگرزندی قرار گرفتند،

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۸۱)۲۲۲۶۳۱۱، شماره: ۰۳۸۱)۲۲۲۲۲۹۰، پست الکترونیکی: F_ayati@geol.ui.ac.ir



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۲. نمودار تقسیم‌بندی آمفیبول‌های کلسیک [۹]

(●●+ اندزیت و داسیت، ■ برونوم بازی، ◊ حاشیه برونوم، ▲● آمفیبول‌های دگرسان)

شده‌اند، مورد بررسی قرار داد. چنین نمونه‌هایی معمولاً با آنالیزهای ایزوتوپی و شیمیایی به صورت کمی و با مشاهدات بافتی به صورت کیفی بررسی می‌شوند. البته این امکان وجود دارد که بعضی از جنبه‌های وابسته به بافت سنگ‌ها را به صورت کمی نیز بررسی کرد. معمولی‌ترین روش، استفاده از تعیین توزیع و پراکندگی اندازه‌ی ذرات (CSD) است. این روش می‌تواند روشی نوین برای بررسی فرایندهای اتافک ماگمایی در اختیار ما بگذارد [۲]. پی‌بردن به شرایط تبلور ماگما پیش از فوران آن، نتایج سنگ شناختی زیادی به همراه دارد. برای ارائه

در این پژوهش با بررسی و آنالیز CSD¹ (آنالیز بافتی) و ترکیب آن با آنالیزهای ریزپردازشی و بررسی‌های دما- فشارسنجی انجام شده بر روی آمفیبول‌ها، به اطلاعاتی در خصوص تکامل ماگما در اتافک‌های ماگمایی دست می‌یابیم.

فرایندهای وابسته به اتافک‌های ماگمایی را می‌توان با بررسی نمونه‌های گدازه در سنگ‌های آتشفشانی و یا در سنگ‌های آذرین درونی که محصول‌های نهایی کاملاً منجمد و سخت

1- Crystal Size Distribution

تعیین اندازه‌ی یک بلور یا دانه، درحقیقت تعیین فضایی است که بلور را در بر گرفته است. اگر شکل بلور در طول رشد یا انحلال تغییر کند، اندازه‌گیری و تعیین حجمی اندازه ممکن است مفید باشد. تعیین اندازه‌ی بلورها بر اساس حجم، امری ساده است، زیرا هر دانه حجم ویژه‌ی خود را دارد. با این وجود جایی که رشد یا انحلال بلورها مطرح باشد، اندازه‌گیری خطی معمولاً مناسب‌تر است. بنابراین تغییر در سرعت رشد یک بلور به صورت رشد خطی، مثلاً چند میلی متر در ثانیه می‌باشد. در اکثر کاربردهای زمین‌شناسی، اندازه‌گیری خطی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

تعیین اندازه‌ی خطی بلور به چند روش متفاوت صورت می‌گیرد که شامل موارد زیر است.

۱- اندازه‌گیری بزرگترین فاصله بین دو نقطه روی سطح بلور
۲- اندازه‌گیری طول محور اصلی یک بیضی کاملاً منطبق بر بلور

۳- اندازه‌گیری قطر یک کره با حجم معادل بلور یا دانه در این پژوهش بررسی‌های CSD روی آمفیبول، پلاژیوکلاز و کوارتز موجود در سنگ‌های آذرین منطقه انجام گرفت و برای تعیین اندازه‌ی بلورها، از روش ۲ استفاده شد.

پارامتر یک بعدی دیگر وابسته به CSD، تراکم تعداد دانه‌ها یا بلورهاست (P.D) می‌باشد. این پارامتر درحقیقت به عنوان تعداد کل بلورها در واحد حجم بیان می‌شود. هر دوی این پارامترها (اندازه‌ی بلور و تراکم آن) زیر مجموعه‌ی پارامتری غنی از اطلاعات و مهم یعنی توزیع اندازه‌ی بلور است. لازم به یادآوری است که CSD بلورها یک نوع اندازه‌گیری حجمی است، ولی اندازه‌ی بلور و تعداد آن در مقاطع نازک تنها در دو بعد اندازه‌گیری می‌شود. لذا باید اطلاعات خام (اندازه‌های تعیین شده به صورت دو بعدی) را به اطلاعات حجمی تبدیل کنیم (تصحیحات برجسته نگاری) و در این خصوص از برنامه -CSD Correction استفاده کردیم. در این برنامه برای تبدیل اینگونه اطلاعات، از نسبت ابعاد بلور (بعد کوتاه (S): بعد متوسط (L): بعد بلند (L)) و فاکتور گردش‌دگی (Roundness factor) آن (۱ = بیضوی، ۰ = مکعبی) استفاده می‌شود [۸]. برای محاسبه‌ی حجم کانی از سه بعد کوتاه (S)، حدواسط (I) و بلند (L) بلور استفاده می‌شود. با بررسی آماری طول و عرض کانی‌ها، مقادیر I و S تعیین می‌شود. مقدار مد در بررسی طول کانی‌ها برابر با I و مقدار آن در بررسی عرض کانی‌ها برابر S خواهد بود. مقدار L نیز با توجه به ارتباط میان اریبی بودن

مدل و بررسی روند تکامل ماگما، به اطلاعاتی در خصوص شرایط فیزیکی که در طول مراحل تبلور ماگما حکمفرماست، نیازمندیم. شرایط فشار و دما اثر مستقیمی بر ترکیب فازهای جدا شده و بنابراین روی روند تکامل ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی دارد [۳]. از طرفی، فشار تبلور فنوکریست‌ها مستقیماً به عمق اتافک ماگمایی وابسته است. لذا انجام دما- فشارسنجی (در این بررسی روی آمفیبول‌ها) می‌تواند راهنمایی برای تشخیص عمق اتافک‌های ماگمایی موجود در زیر آتشفشان‌های خاموش یا فعال باشد.

فرضیه‌ی CSD (توزیع و پراکندگی اندازه‌ی بلورها) نخست توسط مارش ارائه شد. وی نشان داد که در یک سیستم ماگمایی باز که در آن تبلور به صورت پیوسته رخ می‌دهد، نمودار CSD به صورت یک خط صاف است. مارش همچنین نشان داد که در شرایط خاص، تبلور در سیستم‌های بسته (در پاسخ به پیشرفت فزاینده‌ی سرد شدن) نیز می‌تواند CSD صاف ایجاد کند. چنین CSD هایی در بسیاری از سیستم‌های آتشفشانی مشاهده شدند [۴]. گاه بسیاری از بلورهای موجود در سنگ‌ها، CSD هایی منحنی شکل دیده می‌شوند. چندین فرایند احتمالی برای ایجاد چنین CSD هایی مشخص شده‌اند. هایگنس [۵] پیشنهاد کرد که CSD های منحنی شکل پلاژیوکلاز در داسیت‌های جزیره‌ی Kameni در یونان، با اختلاط فیزیکی دو ماگما ایجاد شده است. به علاوه، اختلاط تقریباً هر دو جمعیت بلور با CSD صاف نیز می‌تواند چنین CSD منحنی شکلی را ایجاد کند. آرمینتی [۶] پیشنهاد کرد که CSD های منحنی شکل در ماگمای Etna با سه دوره‌ی پیوسته از سرد شدن در طول صعود و جایگیری ماگما ایجاد شده‌اند. فرایند دیگر برای ایجاد اینگونه CSD ها می‌تواند درشت شدگی بافتی باشد که در آن دانه‌های کوچکتر حل شده و همزمان، دانه‌های بزرگتر رشد می‌کنند [۷]. با استفاده از CSD می‌توان مدلی برای روند تکامل ماگما در طول توقف آن در اتافک یا اتافک‌های ماگمایی و در طول صعود آن به سطح یا نزدیک به سطح زمین ارائه کرد، لذا می‌توان در خصوص رخداد فرایندهایی همچون اختلاط ماگمایی و اختلاط جمعیت بلورها در ماگمای منطقه به اطلاعاتی دست یافت. CSD دربرگیرنده -ی دو بعد است: ۱- اندازه بلور ۲- تراکم جمعیت^۲ (P.D).

2- Population density = a number of crystal per volume area per average crystal size of the size interval

می‌کند. ترکیب این دو CSD خطی، به دلیل لگاریتمی بودن محور قائم (P.D)، یک CSD منحنی‌شکل با دو بخش خطی است (شکل ۳). رشد بیشتر بلورها پس از اختلاط، جمعیت سومی از بلورها را ایجاد خواهد کرد که با بخش خطی CSD دیگر در بخش چپ نمودار نشان داده می‌شود. بلورهایی که از قبل حضور داشته‌اند، رشد خواهند کرد و CSD آن‌ها به سمت راست نمودار جابه‌جا خواهد شد ولی شیب بخش‌های خطی تغییر نخواهد کرد (شکل ۳).

روش بررسی و اصول تفسیر داده‌های CSD

بلورهای انتخابی برای بررسی CSD، شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز و کوارتز هستند. آنالیز کمی توزیع اندازه‌ی بلور روی تصاویر مقاطع نازک (آنالیزیت و داسیت) به دست آمده از میکروسکوپ نوری (مدل Axio Scope Zeiss) انجام شد (شکل ۴). مرز بلورها با نرم افزارهای طراحی رسم و اندازه‌ی فنوکریست‌ها با نرم افزار SPO اندازه‌گیری شدند. در این روش هر بلور با یک بیضوی و یک مستطیل (Box) منطبق بر بیضوی نشان داده می‌شود. اندازه‌ی به دست آمده برای آنالیز کمی توزیع اندازه‌ی بلور، طول محور اصلی بیضوی برای هر بلور است. پارامترهای اصلی آنالیز CSD استفاده شده در این پژوهش با نرم افزار CSD Correction به دست آمده‌اند (جدول ۱). با توجه به اطلاعات به دست آمده از فراوانی و اندازه‌ی بلورها، نمودار $\ln(\text{population density})$ نسبت به اندازه‌ی بلور اکتباس شده از مارش، رسم شد و یکای اندازه‌گیری شده برای بلورها cm^4 و برای مقیاس چگالی تجمعی cm^{-4} است.

(Skewness) (انحراف معیار/مد - متوسط)) داده‌ها و I/L تعیین می‌شود. به علاوه برای تعیین تعداد بلورها در واحد حجم و حذف اثر مقطع نازک، فاکتور اصلاحی α برای اندازه‌ی هر بخش محاسبه می‌شود:

$$N_v = N_a / (D \cdot \alpha)$$

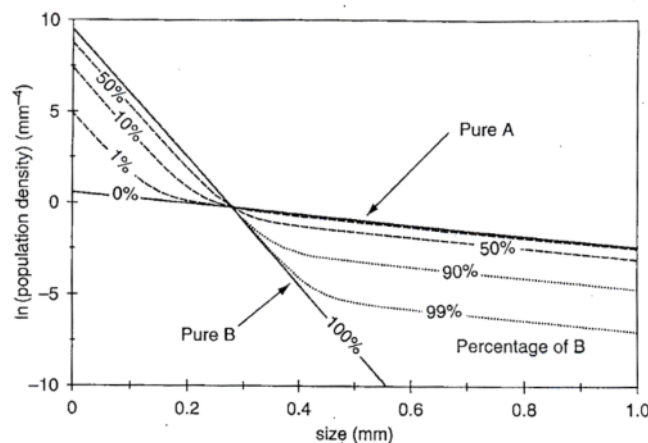
N_a : تعداد ذره‌ها در واحد سطح

N_v : تعداد ذره‌ها در واحد حجم

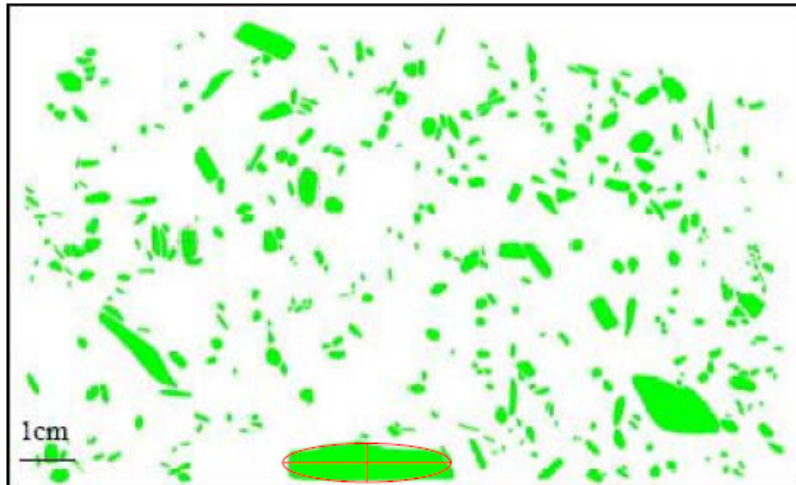
$D = (I + S + L)/3$ اندازه‌ی متوسط بلور (رابطه‌ی بین D با استفاده از پسرقت خطی به دست می‌آید و N_v/N_a شیب خط برابر با ضریب α است که این ضریب، ثابت شکل (Shape constant) نیز خوانده می‌شود).

ابعاد و فاکتورگردشگی مورد استفاده برای پلاژیوکلازهای مورد بررسی به ترتیب شامل $1/5 : 1/5 : 1/5$ و $0/2$ و برای آمفیبول‌ها $2/5 : 2/5 : 1$ و $0/5$ در نظر گرفته شد. سپس اطلاعات CSD را روی یک نمودار دو بعدی که محور X آن نشان دهنده‌ی اندازه‌ی خطی بلور و محور Y آن نشان دهنده‌ی چگالی جمعیت بلورهاست (P.D)، وارد می‌کنیم ($\ln(P.D)\text{cm}^{-4}$ v.s Size cm).

از عوامل موثر بر CSD می‌توان از تغییر در بافت بلورها از لحاظ مکانیکی (مانند تراکم)، تجمع بلورها و نیز اختلاط ماگماها و جمعیت‌های بلوری نام برد. اختلاط ماگماها فرایندی بسیار معمول در بسیاری از سنگ‌های آذرین درونی و سنگ‌های آتشفشانی است. هایگنس [۵] نشان داد که اضافه شدن دو نوع CSD صاف و مستقیم (Straight) با شیب و عرض از مبداهای متفاوت، یک CSD با شیب تند برای بلورهای با اندازه‌ی کوچک و با شیب بسیار آرام برای بلورهای بزرگتر ایجاد



شکل ۳ اضافه شدن دو CSD خطی به یکدیگر و ایجاد CSD منحنی وار. شیب‌های اولیه دو تشکیل دهنده‌ی CSD برای اندازه‌های بزرگ و کوچک حفظ می‌شود ولی عرض از مبدا آن‌ها حفظ نمی‌شود.



شکل ۴ تصویر اسکن شده آمفیبول‌های موجود در یکی از نمونه‌های مورد بررسی.

جدول ۱ نتایج آنالیز CSD روی آمفیبول‌های نمونه سنگ‌های آذرین .

	5E am ₁	5E am ₂	Al ₄ am	C ₁ am	C ₂ am ₁	C ₂ am ₂
Total number	۱۵۴	۱۵۴	۱۴۹	۱۴۶	۲۸۴	۲۸۴
Total volume (%)	۱۲٫۳	۱۲٫۳	۱۲٫۴	۱۰٫۳	۱۱٫۳	۱۱٫۳
s	۴٫۱	۴٫۱	۶٫۵	۳٫۳	۲٫۲	۲٫۱
Regress-intercept	۷٫۹۴	۹٫۶۲	۹٫۶۳	۹٫۶۲	۱۰٫۸۸	۷٫۶۳
s	۰٫۳۳	۰٫۱۸	۰٫۱۳	۰٫۲۲	۰٫۱۳	۰٫۶۲
Regress-slope	-۷٫۲۲	-۱۱	-۱۱٫۱	-۱۲٫۹	-۱۳٫۴	-۵٫۶۳
s	۰٫۷۴	۰٫۷	۰٫۵	۱	۰٫۶	۰٫۹۷
Regress-volume (%)	۴۳٫۶	۴۳٫۳	۳۱٫۸	۳۰٫۹	۵۲٫۳	۶۷
s	۵۰٫۱	۲۴٫۸	۱۲٫۵	۲۱٫۹	۱۹	۱۹۸٫۴
Goodness of fit	۰٫۷۰۷۷	۰٫۱۹۶۷	۰٫۳۲۸۲	۰٫۳۵۵۲	۰٫۰۶۹۳۸	۰٫۹۵۳۳

	CHD2 am1	CHD2 am2	CHD2 Q	dy2 am1	dy2 am2	IR am1	IR am2
Total number	۱۹۰	۱۹۰	۱۱۰	۱۶۸	۱۶۸	۲۳۹	۲۳۹
Total volume (%)	۱۳٫۴	۱۳٫۴	۳٫۰۵	۱۱٫۳	۱۱٫۳	۱۲٫۳	۱۲٫۳
s	۴٫۱	۴٫۱	۱٫۰۳	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۷	۲٫۷
Regress-intercept	۹٫۹	۴٫۷۷	۹٫۶۴	۱۰٫۲۴	۷٫۹۴	۱۰٫۲۲	۷٫۰۵
s	۰٫۱۲	۰٫۹۴	۰٫۳۷	۰٫۱۲	۰٫۴۵	۰٫۱۲	۰٫۵۸
Regress-slope	-۱۰٫۳	-۲٫۶۴	-۲۶٫۵	-۱۱٫۷	-۶٫۰۷	-۹٫۷	-۴٫۱۸
s	۰٫۴	۰٫۸	۳٫۳	۰٫۴	۰٫۷	۰٫۴۲	۰٫۶۷
Regress-volume (%)	۵۴٫۵	۷۳٫۸	۵٫۱۱	۴۷٫۵	۶۶٫۴	۶۷٫۳	۸۱٫۸
s	۱۹٫۱	۷۲۵٫۳	۷٫۴۵	۱۵	۱۰۳٫۶	۲۳٫۱	۲۱۲٫۹
Goodness of fit	۰٫۰۳۷۳	۰٫۷۱۵۸	۰٫۴۳۲۵	۰٫۲۰۰۹	۰٫۰۳۷۳۲	۰٫۳۵۵۷	۰٫۶۳۹۸

	IR pl	spd 2 am	5Or quartz	IM pl	5 pl	Al3 1	Al3 2	C3
Total number	۲۲۰	۴۷٫۱	۱۱۶	۲۳۲	۱۷۷	۲۰۲	۲۰۲	۵۳۴
Total volume (%)	۲۵٫۶	۵٫۱۳	۳٫۰۴	۱۲٫۲	۲۹٫۳	۸٫۱۸	۸٫۱۸	۱۱٫۲
s	۴٫۶	۱٫۶۵	۱٫۰۸	۳	۷٫۹	۲٫۲	۲٫۲	۴٫۶
Regress-intercept	۹٫۳۷	۸٫۲۹	۹٫۰۷	۹٫۵۸	۹٫۲۲	۹٫۷۴	۹٫۲۶	۹٫۷۸
s	۰٫۱۲	۰٫۲۶	۰٫۳۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۰٫۰۷
Regress-slope	-۹٫۵۸	-۱۱٫۱	-۳۱٫۸	-۱۶٫۵	-۱۲٫۶	-۲۰	-۱۳٫۱	-۲۰٫۶
s	۰٫۴۱	۱	۴	۱٫۲	۰٫۸	۱٫۳	۱	۰٫۷
Regress-volume (%)	۷۹٫۹	۱۵٫۹	۳٫۴۲	۱۹٫۸	۴۵٫۶	۱۴٫۱	۴۷٫۱	۱۲٫۹

s	۲۷/۱	۱۴/۶	۴/۷۱	۱۲/۴	۲۸	۷/۶	۳۱/۷	۳/۱
Goodness of fit	۰/۷۶۹۹	۰/۹۵۷۱	۰/۴۹۷۱	۰/۲۵۶۶	۰/۹۶۲۲	۰/۸۴۱۲	۰/۹۸۷۵	۰/۱۶۰۶

بحث و بررسی

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که CSD وابسته به بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز خطی و لذا تک جمعیتی ولی در خصوص آمفیبول‌ها؛ گروهی دارای CSD خطی و گروهی دارای CSD منحنی شکل و لذا دو جمعیتی هستند (شکل ۵، ۶، ۷). لذا ارائه مدلی ساده مبنی بر حضور یک جمعیت تنها از بلورها برای آمفیبول‌ها، نمی‌تواند مفید باشد. هایگنس [۵] معتقد است که اختلاط فیزیکی دو ماگمای متفاوت و یا اختلاط دو جمعیت از بلور با CSD مستقیم و صاف و نیز رخداد چند مرحله‌ی تبلور در طول صعود ماگما، می‌تواند CSDهای منحنی شکل ایجاد نماید. لذا حضور چنین CSD هایی در نمونه‌های منطقه - ی مورد بررسی با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در منطقه و عدم حضور شواهدی مبنی بر اختلاط دو ماگمای متفاوت [۱]، می‌تواند به دنبال اختلاط دو جمعیت از بلورها (هر کدام با CSDهای خطی که با هم همپوشی دارند) و حضور دوره‌های متعدد سرد شدن در طول صعود و جایگیری ماگما رخ داده باشد. به بیانی دیگر اقامت‌های متعدد ماگما در اتاقک‌های ماگمایی می‌تواند باعث ایجاد چند مرحله‌ی تبلور و نهایتاً باعث ایجاد CSD منحنی شکل شود. لازم به یادآوری است که حتی تنها دو دوره‌ی متفاوت از تبلور برای ایجاد چنین CSD کافی است. در کل رخداد خمش در CSD نشان دهنده‌ی تغییر در شرایط تبلور است. در این نمودارها بخش‌هایی از CSD منحنی شکل با شیب‌های تند به میکروولیت‌ها و قسمتی از آن با شیب ملایم به بلورهای بزرگ وابسته‌اند که این موارد در نمودارهای استفاده شده همچون شکل ۸ با عکس‌های میکروسکوپی نیز مشخص شده است، به گونه‌ای که بلورهای بزرگ به بخش راست نمودار و بلورهای کوچک و بلورهای موجود در زمینه به بخش چپ منحنی نسبت داده شد.

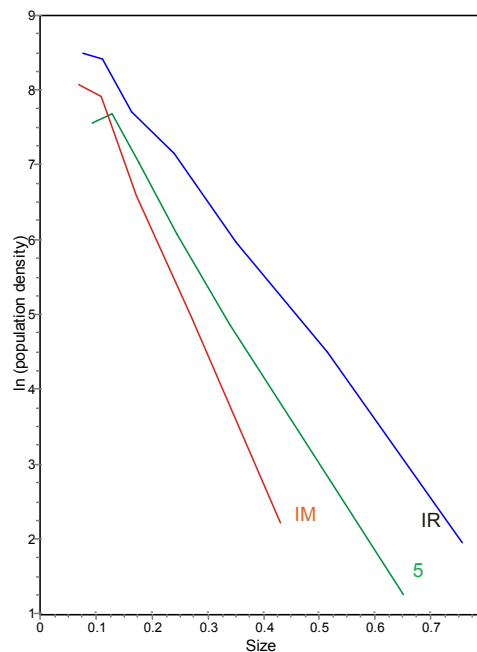
برای بررسی مدل و روند تکامل ماگما، بررسی شرایط فیزیکی (مانند فشار) در طول تبلور ماگما مورد نیاز است. از طرفی فشار وابسته به تبلور فنوکریست مستقیماً به عمق اتاق ماگمایی مربوط می‌شود. دما- فشارسنجی روی فنوکریست‌های آمفیبول موجود در گدازه‌های تشکیل دهنده‌ی منطقه می‌تواند نشان دهنده‌ی عمق اتاقک ماگمایی باشد. منحنی‌های CSD

مورد بررسی نشان می‌دهند که هسته‌زایی و رشد در این فنوکریست‌ها از بلورهای بزرگ با تعداد کم آغاز شده و به سمت بلورهای کوچکتر با تعداد فراوانتر پیش رفته است. از طرف دیگر بررسی‌های سنگ نگاری و نتایج آنالیزهای ریز پردازشی، حضور دو نوع آمفیبول را در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. گروه اول، آمفیبول‌های با اندازه‌ی کوچک که در عمق و فشار نسبتاً کم تشکیل شده‌اند (با میزان آلومینیوم کمتر) و بیشترین جمعیت را به خود اختصاص داده‌اند. گروه دوم آمفیبول‌های قهوه‌ای رنگ با اندازه بزرگتر که وابسته به هسته - زایی و رشد در اتاق ماگمایی پایین‌تر و عمق و فشار بیشتر (با میزان آلومینیوم بیشتر) و کمترین جمعیت را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲ و ۳). در حقیقت در اتاقک ماگمایی عمیق‌تر، آمفیبول‌های بزرگتر (بیشتر قهوه‌ای رنگ) شروع به هسته‌زایی و رشد کرده‌اند و سپس با صعود و جایگیری ماگما در اتاقک ماگمایی بالاتر، دیگر آمفیبول‌ها شروع به رشد کرده‌اند. آمفیبول‌های اخیر (فشار تبلور کمتر) یا به‌صورت بلورهای مستقل و یا در اطراف آمفیبول‌های از قبل متبلور شده، رشد کرده‌اند. در حقیقت CSDهای وابسته به نمونه‌های مورد بررسی، شواهدی هستند از یک فرایند مهم: اختلاط بلورها با دو جمعیت با ترکیب و فشار تبلور متفاوت. CSDهای صاف با شیب تند به بلورهای با فشار پایین، و CSDهای منحنی شکل با شیب آرام به بلورهای آمفیبول تبلور یافته در فشار بالا وابسته‌اند.

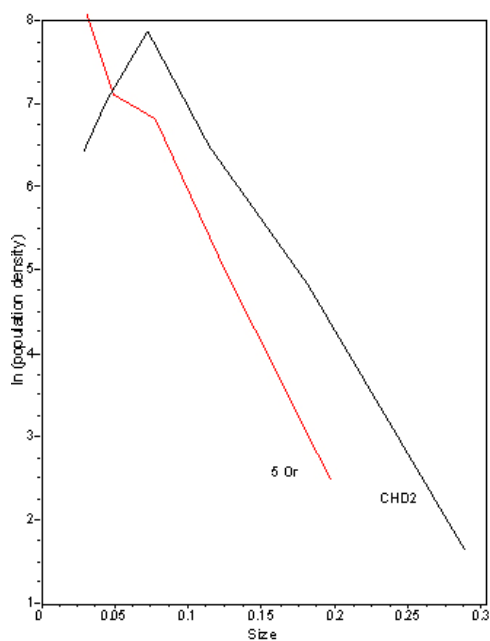
با توجه به بررسی‌های انجام شده به روش آنالیز CSD روی آندزیت و داسیت‌های منطقه و ترکیب آن با نتایج آنالیزهای ریز پردازشی و دما- فشارسنجی (جدول ۲ و ۳، شکل ۹) می‌توان گفت که این بلورها در سه مرحله تبلور ایجاد شده‌اند: بزرگترین بلورها در اتاقک ماگمایی عمیق‌تر شروع به هسته‌زایی و رشد کرده‌اند (فشار حدود ۸ کیلو بار). زمانی که ماگما به سمت بالا صعود می‌کند (با توجه به بالا بودن میدان پایداری آمفیبول)، در اتاقک‌های ماگمایی بالاتر (فشارهای حدود ۳-۴ کیلو بار) هسته‌زایی و رشد همچنان ادامه داشته و بلورهای آمفیبول که از لحاظ اندازه نسبت به بلورهای اولیه کوچکتر و دارای فشار تبلور پایین‌تری هستند، تشکیل شده‌اند، ولی

زایی و رشد خواهند کرد و از طرفی با توجه به مشاهدات سنگ‌نگاری (همچون حضور انکلوزیون‌هایی از آمفیبول داخل فلدسپارها در تعدادی از مقاطع) و ژئوشیمیایی (فقدان آنومالی یورانیوم که به دلیل میزان بالای آب ماگما - حضور فنوکریست‌های فراوان آمفیبول - می‌تواند به تبلور فلدسپات در مراحل نهایی جدایش نسبت داده شود)، می‌توان گفت که هسته‌زایی و رشد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کوارتز، به جایگیری ماگما در اتاق ماگمایی نزدیک به سطح وابسته‌اند، که تک‌جمعیتی بودن این دو کانی را تایید می‌کند.

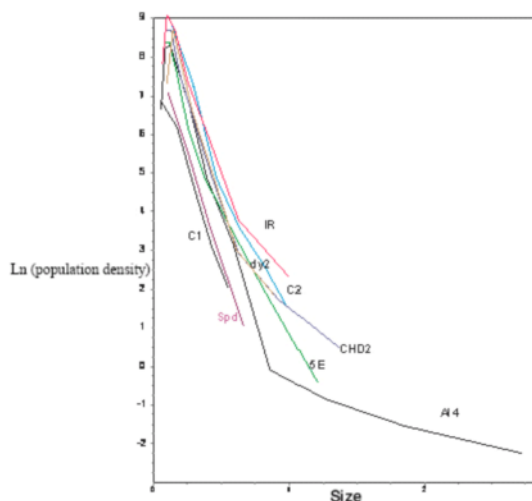
جمعیت سوم آمفیبول‌ها به میکرولیت‌ها وابسته است. میکرولیت‌ها در طول سرد شدن سریع ماگما در سطح رخ داده‌اند. در شکل ۱۰، نمودار سرانگشتی برای نشان دادن مکان‌های احتمالی اتاق ماگمایی در یک مقطع عرضی لیتوسفر همراه با تکامل بافت فنوکریست‌های آمفیبول در طول صعودشان به سطح و الگوی CSD مربوطه نشان داده شد. با توجه به اینکه در ماگماهای آبدار اصولاً آمفیبول‌ها زودتر شروع به تبلور می‌کنند و سپس با صعود ماگما و کاهش میزان آب، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و نهایتاً کوارتز شروع به هسته-



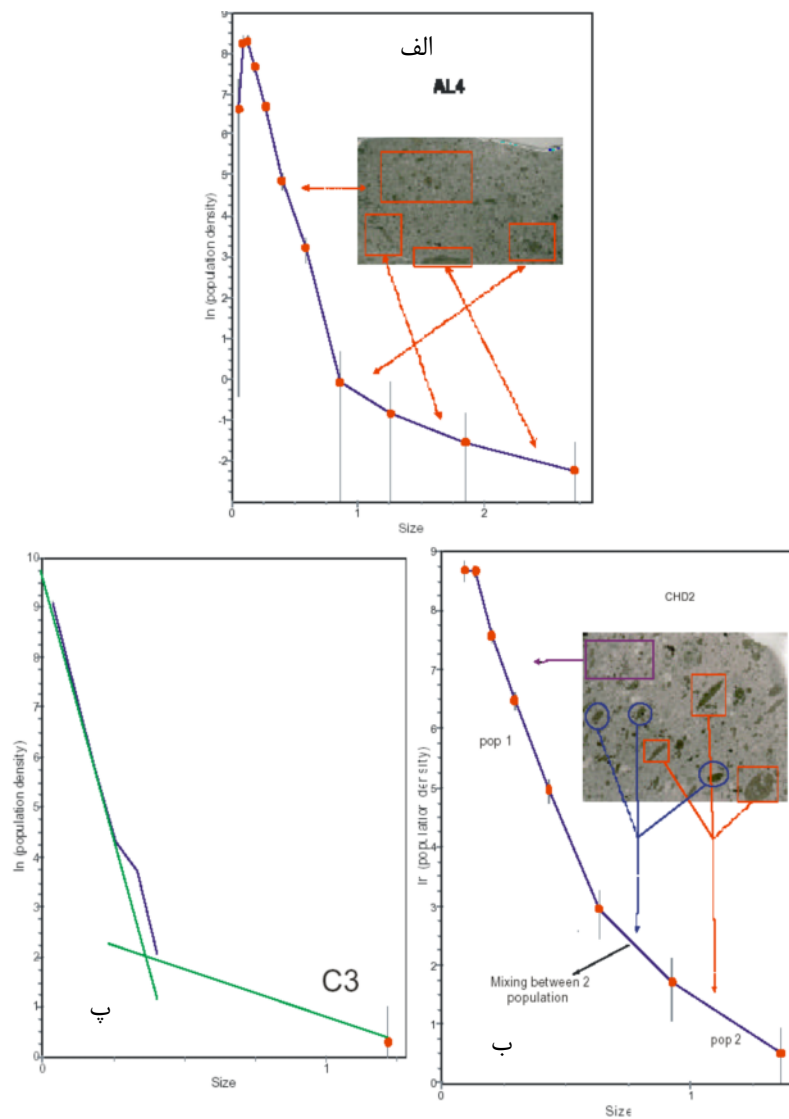
شکل ۵ نمودار CSD مربوط به فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (اسامی نمونه‌ها: IR, IM, 5).



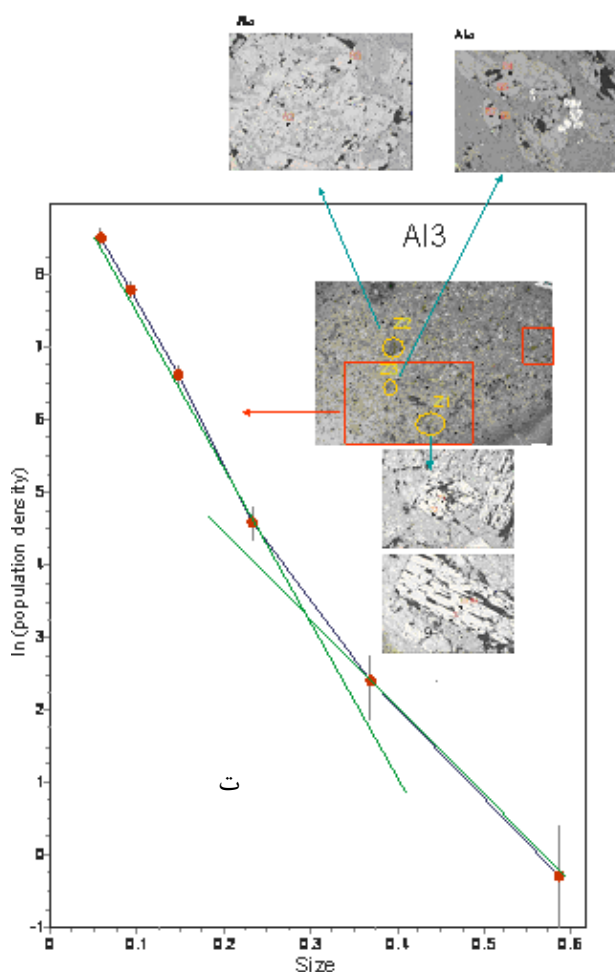
شکل ۶ نمودار CSD فنوکریست‌های کوارتز (CHD2, 5Or: اسامی نمونه‌ها).



شکل ۷ نمودار CSD فنوکریست‌های آمفیبول در نمونه‌های آندزیتی و داسیت (هریک از منحنی‌ها بررسی CSD را روی یک مقطع نازک جداگانه نشان می‌دهد).



شکل ۸ (الف، ب، پ) چگونگی خمش در نمودارهای وابسته به CSD در فنوکریست‌های آمفیبول مورد بررسی (مقاطع نازک متعدد مورد بررسی با بلورهای آمفیبول بزرگ و کوچک).



ادامه شکل ۸ (ت) چگونگی خمش در نمودارهای وابسته به CSD در فلوکریست‌های آمفیبول مورد بررسی (مقاطع نازک متعدد مورد بررسی با بلورهای آمفیبول بزرگ و کوچک).

جدول ۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی و محاسبات ساختاری آمفیبول‌های مورد بررسی

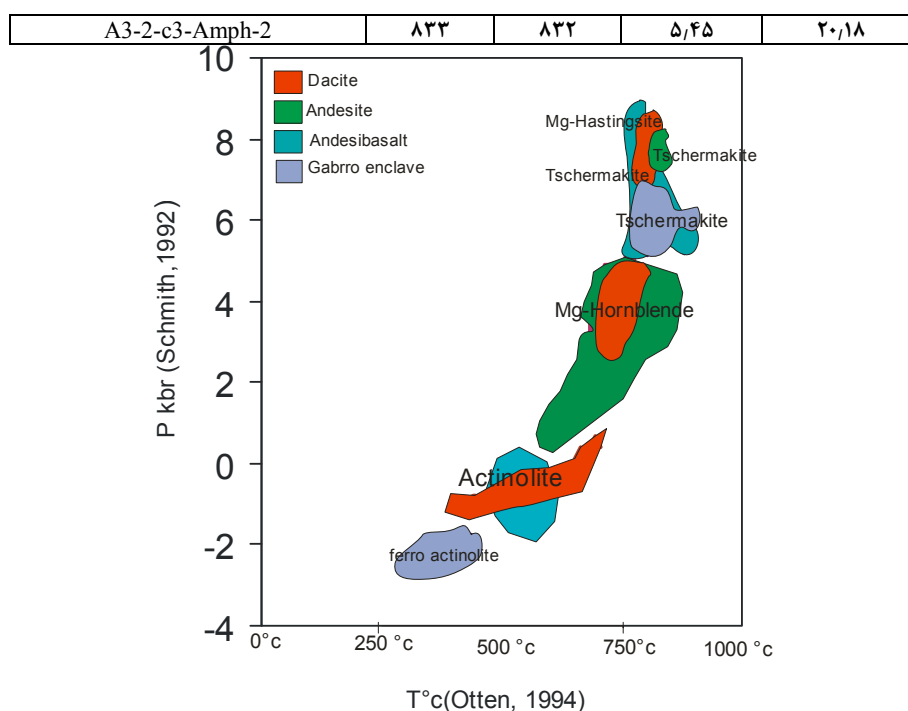
Label	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	Tot
IE-c4AmphCore-1	۴۵٫۹۱	۱٫۴۹	۸٫۷۶	۱۳٫۵۹	۰٫۴۷	۱۳٫۹۳	۱۱٫۰۱	۱٫۵۳	۰٫۵۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۹۷٫۲۵
IE-c4Amph-2	۴۶٫۸۵	۱٫۳۶	۸٫۰۷	۱۳٫۲۵	۰٫۴۹	۱۴٫۵۳	۱۰٫۹۴	۱٫۳۸	۰٫۵۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۹۷٫۴۰
IE-c4AmphRim-7	۴۷٫۷۲	۱٫۲۷	۷٫۶۵	۱۲٫۷۵	۰٫۴۸	۱۴٫۸۰	۱۰٫۹۷	۱٫۳۵	۰٫۴۸	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۹۷٫۴۸
IE-c4AmphRim-8	۴۷٫۹۵	۱٫۳۰	۷٫۶۱	۱۲٫۶۷	۰٫۵۰	۱۴٫۵۶	۱۰٫۸۹	۱٫۳۶	۰٫۵۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۹۸٫۴۱
A3-2-c1Amph-1	۴۳٫۹۶	۲٫۲۵	۱۰٫۴۴	۱۳٫۳۲	۰٫۲۳	۱۳٫۸۵	۱۰٫۹۰	۲٫۱۱	۰٫۴۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۹۷٫۵۸
A3-2-c1Amph-2	۴۳٫۹۹	۲٫۱۶	۱۰٫۴۵	۱۳٫۳۱	۰٫۲۱	۱۴٫۰۶	۱۰٫۸۶	۲٫۱۸	۰٫۴۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۹۷٫۶۶
A3-2-c1Amph-6	۴۴٫۲۰	۱٫۹۳	۱۰٫۱۳	۱۳٫۲۲	۰٫۲۵	۱۴٫۰۸	۱۰٫۷۰	۲٫۱۲	۰٫۳۵	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۹۷٫۰۰
511-c1Amph-1	۴۷٫۶۷	۱٫۴۳	۷٫۱۸	۱۱٫۱۵	۰٫۶۳	۱۶٫۱۵	۱۰٫۸۹	۱٫۹۸	۰٫۴۷	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۹۷٫۵۶
511-c1Amph-2	۴۶٫۵۶	۱٫۵۰	۷٫۸۰	۱۱٫۷۳	۰٫۵۲	۱۵٫۵۵	۱۰٫۸۹	۲٫۰۷	۰٫۵۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۹۷٫۱۴
511-c1Amph-6	۴۵٫۰۵	۱٫۵۸	۸٫۸۸	۱۲٫۱۴	۰٫۵۳	۱۴٫۸۹	۱۰٫۹۹	۲٫۲۳	۰٫۷۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۹۷٫۰۷
511-c1Amph-7	۴۶٫۹۹	۱٫۴۲	۷٫۸۰	۱۰٫۹۴	۰٫۵۹	۱۶٫۰۶	۱۱٫۰۲	۲٫۰۴	۰٫۵۶	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۹۷٫۴۸
C1-c2AmphCore-1	۴۲٫۲۸	۱٫۹۰	۱۳٫۱۳	۱۱٫۸۱	۰٫۲۶	۱۳٫۵۸	۱۱٫۳۳	۲٫۱۷	۰٫۵۷	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۹۷٫۱۳
C1-c2Amph-2	۴۲٫۲۹	۱٫۹۴	۱۳٫۲۷	۱۱٫۳۷	۰٫۳۱	۱۳٫۹۰	۱۱٫۵۷	۲٫۱۸	۰٫۵۲	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۹۷٫۴۴
C1-c2AmphRim-7	۴۶٫۳۷	۱٫۴۴	۸٫۳۱	۱۳٫۶۲	۰٫۵۳	۱۴٫۰۲	۱۰٫۹۲	۱٫۴۶	۰٫۵۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۹۷٫۲۰
C1-c2AmphRim-8	۴۵٫۴۹	۱٫۵۹	۹٫۰۰	۱۳٫۵۴	۰٫۴۸	۱۳٫۸۷	۱۰٫۸۶	۱٫۶۴	۰٫۶۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۹۷٫۱۳

ادامه جدول ۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی و محاسبات ساختاری آمفیبول‌های مورد بررسی.

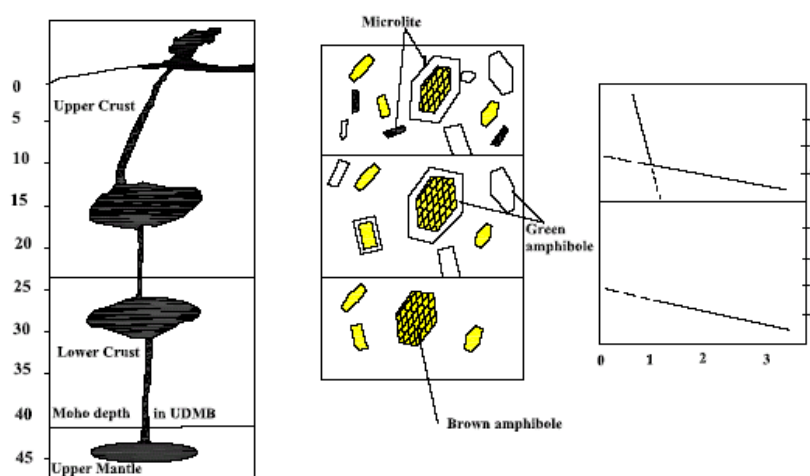
Label	محاسبه کاتیونها بر اساس ۲۳ اکسیژن													
	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Ba	Na	K	F	Cl	Sum
IE-c4AmphCore-	۶٫۸۱۶	۰٫۱۶۶	۱٫۵۳۳	۱٫۶۸۸	۰٫۰۵۹	۳٫۰۸۲	۱٫۷۵۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۴۴۲	۰٫۱۰۶	۰٫۲۰۷	۰٫۰۳۲	۱۵٫۶۴
IE-c4Amph	۶٫۸۹۹	۰٫۱۵۱	۱٫۴۰۱	۱٫۶۳۲	۰٫۰۶۱	۳٫۱۹۰	۱٫۷۲۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۳۹۵	۰٫۰۹۹	۰٫۰۸۴	۰٫۰۳۲	۱۵٫۵۵
IE-c4AmphRim1	۶٫۹۹۳	۰٫۱۴۰	۱٫۳۲۲	۱٫۵۶۲	۰٫۰۵۹	۳٫۲۳۳	۱٫۷۲۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۳۸۴	۰٫۰۸۹	۰٫۰۹۳	۰٫۰۲۸	۱۵٫۵۰
IE-c4AmphRim2	۷٫۰۳۲	۰٫۱۴۳	۱٫۳۱۵	۱٫۵۵۴	۰٫۰۶۲	۳٫۱۸۲	۱٫۷۱۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۳۸۶	۰٫۰۹۶	۰٫۱۲۳	۰٫۰۲۹	۱۵٫۴۸
A3-2-c1Amph-1	۶٫۵۰۹	۰٫۲۵۱	۱٫۸۲۱	۱٫۶۵۰	۰٫۰۲۹	۳٫۰۵۷	۱٫۷۲۹	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۶۰۵	۰٫۰۸۵	۰٫۱۰۱	۰٫۰۲۹	۱۵٫۷۴
A3-2-c1Amph-2	۶٫۵۱۶	۰٫۲۴۰	۱٫۸۲۵	۱٫۶۴۹	۰٫۰۲۶	۳٫۱۰۳	۱٫۷۲۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۶۲۵	۰٫۰۸۳	۰٫۱۸۷	۰٫۰۲۸	۱۵٫۷۹
A3-2-c1Amph-6	۶٫۵۶۷	۰٫۲۱۶	۱٫۷۷۳	۱٫۶۴۳	۰٫۰۳۱	۳٫۱۱۹	۱٫۷۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۶۱۲	۰٫۰۶۷	۰٫۰۹۶	۰٫۰۲۷	۱۵٫۷۳
511-c1Amp1	۶٫۹۷۲	۰٫۱۵۷	۱٫۲۳۷	۱٫۳۶۳	۰٫۰۷۸	۳٫۵۲۱	۱٫۷۰۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۵۶۱	۰٫۰۸۸	۰٫۱۹۸	۰٫۰۱۸	۱۵٫۶۸
511-c1Amp2	۶٫۸۷۹	۰٫۱۶۷	۱٫۳۵۹	۱٫۴۴۹	۰٫۰۶۶	۳٫۴۲۴	۱٫۷۲۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۵۹۳	۰٫۰۹۴	۰٫۲۴۰	۰٫۰۳۶	۱۵٫۷۵
511-c1Amp6	۶٫۷۰۱	۰٫۱۷۷	۱٫۵۵۶	۱٫۵۱۰	۰٫۰۶۷	۳٫۳۰۱	۱٫۷۵۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۶۴۲	۰٫۱۴۰	۰٫۱۷۹	۰٫۰۴۶	۱۵٫۸۴
511-c1Amp7	۶٫۸۸۶	۰٫۱۵۷	۱٫۳۴۶	۱٫۳۴۱	۰٫۰۷۴	۳٫۵۰۹	۱٫۷۳۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۵۷۸	۰٫۱۰۴	۰٫۱۷۸	۰٫۰۲۰	۱۵٫۷۳
C1-c2AmphCore1	۶٫۲۵۸	۰٫۲۱۱	۲٫۲۹۱	۱٫۶۶۱	۰٫۰۳۳	۲٫۹۹۶	۱٫۷۹۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۶۲۲	۰٫۱۰۷	۰٫۰۵۴	۰٫۰۱۰	۱۵٫۷۸
C1-c2Amph2	۶٫۲۲۹	۰٫۲۱۵	۲٫۳۰۴	۱٫۴۰۰	۰٫۰۳۹	۳٫۰۵۳	۱٫۸۲۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۶۲۲	۰٫۰۹۸	۰٫۰۴۷	۰٫۰۰۹	۱۵٫۷۹
C1-c2AmphRim7	۶٫۸۵۲	۰٫۱۶۰	۱٫۴۴۷	۱٫۶۸۳	۰٫۰۶۶	۳٫۰۸۸	۱٫۷۲۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۴۱۹	۰٫۱۰۰	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۱	۱۵٫۵۴
C1-c2AmphRim8	۶٫۷۵۲	۰٫۱۷۷	۱٫۵۷۵	۱٫۶۸۰	۰٫۰۶۰	۳٫۰۶۷	۱٫۷۲۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۴۷۱	۰٫۱۲۱	۰٫۰۷۴	۰٫۰۳۵	۱۵٫۶۳

جدول ۳ نتایج دما- فشار سنجی آمفیبول‌های مورد بررسی.

Samples	T°C [11]	T°C [12]	P kbar [13]	Depth (km)
IE-c4AmphCore-1	۷۴۲	۷۴۲	۴٫۱۷	۱۵٫۴۵
IE-c4AmphRim-6	۷۰۲	۶۹۷	۳٫۳۹	۱۲٫۵۶
IE-c4AmphRim-7	۷۱۱	۷۰۷	۳٫۲۰	۱۱٫۸۵
IE-c5Amph2Cor-1	۸۲۳	۸۲۳	۸٫۰۰	۲۹٫۶۳
IE-c5Amph2Cor-2	۷۲۸	۷۲۶	۴٫۱۷	۱۵٫۴۶
IE-c5Amph2-3	۷۵۴	۷۵۵	۴٫۸۰	۱۷٫۷۹
IE-c5Amph2-4	۷۵۷	۷۵۸	۴٫۸۰	۱۷٫۷۹
A3-1-c1Amph-2	۵۸۲	۵۸۱٫۶۸	-۰٫۸۳	-۳٫۰۷
A3-1-c1Amph-3	۶۰۸	۶۰۰	-۰٫۷۷	-۲٫۸۴
A3-1-c1Amph-4	۶۰۲	۵۴۸	-۰٫۰۱	-۰٫۰۳
A3-1-c3AmpCore-1	۸۱۰	۸۱۰	۷٫۴۳	۲۷٫۵۲
A3-1-c3AmpCore-2	۷۸۳	۷۸۴	۸٫۴۰	۳۱٫۱۰
A3-1-c3Amp-3	۸۰۷	۸۰۷	۷٫۵۹	۲۸٫۱۰
A3-1-c3AmpRim-8	۸۲۵	۸۲۵	۵٫۷۵	۲۱٫۲۹
A3-1-c3AmpRim-9	۸۷۶	۸۷۰	۵٫۶۷	۲۱٫۰۰
A3-1-c3AmpRim-10	۸۸۸	۸۸۱	۵٫۴۴	۲۰٫۱۴
C3 z2-74core	۸۳۰	۸۲۹	۷٫۵۳	۲۷٫۸۸
C3 z2-73 rim	۷۱۷	۷۱۵	۳٫۲۳	۱۱٫۹۷
5E-c3-Amph-1	۸۰۶	۸۰۷	۸٫۱۴	۳۰٫۱۶
5E-c3-Amph-2	۷۸۶	۷۸۶	۸٫۴۹	۳۱٫۴۶
5E-c3-Amph-3	۷۹۴	۷۹۵	۸٫۲۱	۳۰٫۴۱
5E-c3-Amph-4	۸۰۷	۸۰۷	۸٫۲۸	۳۰٫۶۹
5E-c3-Amph-5	۸۰۵	۸۰۶	۸٫۳۴	۳۰٫۸۸
5E-c1-Amph-2	۶۶۴	۶۴۸	-۰٫۳۱	-۱٫۱۴
5E-c1-Amph-3	۶۴۵	۶۲۱	-۰٫۲۸	-۱٫۰۵
5E-c2-Amph-1	۷۵۵	۷۵۵	۴٫۱۷	۱۵٫۴۴
5E-c2-Amph-2	۷۵۰	۷۵۰	۴٫۲۱	۱۵٫۵۸
5E-c2-Amph-3	۷۷۸	۷۷۸	۴٫۶۷	۱۷٫۳۱
C1-c2AmphCore-1	۷۹۶	۷۹۷	۷٫۷۷	۲۸٫۷۹
C1-c2Amph-2	۸۰۱	۸۰۱	۷٫۸۳	۲۹٫۰۱
C1-c2AmphRim-6	۷۴۳	۷۴۳	۴٫۶۴	۱۷٫۲۰
C1-c2AmphRim-7	۷۳۵	۷۳۴	۳٫۸۰	۱۴٫۰۶
A3-2-c1Amph-1basic enclave	۸۴۳	۸۴۱	۵٫۵۴	۲۰٫۵۳
A3-2-c1Amph-2	۸۳۰	۸۲۸	۵٫۵۴	۲۰٫۵۰
A3-2-c2Amph-1	۸۱۷	۸۱۷	۶٫۴۵	۲۳٫۸۸
A3-2-c2Amph-2	۷۹۵	۷۹۶	۶٫۸۳	۲۵٫۲۸
A3-2-c3-Amph-1	۸۱۰	۸۱۰	۵٫۶۹	۲۱٫۰۸



شکل ۹. نمایش دما نسبت به فشار در آمفیبول‌های مورد بررسی.



شکل ۱۰. نمودار سرانگشتی نشان دهنده مکان‌های احتمالی اتاق ماگمایی در یک مقطع عرضی در لیتوسفر، تکامل بافت فنوکریست‌های آمفیبول در طول صعودشان به سطح و الگوی CSD مربوطه در نمونه‌های مورد بررسی در جنوب غرب تهران (عمق موهو در ارومیه دختر از ۱۰). [۱۰].

برداشت

با بررسی کمی بافت و توزیع اندازه‌ی بلورها همراه با بررسی‌های ریزپردازشی و دما- فشارسنجی، می‌توان در خصوص فرایندهای شکل‌گیری ماگما در اتاق ماگمایی، به اطلاعات مفیدی دست یابیم. CSDهای تصویر شده برای آمفیبول‌های سنگ‌های مورد بررسی (اندزیت، داسیت) دو نوع توزیع نشان می‌دهند: گروهی

دارای CSD صاف با کمی انحنا و گروه دیگر دارای انحنای قابل توجهی است که در آن CSD برای بلورهای کوچک صاف و برای بلورهای بزرگ به صورت منحنی است. CSD منحنی شکل اختلاط دو جمعیت بلور با تاریخ تبلور متفاوت را نشان می‌دهد. جمعیت نوع اول، آمفیبول‌های قهوه‌ای با هسته‌های غنی از Al که در فشارهای حدود ۸ کیلو بار متبلور شده‌اند و نوع

- [5] Higgins M.D., "Crystal size distributions and other quantitative textural measurements in lavas and tuff from Mt Taranaki (Egmont volcano), New Zealand", *Bulletin of Volcanology*, 58 (1996b).
- [6] Armienti P., Pareschi M.T., Innocenti F., Pompilio M., "Effects of magma storage and ascent on the kinetics of crystal growth", *Contribution to mineralogy and petrology* 115 (1994) 402-414.
- [7] Voorhees P.W., "Ostwald ripening of two phase mixtures", *Annual Review of Materials Science* 22 (1992) 197-215.
- [8] Higgins M.D., "Closure in crystal size distributions (CSD), verification of CSD calculations, and the significance of CSD fans", *American Mineralogist* 87 (2002b) 171-175.
- [9] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., "Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral names", *American Mineralogist*, 82 (1997) 1019-1037.
- [10] Mokhtari M., Farahbod A.M., Lindholm C., Alahyarkhani M., Bungum H., "An approach to a comprehensive moho depth map and crust and upper mantle velocity model for Iran", *Iranian International Journal of Sciences* 5(2) (2004) 223-244.
- [11] Féménias O., "Contribution à l'étude du magmatisme tardi- à post-orogénique. De sa source à sa mise en place en sub-surface: Exemples régionaux de lessaim de P lons du Motru (Roumanie) et du complexe lité profond sous Beaunit (France)", PhD dissertation, Université Libre de Bruxelles, (2003) 450 p
- [12] Otten M.T., "The origin of brown hornblende in the Artssjället gabbros and dolerites", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 86 (1984) 185-199.
- [13] Schmidt MW., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 110 (2-3) (1992) 304.
- دوم، آمفیبول‌های سبز با هسته‌ای با میزان آلومینیوم کمتر که در حاشیه‌ی آمفیبول‌های قهوه‌ای و یا به صورت مستقل و در فشارهای حدود ۳-۴ کیلو بار تشکیل شده‌اند. نوع ۱ دارای منحنی‌هایی با شیب ملایم و نوع ۲ دارای منحنی‌هایی با شیب تند است. بررسی‌های دما- فشارسنجی نیز نشان می‌دهد که جمعیت‌های بلوری در یک عمق مشابه متبلور نشده‌اند، بلکه احتمالاً جمعیت اول از یک اتاق ماگمایی در پوسته‌ی پایینی و جمعیت دوم به اتاق ماگمایی دیگر در پوسته بالایی وابسته است. آمفیبول‌های ریز بلور که در زمینه حضور دارند (میکرولیت‌ها) در طول جایگیری جریان گدازه در سطح زمین تشکیل شده‌اند و البته حضور یک اتاق ساب ولکانیکی را هم نباید نادیده گرفت. بنابراین احتمال حضور حداقل ۳ اتاق ماگمایی قابل پیش‌بینی است (۱) در پوسته‌ی پایینی (۲) در پوسته‌ی بالایی (۳) در مرز اتمسفر - لیتوسفر (میکرولیت‌ها).
- حضور پلاژیوکلاز در گدازه‌های منطقه، نشان دهنده‌ی تبلور این بلورها در عمق کمتر است. در حقیقت در ماگماهای با میزان بالای آب، با فقدان تبلور پلاژیوکلاز و یا کمبود آن روبه رو هستیم. لذا حضور پلاژیوکلاز در گدازه‌ها نشان دهنده‌ی تکامل ماگما در سطوح کم عمق تر و تحت شرایط فوگاسیته نسبتاً پایین تر آب و در اتاق ماگمایی نزدیک به سطح است. بنابراین می‌توان تک جمعیتی بودن پلاژیوکلاز و نیز کوارتز را توجیه کرد.
- مراجع**
- [۱] آیتی ف.، "ماگماتیسزم نئوژن در شمال شرق اراک و آلتراسیون‌های هیدروترمال وابسته"، پایان نامه دکتری دانشگاه اصفهان (۱۳۸۸) ۲۷۵ صفحه.
- [2] Marsh B.D., "On the interpretation of crystal size distribution in magmatic systems", *Journal of Petrology* 39 (1998b) 553-599.
- [3] Scoates J.S., Lo Cascio M., Weis D., Lindsley D.H., "Experimental constraints on the origin and evolution of mildly alkalic basalts from Kerguelen Archipelago, Southeast Indian Ocean", *Contributions to mineralogy and petrology*, 151 (2006) 582-599.
- [4] Cashman K., Marsh B., "Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization. makaopuhi lava lake", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 99 (1988) 292-305.