

سال هجدهم، شمارهٔ۳، پاییز ۸۹، از صفحهٔ ۴۱۹ تا ۴۳۰



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

فريماه آيتى*'، سعيد مهدورى

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 کمّی بافت و توزیع اندازهی بلورها بر فنوکریستهای آمفیبول، پلاژیوکلاز و کوارتز همراه با بررسی-های ریز پردازشی و دما- فشارسنجی روی کانی آمفیبول استفاده کردیم تا در خصوص فرایندهای شکل گیری ماگما در اتاقک ماگمایی آگاهیهایی به دست آوریم. بررسیهای سنگنگاری و استفاده از دما- فشار سنجی 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 عمق و در شرایط فوگاسیته نسبتاً پایین تر آب و در اتاقک ماگمایی نزدیک به سطح است.

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

مقدمه

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 بهصورت مجموعههای آتشفشانی و سابولکانیک در منطقه تظاهر کردهاند. سنگهای آذرین مورد بررسی دارای ماهیت ژئوشیمیایی کالکوآلکالن هستند. مجموعه ی کانیهای تشکیل دهندهی این سنگها از پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت همراه با پیروکسن و آثاری از فلدسپات پتاسیم تشکیل شدهاند. ترکیبهای در مجموعهی سنگهای آذرین مورد بررسی دارای ترکیب های متنوع (چرماکیت، منیزیو هاستنگسیت، منیزیوهورنبلند، اکتینولیت) (شکل ۲) با دما و فشار متفاوتند. آمفیبولهایی که تحت تاثیر دگرسانی و دگرنهادی قرار گرفتند،

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 شکل گیری تدریجی گروههای سنگی مورد بررسی همراه با بررسیهای دیگر ژئوشیمی انجام شده بر روی سنگهای آذرین موجود درمنطقه، 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

* نویسنده مسئول، تلفن: ۲۲۲۶۳۱۱)، ۲۲۲۲۲۹۰، نمابر: ۲۲۲۲۲۹۰(۳۸۱)، پست الکترونیکی: F_ayati@geol.ui.ac.ir



شکل ۲ نمودار تقسیم بندی آمفیبول های کلسیک [۹] (■ ♦•♦+ آندزیت و داسیت، ■ برونبوم بازی، ♦ حاشیه برونبوم، ▲ ■ ♦ آمفیبول های دگرسان)

> در این پژوهش با بررسی و آنالیز ¹CSD (آنالیز بافتی) و ترکیب آن با آنالیزهای ریزپردازشی و بررسیهای دما- فـشارسنجی انجام شده بر روی آمفیبولها، به اطلاعاتی در خـصوص تکامـل ماگما در اتاقکهای ماگمایی دست مییابیم.

> فرایندهای وابسته به اتاقـکهای ماگمایی را مـیتـوان بـا بررسی نمونههای گدازه در سنگهای آتشفشانی و یا در سنگ-های آذرین درونی که محصولهای نهایی کاملاً منجمد و سخت

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

¹⁻ Crystal Size Distribution

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 مستقیما به عمق اتاقک ماگمایی وابسته است. لذا انجام دما- فشارسنجی (در این بررسی روی آمفیبولها) می تواند راهنمایی برای تشخیص عمق اتاقکهای 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 میده. نمودار CSD به صورت یک خط صاف است. مارش همچنین نشان داد که در شرایط خاص، تبلور در سیستم های بسته (در پاسخ به پیشرفت فزایندهی سرد شدن) نیز می تواند 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 CSDهای منحنی شکل یلاژیوکلاز در داسیتهای جزیره ی Kameni در یونان، با اختلاط فیزیکی دو ماگما ایجاد شده است. به علاوه ، اختلاط تقريبا هر دو جمعيت بلور با CSD صاف نيز مے تواند چنين CSD منحنی شکلی را ایجاد کند. آرمینتے[۶] پیـشنهاد کـرد که CSDهای منحنی شـکل در ماگمـای Etna بـا سـه دورهی یپوسته از سردشدن در طول صعود و جایگیری ماگما ایجاد شدهاند. فرایند دیگر برای ایجاد اینگونه CSDها میتواند درشت شدگی بافتی باشد که درآن دانههای کوچکتر حل شده و همزمان، دانههای بزرگتر رشد می کنند [۷]. با استفاده از CSD مىتوان مدلى براى روند تكامل ماگما درطول توقف آن در اتاقک یا اتاقکهای ماگمایی و درطول صعود آن به سطح یا نزدیک به سطح زمین ارائه کرد، لذا می توان در خصوص رخداد فرايندهايي همجون اختلاط ماكمايي و اختلاط جمعيت بلورها در ماگمای منطقه به اطلاعاتی دست یافت. CSD دربر گیرنده-ی دو بعد است: ۱- اندازه بلور ۲- تراکم جمعیت^۲ (P.D).

تعیین اندازهی یک بلور یا دانه، درحقیقت تعیین فضایی است که بلور را در بر گرفته است. اگر شکل بلور درطول رشد یا انحلال تغییر کند، اندازه گیری 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، اندازه گیری خطی معمولا مناسب تر است. بنابراین تغییر در سرعت رشد یک بلور به صورت رشد خطی، مثلاً چند میلی متر در ثانیه میباشد. در اکثر کاربردهای زمین شناسی، اندازه گیری خطی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

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

۱ – اندازهگیری بزرگترین فاصله بین دو نقطه روی سطح بلور ۲– اندازهگیری طول محور اصلی یک بیضی کاملاً منطبق بـر 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.

یارامتر یک بعدی دیگر وابسته به CSD، تراکم تعداد دانهها یا بلورهاست (P.D) می باشد. این یارامتر در حقیقت به عنوان تعداد کل بلورها در واحد حجم بیان می شود. هر دوی این یارامترها (اندازهی بلور و تراکم آن) زیر مجموعهی پارامتری غنی از اطلاعات و مهم یعنی توزیع اندازهی بلور است. لازم به یادآوری است است کے CSD بلورھا یک نوع اندازہ گیری حجمی است، ولی اندازهی بلور و تعداد آن در مقاطع نازک تنها در دو بعد اندازه گیری می شود. 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-یCSD Correction استفاده کردیم. در این برنامه برای تبديل اينگونه اطلاعات، از نسبت ابعاد بلور (بعد كوتاه (8): بعد متوسط (I): بعد بلند(L)) و فاكتور گردشدگی (Roundness factor) آن (۱ = بیضوی، ۰ = مکعبے) استفادہ مے شود [۸]. برای محاسبهی حجم کانی از سه بعد کوتاه (S)، حدواسط (I) و بلند (L) بلور استفاده می شود. 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

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

I/L (Skewness) (انحراف معیار /(مـد – متوسط)) داده ها و I/L تعیین می شود. به علاوه برای تعیین تعداد بلورها در واحد حجم و حذف اثر مقطع نازک، فاکتور اصلاحی α برای اندازهٔ هر بخش محاسبه می شود:

 $Nv = Na/(D.\alpha)$

Na: تعداد ذرهها در واحد سطح Nv: تعداد ذرهها در واحد حجم D= (I + S + L)/3 اندازهی متوسط بلور (رابطهی بین Nv/Na و D با استفاده از پسرفت خطی به دست میآید و شیب خط برابر با ضریب α است که این ضریب، ثابت شکل (Shape constant) نیز خوانده می شود).

ابعاد و فاکتور گردشدگی مورد استفاده برای پلاژیوکلازهای مورد بررسی به ترتیب شامل ۱۱/۵ : ۱۱/۵ و ۲/۲ و برای آمفیبولها ۲/۵ : ۲/۵ : ۱ و ۲/۵ 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)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 سنگ-های آتشفشانی است. هایگنس [۵] نشان داد که اضافه شدن دو نوع CSD صاف و مستقیم (Straight) با شیب و عرض از مبداءهای متفاوت، یک CSD با شیب تند برای بلورهای با اندازهی کوچک و با شیب بسیار آرام برای بلورهای بزرگتر ایجاد

می کند. ترکیب این دو CSD خطی، به دلیل لگاریتمی بودن محور قائم (P.D)، یک CSD منحنی شکل 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 می شود. بلورهایی که از قبل حضور داشته اند، رشد خواهند کرد و CSD آن ها به سمت راست نمودار جابه جا خواهد شد ولی شیب بخش های 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 (آندزیت 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 اندازه گیری 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 اطلاعات به دست آمده از فراوانی و اندازهی بلورها، نمودار اطلاعات به دست آمده از فراوانی و اندازهی بلورها، نمودار اولارای رسم شد و یکای اندازه گیری شده برای بلورها محود از مارش، رسم شد و یکای اندازه گیری شده برای بلورها محود برای مقیاس چگالی تجمعی ⁴



شکل۳ اضافه شدن دو CSD خطی به یکدیگر و ایجاد CSD منحنی وار. شیبهای اولیه دو تـشکیل دهنـدهی CSD بـرای انـدازههـای بـزرگ و کوچک حفظ می شود ولی عرض از مبدا آنها حفظ نمی شود.



شکل۴ تصویر اسکن شده آمفیبولهای موجود در یکی از نمونههای مورد بررسی.

	5E am 1	5E am ₂	Al ₄ am	C_1 am	$C_2 am_1$	$C_2 am_2$
Total number	164	104	149	149	276	۲۸۴
Total volume (%)	۱۲/۳	۱۲/۳	17,4	۱۰٬۳	11/17	۱۱,۳
S	۴/۱	۴/۱	۶,۵	٣/٣	۲,۲	۲/۱
Regress-intercept	٧,٩۴	9,88	9,88	9,88	۱۰٬۸۸	۷,۶۳
S	۰٬۳۳	+/18	۰/۱۳	•/22	۰/۱۳	+188
Regress-slope	-٧,٢٢	-11	-11/1	-17/9	-1٣/۴	-0,98
S	+/14	+/Y	۵,•	١	۶ _۱ ۶	+ _/ ٩٧
Regress-volume (%)	4318	۴۳٫۳	۳۱٬۸	۳۰/۹	۵۲٬۳	۶۷
S	۵۰/۱	2418	۱۲٬۵	۲۱/۹	19	191/4
Goodness of fit	+, Y +YY	+,198V	•/8282	•,۳۵۵۲	•,•9988	•,9587

- <u> </u>	سنگهاي آذرين .	های نمونه	روى آمفيبوا	ن آناليز CSD	جدول۱ نتایج
------------	----------------	-----------	-------------	--------------	--------------------

	CHD2 am1	CHD2 am2	CHD2 Q	dy2 am1	dy2 am2	IR am1	IR am2
Total number	19+	19+	11+	188	188	۲۳۹	۲۳۹
Total volume (%)	۱۳٫۴	۱۳٫۴	۳٬+۵	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	٩,٩	4,44	9,94	1+/14	٧,٩۴	1+/22	۷٬۰۵
S	٠/١٢	•/9۴	٠,٣٧	۰ _/ ۱۲	۰٬۴۵	۰٬۱۲	۰٬۵۸
Regress-slope	-1+/٣	-7,84	-26/0	-11/Y	-۶/+V	-٩,٧	-۴/۱۸
S	•/۴	۰ _/ ۸	٣/٣	+14	۰,۷	•/۴۲	۰ ₁ ۶۷
Regress-volume (%)	۵۴٬۵	۷۳٬۸	۵٫۱۱	۴۷٬۵	88,4	۶۷٫۳	۸۱٫۸
S	۱۹٫۱	۷۲۵٬۳	۷,۴۵	10	1.718	23/1	212/9
Goodness of fit	•,•٣٧٣	+/Y10A	•/4220	•,٢٠٠٩	•/•٣٧٣٢	۰,۳۵۵۷	•,9891

	IR pl	spd 2 am	5Or quartz	IM pl	5 pl	Al3 1	A13 2	C3
Total number	220	44/1	118	۲۳۲	177	202	202	536
Total volume (%)	2018	۵,۱۳	٣,٠۴	۱۲٫۲	۲۹٫۳	۸,۱۸	٨,١٨	۱۱٫۲
S	۴,۶	1,80	۱٬۰۸	٣	۷٫۹	۲/۲	۲/۲	418
Regress-intercept	٩٫٣٧	۸,۲۹	٩,.٧	٩٫۵٨	٩,٢٢	٩,٧۴	9,79	٩٫٧٨
S	+/12	•126	۰,۳۳	۰,۲	۰,۲	•،۱۷	۰ _/ ۱۹	•,•¥
Regress-slope	-۹٬۵۸	-11/1	-۳۱٬۸	-18,0	-17,8	-7+	-1٣/1	-T+18
S	+/41	١	۴	۱/۲	+,∧	۱/۳	١	۰ /۷
Regress-volume (%)	۲۹/۹	۱۵/۹	۳/۴۲	۱۹٫۸	4018	14/1	47/1	۱۲/۹

S	22/1	14,8	4,41	14/4	۲۸	۷٫۶	۳۱,۷	٣/١
Goodness of fit	۰, ۷۶۹۹	+/9221	+/F9V1	•,8889	+/9822	•/8411	۰٬۹۸۷۵	+19+9

بحث و بررسی

بررسی های 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 (شـکل ۵، ۶، ۷). لذا ارائه مدلی ساده مبنی بر حضور یک جمعیت تنها از بلورها برای آمفیبولها، نمی تواند 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، می تواند 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 [1]، مى توانند به دنبال اختلاط دو جمعيت از بلورها (هركدام با CSDهای خطی که با هم همپوشی دارند) و حضور دورههای متعدد سرد شدن درطول صعود و جایگیری ماگما رخ داده باشد. به بیانی دیگر اقامتهای متعدد ماگما در اتاقکهای ماگمایی می تواند باعث ایجاد چند مرحله ی تبلور و نهایتا 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 رخـداد خمـش در CSD نـشان دهنـدهی تغییـر درشرایط تبلور است. در این نمودارها بخشهایی از CSD منحنی شکل با شیبهای تند به میکرولیتها و قسمتی از آن با شیب ملایم به بلورهای بزرگ وابستهاند که این موارد در نمودارهای استفاده شده همچون شکل۸ 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) درطول تبلور ماگما مورد نیاز است. از طرفی فشار وابسته به تبلور فنوکریست مستقیما 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 نـشان مـیدهنـد کـه هـستهزایـی و رشـد درایـن فنوکریستها از بلورهای بزرگ با تعداد کم آغاز شده و به سمت بلورهای کوچکتر با تعداد فراوانتر ییش 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 نسبتا كم تشكيل شدهاند (با ميزان آلومينيوم كمتر) و بیـشترین جمعیـت را بـه خـود اختـصاص دادهانـد. گـروه دوم آمفیبول های قهوهای رنگ با اندازه بزرگتر که وابسته به هـسته-زایی و رشد در اتاق ماگمایی پایین تر و عمق و فشار بیـشتر (بـا میزان آلومینیوم بیشتر) وکمترین جمعیت را به خود اختصاص دادهاند (جدول ۲ و ۳). در حقیقت در اتاقک ماگمایی عمیق تر، آمفیبولهای بزرگتر (بیشتر قهوهای رنگ) شروع به هستهزایی و رشد کردهاند و سپس با صعود و جایگیری ماگما دراتاقک ماگمایی بالاتر، دیگرآمفیبولها شروع به رشد کردهاند. آمفیبول های اخیر (فشار تبلور کمتر) یا به صورت بلورهای مستقل و یا در اطراف آمفیبولهای از قبل متبلور شده، رشد کردهاند. در حقیقت CSDهای وابسته به نمونههای مورد بررسی، شاهدی 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 آنالیزCSD روی آندزیت و داسیتهای منطقه و ترکیب آن با نتایج آنالیزهای ریز پردازشی و دما- فشارسنجی (جـدول ۲ و ۳، شـکل ۹) میتوان گفت که این بلورها در سه مرحله تبلور ایجاد شـدهانـد: بزرگترین بلورها در اتاقک ماگمایی عمیقتر شروع به هستهزایی و رشد کردهاند(فشار حدود ۸ کیلوبار). زمانی که ماگما به سمت بالا صعود میکنـد (با توجـه بـه بـالا بـودن میـدان پایـداری آمفیبول)، دراتاقهای ماگمایی بالاتر (فـشارهای حـدود ۳-۴ کیلوبار) هستهزایی و رشـد همچنان ادامـه داشـته و بلورهای آمفیبول که از لحاظ اندازه نسبت به بلورهای اولیـه کـوچکتر و دارای فشار تبلور پایینتـری هـستند، تـشکیل شـدهانـد، ولـی 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

یوروپیوم کے بے دلیے میےزان بالای آب ماگما - حصور

فنوکریستهای فراوان آمفیبول - می تواند به تبلور فلدسیات در مراحل نهایی جدایش نسبت داده شود)، می توان گفت که

هستهزایی و رشد فنوکریستهای پلاژیوکلاز و کوارتز، به

جایگیری ماگما در اتاق ماگمایی نزدیک به سطح وابستهاند، که

تک جمعیتی بودن این دو کانی را تایید میکند.

جمعیت سوم آمفیبولها به میکرولیتها وابسته است. میکرولیتها درطول سرد شدن سریع ماگما درسطح رخ داده-اند. 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 درماگماهای آبدار اصولا آمفیبولها زودتر شروع به تبلور میکنند و سپس با صعود ماگما و کاهش میزان آب، فنوکریستهای پلاژیوکلاز و نهایتاً کوارتز شروع به هـسته-

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



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



شکل۸ (الف، ب، پ) چگونگی خمش در نمودارهای وابسته به CSD درفنوکریستهای 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 درفنوکریستهای آمفیبول مورد بررسی (مقاطع نازک متعدد مورد بررسی با بلورهای آمفیبول بزرگ و کوچک).

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	40,91	1,49	٨,٧۶	۱۳٬۵۹	۰ <i>٬</i> ۴۷	18,98	11/+1	1/58	۰٬۵۶	•/••	•/••	۹۷٫۲۵
IE-c4Amph-2	48120	1,89	٨,•٧	137,20	•/49	14,08	1+/94	۱,۳۸	۰٬۵۳	•/••	•/••	۹۷/۴۰
IE-c4AmphRim-7	44,42	1,14	۷٬۶۵	۱۲٬۷۵	۰ /۴۸	۱۴٬۸۰	۱۰/۹۲	1,80	۰ ٬۴۸	•/•1	•/••	94/48
IE-c4AmphRim-8	44,90	۱,۳۰	۷,۶۱	15,88	۰٫۵۰	14,09	۱۰٬۸۹	1,88	۰٬۵۲	۰٬۰۲	۰٬۰۳	٩٨/۴١
A3-2-c1Amph-1	43,98	۲,۲۵	1+,44	18,85	۰٬۲۳	۱۳٬۸۵	۱۰/۹۰	۲/۱۱	•/40	•/•۴	۰٬۰۳	۹۷٬۵۸
A3-2-c1Amph-2	42/99	5/18	1+,40	۱۳٫۳۱	٠,٢١	141.08	۱۰٬۸۶	۲/۱۸	•/۴۴	•/••	•/••	۹۷٫۶۶
A3-2-c1Amph-6	44,20	۱/۹۳	۱۰/۱۳	18,55	۰٬۲۵	۱۴٬۰۸	۱۰٫۷۰	۲/۱۲	۰,۳۵	•/••	۰٬۰۲	۹۷٬۰۰
511-c1Amph-1	41,81	1,48	۷٬۱۸	11/10	•,88	18,10	۱۰٬۸۹	۱/۹۸	•/41	•/•1	•/••	۹۷٬۵۶
511-c1Amph-2	48108	1,0+	۷٬۸۰	11,72	۰٬۵۲	10,00	۱۰٬۸۹	۲,۰۷	۰٬۵۰	•/••	۰٬۰۲	94/14
511-c1Amph-6	401.0	۱٬۵۸	۸,۸۸	17/14	۰٬۵۳	14,89	۱۰/۹۹	۲,۲۳	۰٬۷۴	۰٬۰۲	۰٬۰۲	٩٧,٠٧
511-c1Amph-7	46/99	1,47	۷٬۸۰	1+/94	۰٬۵۹	181+8	11/•۲	۲/۰۴	۰٬۵۶	۵+٬۰	•,•1	94/48
C1-c2AmphCore-1	42,28	۱/۹۰	۱۳٬۱۳	11/81	۰٫۲۶	18,01	11,88	۲/۱۷	۰,۵۷	۰ _/ ۰۹	•/•1	۹۷٫۱۳
C1-c2Amph-2	47,79	1/94	137,25	11,87	•/۳۱	۱۳/۹۰	11,67	۲/۱۸	۰٬۵۲	۰ ₁ ۰۶	۰٬۰۳	97,44
C1-c2AmphRim-7	48,84	1,44	۸,۳۱	18,85	+،۵۳	141.1	1+/92	1,49	۰٬۵۳	•/••	•/••	۹۷/۲۰
C1-c2AmphRim-8	40,49	1/09	٩,	18,04	•/48	۱۳٫۸۷	۱۰, ۸۶	1,84	•194	•/••	٠,٠٢	۹۷٫۱۳

جدول۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی و محاسبات ساختاری آمفیبول های مورد بررسی

ادامه جدول۲ نتایج آنالیز ریز پردازشی و محاسبات ساختاری آمفیبولهای مورد بررسی.

Label	محاسبه کاتیونها بر اساس ۲۳ اکسیژن													
Laber	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Ba	Na	K	F	Cl	Sum
IE-c4AmphCore-	8,119	۰,188	1,077	1,888	۰٬۰۵۹	۳٬۰۸۲	1,757	•,•••	•/•••	•/442	۰ ₁ ۱۰۶	•/٢•٧	•/•٣٢	10,84
IE-c4Amph	۶٬۸۹۹	+/101	1,401	1,882	۰٬۰۶۱	۳/۱۹۰	1,828	•/•••	•/•••	۰,۳۹۵	۰ _/ ۰۹۹	•/•*	•,•٣٢	10,00
IE-c4AmphRim1	۶,۹۹۳	•/14•	1,822	1,095	۰٬۰۵۹	۳,۲۳۳	1,722	•/•••	•/••1	۰,۳۸۴	۰٬۰۸۹	•/•9٣	•/•۲٨	10,00
IE-c4AmphRim2	۷٬۰۳۲	•/14٣	1,810	1,004	•1•82	۳,۱۸۲	1,71+	•/••٣	•/••1	۰,۳۸۶	۰٬۰۹۶	۰/۱۲۳	•/•۲٩	10,48
A3-2-c1Amph-1	۶,۵۰۹	•,121	1/851	1,800	•/•۲٩	۳٬۰۵۷	1,729	•/••۲	•/••۲	۰,۶۰۵	۰٬۰۸۵	•/1•1	•/•۲٩	10,74
A3-2-c1Amph-2	8,018	•,14•	1,880	1,849	•1•28	۳/۱۰۳	1,726	•/•••	•/•••	•1820	۰٬۰۸۳	۰٬۱۸۷	•/•۲٨	10,79
A3-2-c1Amph-6	81088	•,119	۱٬۷۷۳	1,848	•,•۳١	۳/۱۱۹	1,4.1	•/••٢	•/•••	•,811	۰ ₁ ۰۶۷	۰٬۰۹۶	•/•٢٧	10,77
511-c1Amp1	819VT	۰٬۱۵۷	1,789	1,898	•/•¥X	37,221	1,4.8	•,•••	•/••1	•1261	•/• \\	۰ _/ ۱۹۸	۰٬۰۱۸	10,88
511-c1Amp2	81829	۰,۱۶۷	1,809	1,449	۰ ₁ ۰۶۶	۳/۴۲۴	1,774	•/••1	•/•••	۰٬۵۹۳	•/•94	•/14•	•,•89	10,70
511-c1Amp6	8,811	۰/۱۷۷	1,009	1,010	۰ ٬۰۶۷	۳/۳۰۱	1,757	•/••1	•/••1	•1947	•/14•	+/184	•/•48	10,14
511-c1Amp7	91889	۰٬۱۵۷	1,849	1/841	•/•٧۴	۳,۵۰۹	1/220	•/••1	•,••٣	۰٬۵۷۸	•/1•۴	۰ _/ ۱۷۸	•/•٣•	10,77
C1-c2AmphCore1	8,801	٠/٢١١	۲,۲۹۱	1,491	•/•٣٣	۲/99۶	1,199	•/••1	۵۰۰٬	•1822	•,1•¥	•/•۵۴	•/•1•	۱۵,۷۸
C1-c2Amph2	8,889	۰٫۳۱۵	۲/۳۰۴	1,4	٠,٠٣٩	۳٬۰۵۳	1,874	•/••٣	•,••٣	•1822	۰ _/ ۰۹۸	•/•۴٧	٠,٩	10,19
C1-c2AmphRim7	81101	•/18•	1,447	1,888	+1+88	۳,٠۸۸	1,778	•/•••	•/•••	+/419	•/1••	•,••¥	•/•٣١	10,04
C1-c2AmphRim8	8,1005	+/1VV	1,040	1,880	•1•8•	۳٬۰۶۷	1,718	•/••٢	•/•••	•/41	+/171	+/+74	۰٬۰۳۵	10,98

جدول ۳ نتایج دما- فشار سنجی آمفیبولهای مورد بررسی.

Samples	T°C [11]	T°C [12]	P kbr [13]	Depth (km)
IE-c4AmphCore-1	۷۴۲	۷۴۲	4/14	10,40
IE-c4AmphRim-6	۷۰۲	697	۳٫۳۹	15,08
IE-c4AmphRim-7	¥11	٧٠٧	٣/٢٠	11/88
IE-c5Amph2Cor-1	۸۲۳	۸۲۳	٨,	۲۹ ,8۳
IE-c5Amph2Cor-2	۷۲۸	۷۲۶	۴,۱۷	10,199
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	-+/88	-۳/•۷
A3-1-c1Amph-3	۶۰۸	9	-+,VV	-۲/۸۴
A3-1-c1Amph-4	۶۰۲	542	-+/+1	-•/•W
A3-1-c3AmpCore-1	۸۱۰	۸۱۰	۷,۴۳	22,02
A3-1-c3AmpCore-2	۷۸۳	۷۸۴	٨,4.	۳۱٬۱۰
A3-1-c3Amp-3	٨٠٧	٨٠٧	۷٬۵۹	۲۸٬۱۰
A3-1-c3AmpRim-8	۸۲۵	۸۲۵	۵٬۷۵	51,59
A3-1-c3AmpRim-9	۸۷۶	۸۷۰	۵,۶۲	۲۱٬۰۰
A3-1-c3AmpRim-10	***	۸۸۱	۵,۴۴	20,14
C3 z2-74core	۸۳۰	۸۲۹	۷٬۵۳	۲۷٬۸۸
C3 z2-73 rim	V1V	۷۱۵	۳,۲۳	۱۱/۹۷
5E-c3-Amph-1	٨٠۶	٨٠٧	٨,١۴	۳۰,1۶
5E-c3-Amph-2	۷۸۶	۷۸۶	٨,49	31,49
5E-c3-Amph-3	۷۹۴	۷۹۵	۸,۲۱	۳۰/۴۱
5E-c3-Amph-4	٨٠٧	٨٠٧	٨,٢٨	۳۰,۶۹
5E-c3-Amph-5	٨٠۵	٨٠۶	۸,۳۴	۳۰/۸۸
5E-c1-Amph-2	884	848	-+/٣١	-1/14
5E-c1-Amph-3	۶۴۵	871	-+, ۲۸	-1/+0
5E-c2-Amph-1	۷۵۵	۷۵۵	4,14	10,44
5E-c2-Amph-2	۷۵۰	۷۵۰	4,51	10/01
5E-c2-Amph-3	٧٧٨	***	4,84	۱۷٫۳۱
C1-c2AmphCore-1	۷۹۶	۷۹۷	¥,¥¥	۲۸,۷۹
C1-c2Amph-2	٨٠١	۸۰۱	۷٬۸۳	29/+1
C1-c2AmphRim-6	۷۴۳	۷۴۳	4,84	۱۷٫۲۰
C1-c2AmphRim-7	۷۳۵	۷۳۴	۳٬۸۰	14,+9
A3-2-c1Amph-1basic enclave	٨۴٣	841	۵٬۵۴	۲۰٬۵۳
A3-2-c1Amph-2	۸۳۰	۸۲۸	۵٬۵۴	۲۰٬۵۰
A3-2-c2Amph-1	۸۱۷	۸۱۷	8,40	۲۳٬۸۸
A3-2-c2Amph-2	۲۹۵	۷۹۶	۶٬۸۳	20,22
A3-2-c3-Amph-1	۸۱۰	۸۱۰	۵,۶۹	۲۱٬۰۸



شکل ۱۰ نمودار سرانگشتی نشان دهندهی مکانهای احتمالی اتاق ماگمایی در یک مقطع عرضی درلیتوسفر، تکامل بافت فنوکریستهای آمفیبول درطول صعودشان به سطح و الگوی CSD مربوطه در نمونههای مورد بررسی در جنوب غرب تهران (عمق موهو در ارومیه دختر از [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 می دهد. جمعیت نوع اول، آمفیبول های قهوهای با هسته های غنی از AI که درفشارهای حدود ۸ کیلوبار 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 létude 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 درحاشیهی آمفیبولهای قهوهای و یا بهصورت مستقل و درفشارهای حدود ۳-۴ کیلوبار 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 نشده اند، بلکه احتمالاً جمعیت اول از یک اتاق ماگمایی در پوستهی پایینی و جمعیت دوم به اتاق ماگمایی دیگر درپوسته بالایی وابسته است. آمفیبولهای ریز بلور که در زمینه حضور دارند (میکرولیتها) درطول 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) درمرز اتمسفر – لیتوسفر (میکرولیتها).

پر حضور پلاژیوکلاز درگدازههای منطقه، نشان دهندهی تبلور این حضور پلاژیوکلاز درگدازههای منطقه، نشان دهندهی تبلور این بالای آب، با فقدان تبلور پلاژیوکلاز و یا کمبود آن روبه رو هستیم. لذا حضور پلاژیوکلاز در گدازهها نشان دهندهی تکامل ماگما درسطوح کم عمق تر و تحت شرایط فوگاسیته نسبتاً پایینتر 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.، *"ماگماتیسم نئوژن در شمال شرق اراک و آلتراسیون های هیدروترمال وابسته"،* پایان نامه دکتری دانشگاه اصفهان (۱۳۸۸) ۲۷۵صفحه.

[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.