Archive of SID

سومین همایش ملی کوهشناسی و بلورشناسی انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران
دانشگاه شهید بهشتی
۲۲-۲۳ آبان ۱۳۹۵
3rd National Symposium of Gemology and Crystallography of Iranian Society of Crystallography and Mineralogy

مطالعه شرایط فیزیکی و تحولات تبلور ماگما در سنگ‌های ولکانیکی خورشیدآباد، جنوب غربی مشگین‌شهر

شکوفه محرابی*،کارشناسی ارشد ژئوشیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان،Mehrabi.shokoofeh@gmail.com

محمد فدائیان، عضو هیات علمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

منطقه خورشید آباد در شمال غرب ایران و در جنوب غرب شهرستان مشگین شهر واقع شده است از لحاظ سنگ شناسی شامل واحدهای از جنس آندزی بازالت ،آندزیت، تراکی آندزیت و توف های همراه با سن ائوسن میانی می باشند .این سنگ ها به طور غالب دارای بافت پورفیری ، گلومروپورفیریک و در برخی موارد میکرولیتی جریانی هستند و شامل کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن،آمفیبول و بیوتیت می‌باشند. در این مطالعه، سهم حجمی، مدت زمان رشد و سرعت هسته بندی بلورهای پلاژیوکلاز با استفاده از روش CSD به طور کمی مورد اندازگیری قرار گرفته است و نتایج با هم مقایسه شده است.سهم حجمی پلاژیوکلازها از۷/۲۷ درصد در بازالت آندزیت تا ۱۲/۳۶ درصد در واحد آندزی بازالت تغییر می کند.طبق محاسبات انجام شده براساس شیب نمودار توزیع پراکندگی، بلورهای پلاژیوکلاز با توجه به شرایط انجماد در طی زمان‌های متفاوتی رشد کرده‌اند و این نمودارها طیف سنی ۶/۵ تا ۵۴ سال را برای رشد بلور نشان می دهند. سرعت هسته بندی در این سنگ‌ها متفاوت می باشد .این مسئله نشانگر اهمیت شرایط مختلف فیزیکی حاکم بر انجماد ماگما بوده است .بنابراین افزایش مدت زمان رشد در واحد آندزی بازالت می‌تواند ناشی از عملکرد فرآیند اختلاط ماگمایی باشد.

کلیدواژه :خورشیدآباد، CSD ، سنگ هاي ولكانيك، آميختگي ماگمايي

مطالعات بسیاری بر سیر تکاملی فرآیندهای ماگمایی و چگونگی تنوع بافتی انجام شده است.اما بررسی سرعت فرآیندهای تشکیل کانی‌ها در ماگما در سال های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است .برای مثال، امروزه بر اساس توزیع اندازه بلور در سنگ‌های آذرین بخصوص سنگ‌های ولکانیکی تا ساب ولکانیکی، سرعت و زمان تبلور کانی‌ها محاسبه می شوند(Marsh,1988a). براساس این روش می توان وقایع و تحولات ماگمایی را تفسیر نمود. روش مذکور در تعیین سرعت و زمان تبلور و تعیین سهم حجمی هر کدام از بلورها در سنگ کاربرد دارد.اساسا نتایج حاصل از روش توزیع اندازه بلور شرایط فیزیکی تشکیل و رشد کانی ها را تعیین نموده و به عنوان مکمل مطالعات شیمیایی در بررسی تشکیل و تحلیل و تحول سنگ‌های آذرین مورد استفاده قرار می گیرد(مسعودی و منفردی،۱۳۸۶و۱۳۸۷). مطالعه بافت سنگ‌های آذرین، سرگذشت تحولات واقع شده در سنگ را نمایان می سازد. بیشتر مطالعات بافتی سنگ‌ها به صورت کیفی صورت می گیرد.در این مطالعه سعی شده است که بافت سنگ ها، به صورت کمی یعنی با استفاده از بررسی توزیع اندازه بلورها (CSD) انجام شود.در این تحقیق، سرعت تبلور بلورهای پلاژیوکلازهای ۴ واحد ولکانیکی به منظور

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین شرایط تشکیل و مقایسه سنگ‌های آتشفشانی متفاوت جنوب غربی مشگین شهر مورد مطالعه قرار گرفته است و با استفاده از روش توزیع اندازه بلور، زمان رشد، سرعت هسته بندی و سهم حجمی بلورهای پلاژیوکلاز محاسبه شده است.

روش مطالعه

برای انجام آنالیز کمی توزیع اندازه بلور، ابتدا مقاطعی از نمونه سنگ های برداشت شده تهیه شده است.سپس از مقاطع تهیه شده عکسبرداری دیجیتالی با عدسی ۴ زوم میکروسکوپ انجام گرفته شده است .بلورهای پلاژیوکلاز با استفاده از نرم افزار CorelDRAW به صورت مجزا رسم شده اند (شکل۳). سپس با توجه به اطلاعات به دست آمده از فراوانی و اندازه بلورهای پلاژیوکلاز، نمودار لگاریتمی تجمعی در مقابل اندازه دانه ها ترسیم شد(شکل۴). با اقتباس از روش مارش (Marsh, 1988)، واحد اندازگیری برای بلورها mm و برای مقیاس چگالی تجمعی mm^{-4} در نظر گرفته شد.با استفاده از نرم افزار Image J داده ها پردازش شده و نمودار لگاریتمی آنها در نرم افزار CSD ، رسم شده است.با استفاده از داده ها و نمودار بدست آمده از نرم افزار CSD سرعت و مدت زمان رشد بلورها و سرعت هسته بندی برای هر کدام از بلورها محاسبه و تفسیر شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

زمین شناسی عمومی

ناحیه‌ی مورد مطالعه در زون ساختاری البرز- آذربایجان واقع گردیده است (نبوی،۱۳۵۵) و دارای فعالیت‌های وسیع آتش‌فشانی سنوزوئیک و کواترنری است .این ناحیه شامل ردیف‌هایی از جریان‌های گدازه آندزیتی ـ بازالتی و گدازه‌های برشی همراه باتوفیت و شیلهای تیره رنگ است .ضخامت این واحدها گاهی به ۶۰۰ مترمی‌رسد.وجود رسوب‌های شیلی و توفیت شاهدی برتشکیل این واحد در محیط دریایی است .بافت سنگ‌های آتشفشانی میکرولیتی پورفیری تا مگاپورفیری است .پلاژیوکلازها براثر دگرسانی سریسیتی وکلریتی شده و کلسیت جانشین بخش‌هایی از آن‌ها شده است.آندزیت با بافت میکروپورفیری اغلب در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی، اپیدوتی و کربناتی شده‌اند، به طوری که میتوان برخی از آنها را متاولکانیک نامید.در این تحقیق، سنگ‌های ولکانیکی این منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است(شکل۱). برونزد مذکور ترکیبی از گدازه و مواد پیروکلاستیک حاصل از فوران، با سن ائوسن می‌باشد.این واحدها بیشتر شامل آندزیت، بازالتیک آندزیت، بازالت و آندزی بازالت هستند.به طور کلی بیشتر متشکل از واحدهای ولکانیکی محدوده مورد مطالعه بازیک تا حدواسط اند .سرشت ماگمایی گدازه های منطقه عموما ساب آلکالن می باشد.با توجه به نمودارهای تعیین محیط های تکتونیکی، ماگمای منطقه از نوع کالکوالکالن و یک موقعیت قوس آتشفشانی قاره ای (OIA)در ارتباط با فرورانش یا محیط کششی درون قاره ای است(محرابی، ۱۳۹۴).

www.SID.ir

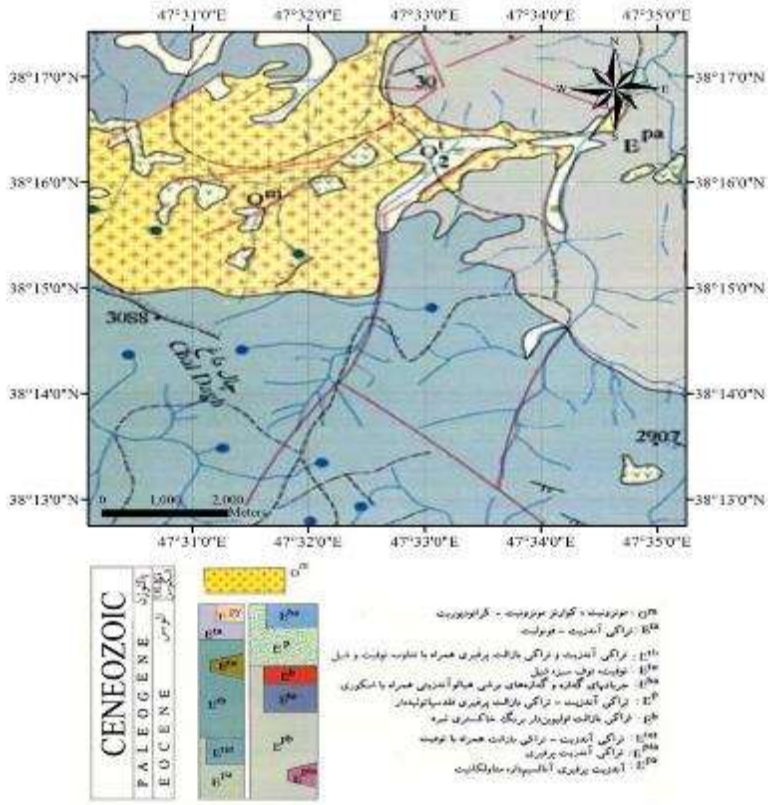
Archive of SID

پتروگرافی

سنگ‌های آتشفشانی براساس مطالعات پتروگرافی، دارای ترکیب سنگ شناسی آندزیت،آندزیت بازالت و بازالت آندزیت می باشند.بافت مشاهده شده در این سنگها عمدتا بافت پورفیریتیک با خمیره میکرولیتی و شیشه ای می‌باشد. آندزیت: مجموعه-ی کانی‌های تشکیل دهنده آندزیت‌های منطقه شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول می باشند.۴۰ تا۶۰ درصد از حجم سنگ را فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول تشکیل می‌دهند و بقیه حجم سنگ، زمینه‌ای ریز بلور از کانی‌های فوق و کانی‌های ثانویه می‌باشد .دراین سنگ کانی پلاژیوکلاز به عنوان کانی اصلی است.این کانی دارای منطقه بندی بلورین و بافت غربالی می‌باشد ودگرسانی غالب در اکثر بلورهای پلاژیوکلاز از نوع سریسیتی می‌باشد. با توجه به زاویه خاموشی ، پلاژیوکلازها می‌توانند ازنوع آندزین تا الیگوکلاز باشند.کانی‌های پیروکسن و آمفیبول دیگر کانی‌های این سنگها هستند که در مقادیرکم دیده می شوند. در برخی از کلینوپیروکسن‌ها کانی‌های اوپک و پلاژیوکلاز به صورت پوئی کلیتیک قرار گرفته اند(شکل۲،الف و ب). بازالت آندزیتی تا آندزیت بارالت :بافت غالب این سنگ ها پورفیریک با خمیره میکرولیتی و پورفیریک با خمیره میکرولیتی شیشه ای و گلومروپورفیریک می باشد.مهم ترین کانی های این طیف سنگی کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز است که درصد حضور کلینوپیروکسن در بازالت آندزیتی و درصد حضور پلاژیوکلاز در آندزیت بازالتی بیشتر است. با توجه به زاویه خاموشی، پلاژیوکلازها می‌توانند از نوع آندزین تا لابرادوریت باشند(شکل۲،ج و ب). با مطالعات میکروسکوپی به خوبی روند تفریق بلورین در سنگ های منطقه تشخیص داده شده اند. با پیشرفت تفریق بر مقدار پلاژیوکلاز و پیروکسن در نمونه‌های آندزیت بازالت افزوده می‌شود با تفریق بیشتر به تدریج درصد بلورهای پیروکسن نسبت به پلاژیوکلاز کاهش یافته و با آبدار شدن ماگما آمفیبول ظاهر می شود.

www.SID.ir

Archive of SID



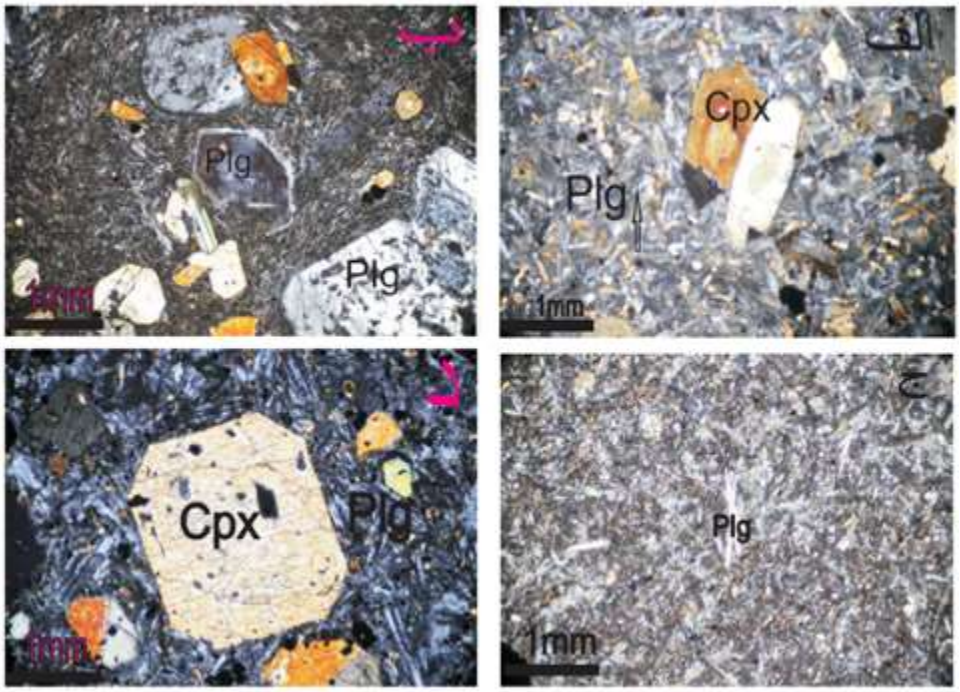
شکل۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشگین شهر، سازمان زمین شناسی و تحقیقات معدنی کشور)

توزیع اندازه دانه‌ها(CSD)

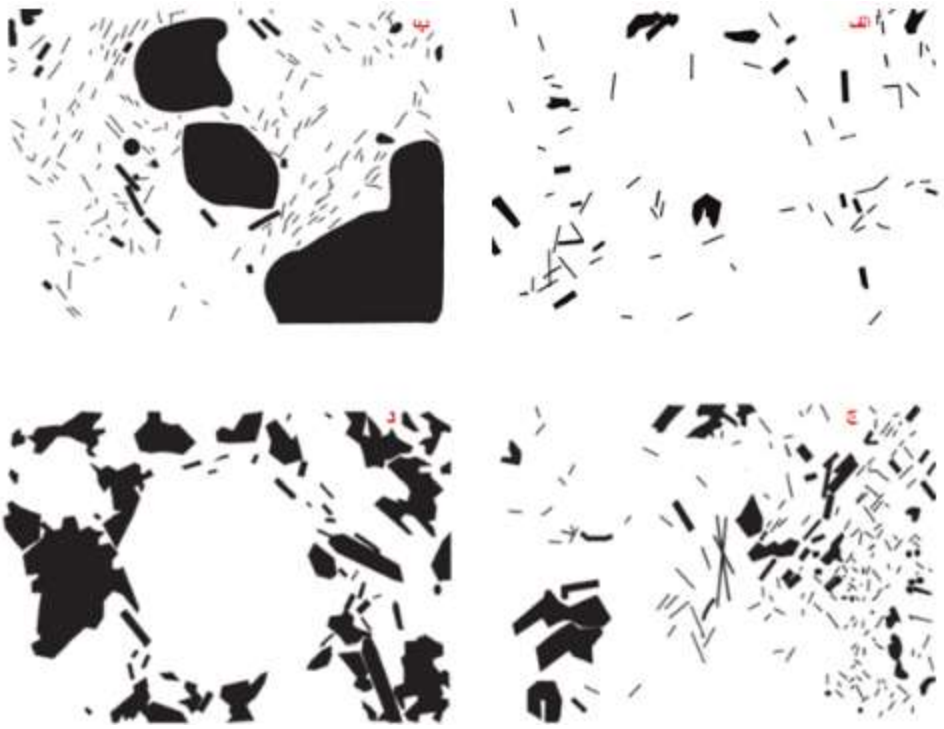
برای اولین بار راندلف و لارسون در سال ۱۹۷۱ به بررسی گدازه‌ها با استفاده از اندازه توزیع دانه‌ها پرداخته اند ,Marsh). (1988محاسبه توسط این محققان بصورت نظری پیشنهاد شده بود بعدها توسط مارش به صورت کاملا علمی در آمد و نرم افزار CSD برای این روش طراحی شد .نرم افزار Image J از روی شکل دو بعدی بلورها شکل سه بعدی آنها را باسازی می‌کند . به کمک این روش و با استفاده از شمارش و اندازه گیری شکل دانه ها و بازسازی تصویر سه بعدی بلورها، می توان سرعت متوسط رشد، چگالی هسته بندی و سهم حجمی بلورها را محاسبه نمود.تئوری CSD روشی را برای مطالعه ماکروسکوپی مانند سرعت فرایندهای فیزیکی در تبلور را فراهم می کند(مارش۱۹۸۸) . CSD می تواند یک متد تکمیلی فیزیکی برای مطالعات ژئوشیمی و پتروگرافی باشد .به طور کلی می توان گفت CSD مطالعات پتروگرافی یک گام از کیفی بودن به سمت کمی شدن به جلو خواهد برد .براساس این روش اندازه دانه ها در سنگ های کریستالی، پایه اندازه گیری سرعت رشد و مدت زمان رشد بلور است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تصویرمقاطعمیکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی منطقه(حالت XPL)- الف و ب :آندزیت – ج : آندزیت بازالت – د: بازالت آندزیت(Plg: پلاژیوکلاز، Cpx: کلینوپیروکسن)



شکل ۳- تصویرپردازش شده بلورهای پلاژیوکلازبا نرم افزارCorel x4 : الف و ب :آندزیت – ج : آندزیت بازالت – د: بازالت آندزیت

www.SID.ir

Archive of SID

سهم حجمی

برای به دست آوردن سهم حجمی (میزان حجم اشغال شده بوسیله مجموع بلورهای پلاژیوکلاز رسم شده)هر کدام از نمونه ها نیز از اطلاعات نرم افزارJ Image استفاده شد و سهم حجمی بلورهای پلاژیوکلاز در واحد های مورد نظر با استفاده از محاسبات ریاضی که به صورت فرمول زیر خلاصه شده است، برای هر کدام از نمونه ها محاسبه شده است(جدول۲) .

$$V_i = 6\delta n_{10} C^4_i$$

در این معادله n معادله چگالی هسته بندی و c طول مشخصه می باشد (میانگین طول مجموع بلورها)که مقدار ثابت است .Vنیز سهم حجمی می باشد .زمان رشد و سرعت هسته بندی، رابطه مستقیمی با درصد سهم حجمی دارند .به این معنی که هر چه سرعت هسته بندی و زمان رشد بلورها افزایش یابد، بلور فضای بیشتری از کل سنگ را به خود اختصاص خواهد داد .ولی این شرط به تنهایی کافی نیست و ترکیب شیمیایی نیز باید اجازه این رشد را به بلور بدهد.در این مطالعه بلورهای پلاژیوکلاز مورد نظر می باشد بنابراین ترکیب شیمیایی نمونه های آندزیتی بیشتر مساعد رشد پلاژیوکلاز می باشد(فریبرز مسعودی، ۱۳۸۸).

جدول ۱ - نتایج محاسبات حاصل از نمودارهای (CSD) برای نمونه های مورد مطالعه

شماره نمونه	سهم حجمی	Gسرعت رشد(mms^{-1})	Jسرعت هسته-بندی($mm^{-3}s^{-1}$)	Tزمان رشد(سال)	عرض از مبدا	شیب
الف	۵/۹۲	$۱۰^{-۱۰}$	$۵/ ۹۲\times۱۰^{-۱۰}$	۵۴	۵/۹۲	-۵/۸۳
ب	۲۰ / ۶۴	$۱۰^{-۱۰}$	$۵/۹۵\times ۱۰^{-۱۰}$	۶/۵	۵/۹۵	-۴/۸۶
ج	۷/ ۲۷	$۱۰^{-۱۰}$	$۷/۴۲ \times ۱۰^{-۱۰}$	۲۴/۴	۷/۴۲	-۱۲
د	۳۶/ ۱۲	$۱۰^{-۱۰}$	$۱/۹۱ \times۱۰^{-۱۰}$	۱۲/۵	۱/۹۱	-۱/ ۳۰

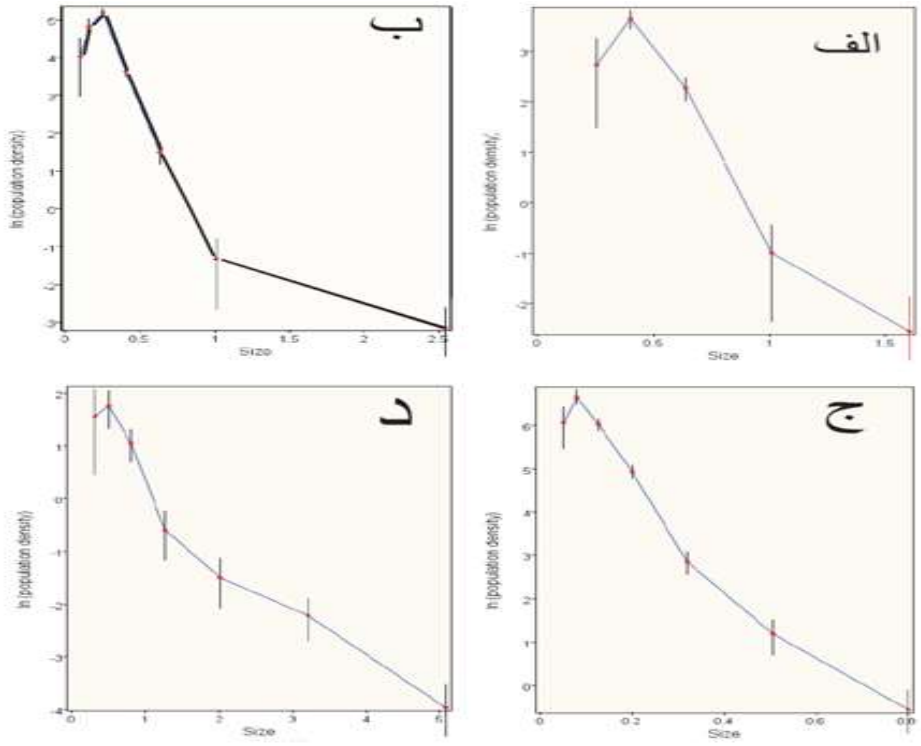
مدت زمان رشد و سرعت هسته بندی

از طریق اندازگیری ابعاد بلور می توان به سرعت و مدت زمان رشد بلور پی برد.اگر هسته گذاری بلورها نسبت به زمان متفاوت باشد، بازه متنوعی از اندازه بلورها را در سنگ می توان مشاهده نمود(فریبرز مسعودی،۱۳۸۸). اگر نمودار فراوانی لگاریتمی بلورها در برابر اندازه دانه‌ها(بر حسب میلی متر) رسم شود، یک رابطه لگاریتمی خطی -توزیعی با افزایش اندازه دانه‌ها بدست می آید(شکل۴). از طریق شیب منفی این خط، سرعت رشد بلورها را می توان محاسبه نمود .محل تلاقی این

www.SID.ir

Archive of SID

خط با محور با محور فراوانی لگاریتمی(محور عمودی)چگالی هسته بندی را بدست خواهد داد .خطی که این دو شاخص را به یکدیگر متصل می سازد، توزیع اندازه بلور (CSD)نامیده می شود .شیب این خط برابر است با $S=1/G_t$ که G در آن سرعت رشد و t زمان رشد بلورها است .عرض از مبدا این خط یا نقطه تقاطع آن با محور چگالی تجمعی نیز برابر با چگالی هسته بندی اولیه (n^0) است.رابطه مستقیم لگاریتمی، مربوط به تبلور پیوسته و یکنواخت است که توسط سرعت رشد کم و بیش ثابت ایجاد می شود و اندازه بلور نیز تاثیری در آن ندارد.



شکل۴- نمودارهای لگاریتمی چگالی تجمعی در مقابل اندازه دانه‌ها : الف و ب- آندزیت، ج- آندزیت بازالت، د- بازالت آندزیت

کاشمن (Cashman, 1993) برای یک دوره زمانی سرد شدن مقدار سرعت رشد بلور پلاژیوکلاز را $10^{-10}mm^{-1}$محاسبه کرده است .بنابراین با فرض این سرعت رشد برای بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه های این مطالعه می توان زمان رشد بلورهای پلاژیوکلاز مورد مطالعه محاسبه کرد(جدول۱). سرعت هسته بندی (J) در T=0 را نیز می توان از نمودار CSD و بر پایه معادله ذیل محاسبه کرد(Marsh, 1988). $J = N^0G$

براساس محاسبات انجام شده نمونه‌های مورد مطالعه گرچه از لحاظ ترکیب شیمیایی به هم نزدیک هستند ولی در بازه نسبتا بزرگی رشد کرده و مدت زمان رشد ۶/۵ تا۵۴ سال را نشان می‌دهند .این اختلاف رشد در نتیجه اختلاف در سرعت

www.SID.ir

Archive of SID

سرد شدن است.عوامل زیادی از جمله سرعت برون ریزی گدازه، ستبرای واحد، مدت زمان ماندگاری در آشیانه ماگمایی و ترکیب شیمیایی در نحوه سرد شدن دخالت دارند.

تحولات ماگمایی

در بررسی نمودارهای به دست آمده از نرم افزارCSD، نمونه (ب) شکستگی نشان داده و از روند عادی تبلور پیروی نمیکند(شکل۴). وجود بافت گلومروپورفیریک و فنوکریست فلدسپات آلکالن در زمینه بازیک نیز در بررسی پتروگرافی این نمونه غیر معمول است.میکرولیت‌های زمینه این نمونه کاملا جریان یافته اند و فنوکریست‌ها را نیز با خود حمل کرده اند.همه این موارد نشان دهنده اختلاط ماگمایی است.نمونه (د) نیز شکستگی هم روند را نشان می دهد که می تواند اختلاط ماگمای هم جنس تفسیر شود.

نتیجه گیری

ترکیب شیمیایی، سرعت هسته بندی و سرعت زمان رشد، مهم ترین عوامل تعیین کننده سهم حجمی بلورها هستند.طبق محاسبات انجام شده سهم حجمی متفاوت بلورهای پلایوکلاز واحدهای مورد مطالعه بیانگر شرایط انجماد و ترکیب شیمیایی متفاوت می باشد.با محاسبه سهم حجمی می توان مقدار هر کدام از کانی های اقتصادی و تخمین ئ ارزیابی مقدار آن ها در کل سنگ می تواند در آینده. کاربرد داشته باشد.براساس محاسبات انجام شده نمونه های مورد مطالعه گرچه از لحاظ ترکیب شیمیایی به هم نزدیک هستند ولی در بازه نسبتا بزرگی رشد کرده اند .در بررسی نمودارهای CSD می توان مشاهده نمود که نمودار بدست آمده از نمونه (ب) روند معمولی نداشته و شکستگی نشان می دهد.علت اصلی پر شیب بودن منحنی،افزایش سرعت سرد شدن ماگمایی آندزیتی است که به تشکیل میکرولیت های کوچک منجر شده است.اثر آهنگ سرد شدن به طور کلی در ارتباط با آهنگ هسته بندی یا چگالی هسته بندی بحث می شود .اگر آهنگ هسته بندی کم و آهنگ رشد زیاد باشد، بلورهای بزرگ پدید می آیند، اما اگر آهنگ هسته بندی زیاد باشد منجر به ایجاد بلورهای کوچکتر می شود .به عبارت دیگر اندازه بلورها تابعی از میزان نسبت سرعت نطفه بندی به سرعت رشد آنهاست، به طوری که کانی هایی که به سختی نطفه تشکیل می دهند، اما به آسانی رشد می کنند بلورهای بزرگی را به وجود می آورند، اما در صورتی که عمل نطفه بندی به راحتی صورت گیرد بلورهای کوچک اما فراوان ظاهر می شوند.در ماگمای آندزیتی خورشیدآباد بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن فاز ابتدایی تبلور را تشکیل داده و نطفه بندی کم اما سرعت رشد بالا داشته اند، بنابراین شکل های چندوجهی و درشت پدید آورده اند .حال آنکه پلاژیوکلازهای زمینه که به صورت میکرولیت هستند در فاز دوم تبلور ایجاد شدن ، سریع و نطفه بندی فراوان است .یکنواختی نمودارهای CSD به جز نمودار (ب) دارای شیب ثابت بوده که تاثیر کم فرایندهای همچون آمیختگی ماگمایی را در ماگمای آندزیتی هنگام صعود و رسیدن به سطح زمین را نشان می دهد.شکستگی در نمونه (د) نشانه ورود مکرر ماگمایی همجنس به آشیانه ماگمایی است.به طور کلی می توان گفت که ماگماتیسم منطقه ساده بوده و گاهی در آن پدیده اختلاط دیده می شود.منشاء ماگمایی سنگ های منطقه یکسان است و تغییرات شیمیایی واحدها از آندزی بازالت تا آندزیت نتیجه تفریق همان ماگمای مشابه بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع فارسی

افتخارنژاد،ج.،۱۳۵۲ .مطالبی چند درباره تشکیلحوضهرسوبی فیلیش در خاور ایران و توجیه آن با تئوری تکتونیک صفحهای، سازمان زمینشناسی کشور، ۲۲، ۶۴-۷۱

امینی.، ب، نقشه زمینشناسی مشگینشهر، با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ توسط سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۷۳.

نبوی، م.، ۱۳۵۵ .دیباچهای بر زمین شناسی ایران .انتشارات سازمان زمین شناسی کشور،ص ۵۵-۳۴.

نقشهای راههای روستایی کشور، با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰توسط مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵

مسعودی، ف . قربانی، م . رحیم زاده، ب.،(۱۳۸۸)، مطالعه شرایط فیزیکی تحولات تبلور ماگما در سنگ های ولکانیکی شرق قزوین.

رئیسی، د.درگاهی،س .معین زاده،ح .آروین، م.،(۱۳۹۰)، استفاده از مدل سازی عددی به منظور برآورد سرعت هسته بندی و زمان رشد میکرولیت های پلاژیوکلاز در روانه های بازالت کواترنری گندم بریان، شمال خاور کرمان.

ترکیان، ا .صالحی، ن .کرد، م.، (۱۳۹۱)، استفاده از داده های آماری پراکندگی اندازه بلورهای پیروکسن در مطالعه فرآیندهای مراکز آتشفشانی شمال شرق قروه، کردستان

References

Cashman, K.V., 1993 Relationship between plagioclase crystallization and cooling rate. Contributions to Mineralogyand Petrology, 113, 126 -142

Cashman, K.V., and Marsh, B.D., 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetic and dynamics of crystallization II : Makaopuhi Lova lake. Contributions to Mineralog and Petrology, 99, 292-305.

Carrie R., Brugger Julia., E. Hammer.(2010). Crystal size distribution analysis of plagioclase in experimentally decompressed hydrous rhyodacite magma. Earth and Planetary Science Letters 300 ,246–254.

MICHAEL D. HIGGINS.,(2000). Measurement of crystal size distributions. American Mineralogist, Volume 85, pages 1105–1116.

- Higgins, M.D., and Roberge, J., 2003. Crystal size distribution (CSD) of plagioclase and amphibole from Soufriere Hills volcano, Monteserrat: evidence for dynamic crystallization/textural coarsening cycles. Journal of Petrology 44, 1401-1411.

Marsh, B.D., 1988a. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I. theory Contributions to Mineralogy and Petrology, 99, 277-291.

-Marsh, B. D, 1998b. On the interpretation of crystal size distribution in magmatic systems. Journal of Petrology, 39, 553-599.

www.SID.ir