Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

این کمیتهای ترمودینامیکی همچنین در انواع ماگماها و بویژه

ماگماهای آهکی قلیایی، برای تعیین سری و محیط زمین-

ساختی ماگماهای حامل نیز کاربرد دارند [۱]. از آنجا که هر

سه کانی پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول کانیهایی مهمی در ترکیب ماگماهای آندزیتی هستند، بررسیها و تجزیه نقطهای

آنها اطلاعات ارزشمندی را در زمینه خاستگاه ماگمایی، دما و

فشارسنجی و فشار بخشی اکسیژن در اختیار قرار میدهند.

فلات ايران بخش مياني كمربند كوهزايي آلب - هيماليا و

شامل كوهزاد زاگرس است. بسته شدن اقیانوس تتیس جوان

در راستای زمین درز زاگرس باعث همگرایی صفحههای عربی و

اوراسیا و در پی آن، ایجاد کوهزاد زاگرس شده است.

مقاله پژوهشی

**مجله بلورشناسی وکانی شناسی ایران** سال سی و دوم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۳۳۹ تا ۳۵۸

# شیمیکانی و دما-فشار کانیهای همزیست در سنگهای آندزیتی شمال سقز، شمال غرب ایران

سارا دامچین مشاک<sup>۱</sup>، اشرف ترکیان\*'، تانیا فورمن<sup>۲</sup>

۱ – گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران ۲ – گروه علوم زمین، دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا، دانشگاه پارک، پ.ا. ۱۶۸۰۲، امریکا

واژەھاى كليدى: پلاژيوكلاز؛ آمفيبول؛ پيروكسن؛ دما - فشارسنجى؛ فشاربخشى اكسيژن.

#### مقدمه

در دهههای گذشته با پیشرفت فناوریهای تجزیه نقطهای کانیها، پژوهشهای مهمی پیرامون تعیین شرایط تبلور، سرشت ماگمایی، عمق جایگیری و موقعیت زمینساختی انجام شده است و پیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول از جمله کانیهای مهم بسیار کارآمد در این زمینه هستند. بطور طبیعی در اتاقک ماگمایی، فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی چون تبلور جدایشی، آلایش ماگمایی و آمیختگی ماگمایی رخ میدهد و کانیها با ثبت این رخدادها، اطلاعات مهمی در مورد شرایط ترمودینامکی خود از جمله فشار (P)، دما (T) و فشاربخشی اکسیژن (fO2) در اختیار پژوهشگران میگذارند.

\*نويسنده مسئول، تلفن: ۸۱۳۱۴۰۶۲۸۳، پست الکترونيکي: <u>a-torkian@basu.ac.ir</u>

Copyright © 2024 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<u>https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/</u>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

این برخورد، پهنههای مختلف چینهای ساختاری مهم ایران از جمله پهنه سنندج- سیرجان را بوجود آورده است [۵-۷]. از دیدگاه ساختاری سقز در حاشیه شمال پهنه ماگمایی-دگرگونی سنندج-سیرجان (با طول ۱۲۰۰ و عرض ۱۵۰-۲۰۰ کیلومتر موازی با روند کوهزاد زاگرس) و در حقیقت در محل تلاقی این پهنه با پهنههای ساختاری مهاباد- خوی و البرز-آذربایجان واقع شده است [۸].

حریری و همکاران [۸] در شرح ورقه ۱۰۰۰۰۰ ۱۰ سقز آوردهاند که در این منطقه گاهی ویژگیهای پهنه دگرگونی سنندج - سیرجان دیدہ می شود، ولی شباہتھای سنگ شناسی نيز با پهنه البرز - آذربايجان (از نظر دارا بودن واحدهاي كربناتى آوارى يركامبرين تا مزوزوئيك) نشان مىدهد. نهشتههای مربوط به کرتاسه آغازین در آن بطور قابل توجهی گسترش دارند که از جنس سنگهای آواری-آتشفشانی هستند. سنگهای آندزیتی وابسته به کرتاسه در چارگوش مورد اشاره بررسی شده و بر اساس سنسنجی U-Pb سن ۱۱۵- ۱۰۷ میلیون سال (اواخر کرتاسه) برای آنها گزارش شده است [۹]. واحدهای سنگی به سن ائوسن شامل مجموعه کنگلومرایی، ماسه سنگی و آهکی در بخش شمالی ورقه توزیع فراوانی داشته، ولى سنگهاى آتشفشانى و نهشتههاى آذرآوارى وابسته به آن، با این سن حضور چشمگیری ندارند. با توجه به پیدایش سنگوارههای ویژه زمان ائوسن در میان لایههای آهکی و کنگلومرایی همراه گدازهها و توفهای آندزیتی، آنها را به زمان ائوسن وابسته دانستهاند [٨]. در این پژوهش شرایط دما- فشار تبلور و فشاربخشی اکسیژن سنگهای آندزیتی منطقه شمال

سقز بر پایه از ترکیب کانیهای یادشده بررسی شده است. این پژوهش با هدف بررسی شرایط دما- فشار تبلور و تعیین فشاربخشی اکسیژن سنگهای آندزیتی منطقه شمال سقز با بهرمندی از ترکیب کانیهای یادشده صورت گرفته است.

### زمین شناسی منطقه مورد بررسی

واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی این نوشتار جزیی از سنگهای آتشفشانی ائوسن محسوب می گردند که در شمال شهر سقز بین طولهای جغرافیایی "۰٬ ۳۶°۳۶ و "۰ <sup>°</sup>۳۶° شمالی و عرضهای جغرافیایی "۰ ۳ ۴۶° و ۲۰۳ ۴۶ ۹۰ شرقی قرار دارند (شکل ۱). بازدیدهای صحرایی مکرر و دقیق منطقه نشان میدهد که افزون بر گدازهها و توفهای آندزیتی سنگهای نفوذی (با ترکیب گابرو تا دیوریت) و دایکهای آندزیتی نیز رخنمون دارند. همچنین، سنگهای آتشفشانی شامل گدازههای بازالتی، آندزیتی و بازالتیآندزیتی هستند که البته تعیین سن مطلق آنها نیازمند تجزیههای ایزوتوپی است (شکل ۲). از این رو به نظر میرسد که پیش از این چنین واحدهای سنگی در منطقه بررسی نشدهاند و برای نخستین بار در این پژوهش گزارش میشوند. پژوهشهای متعددی پیرامون تودههای نفوذی فلسیک منطقه انجام شده است. سنگهای فلسیک به باور حریری و همکاران [۸] دو نوع گرانیت A و I هستند که با نامهای  $G_2, \, G_F, \, G_3$  معرفی شدند. قدیمی ترین این گرانیتها مربوط به اواخر نئوپروتروزوئیک و در ارتباط با فرورانش دریای پروتوتتیس و کرانه فعال اواخر نئوپرتوزوئیک گزارش شده است [۱۰].



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی در نقشه پهنهبندی ساختاری ایران، برگرفته از مرجع [۱۱].



شکل۲ نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی بر گرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز [۸] و نقشه ۱۰۰۰۰۰۰میاندوآب [۱۵].

۷- ۷۰ میلیون سال ارزیابی شده است و بالا آمدن Pb با سن ۳۶۰ میلیون سال ارزیابی شده است و بالا آمدن گوشته در اثر پسروی اقیانوس پروتوتتیس به زیر گندوانا را عامل اصلی بالاآمدگی پوسته قارهای و در نتیجه تبلور این نوع گرانیت دانستهاند [۱۲]. در مورد سنگهایی به سن ائوسن در ورقه یادشده میتوان به بررسیهای سپاهی و اطهری [۱۳] پیرامون لوکوگرانیتهای نوع I حسن سالاران در شمال غرب سقز اشاره کرد. آنها این گرانیتها را جوانتر از ۶۰ میلیون سال (ائوسن میانی) و برآمده از آمیختگی ماگمایی در محیط پسابرخورد و فرورانش دانستهاند. محمودی و همکاران [۱۴] در مجموعه گرانیت حسن سالاری (سقز) سنگهای به سن ۹۵ میلیون سال را گزارش نمودهاند. در گزارشهای منطقه مورد بررسی تمرکز ویژهای بر سنگهای آتشفشانی بویژه سنگهای خروجی به سن ائوسن دیده نمیشود.

### روش بررسی

پس از بررسی ۴۰ مقطع نازک، ۱۰ مقطع برای تعیین ترکیب کانیها انتخاب گردید. در این پژوهش، ۸۰ نقطه از بلورهای آمفیبول، ۴۲ نقطه از پلاژیوکلاز و ۴۰ نقطه پیروکسن (همه بدون دگرسانی) تجزیه نقطهای شدند. ترکیب کانیها با ریزکاو مدل Wisconsin و دوربین SXFive با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت و شدت جریان ۳۰ نانو آمپر با قدرت تفکیک کمتر از یک میکرومتر با روکشی از کربن به ضخامت ۲۰۰ انگستروم در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا (آمریکا) انجام شد. ساختار فرمولی

کانیهای پلاژیوکلاز و پیروکسن به ترتیب با برنامههای کانیهای پلاژیوکلاز و پیروکسن به ترتیب با برنامههای آمی Winpyrox [۱۶] محاسبه شد. تفکیک آهن +Fe<sup>3</sup> و +Fe<sup>2</sup> در پیروکسنها به روش مرجع [۱۸] و در آمفیبولها به روش مرجع [۱۹] انجام شد.

### مطالعات صحرايي

واحدهای سنگی آندزیتی منطقه مورد بررسی از سنگهای آتشفشانی (ائوسن) هستند که در شمال شهر سقز رخنمون دارند [۸] (شکل ۳). مهمترین مسیرهای دسترسی، روستاهای منطقه شامل کانی پانکه، قاجر، شهیر کند و جمبوغه هستند و به دلیل نزدیکی محلهای نمونهبرداری به این روستاها، نمونهها به این نامها خوانده شدهاند. براساس بازدیدهای صحرایی، حجم و گسترش آندزیتها قابل توجه است و در مساحتی حدود ۱۸٬۴۷ کیلومتر مربع رخنمون دارند. رنگ آنها به نسبت تیره (خاکستری رنگ) و ساخت آنها پورفیری است، بطوریکه درشت بلورهای آمفیبول و پیروکسن در زمینه ریزدانه آنها با چشم غیرمسلح قابل مشاهده هستند. دایکهای آندزیتی و آندزیت بازالتی در کنار سنگهای آتشفشانی در روستای کانی پانکه به نسبت فراوان تر دیده می شوند. برخی از این دایک ها دستخوش دگرسانی شدهاند. در مناطق مورد بررسی افزون بر سنگهای آندزیتی، تودههای نفوذی (گابرو، دیوریت، منزودیوریت)، سنگهای رسوبی شامل آهک و ماسه سنگ رخنمون دارند.



**شکل ۳** تصاویر صحرایی سنگهای آتشفشانی در منطقه سقز: الف) دور نمایی از سنگهای آندزیتی و آهکهای کرتاسه (دید به سمت جنوب) و ب) رخنمون سنگهای آندزیتی از نزدیک (دید به سمت جنوب).

## سنگ نگاری

سنگهای آتشفشانی مورد بررسی ترکیب آندزیتی دارند و این واحد سنگی شامل کانیهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن بیشتر با بافت پورفیری است (شکل ۴). انباشت خوشهای درشت بلورهای کانیهای یادشده در زمینه ریزدانهای از شیشه، پلاژیوکلاز و کانیهای فرومنیزین، نمایی با بافت گلومروپورفیری به سنگ داده است. همچنین بافت تدریجی در بین بلورهای پیروکسن دیده میشود (شکل ۴ ب). پلاژیوکلاز

فراوان ترین کانی در این سنگهاست و حدود ۸۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می دهد. بلورهای درشت پلاژیوکلاز اغلب شکل دار هستند (شکل ۴ ت) و برخی از آنها دستخوش خوردگی شدهاند (شکل۴ ت). پیروکسنها شامل انواع کلینوپیروکسن و اور توپیروکسن ۱۵ درصد از مجموع درشت بلورها و به مقدار کم تری زمینه سنگ را تشکیل می دهند. این بلورها شکل دار هستند و به ندرت خوردگی در آنها دیده می شود (شکل ۴ ب).



شکل۴ تصاویر میکروسکوپی سنگهای آندزیتی منطقه مورد بررسی: الف) درشت بلورهای کلینوپیروکسن نیمه شکلدار در بافت گلومروپورفیری، ب) درشت بلور شکلدار ارتوپیروکسن در بافت پورفیری در زمینهای ریزدانه، پ) میانبارهایی از کانی پلاژیوکلاز در یک درشت بلور آمفیبول که خود نیز بافت منطقهبندی دارد. ت) ماکل ساده در درشت بلور آمفیبول کنار یک درشت بلور پلاژیوکلاز با ماکل کارلسباد-آلبیتی (نام اختصاری کانیها برگرفته از مرجع [۲۰] است).

بلورهای آمفیبول به رنگ قهوهای، بصورت نیمه شکلدار تا شکلدار دیده میشوند (شکلهای ۴ پ و ت). آنها در لبهها و مرکز دچار انحلال و ذوب شدهاند که بافت غربالی را در کانی ایجاد کردهاند (شکلهای ۴پ و ت). میانبارهایی از پلاژیوکلاز در بلورهای آمفیبول دیده میشود (شکل ۴ پ). منطقهبندی از دیگر ویژگیهای بارز و رایج در آمفیبولهای این واحد سنگی است (شکل۴پ).

# شیمیکانی

A0–1B2C5T8O22 آمفيبول: فرمول عمومی آمفيبولها Na,K,Ca,Pb,Li باست. در جايگاه A عناصر OH) (F, Cl)2 (OH) (F, Cl)2 است. در جايگاه A عناصر (OH) (F, Cl)2 ، در جايگاه B عناصر ,Fe<sup>2+</sup>,Mg, Li Mn<sup>2+</sup>, Ca, Na مناصر Rg, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>,Al, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, 2 و در جايگاه C عناصر Si, Al, Ti4+,Be و در جايگاه T عناصر OH), F, Cl ,O2+ و در جايگاه C عناصر Sc, V, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn نيز C - Sc, V, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn نيز C - Sc, V, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn نيز C - Sc, V, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn - Sc, V, Co<sup>2+</sup>, V, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn - Sc, V, Co<sup>2+</sup>, V, Co<sup>2+</sup>

وارد می شوند [۱۹]. کانی های آمفیبول ها بر اساس عناصر Na و Ca در جایگاه B به پنج گروه ۱) منیزیم – آهن- منگنز-لیتیمی، کلسیمی، ۲) کلسیم-سدیمی، ۳) سدیمی و ۴) سدیم-کلسیم-منیزیم ۵)منگنز لیتیمی تقسیم می گردند [۱۹]. کلسیم-منیزیم ۵)منگنز لیتیمی تقسیم می گردند [۱۹]. آمفیبول های سنگ های آندزیتی سقز با 1.00 (a.p.f.u) B (Ca + Na) کامی سرشت آمفیبول های و Ca + Na) Ti<0.50 (a.p.f.u) Ti<0.50 و کلسیمی را نشان می دهند (شکل ۵ الف و جدول ۱). بر پایه گروه بندی مرجع [۲۱]، در سه گروه چرماکیت پاراگازیت، منیزیو – هستینگزیت قرار می گیرند (شکل ۴) برای تفکیک آمفیبول های مورد بررسی از نمودارهای منیزیو سرطی از ۲۹ در گروه برخی با #Mg برابر با Si(a.p.f.u) و Si کمتر از ۷ در گروه برخی با #Mg برابر با ۵٫۰۰-۲۷۲۰ و Si کمتر از ۷ در گروه آمفیبول های نوع منیزیوهورنبلند، چرماکیت و تا



شکل ۵ نمودارهای ردهبندی آمفیبولها در سنگهای آتشفشانی سقز: الف) نمودار BNA نسبت به B(Na+Ca) [۱۹] که در آن، آمفیبولها در قلمرو کلسیمی جایابی میشوند، ب) نمودار [Na+K] در برابر [۲۲] که براساس آن، آمفیبولها ترکیب منیزیو-هورنبلند، چرماکیت و منیزیو-هستینگزیت دارند، پ) نمودار Mg# نسبت به Si (a.p.f.u) دا [۱۹] که سرشت چرماکیتی و منیزیو هورنبلندی آنها را نشان میدهد و ت) نمودار Mg# نسبت به Si که برخی از آمفیبولهای مورد بررسی ترکیب منیزیو-هستینگزیت را نشان میدهند [۱۹].

(Sch-Prg =چرماکیت- پاراگازیت،	آمفيبول برحسب درصد وزنى	و ۱۳ کاتيون	ل ۲۳ اتم اکسیژن	آمفيبول بر اساس	ریزپردازش کانی	<b>جدول ۱</b> نتایج
			زيو-ھورنبلند).	و Mg-Hbl: منيز	ليزيو هستينگزيت	Mg- Hst= من

$ \begin{array}{c} \frac{1}{1000} \frac{1}{10000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000} \frac{1}{1000} $							
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		Ssq-43-1	Ssq-43-2	Ssq-43-3	Ssq-43-4	Ssq-43-5	Ssq-43-6
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	نمونه	TSch -Prg	Mg -Hst	Mg- Hst	Mg-Hst	Mg- Hst	Mg- Hst
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	SiO <sub>2</sub>	۴۵٬۰۷	44,7.	14,71	47,19	FT/SV	۴۳٬۳۵
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	TiO <sub>2</sub>	1,04	۱,۵۰۷	7,77	۲٬۵۸	٣٬٠۵	٢,٩١
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.9.	17,47	1.07	1.84	1.81	1.89
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	FeO	14,.9	17/08	10/10	14,08	۱۳٬۵۸	14,89
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	MnO	• ,٣۶	•	• /٣٢	· /۲۷۷	•	• ٣٠
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	MgO	15/14	14,21	۱۳/۲۰	١٣،۵٣	18,88	15,14
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	CaO	۱۱/۴۸	١٢/٠٧	11/49	۱۱٬۵۳	11,84	۱۱/۶۸
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Na <sub>2</sub> O	١,٨٢	۱٬۸۶	١,٧٨	1,94	۲,۱۵	1,99
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	K <sub>2</sub> O	١	۱٬۰۸	• .	۰٫۸۱	• /٧٧	• ,69
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	مجموع	۹۹, <del>۴</del> ۸	99,98	99,70	99,70	٩٩,٠٩	٩٩,٠٨
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Si	۶,۳۶	8,77	۶,۲۸	۶,۳۰	۶,۲۹	8,78
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Ti	•,18	• 18	• ,74	•,779	• ,٣٣	۱۳٫۰
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Al <sup>IV</sup>	1,84	۱/۲۶	۱/۲۱	1,8.9	١,٧٠	۳۷٫۲
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Al <sup>VI</sup>	·/1Y	• ٣٠	• • • •		•/١•	•,•Y
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Fe <sup>3+</sup>	٠,٩٧	• ,YA	• ٬۹۷	۰ <sub>/</sub> ۸۰	۰٫۵۹	• , ٧ ١
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Fe <sup>2+</sup>	۰,۵۸	• ,87	۰,۸۴	٨٨. •	1,.4	۱,۰۱
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Mn	• /• ۴	•	• /• ۴	• /• ٣	•	• /• ٣
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Mg	۳٬۰۶	۳٬۱۱	۲,۸۲	۲٫۸٩	۲,۹۳	۳۸٫۲
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Ca	١,٧٣	۱,۸۲	۱/۲۶	1/14	۱٬۸۰	۱,۸۰
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Na(B)	۲۶ .	·/1Y	۳۳/۰	• , ٣٢	• /٢ •	•/19
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Na(A)	۵۲٫۰	• /٣٣	.14	۲۳۱.	•,*•	•,*•
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	K(A)	·/\A	•/19	۰,۱۵	.14	•,14	•/17
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	کل کاتیون ها	10,40	10,41	10,54	۱۵/۳۳	۱۵,۵۰	10,48
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	A(Na+K)	• ,47	۰٬۵۳	• ,04	۰,۵۹	۰٫۵۴	69، •
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Ca <sub>B</sub>	1,77	١,٨٢	1,18	1,77	۱٫۸۰	۱,۸
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	<sup>B</sup> (Ca+Na)	۲	۲	٢	٢	٢	٢
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	H <sub>2</sub> O melt	۴,٩	۵ <sub>/</sub> ۷	۵,۲	۵	۴,٧	٣,١
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ΔΝΝΟ	١٫٣	١,٢	• ,A	• ,٨	۰٫۵	٠٫۵
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	logfO <sub>2</sub>	-1.14	- 9,V	-1.4	- 1 • /Å	- \ •/Å	- 1 · /A
Mg# •,AF •,AT •,YY •,YP •,YT •,YT	Fe#	٠٫٣٧	٠٫٣١	٠٫٣٩	• ,٣۶	۵۳٫۰	۰,۳۸
	Mg#	• ۸۴	۰٬۸۳	• /YY	• 19	۳۷,۰	• ,٧٣

# ادامه جدول ۱

شماره	ssq-50-1	ssq-50-2	ssq-50-3	ssq-50-4	ssq-50-5	ssq-50-6
سنگ شناسی	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg
SiO <sub>2</sub>	44,1	44,89	40,88	44,00	45,4.	۴۳,λ
TiO <sub>2</sub>	١/٣٣	1,849	۳۳٫۲۳	۱,۵۳۷	1,40	١٦
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,77	17,700	11,79	17,07	١٣٬١٠	۱۲٫۸
FeO	١٠/٢	1.189	۹٫۰۹	٨/٩٣١	۱۱٬۵۳	۱۱/۳۰
MnO	.14	•,177	·/10	•/١•٧	·/\۵٨	•,10
MgO	10,84	10,04	10,4	18,01	14,77	14,0
CaO	11,87	11,704	11/44	۱۱,۷۵	11/84	11/81
Na <sub>2</sub> O	۲٬۰۹	۲, • ۶	۱,۹۸	۲/۱۲۸	۲,۱۵۸	۲٬۰۸
K <sub>2</sub> O	۰,۵۴	•,٧٢٢	• ,881	• ,889	۰٬۵۲	۵۵٬۰
مجموع	٩٨,٩٢	٩٨,٩۵	٩٨٫٣	۹ <i>٨</i> ,۶۶	۹۸٬۳۱	٩٨/١
Si(T)	8,74	۶٫۳۱	8,47	8,74	8,7.	8,51
Al <sup>IV</sup> (T)	۱,۷۶	۱,۶۸۳	۱,۵۶	۱,۷۵	١,٧٩	۱,۷۸۵
Al <sup>VI</sup> (C)	• ,٣۶٣	• ,447	• /٣٣١	• / ٣٣ ١	• / ۴۱	• /٣٣۶
Ti(C)	•/14	•/1Y	•/14	•,185	• 18	.,14
Fe <sup>3+</sup> (C)	۰,۹۱۸	• ,888	•,٧۴۵	۰,٨۶	• ,YA	• ,9٣
Fe <sup>2+</sup> (C)	۰,۲۵۵	•,687	• , ٣٢٧	•/1٨	۰٬۵۹	• ,41
Mg(C)	۳,۳۰۶	٣,١۶٩	۳/۴۳	٣,۴۵	٣,٠٣	۳٬۱۳
Mn2+(B)	·,· ۱۷	• • 18	•,• ١	•,• ١	• • • 1	• /• 1
Ca(B)	1,788	١,٧٨	1/44	۱,۲۶	١,٧٩	1,78
Na <sup>B</sup> (B)	۳۳,۰	• , ٣٢	•	• ,٣٣	۲۱,۰	۳۳/۰
Na(A)	•,٣٣	• ,٣۴	۳۱,۰	•,٣۴	۸۳٫۰	• ,84
K(A)	٠,٠٩	• . 1 ٣	•/11	•/17	.1.8	• . • • •
کل کاتیون ها	10,41	10,40	۱۵٬۳۸	10,47	10,40	۱۵,۳۸
(Na+K) <sub>A</sub>	• , ۴۳۳	•,۴٧	• ,47	•,47	• ,49	. 44
Ca <sub>B</sub>	۱,۷۶	١,٧٨	1/YY	۱,۷۶	۱,۷۶	1,78
(Ca+Na) <sub>B</sub>	٢	٢	٢	٢	٢	٢
H <sub>2</sub> O melt	۶,٩	۶,٩	۶	۶	۶	8,4
ΔΝΝΟ	۱,۵	۲,۱	١,٧	١,٧	١	٦,٣
logfO <sub>2</sub>	- 9,7	- 9,A	- 9, V	-9,1	- 9,V	-9,8
T(°C)	۹۵۶	۹۵۰	۹۲۵	980	981	954
P (Kbar)	49	۴,۰۸	٢,٩٢	٣,٧٩	۴,۵۹	4,77
Fe#	• ,79	• , ۲۷	•,٢٣	•,٢٣	٠٫٣١	• ٣٠
Mg#	•,97	• ۸۴	•,91	۰,۹۵	۳۸٬۰	٠,٨٨

دامه جدول ۱	اد
-------------	----

شماره	Ssq-39-1	Ssq-39-2	Ssq-39-3	Ssq-39-4	Ssq-39-5	Ssq-39-6	Ssq-39-7
	مرکز	مر کز	مر کز	لبه	لبه	لبه	لبه
سنگ شناسی	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	TSch-Prg	Mg-Hbl	TSch-Prg
SiO <sub>2</sub>	۴۳,VX	47,70	۴۴ <sub>/</sub> ۸۷	44,9.	40,49	40,22	44,70
TiO <sub>2</sub>	١,٩٩	5,40	۱,۵۳	۱,۵۲	1,818	1,41	1,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۰/۹۳	۱۱/۹۱	۱۰٬۱۰	٩,٩٨	٩٫٧٩	1.,. 74	۳۳٫۰۱
FeOt	١٣٫٨٧	۱۳٬۷۱	۱۳٬۷۹	١٣/٩٣	14/1	۱۳٬۸۰	14,77
MnO	•,79	•,74	٠,٢٨	•,79	٠,٢٨	٠,٢٨	•,79
MgO	۱۳/۰۱۹	17,87	۱۳٬۵۷	۱۳/۶۰	۱۳/۲۶	۱۳/۷۱	١٣٬٠٣
CaO	11,41	11,11	11/10	11,74	11,74	11,08	11/55
Na <sub>2</sub> O	۱,۸۸	۲,۰۷	۱,۸۱	۱,۷۵	۳۷/۱	١,٧٨	۱,۸۱
K <sub>2</sub> O	• <sub>/</sub> <b>V</b> •	• /YY	۰٫۷۵	• ،٧٢	۶۸ ر.	۶۸ و	• ۸۲
مجموع	٩٧/٩٠	٩٨,٣	۹۷٬۸۵	٩٨,٠٨	٩٨,٢٨	٩٨,٠٠	٩٧,۶١
Si(T)	۶,۳۶	8,84	8,41	۶,۴٨	8/28	۶/۵۰	9,44
Al <sup>IV</sup> (T)	1,888	١,٧٢	1,014	1,014	1,47	1,49	۱,۵۵
$Mn^{2+}(B)$	• /• ٣٣	۰,۰۳	•,• ٣۴	•,• 38	•,•٣۴	۰,۰۳	• /• ٣٢
Ca(B)	١,٧٩	۱,۷۵	1,424	١,٧٢٠	۱,۲۵	۱,۲۰	١,٧٧
Na(B)	•,71	•,74	•,YY	• ۲۸	•,74	• ۳۰	•,٢٣
Ca(B)	١,٧٩	۱,۷۵	1,424	1,42.	۱,۲۵	۱,۷۰	١,٧٧
Na(B)	•,٢١	•,74	•,۲۷	٠,٢٨	•,74	٠,٣٠	•,٢٣
Ti(C)	•,71	•,79	•/18	•/1Y	·/1Y	۰,۱۶	۳۳.۰
Al <sup>VI</sup> (C)	.,74.	۰٫۳۱	• ۲٫۰	• ۱۸	•,٢٣	•,7•	۰,۱۸
Fe <sup>3+</sup> (C)	• ۲۱	•,84	• /AY	• ٬۹۲	• / ٧٢	•/94	۰ <sub>/</sub> ۸۰
$Fe^{2+}(C)$	٠٬٩٧	۱,۰۱	•,٧٩	۰,۷۵	•٫٧١	۰٫۷۱	•,94
Mg(C)	۲۸۲	۳۷٫۲	٢,٩٢	5,95	5,94	5,94	۲٫۸۳
Na(A)	• . ٣٢	• 77	•	• (7)	•.77	٠٫١٩	• 47.4
K(A)	•/1٣	•,14	• / ١٣	• /177	•/17	•/17	·/10
کل کاتیون ها	10/47	10,40	10/41	۱۵,۳۵	۱۵,۳۶	10/82	10,41
(Na+K) <sub>A</sub>	۰,۴۵	• ,41	۳۳,۰	•,74	•,٣۶	۳۳,۰	• ,47
Сав	١,٧٩	۱,۷۵	١,٧٢	١,٧٢	۱,۲۵	1,89	٨٩٨
(Ca+Na) <sub>B</sub>	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
H <sub>2</sub> O melt	۶,۱	۵,۵	۵,۶	۵,۹	۵٫۶	۵,۶	۵,۷
ΔΝΝΟ	• <sub>/</sub> Y	۴, ۰	١/١	1/1	١	١,٢	• /A
logfO <sub>2</sub>	۹. ۱۰ ا	- 1 • /A	-11/1	-11/1	$-11/\Delta$	11/4-	-11/1
Fe#	• ۳۲	۲۳۷	۰٫۳۶	۰٫۳۶	٠/٣٧	۶۳,۰	٠,٣٨
Mg#	• 14	•	• /YA	• / ٧٩	• 14	• . A •	• /YA

متغیر است. همچنین آنها دارای K2O در گستره (۳۱،-۸۰٬۰۵ درصد وزنی، Na2O در گستره ۷٬۶۰ – ۷٬۳۸ درصد وزنی و CaO در گستره ۷٬۵۲ – ۱۴٬۰۵ درصد وزنی هستند. چنان که در نمودار مرجع [۲۳] (شکل۶) دیده میشود، درشت بلورها ترکیب آندزین تا لابرادوریت (An39.23-68.70) دارند (جدول ۲).

پلاژیوکلاز : پلاژیوکلاز کانی تکتوسیلیکات رایج در سامانههای ماگمایی و از جمله در سنگهای آندزیتی است و اطلاعات با ارزشی در مورد شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما در اتاقک ماگمایی ارائه میدهد [۲۲]. مقدار SiO<sub>2</sub> و SiO<sub>2</sub> پلاژیوکلازهای سنگهای آندزیتی مورد بررسی به ترتیب از ۶۰/۲۶ تا ۵۱/۰۴ درصد وزنی و از ۲۰/۹۱ تا ۳۱/۴۵ درصد وزنی



شکل۶ نمودار Ab-An-Or [۲۳] که نشان دهنده ترکیب آندزین تا لابرادوریت پلاژیوکلازهای درشت بلور در سنگهای آندزیتی مورد بررسی است.

:15	پلاژيوکلاز ۱				پلاژيوکلاز۲			پلاژيوكلاز۳	
لى الى	Ssq-43-1	Ssq-43-2	Ssq-43-3	Ssq-43-4	Ssq-43-5	Ssq-43-6	Ssq-43-7	Ssq-39-2	Ssq-39-3
$SiO_2$	۵۹٫۶۰	۵۸٬۶۰	۵۹٫۷۰	۶۰,۲۶	۵۹٬۶۸	۶۰٬۱۸	۵۹٬۵۹	۵۱,۰۴	۵۱٬۵۹
TiO <sub>2</sub>	•	•	•	•	•	•	bdl	•,•• ١	۰,۰۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TF/87	TF,87	۲۰/۹۱	22/26	22/29	T0/04	26,42	۳۱/۳۲	51,13
FeO	•,**	۲۳٫	•,74	٠,۱٨	•,1Y	۰,۱۶	۰,۱۳	٠,۴٩	• , <b>۵</b> •
MnO	•	•	٠	•	•	•	•	۰,۰۰۵	• /• 14
MgO	•	•	•	•	•	•	•	٠,٠٣٧	۰,۰۲۶
CaO	٨/۴٣	٩,۴٣	٩/٩	۸٬۶۷	٨٦٤١	٧/۵٢	A/A )	۱۴,۰۵	۱۳,۶۶
Na <sub>2</sub> O	۶,۹۸	۶,۹۷	۶,۱۱	۶٬۵۷	۶,۷۴	۵/۵۱	۷٫۳۸	٣,۴٧	۳,۶۰
K <sub>2</sub> O	۰,۰۵	۰,۲۸	۰٫۲۹	• / Y Y	۰٫۳۱	۰,٣	۰,۲۹	•/١•	۰٬۱۳
مجموع	۱۰۰٫۲۶	1	٩٧/١٨	٩٨،۵٠	٩٨,٢٢	۳۲/۱۰۰	۱۰۰ <sub>/</sub> ۶۷	۱۰۰٬۵۱	١٠٠/٩٩
Si	۲,8۶	5,819	۲٫۷۷۹	۲٬۷۷۵	۲,۷۳۱	۲,۶۹۹	2,840	۲٫۳۱۳	۲,۳۲۶
Ti	•	•	٠	•	•	•	•	•	• / • • )
Al	١,٢٩٧	١,٢٩٧	1,141	۱/۲۱۵	1,878	۱/۳۵	١/٢٨١	١,۶٧٣	۱,۶۷۱
Fe <sup>3+</sup>	•	•	٠	•	•	•	•	•	•
Fe <sup>2+</sup>	٠,٠١٢	•,•17	۰٬۰۹	•,•Y	•,• • •	•,•۶	• / • ۵	٠,٠١٩	۰٬۰۱۹
Mg	•	•	•	•	•	•	•	•,••٢	• /• • ٢
Ca	•, *• *	۲۵۴٬۰	۵۲۷٬۰	•/420	•/422	• / ۳۶۲	•/۴١٩	۰٬۶۸۲	• ,88 •
Mn	•	•	٠	•	•	•	•	١	• / • • )
Na	٥٠،	۰,۶۰۵	۵۲۶، •	۰,۵۸۲	٠،۵٩٨	۰,۵۵۶	• ,877	۵۰۳٫۰	۵۱۳۱۰
K	•,• <b>\Y</b>	•1•18	۰,۰۱۲	۰٬۰۱۶	٠,٠١٨	•/• <b>\Y</b>	•,•18	•,••۶	• , • • Y
كل كاتيون ها	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
X <sub>An</sub>	۳۹٫۳۸	47,18	4.181	49,49	۵۷٬۸۵	۳۹٬۳۸	۳۹٫۲۳	۶۸٫۷۰۹	۶۷٬۱۹۳
X <sub>Ab</sub>	۵۸٬۹۵	۵۶٬۳۸	$\Delta V/\Delta A$	61/91	4.181	۵۸/۹۲	۵٩,۲۳	۳۰,۷۰۸	۳۲٬۰۴۵
Xor	۱٬۶۶۸	۱/۴۸	۱,۷۴	1,819	١/٧۴	1,88	۱/۵۳۷	• ،۵۸۲	٠,٧۶١

جدول ۲ نتایج ریزپردازش کانی پلاژیوکلاز بر اساس ۸ اتم اکسیژن (برحسب درصد وزنی).

فیزیکوشیمیایی ماگما دارد. نمودار Ti-Na-Al<sup>IV</sup> [۲۵] نشاندهنده روند جانشینی کاتیونها و تغییر ترکیب شیمیایی در شبکه پیروکسنهاست[۱۸] (شکل ۷ پ). در این شکل، پیروکسنها بر اساس جانشینی کاتیونهای Al, Na, Ti در جایگاه هشتوجهی به ۵ گروه NAT, NATAL, TAL, گروه CATS و AC-JD-UR ردەبندی شدەاند. از مهمترین جانشینیها در پیروکسنهای Mg-Fe دار، جانشینی زوج کاتیون <sup>IV</sup>Al - <sup>IV</sup>Al است. این ویژگی گویای جانشینی Al به شکل مؤلفه چرماک (CATS) در شبکه پیروکسنها و نشان دهنده وجود Al کافی برای متعادل کردن کمبود Si در جایگاه چاروجهی است. شکلهای ۷پ و ۸ به ترتیب نشان میدهند که پیروکسنهای مورد بررسی غنی از کلسیم (CATS) هستند و Al با ورود Ti به شبکه پیروکسن موازنه شده است[۲۶]. از آنجا که نسبت Ti:Al در بیشتر نمونه ها برابر با ۱۰:۱ و بزرگتر از ۵:۱ است، نقش مؤلفههای Na دار (NaR<sup>3+</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) ناچیز اما نقش مؤلفه چرماک (CaR<sup>3+</sup> R<sup>3+</sup> SiO<sub>6</sub>) بیشتر بوده است.

پيروكسنها: پيروكسن با فرمول عمومي M2M1T<sub>2</sub>O<sub>6</sub> از خانواده سیلیکاتهای تک زنجیرهای است. پیروکسنها یک  $M_2$  و  $M_1$  و  $M_1$  و  $M_1$  و  $M_2$  هشت وجهی  $M_1$  و  $M_2$  $Al^{3+}$  دارند. جمع کاتیون در T برابر با ۲ و جایگاه عناصر  $Si^{4+}$  ${
m Ti}^{4+}$ , است، اما در جایگاههای  ${
m M1}$  و  ${
m M2}$  یون های  ${
m Fe}^{3+}$ Li<sup>+</sup>, و همچنين Cr<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>, Zr<sup>4+</sup>, Sc<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup>, F**e**<sup>2+</sup> و  $K^+$  و ایگزین می شوند. بر اساس قرار گیری Ca<sup>2+</sup>,  $Na^+$ کاتیونها در جایگاههای  $M_1$  و  $M_2$ ، آنها به چهار گروه ردهبندی می گردند: ۱) پیروکسنهای کلسیم، منیزیم و آهندار(Ca-Mg-Fe)، ۲) پیروکسنهای کلسیم و سدیمدار (Ca-Na)، ۳) پیروکسنهای سدیمدار (Na)، ۴) سایر پیروکسنها. در سنگهای مورد بررسی آندزیتی شمال سقز، پیروکسنهای درشت بلور در نمودار مرجع [۲۴] در گستره -39.33 En40.37-40.26 قرار می گیرند و از نوع اوژیت Ca-Mg-Fe En71.04-59.863Fs36.850- و كلينوانستاتيت Fs20.49-13.89Wo45.39 26.083 WO3.287.2.842 هستند (شکل ۷ ب و جدولهای ۳ و ۴). در شبکه کلینوپیروکسنها، مقادیر متفاوتی از کاتیونهای Al, Na, Ti وجود دارد که مقدار آنها بستگی به شرایط



شکل۷ الف نمودار ردهبندی پیروکسنها [۲۴]، که در آن پیروکسنهای مورد بررسی در بخش آهن-منیزیوم-کلسیم (Qaud) جایابی شدهاند؛ ب) نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۲۴] نشان میدهد که پیروکسنها از نوع اوژیت و انستاتیت هستند؛ پ) نمودار مثلثی Ti-Na-Al<sup>IV</sup> [۲۵] که گویای ویژگی غنی از کلسیم بودن کلینوپیروکسنهای مورد بررسی است.



شکل ۸ نمودار موازنه نسبت Ti نسبت به Alt [۲۶] کلینوپیروکسنهای مورد بررسی.

کانی	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх
نمونه	Ssq-9-1	Ssq-9-2	Ssq-9-3	Ssq-9-4	Ssq-9-5	Ssq-9-6	Ssq-9-7	Ssq-9-8	ssq-48-1
SiO <sub>2</sub>	۵۳٬۲۷	۵۲٬۸۰	54,42	۵۲٬۱۲	۵۲٫۳۷	۵۱٬۹۷	۵۱٬۸۶	۵۲٫۶۹	۵۲٬۱۷۸
TiO <sub>2</sub>	•,٣۶	٠٫٣١	<b>۰</b> ٬۶۵	۵۵/ •	۰٫۸۳	۰ <sub>/</sub> ۸۶	٠٫٣١	• ,	•,**
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱,۹۸	۲٫۳۲	۲٫۶۸	۲٫۷۳	۲,۲۴	۲٫۴۳	۲٫۳۲	۱/۵۱۱	۲ <i>,</i> ۶۶
FeO	۱۰,۷۷۸	٨/٩١۴	1.7714	۸٬۵۳۴	۱۰٬۵۲۶	17,757	11,471	17/411	٨,١٩
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳۱۱۲ -	1,187	٠٫١٩	۱,۵۸۲	۲٬۰۲۸	۰,۱۸۲	1,188	•	۱٬۵۴۳
MnO	۰,۷۴	•,~•	bdl	•,٣٢	•,۴٩	•,۴۶	•,٣۴	۰,۴۵	۰,۲۵
MgO	۱۴٬۵۸	۱۴٬۵۸	١٣٫٧۴	14,.4	۱۴,۱۰	14,1.	14,44	۱۵,۱۵	18/101
CaO	۱٩,۲۶	۲۰٬۸۷	۲۰٫۷۹	۲۱٬۷۷	۲۰,۱۱	۱٩,١۶	۱٩,۲۶	۱۸٫۴۸	۱۸٬۸۷۹
Na <sub>2</sub> O	•	•	•	•	• ۱۳۱۰	•	•	•	.٠,٢٨٩
K <sub>2</sub> O	•	•	•	•	•	•	•	•	•,•• <b>\</b>
NiO	•	•	•	•	•	•	•	•	• ,• ٣٧
مجموع	۱۰۱/۱	۲۳/۱۰۱	٨٧,٠٠١	1.1,84	۱۰۰٬۹۷	۱۰۱٬۹۱	۱۰۱٬۱۹	1.1,29	۲۹ / ۰۰
Si	١٬٩٧٩٨	1,9814	1,9898	۱٬۹۰۷۹	۸/۹۱۱۸	٦،٩٢٠٣	1/9741	۳۰۵۹۱	٩٨٢٩،١
Al <sup>IV</sup>	•,• • • •	۰,۰۱۸۶	•,•۶۵١	۰,۰۹۲۱	۰٬۰۸۸۲	٠,٠ <b>٧</b> ٩٧	۰٬۰۷۵۹	•,• ۴۹V	• / • <b>A</b>
کل(T(IV	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
Ti	• ,• 1 • ٣	۰,۰ <b>۰</b> ۸۹	•,• ١٨١	•,•107	•,• 779	•,•741	• ,• • <b>\\</b>	۰ <sub>/</sub> ۰۱۶۷	•,• )
Al <sup>VI</sup>	۰,۰۶۶۷	•,• 147	•,•۵١۶	•,•781	•،••٨۵	•,•794	•,• 40V	•,•188	٠,٠٣
Mg	۰ ، ۸ · ۸	٠٫٨٠٩	•,7087	•,7887	۰, <b>۷۶</b> ۷۶	• /YYY	٠،٨٠٠۴	۰٫۸۳۵۹	۳۵۸۸٬ ۰
Cr	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Fe <sup>2+</sup>	۰,۱۱۸	۰,۰۶۵۴	٠٫١۶٨٩	•,149	•,1407	•,1874	•,1878	•/١٣١١	•,•749
Fe <sup>3+</sup>	•,••٣٢	•,• ٣٢	•,••۵۳	•,• 479	۰,۰۵۵۷	۰,۰۰۵۱	•,• ٣٢۵	•,••• <b>)</b>	•,• 474
کل (M1(VI	١	١	١	١	١	١	١	١	١
Fe <sup>2+</sup>	٠٫٢	۲,٠	•,1	۰,۱	٠,٢	٠٫٢	٠٫٢	٠٫٣	۲ ٫۰
Mg	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Mn	•	•	•	•	•	•	•	•	•,••Y
K	•	•	•	•	•	•	•	•	•,•••۴
Ca	• , <b>YY</b>	• , <b>YY</b>	۰ <sub>/</sub> ۸۲	۰,۸۵	٠٫٧٩	۰,۷۶	• , <b>YY</b>	• ٫٧٣	۰,۷۴
Na	•	•	•	•	•	•	•	•	۰,۰۲
کل (M2(VI	١	١	١	١	١	١	١	١	١
Mg#	• , Y •	۰,۷۴	• , <b>Y</b> •	۰ <sub>/</sub> ۲۱	۰,۶۷	• ,89	<b>۰</b> ٬۶۹	۰,۶۸	• <sub>/</sub> YY
Q	١,٩١٠٢	۱,۸۶۳۸	۱,۸۹۷۱	۱,۸۸۱۳	۱,۸۷۵۷	1,9899	1/988	۱,۹۵۲۹	۱,۸۸۱
J	•	•	۰,۰۵۶	•,• ۴VX	•,• ۴۳۹	•	•	•	• 417 •
Wo	40,18	۴۳,۴۳	۴۳,۳۶	۴۵٫۳۹	41,90	۳۹,۳۲	41,84	۳۷٬۵۳	۳٩,۵۴
En	47, MI	۴۱٬۵۶	۳۹٫۸۶	۴۰,۳۷	47,97	۴۰ <sub>/</sub> ۲۶	۳۹٫۸۴	۴۲,۸۱	۴Y, • ۶
Fs	۱۷٫۵۴	۱۵,۰۱	۱۶٫۷۸	۱۳٫۸۹	14/18	۲۰,۴۲	۱۸٫۵۲	۱۹٫۶۷	۱۳٫۴
XPT	۳٩,۵۵	۳۸٬۵۱	۳٩,٠٢	۳۸٬۷۴	۳٩, ١١۶	۳۶٫۳۹	۳۸٬۹۷	۳۹ <sub>/</sub> ۹۲	۳۸٬۰۹
YPT	$-\Upsilon V/\Upsilon \Lambda$	$-\mathbf{Y}\mathbf{V}_{\mathbf{V}}\mathbf{Y}\mathbf{V}$	- <b>۲۷</b> / ۱۳	- ۲۷٫۹۰	-78,78	$-\tau \Delta_{/} \nu \tau$	- <b>۲</b> ۶,۶۰	- <i>۲۶</i> /۳۹	- ۲۸ <sub>/</sub> ۶۸
$A^{lV}\!/Al^{VI}$	•,*•	•,٣٣	۱,۲۶	۳,۵۲	١/٣٧	٣,٠١	۲,۹۵	٣,•۶	۲٫۳۹

**جدول ۳** نتایج ریزپردازش کانی کلینوپیروکسن بر اساس ۶ اتم اکسیژن بر حسب درصد وزنی (CPX =کلینوپیروکسن).

ادامه جدول ۲	٣	جدول	ادامه
--------------	---	------	-------

کانی	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх	Срх
نمونه	ssq-48-2	ssq-48-3	ssq-48-4	ssq-48-5	ssq-40-1	ssq-40-2	ssq-40-3	ssq-40-4
SiO <sub>2</sub>	۵۳٬۶۵۶	۵۲٬۷۶۷	۵۰٫۷۵۸	۵۱٫۵۱۵	۵۰٬۹۶۵	۵۱٬۴۱	۵۲,۰۱۷	۵۲,۲۸
TiO <sub>2</sub>	٠٬٠٨۴	•,٣٨٢	•,744	<b>۰</b> ٬۴۹۸	۰,۷۱۳	• ,۵۴۴	۰,۵۱۲	۰٬۵۱۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱,۶۷۵	۱٬۹۵۸	۳/۵۲۸	۲٫۷۱۶	۲٬۷۸۶	٣٫١٨	<b>۲</b> /۲۲۹	۲,۶۲
FeO	۲٫۷۹	۷٫۸۶	۷٫۷۲	٩٫٣۴	۳۲٬۰۲	۶٬۸۵۶	۸,۱۵۸	8,188
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۱۲۱۲	۱٬۰۲	۲,۶۲	۱,۹۱۸	۱٫۸۹۰	۱٫٩٠٩	1,449	٦،٠٨٣
MnO	٠٫١٣	•,٢٣	•,779	•,٢٨٣	•,*•*	•,٢١٣	۰٬۳۰۱	bdl
MgO	۱۸٬۵۰۷	18,•14	14,095	14,754	14,.19	۱۵٬۲۱۸	14,420	۱۵,۵۰
CaO	۲۱٬۲۰۵	۱۹٬۶۸۳	۲۰,۰۲۲	۱۹٫۸۳۷	۱۹٬۰۷۵	۲۰,۷۱۷	۲ <i>۰</i> ,۶۶	۲۰,۷۲
Na <sub>2</sub> O	•,748	۰٫۳۰۶	۳۸, ۰	•,٣۴	•,٣۴	۲۶,۰	٠٫٣١٩	•
K <sub>2</sub> O	•	•	•	•,••۴	•,••٢	•	•,••)	•
NiO	•,•74	•,• * * *	۰, · ۱۸	٠,٠١٩	•	•	۰,۰۱۲	•
مجموع	<b>۹۹</b> ٫۲۶	1	۱۰۰٫۶۱۱	۲۲۴,۰۰۱	۲۳٫۰۰۱	۴۷	1,44	٩٨٫٨٨
Si	۵۳۵۳۱	1,9477	۱,۸۷۹۴	1,9171	1,9.49	۱,۸۹۶۶	١,٩٢٨	۱,۹۵۳
Al <sup>IV</sup>	۰,·۴۶۵	۰,•۵۶۸	•,17•8	۰,۰ <b>۸</b> ۷۹	۰,۰۹۵۴	•,1•1۴	۰,۰۷۲	•,• 48
کل (T(IV	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
Al <sup>VI</sup>	۰,۰۲	•,794	•,•٣٣٣	۰,۰۳۰۹	•,• ٢٧٣	•,• °V	۰٬۰۲۵۴	<b>۰</b> ٬۰۶۹
Mg	۰٫۹۳	• ٫۸۸۳	۰٬۸۰۳۸	• ,YAAY	۰,۷۸۱	۰ <sub>/</sub> ۸۳۷۸	٠٫٨١٣	۶۳۶ <sub>،</sub> ۱
Ti	•,••٢	•,• ١	•,• <b>٢</b> •٧	• ، • ١٣٩	۰,۰۲	•,•101	•,•14٣	• , • <b>)</b>
Cr	•	•	•	•	•	•	•	•
Fe <sup>2+</sup>	•	۰,·۴۷۸	•,•\$14	•,1178	•,11٨	۰,۰۵۷	۰,۱۰۵۸	•,• ٣٢
Fe <sup>3+</sup>	۰,۰۲	۰,۰۲۸۵	•,•٧٣٢	۰,۰۵۳۴	۰, · ۵۳	•,•۵۳١	•,• *• *	۰, • ۳
Ni	•	•				•	•,••• <b>۵</b>	•
کل (M1(VI	١	١	١	١	١	١	١	١
Mg	۰ <sub>1</sub> ۰۶	•	•	•	•	•	•	•
Mn	•,••۴	•	•,••٧٢	•,•• <b></b> ,••	۰,· · ۹۶	۰,۰۰۶۷	•,••94	•
Ca	٠٫٨٢	• , <b>YY</b> ,	•,7947	۰,YXX۹	۰ <i>,</i> ۷۶۳۹	٠٫٨١٩٧	۰٫۸۲۰۵	۰,۸۲۹
К	•	•	•	•	•	•	•	•
Na	•,• <b>\Y</b>	•,• • • ١	•,• ٢	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱۸	•,• * * *	•
Fe <sup>2+</sup>	• , • <b>A</b>	٠٫١٩	۰,۱ <b>۲</b> ۰۶	۰,۱۷۷۵	۰,۲۰۱۵	•,1347	۰,۱۴۷۱	۰,۱۷
کل (M2(VI	١	١	١	١	١	١	١	١
Mg#	٠,٩٢	۰,γ۸	• ,YY	۰٫۷۳	• y •	٠٫٧٩	۶۷ <sub>۱</sub>	۰٫۸۱
Q	۱,۹۱۶۸	۱,۹۰۱۸	١٫٨٣٧	۱٬۸۶۷	۱,۸۶۴	۱٫۸۶۹	<b>ι</b> ΑλΥ	۱٬۸۸۵
J	•,•٣۴٧	۰,۰۴۳۷	۰,۰۵۵۹	•,• ۴۹١	۰,۰۵۰۱	•,• <b>*</b> YX	۰,۰۴۵۸	•
En	48,47	49,47	۴۳٬۷۵	47,77	۴۱٬۸۸	۴۴ <sub>/</sub> ۸۲	43,12	۴۵٫۸
Fs	۲۰٬۴۳	۱۲٫۷۳	۱۳٬۰۱	۱۵٫۵۳	۱۷٫۱۶	۱۱٬۳۳	۱۳/۴	1.727
Wo	43,10	۴۰ <sub>/</sub> ۸۴	۴۳٫۲۳	47,74	40,98	۴۳٬۸۵	۴۳,۴X	۴۳٬۹۳
XPT	۳۸٬۹۷	۳۸٫۸۲	۳۶٫۶۹	۳۷٫۹۹	۳۷٫۹۳	۳۷٬۶۲	۳۸٬۵۱	۳۸,۲۱
YPT	-٣٢, 4٧	$-\Upsilon \Lambda_{/} \Im \Upsilon$	$-\Upsilon V_{/}\overline{\Lambda}$ )	- TV/ TT	- <b>~.</b> ,•۶	$-\Upsilon\Lambda/\Upsilon\Delta$	-۲۸٬۰۱	$-\Upsilon q_{J} \nabla \eta$
$A^{lV}\!/Al^{VI}$	۱,۸۳۰	١,٩٣	٣,٩١	۲٫۸۴	٣,۴٩	۲,۷۴	۲٫۸۳	۲۶۲

			• • • • • • • •	0 0 3 3 3 3	<b>C</b>
کانی	Opx– لبه	Opx – مرکز	Opx- مرکز	Opx- مرکز	Opx – لبه
نمونه	ssq-40-1	ssq-40-2	ssq-40-3	ssq-40-4	ssq-40-5
SiO <sub>2</sub>	۸۳٫۳۸	۵۰٫۱۳	۵۰٬۷۶	٥٠,٣٧	$\Delta \cdot _{/}\Delta 1$
TiO <sub>2</sub>	۲۲,۰	۳۲٫۰	• ,٣٣	• ، ۲۹	• , 48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲٫۳۶	۲,۰۰	۲٬۰۲	۲٫۸۳	۲٫۸۳
FeO	۱۵٫۷۳۱	۱۰٬۰۹۶	۸۳۲٫۱۱	۲۰٬۰۶۸	۲۰,۴۷۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۵٫۸۸۴	٨,۴٩۶	۰ <sub>/</sub> ۳۶۱	۳,۳۸	٣,88F
MnO	<i>۰ ,</i> ۵۹	<b>۲</b> ۴۲ .	۰,۳۶	۰٫۸۲	۰,۷۴
MgO	۲۳٫۶	۲۶٫۸۶	7 <i>9,</i> 94	۲۱,•۶	۲١,۵۵
CaO	١,۴٨	٥٦,٣۵	۱,۴۸	۱,۶۰	۰,۹۰۹
Na <sub>2</sub> O	•	•	•	•	•
K <sub>2</sub> O	•	•	•	•	•
NiO	•	•	•	•	•
مجموع	۹۹٫۶۵	٩۶٫٧٣	۹۹ <sub>/</sub> ۰۲	١٠٠,۴١٨	1.1/17
Si	۱٬۸۶۱	۳۳۸٫۱	۱,۸۵۳	۱٫۸۸۲	۲۷۸/۴
Al <sup>IV</sup>	•,174	۰,۰ <i>۸</i> ۶۵	•,•AY1	•/118٣	<b>۲۲۴</b> ،
کل(T(IV	٢	٢	۱/۹۴۰	۲	٢
Ti	•,• • <b>١</b> ٣	•,••۶	٠,٠ • ٩٢	•,••A	۳۱.۰۰
Al <sup>VI</sup>	•	•	•	•,••Y	۰ <sub>/</sub> ۸۸۶۹
Mg	<i>•</i> ٫۵۷۹	۰ <sub>/</sub> ۸۳۹۹	۰ <sub>/</sub> ۶۹۷	۰ ,Δ٨	۰٬۵۷۹
Cr	•	•	•	•	•
Fe <sup>2+</sup>	۰ ٫٣٠ ۸	•	۰ <sub>/</sub> ۰۱۹	• ،۳۱۱	٠٫٣٠٨
Fe <sup>3+</sup>	۰,۱۰۲	<b>۰</b> ٬۲۳۴	٠٫١٨٩	۰,۰۹۵	۰,۱۰۲
کل(M1(VI	١	١	١	١	١
Fe <sup>2+</sup>	• ۲۲۲۷	• /٣٢۴	• / ٣٢۴	۰٫۳۱۶	• /۳۲۷
Mg	• /814	• /YY )	۰,۷۵۳	<i>۰ ا</i> ۵۹	• /814
Mn	۰,۰۲	•,• ١٣٢	• /• ) )	۰٬۰۲	•,•74
Κ	•	•	•	•	•
Ca	۰ <sub>/</sub> ۰۳۶	•,• 537	۰,۰۵۸	<b>۰</b> ٬۰۶	۰٬۰۳۶
Na	•	•	•	•	•
کل(N2(VI)	١	١	١	١	١
Mg#	<b>۲</b> ۶۷	۳۷٫۰	۳۷٫۰	۶۲ <sub>1</sub> ,۶۲	• ,87
Q	1,۸۴۸۲	١,٨٢۶٧	۱,۸۵۰۷	۱,۸۶۴۱	۱,۸۶۳۴
J	•	•	•	•	•
En	۶۴٫۸۰۳	۷۱٬۰۸	۷۱٬۰۷۴	۵۹٫۸۶۳	8+,84X
Fs	۳۲, ۲۲۸۰	7 <i>8,</i> 778	۲۶٬۰۸۳	۳۶٬۸۵۰	۳۷٬۵۱۳
Wo	۲,۹۱۷	۲,۵۸۱	۲٫۸۴۳	۳,۲۸۷	۱٫۸۳۹
XPT	<i>۳۴</i> ,۹۲	۳۳٬۹۴	84,87	۳۵٬۴۸	۳۷٬۵۶
YPT	- 26,48	- <b>۲</b> ٩,٧٣	-79,FY	-ΥΔ <sub>/</sub> Υλ	$-\Upsilon\Delta/\Upsilon\Upsilon$

جدول ۴ نتایج ریزپردازش کانیهای ارتوپیروکسن (Opx) بر پایه ۶ اتم اکسیژن، (Opz=ارتوپیروکسن).

نمونهها نمودار TiO2 نسبت به Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [۲] در گستره آهکی قلیایی قرار می گیرند (شکل ۹ ب). جانشینی پتاسیم در جایگاه A و IVAI در جایگاه چاروجهی آمفیبولها دو مؤلفه خوب برای تشخیص سری ماگمایی آمفیبول است [۲۸]. آمفیبولهای

#### تعیین سری ماگمایی

ترکیب پیروکسن می تواند بیانگر نوع ماگمایی باشد که کانی از آن شکل گرفته است. برای تعیین سری ماگمایی از نمودار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> نسبت به SiO<sub>2</sub> استفاده شده [۲۷] که نمونهها در بخش نیمه آلکالن جایابی می شوند (شکل ۹ الف). همچنین

مورد بررسی کلسیم و پتاسیم پایین دارند و از سری آهکی قلیایی هستند (شکل ۹ پ و جدولهای ۱، ۳ و ۴).

بحث

### تعيين شرايط فيزيكوشيميايي

الف – فشاربخشی اکسیژن: فشاربخشی اکسیژن وابسته به ترکیب بلورهای آمفیبول و ترکیب مذاب حامل آنهاست. آمفیبولها به دلیل گستره پایداری بالا، در زمان تبلور، شرایط و مقدار فشاربخشی اکسیژن را بخوبی در خود حفظ میکنند [۲۸]. در این پژوهش برای محاسبه مقدار فشاربخشی اکسیژن از رابطه مرجع [۲۸] استفاده شد که نتایج قابل اعتمادتری برای آمفیبولهای سنگهای آتشفشانی آهکی قلیایی ارائه میدهد. در میان کاتیونهای آمفیبول، \*Mg بهترین همبستگی را با NNO ادارد. از این رو از شاخص منیزیم با بیشینه خطای واحد لگاریتم ۰/۴۱ برای تعریف رابطه NNO

▲NNO (log units)= 1.664Mg\* - 4.01 R= 0.89 در حالیکه مقدار\*Mg از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$\begin{split} Mg^* &= Mg (Si/47) - (^{VI}Al/9) - (1.3^{VI}Ti) + (Fe^{3+}/3.7) \\ &+ (Fe^{2+}/5.2) - (^{B}Ca/20) - (^{A}Na/2.8) + (A/9.5). \end{split}$$

براساس این روابط، LogfO<sub>2</sub> آمفیبولهای سنگهای واحد آندزیتی در گستره ۹٫۱- تا ۱۱٫۲- است و همه نمونهها در گستره بافرهای NNO و NNO هستند (شکل ۱۰ الف، جدول۱). این مقدار فشاربخشی اکسیژن با مقدار آب معمول در ماگماهای آهکی قلیایی یعنی ۳٫۷ تا ۸٫۲ درصد و ۱-<ΔNNO</table>

آمفيبول به تغييرات Mg وFe حساس است. فشاربخشي اکسیژن بالا نشان می هد که کانی Mg بیشتر و Fe کمتری داشته است [۳۰] افزون بر این، #Fe نیز شاخصی برای ارزیابی فشاربخشی اکسیژن است. عدد آهن #Fe که (Fe+Mg تعريف می شود کمتر از ۰٫۶ نشان دهنده فشار بخشی اکسیژن بالا، بین ۶٫۶ تا ۰٫۸ بیانگر فشاربخشی اکسیژن متوسط و بیش از ۰،۸ گویای فشاربخشی اکسیژن یایین است. بر یایه نمودار #Fe نسبت به ۲۵ [۳۱] و براساس محاسبات انجام شده، آمفیبول های مورد بررسی در گروه اول با فشاربخشی اکسیژن بالا جای دارند، بطوریکه مقدار <sup>#</sup>Fe آنها در سنگهای آندزیتی از ۲۰٬۲۶ متغیر است. این عدد آهن نشانگر بالا بودن فشاربخشی اکسیژن و محیط اکسایشی در زمان تبلور و تشکیل آنهاست (شکل۱۰ب). براورد فشاربخشی اکسیژن بر پایه شیمی کانی پیروکسن نیز ممکن است و شرایط محیط مذاب را از نظر درجه اکسایش مشخص می نماید [۳۲]. به این منظور، از نمودا, Al<sup>VI</sup>+2Ti+Cr نسبت به Na+Al<sup>IV</sup> استفاده شد (شکل ۱۰ پ). کاتیونهایAl<sup>IV</sup>, Ti, Al<sup>VI</sup> همبستگی بالایی دارند و بر اساس موازنه Al<sup>VI</sup> در جایگاه چاروجهی و Al<sup>VI</sup> و •Cr<sup>3+</sup> ،Ti<sup>4+</sup> ،Cr<sup>3+</sup> هشت وجهی قرار می گیرند. از سویی، و Cr, Ti, Al<sup>IV</sup> در ييروكسن ها مى تواند جانشين عناصر  $\mathrm{Fe}^{3+}$ عناصر ۳ ظرفیتی در مذاب شود [۳۴]. سنگهای آتشفشانی و کالک آلکالن سقز بالای خط6= +Fe توزیع شدهاند و نشان میدهند که در شرایط فشاربخشی اکسیژن بالا و محیط اكسايشي متبلور شدهاند.



**شکل ۹** الف موقعیت نمونهها در نمودار Al2O3 نسبت به SiO2 [۲۷]؛ ب) نمودار TiO2 نسبت به Al2O3 که براساس آن نمونهها ویژگی آهکی قلیایی دارند [۲]؛ پ) نمودار <sup>IV</sup>A۱ نسبت به A<sup>A</sup>[۲۹] که ویژگی آهکی قلیایی آمفیبولهای نمونههای مورد بررسی را نشان میدهد.



دامچین مشاک، ترکیان، فورمن

شکل۱۰ نمودارهای برآورد مقدار فشاربخشی اکسیژن: الف) تغییرات دمایی log fo2 [۲۸]، ب) نمودار مقدار #Fe نسبت به مقدار آلومینیوم کل (در واحد فرمولی) [۳۱] که نشان می دهد که نمونه های مورد بررسی گریزندگی اکسیژن بالایی دارند و پ) نمودار Al<sup>VI</sup>+2Ti+Cr نسبت به (Na+Al<sup>IV</sup>)[۳۳] که در آن، نمونههای واحد آندزیتی سقز در بالای خط E<sup>3+4</sup> قرار دارند و گویای بالا بودن فشاربخشی اکسیژن ماگما در زمان تبلور پیروکسنهاست.

# دما- فشار سنجی سنگهای مورد بررسی

ارزیابی دما و فشار آمفیبول: برای برآورد دما و فشار زمان تبلور آمفیبولها روشی بر پایه مقدار IA در ساختار کانی ارائه شده است [۲۸] که بویژه برای آمفیبولهای با مقدار سیلیس پایین در مذابهای آهکی قلیایی مناسب است. این دمافشارسنج گستره وسیعی از شرایط دما از ۸۰۰ تا ۱۱۳۰درجه سانتی گراد و فشار ۱۸۳ تا ۲۲ کیلوبار (با درصد خطای ۲۳٫۵ ±T سانتی گراد و فشار ۱۸۳ تا ۲۲ کیلوبار (با درصد خطای ۱۳۰۵درجه نشان داده و فشار ۱۸۳ تا ۲۲ کیلوبار (با درصد خطای ۱۳۰۵ درجه استی و مان ۱۸۳ تا ۲۰ کیلوبار (با درصد خطای ۱۳۰۵ درجه ای و مان ۱۸۳ تا ۲۰ کیلوبار (با درصد خطای ۱۳۰۵ درجه سانتی گراد و فشار ۱۸۳ تا ۲۰ کیلوبار (با درصد خطای ۱۳۰۵ درجه سانتی از و مان ۲۰ مانتی مان در ترکیب آمفیبول وابسته به تغییرات دما ستند و برای تعیین شاخص \*Si کاتیونهای دیگر چون مدند (۲۸]:

 $T(C) = -151.487Si^* 2041;Si^* = Si + (I^VAl/15) - (2^{IV}Ti) - V^IAl/2) - (V^ITi/1.8) - (Fe^{3+}/9) + (Fe^{2+}/3.3) + (Mg/26) + (^BCa/5) + (^BNa/1.3) - (^ANa/15) + (A/2.3).$ فشار بر پایه IA در ترکیب آمفیبول [۳۵،۲۸] محاسبه شد:

 $P(MPa) = 19.209e^{(1.438Altot)}$ 

محاسبات نشان می دهد که آمفیبول های نمونه سنگهای آندزیتی مورد بررسی در دمای  $^{O}$  ۹۶۱ – ۹۶۸ با بیشینه دمای تبلور ۹۶۱ درجه سانتی گراد و فشار ۲٫۵۹–۴٫۱۱ کیلوبار متبلور شدهاند که با دمای تبلور آمفیبول ها در مناطق فرورانش (حدود شدهاند که با دمای تبلور آمفیبول ها در مناطق فرورانش (حدود  $^{VO}$  ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد) همخوانی دارد [۳۶] (جدول ۵). Si و  $^{VI}$  مو عامل برای جدایش آمفیبول های کم فشار و پر فشار وارد می شود [۳۷]. آمفیبول های مورد بررسی Si کمتر از ۷٫۵ وارد می شود [۳۷]. آمفیبول های مورد بررسی Si کمتر از ۷٫۵  $^{VI}$  به نسبت پایین دارند و کم فشار هستند (شکل ۱۱ الف).  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با افزایش دما و فشار افزایش  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با افزایش دما و فشار افزایش  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورد بررسی آ وارد می شود  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا پر و کم فشار و پر می و  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا یش دما و فشار افزایش  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورایش دما و می ورد  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا یش دما و می ورد می ورد  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا یش دما و می و در می مورد  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا یش دما و می و در می مورد  $^{VI}$  در آمفیبول های کلسیمی با مورا در می مورد می مورد برسی بر آورد شد (شکل ۱۱ با).



**شکل۱۱** الف) نمودار AI<sup>VI</sup> - Si [۳۷] که نشاندهنده تشکیل آمفیبولهای مورد بررسی در فشار پایین است، ب) نمودار Ti-<sup>IV</sup>AI [۳۸] که نشان میدهد که آمفیبولهای مورد بررسی در دمای ۸۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتی *گ*راد متبلور شدهاند.

	C.		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		· · ·		
نمونه	ssq-50-1	ssq-50-2	ssq-50-3	ssq-50-4	ssq-50-5	ssq-50-6	ssq-43-1
T(°C)	۹۲۵	۹۵۰	۹۵۶	954	981	980	٩٠٩
P(Kbar)	۲٫۹۲	۴,•۸	۴,•۶	۴,۲۳	۴,۵٩	٣,٧٩	۲,۶۱
نمونه	Ssq-43-2	Ssq-43-3	ssq-43-4	ssq-43-5	ssq-43-6	ssq-39-1	ssq-39-2
T(°C)	٩١٧	910	941	٩٣٢	٩٣٢	٩٣٣	917
P(Kbar)	۲٬۵۶	۲٬۵۰	٣,٧۵	<b>5</b> ,87	۲٬۵۷	٣٫۵٩	۲٫۸۴
	ang 20 2	ssq-39-4	ssq-39-5	Ssq-39-6	Ssq-39-7	ماگزيمم	۹۵۶T=
تمونه	ssq-39-3						۴ <sub>/</sub> ۵۹P=
T(%C)	VAA		193	1.1/2	100		Т=⋏۶٩
I( C)	47.1	~~~	<b>X</b> 1 1	Λ¥ω	NF 1	مينيمم	P=۲/۱۱
D(Khar)	* * 1	۲,۲۱ ۲,۳۱	۲,۴۷	۲,۲۲	۲,۱۱	ميانگين	$T=9$ $\Delta/\Delta$
P(Kbar)	۲,۲۱						P=٣,٠۵

با

**جدول ۵** نتایج محاسبه دما و فشار آمفیبول در سنگهای مورد بررسی براساس مرجع [۲۸].

۲۰۰۰°C (میانگین ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد) و برای ارتوپیروکسن بین ۱۱۰۰ تا ۲۵۰°C (میانگین ۱۱۷۵ درجه سانتی گراد) به دست آمد (شکل ۱۳). بر اساس ترکیب تک بلور-پیروکسن و با استفاده از فعالیت [۳۹] رابطه ای دقیق برای بررسی دما بر اساس تبادل میان بلوری کاتیونهای Fe<sup>2+</sup>-Mg در جایگاههای M1 و M2 برای

رسیدن به دمای بسته شدن و تعادل بلور ارائه شده است [۱]:

دماسنجی بر اساس شیمی پیروکسن: روشهای متعددی برای دماسنجی و فشارسنجی با کارگیری ترکیب شیمیایی پیروکسنها وجود دارد [۳۹،۱]. در ادامه نتایج کاربرد چند روش مختلف ارائه میشود (جدول ۶). بر پایه ترکیب اکسیدهای اصلی کانی پیروکسن و شاخصهای بر پایه ترکیب اکسیدهای اصلی کانی پیروکسن و شاخصهای APT و YPT، رابطه زیر برای ارزیابی دما تعیین شده است XPT=0.446SiO<sub>2</sub>+0.187TiO<sub>2</sub>-0.404Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+0.346FeO-

0.052MnO+0.309MgO+0.431 CaO-0.446Na<sub>2</sub>O.

T(K)

93100 + 544 \* p(kbr)

 $= \frac{1}{61.1 + 36.6(x_{Ti}^{Cpx}) + 10.9(X_{Fe}^{Cpx}) 0.95(X_{Al}^{cpx} + X_{cr}^{cpx} - X_{Na}^{cpx} - X_{K}^{CPX}) + 0.395 * [ln(a_{En}^{cpx})]2}$ 

دمای محاسبه شده بر اساس این روش برای کلینوپیروکسنها دمای محاسبه شده بر اساس این روش برای کلینوپیروکسنها oC و ۱۱۵۶-۱۱۵۶ درجه سانتی گراد است. روشی برای دماسنجی جفت کلینوپیروکسن – ارتوپیروکسن بر اساس مبادله Ca و Mg در جایگاه M2 پیروکسن پیشنهاد شده است [۴۱]:

$$Tsj(K) = \frac{4900}{1.807 - lnKD(1)}$$

و بر این اساس دمای ۱۱۹۳- ۱۲۴۴درجه سانتی گراد برای سنگهای آتشفشانی آندزیتی مورد بررسی بدست آمد. دماسنج

$$Cpx(K) = \frac{33696 + 454.5 * P(GPa)}{17.61 - 8.314 * ln \frac{1 - x_{Ca}^{M2}}{0.95} - 12.13 * (x_{Ca}^{M2})}$$

با استفاده از این رابطه، دمای ۱۱۲۱ تا ۱۲۹۴ درجه سانتی گراد با میانگین ۱۲۲۲ درجه سانتی گراد برای آندزیتها محاسبه گردید.

فشارسنجی بر اساس شیمی پیروکسن

مقدار <sup>VI</sup> و <sup>IV</sup> در پیروکسنها به فشار و دما وابسته هستند بطوریکه با افزایش فشار AI بیشتری در جایگاه هشت وجهی وارد میشود [۴۳]. کلینوپیروکسنها و ارتوپیروکسنهای آندزیت سقز با میانگین AI<sup>IV</sup> به ترتیب ۰/۰۷۴ و ۲۰/۱۰ و نیز با دارا بودن I<sup>V</sup>/AI<sup>VI</sup> برابر با ۲/۶۲–۲۲/۲ در محیط با فشار پایین تا متوسط متبلور شدهاند (شکل۱۳).

فشارسنجی نیز برای پیروکسنهای غنی از کلسیم بر اساس ارتباط بین $V_{\rm Cell}$  و  $V_{\rm Cell}$  و گستردهای از سنگهای ماگمایی با  $V_{\rm Cel} = V_{\rm Cel} (Ca+Na) > 0.5$  a.p.f.u Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) ماگمایی با  $0.7 = Al_2O_3 (Mg+Fe^{2+})$  از مافیک تا فرامافیک در پوسته و گوشته ارائه شده است [۴۴]:

 $PNU_{BA}(\pm 1.70, Kbar) = 654.47 - 1.186 * V_{cell}^{corr} (Å^3) -9.140 * V^{corr}_{MI} (Å^3)$ 

بر این اساس، فشار محاسبه شده برای کلینوپیروکسن برابر با ۴٫۳ تا ۱۱٫۵۲ کیلوبار است. فشارهای بالا در نمونههای مورد بررسی گویای تشکیل اولیه آنها در مخزن ماگمایی است و با حرکت توده به سمت بالا و ادامه تبلور و جایگیری نهایی، کانیهایی با فشار پایین متبلور شدهاند.

با فشارسنجی بر اساس مقادیر XPT و YPT [۴۰] نیز فشار تبلور برای کلینوپیروکسن سنگهای آندزیتی سقز برابر با ۲ تا۱۰ کیلوبار و برای ارتوپیروکسن بیش از ۱۰ کیلوبار به دست آمد.



شکل ۱۲ نمودار ارزیابی دما با استفاده از شاخصهای XPT و YPT [۴۰].



**شکل ۱۳** الف) نمودار Al<sup>IV</sup> نسبت به Al<sup>VI</sup> [۴۳] که در آن، کلینوپیروکسنهای مورد بررسی در بخش سنگهای آذرین و کم فشار جانمایی شدهانـد؛ ب) نمودار محاسبه فشار بر اساس ترکیب پیروکسنها [۴۰] که سنگهای آندزیتی منطقه سقز بیشتر گستره ۲ تا ۱۰ کیلوبار را نشان میدهند.

بر داشت

مرجع	[٣٩،١]	[47]	[41]	[44]
	$\Upsilon_{/} \Lambda \cdot \pm$	۵·±	۵±	+ <b>\</b> / <b>Y</b> •
بيشينه	1738	1294	1744	11,02
كمينه	1108	١١٢١	1171	۴,٣
ميانگين	١١٨٤	1714	١٢٢٢	$\Lambda_{\prime}$ ۹۱

جدول ۶ خلاصه نتایج فشار و دماسنجی کانی پیروکسن.

مراجع

[1] Putirka KD., "*Thermometers and barometers for volcanic systems*", Reviews in mineralogy and geochemistry 69.1 (2008) 61-120. https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3.

[2] Le Bas MJ., "*The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage*", American Journal of Science 260.4 (1962) 267-288. https://doi.org/10.2475/AJS.260.4.267.

[3] Leterrier J., Maury RC., Thonon P., Girard D., Marchal M., "*Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series*", Earth and Planetary Science Letters 59.1 (1982): 139-154. https://doi.org/10.1016/0012-821X(82)90122-4.

[4] Beccaluva L., Macciotta G., Spadea P., "Petrology and geodynamic significance of the Calabria- Lucania ophiolite", (1989).

[5] Şengör AC., Yilmaz Y., "*Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach*", Tectonophysics 75.3-4 (1981) 181-241.

[6] Stampfli GM., Borel GD., "A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons", Earth and Planetary science letters 196.1-2 (2002) 17-33. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X.

[7] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F., "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation", International journal of earth sciences 94 (2005) 401-419.

https://doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4.

[8] Hariri A., Farjandi F., Vaezipoor M., Sadegi
A., "Geology Map of Saqqez (Scale 1: 100000) No: 5262 (in Persian)", Geological
Survey of Iran, Tehran (2003).

سنگهای مورد بررسی در شمال پهنه سنندج-سیرجان و در استان کردستان شامل طیف وسیعی از سنگهای آتشفشانی بازالت، آندزیت، آندزیبازالت هستند. سنگهای آندزیتی از كانى هاى آمفيبول، كلينوييروكسن، يلاژيوكلاز و ارتوييروكسن تشکیل شدهاند. بافت عمده این سنگها یورفیری، یورفیری تدریجی و گلومروپورفیری است و سرشت ماگماهای آهکی قليايي را دارند. پلاژيوكلازها از نوع آندزين تا لابرادوريت هستند و مقدار آنورتیت بین ۳۹٬۲۳ تا ۶۸٬۷۰ درصد دارند. کانیهای آمفیبول و پیروکسن ترکیب مذابی که از آن متبلور شدهاند را به خوبی حفظ میکنند و از این رو گزینه مناسبی برای بررسی شرایط فیزیکوشیمیایی هستند. آمفیبولها از نوع ماگمایی با ترکیب پارگازیت و چرماکیت، منیزیو هاستینگیزیت و منیزیو هورنبلند هستند که در منطقه فرورانش متداولند. بر اساس بررسی شیمی کانی، نتایج دما و فشارسنجی بر پایه مقدار آلومینیوم در آمفیبول، دمای تبلور ۹۶۱ تا ۸۹۵ درجه سانتی گراد و فشار از ۲٬۵۹ تا ۴٬۱۱ کیلوبار به دست آمد. ترکیب ییروکسن در سنگهای مورد بررسی اوژیت و انستاتیت است. بر اساس ترکیب پیروکسن، دمای تبلور حدود ۱۱۰۰ تا ۱۲۹۴درجه سانتی گراد و فشار بین بیش از ۲ تا ۱۱ کیلوبار به دست آمد که فشار و دماهای بالاتر مربوط به ارتوپيروكسنهاست. افزون بر اين، كانىهاى پيروكسن و آمفیبول فشاربخشی اکسیژن بالایی دارند که با تشکیل آنها در محيط فرورانش و البته آبدار در تضاد نيست.

### قدردانی

از دانشگاه بوعلیسینا برای تامین بخشی از هزینه تجزیه نمونههای این مقاله سپاسگزاری می گردد. همچنین از سردبیر و سایر مسئولین محترم مجله نیز کمال تشکر را داریم. *hygrometers*", Period Mineral 91 (2022) 63-87. https://doi.org/10.13133/2239-1002/17666.

[18] Papike JJ., "Amphiboles and pyroxenes: Characterization of other than quadrilateral components estimates of ferric iron from microprobe data", Geological Society of America Abstract with Programs. Vol. 6. (1974).

[19] Leake BE., Woolley AR., Arps CE., Birch WD., Gilbert MC., Grice JD., Hawthorne FC., Kato A., Kisch HJ., Krivovichev VG., Linthout K., "Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineral ogical Association Commission on new minerals and mineral names", Mineralogical magazine 61 405 (1997) 295-310. http://dx.doi.org/10.1127/ejm/9/3/0623.

[20] Whitney DL., Evans BW., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American mineralogist 95.1 (2010) 185-187. https://doi.org/10.2138/am.2010.3371.

[21] Ridolfi F., Renzulli A., "Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130° C and 2.2 GPa", Contributions to Mineralogy and Petrology. 163 (2012) 877-895. https://doi.org/ 10.1007/s00410-011-0704-6.

[22] Sousa CS., Conceição H., Soares HS., Fernandes DM., da Silva Rosa MD., "Magmatic processes recorded in plagioclase crystals of the Rio Jacaré Batholith, Sergipano Orogenic system, Northeast Brazil", Journal of South American Earth Sciences 118 (2022) 103942. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103942.

[23] Deer WA., Howie RA., Zussman J., "An *introduction to the rock-forming minerals*", London Longman (1992).

[24] Morimoto N., "Nomenclature of pyroxenes", Fortschr mineral 14.5 (1988) 198-221.

[25] Deer WA., Howie R A., Zussman J., "Singlechain silicates London", Longman (1978).

[26] Aydin F., Karsli O., Sadiklar MB., "Compositional variations, zoning types and petrogenetic implications of low-pressure clinopyroxenes in the Neogene alkaline volcanic rocks of northeastern Turkey", Turkish Journal of [9] Gholipour S., Azizi H., Masoudi F., Asahara Y., Tsuboi M., "Zircon U-Pb ages, geochemistry, and Sr-Nd isotope ratios for early cretaceous magmatic rocks, southern Saqqez, northwestern Iran", Geochemistry 81.1 (2021) 125687. https://doi.org/10.2138/am-1998-9-1004.

[10] Daneshvar N., Maanijou M., Azizi H., Asahara Y., "Petrogenesis and geodynamic implications of an Ediacaran (550 Ma) granite complex (metagranites), southwestern Saqqez, northwest Iran", Journal of Geodynamics 132 (2019) 101669.

https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.101669.

[11] Stocklin J., Nabavi MH., "1/2,500,000 sheet, tectonic map of Iran (in Persian)", Geological Survey of Iran (1973).

[12] Azizi H., Kazemi T., Asahara Y., "A-type granitoid in Hasansalaran complex, northwestern Iran: Evidence for extensional tectonic regime in northern Gondwana in the Late Paleozoic", Journal of Geodynamics 108 (2017) 56-72. https://doi.org/10.1016/j.jog.2017.05.003.

[13] Sepahi AA., Athari SF., "Petrology of major granitic plutons of the northwestern part of the Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt, Zagros Orogen, Iran: with emphasis on A-type granitoids from the SE Saqqez area", Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen 183.1 (2006) 93-106. https://doi.org/ 10.1127/0077-7757/2006/0063.

[14] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M., "U–Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran", Journal of Asian Earth Sciences 41.3 (2011) 238-249. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.03.006.

[15] Khodabandeh A.A., Zabihi M.R., Hadadan M., Yousefi Rad A., "geological map of Miandoab (scale 1:100,000) No: (in Persian)", Geological Survey of Iran, Teharn (2003).

[16]Yavuz F., WinPyrox "A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry", American Mineralogist 98.7 (2013) 1338-1359.

https://doi.org/10.2138/am.2013.4292.

[17]Yavuz F., Yavuz EV., "A Windows program for feldspar group thermometers and [35] Ridolfi F., Puerini M., Renzulli A., Menna M., Toulkeridis T., "*The magmatic feeding system of El Reventador volcano (Sub-Andean zone, Ecuador) constrained by texture, mineralogy and thermobarometry of the 2002 erupted products*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 176.1 (2008) 94-106.

https://doi.org/ 10.1016/j.jvolgeores.2008.03.003.

[36] Davidson J., Turner S., Handley H., Macpherson C., Dosseto A., "Amphibole sponge in arc crust?," 35.9 (2007) 787-790. https://doi.org/10.1130/G23637A.1.

[37] Ghoneim MF., "Mineral chemistry of some gabbroic rocks of the central Eastern Desert, Egypt", Journal of African Earth Sciences (and the Middle East) 9.2 (1989) 289-295. https://doi.org/ 10.1016/0899-5362(89)90071-7.

[38] Ernst WG., Liu J., "Experimental phaseequilibrium study of Al-and Ti-contents of calcic amphibole in MORB—A semiquantitative thermobarometer", American mineralogist 83.9-10 (1998) 952-969. https://doi.org/ 10.2138/am-1998-9-1004.

[39] Nimis P., Taylor WR., "Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology 139 (2000) 541-554.

https://doi.org/10.1007/s004100000156.

[40] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: Empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations", GFF 119.1 (1997) 55-60.

https://doi.org/10.1080/11035899709546454.

[41] Sen G., Jones R., "Experimental equilibration of multicomponent pyroxenes in the spinel peridotite field: Implications for practical thermometers and a possible barometer", Journal of Geophysical Research: Solid Earth 94. B12 (1989) 17871-17880.

### https://doi.org/ 10.1029/JB094iB12p17871.

[42] Bertrand P., Mercier JC., "The mutual solubility of coexisting ortho and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural

Earth Sciences 18.2 (2009) 163-186. https://doi.org/10.3906/yer-0802-2.

[27] Nisbet EG., Pearce JA., "Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings", Contributions to mineralogy and petrology 63.2 (1977) 149-160. https://doi.org/10.1007/BF00398776.

[28] Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M., "Stability and chemical equilibrium of amphibole in calcalkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes", Contributions to mineralogy and petrology 160 (2010) 45-66. https://doi.org/ 10.1007/s00410-009-0465-7.

[29] Kilgore ML., Peslier AH., Brandon AD., Lamb WM., "Water and oxygen fugacity in the lithospheric mantle wedge beneath the Northern Canadian Cordillera (Alligator Lake)", Geochemistry, Geophysics, Geosystems 1910 (2018) 3844-3869.

https://doi.org/10.1029/2018GC007700.

[30] Sisson TW., Grove TL., "Experimental investigations of the role of  $H_2O$  in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism", Contributions to mineralogy and petrology 113 (1993) 143-166.

https://doi.org/10.1007/BF00283225.

[31] Anderson JL., Smith DR., "The effects of temperature and  $fO_2$  on the Al-in-hornblende barometer, American mineralogist ", 80 5-6 (1995) 549-559. https://doi.org/10.2138/am-1995-5-614.

[32] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., "A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses, Journal of Volcanology and Geothermal Research", 189 3-4 (2010) 340-346.

https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.11.023.

[33] Schweitzer EL., Papike JJ., Bence AE., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deepsea basalts", American Mineralogist. 64.5-6 (1979) 501-513. https://doi.org/ 10.1007/s00410-009-0465-7.

[34] Cameron M., Papike JJ., "*Structural and chemical variations in pyroxenes*", American Mineralogist 66.1-2 (1981) 1-50.

[44] Nimis P., Ulmer P., "Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks Part 1: An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems", Contributions to Mineralogy and Petrology 133.1 (1998) 122-135.

https://doi.org/10.1007/s004100050442.

*system?*", Earth and Planetary Science Letters 76.1-2 (1985) 109-122.

https://doi.org/10.1016/0012-821X(85)90152-9.

[43] Aoki KI., "Kushiro I., Some clinopyroxene from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel", Contributions to Mineralogy and Petrology 18 (1968) 326-337.

https://doi.org/10.1007/BF00399694.