



بررسی شیمی کانی کلریت به عنوان روشی در زمین دماسنجه گرمابی در نهشته سولفیدی قزل داش خوی، شمال باختری ایران

علی امامعلی پور^{۱*}، ایرج رساء^۲

۱- گروه مهندسی معدن دانشگاه رومیه

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت مقاله: ۸۸/۶/۲۸، نسخه نهایی: ۸۸/۱۰/۲۸)

چکیده: کانی‌های گروه کلریت دارای دامنه‌ی گسترهای از ترکیب شیمیایی هستند که بازتابی از شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور آن‌ها است. مدل محلول جامد (جانشینی کاتیونی) در شبکه بلوری کلریت به صورت موقیت آمیزی در تعیین دمای تبلور این کانی در محیط‌های گوناگون زمین‌شناسی همچون نهشته‌های معدنی، دگرسانی‌های گرمابی، دگرگونی درجه‌ی پایین و دیاژنز توسط برخی از پژوهشگران به کار رفته است. در این پژوهش، از روش زمین دماسنجه کانی کلریت در تعیین دمای دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی نهشته سولفید توده‌ای ناحیه قزل داش شمال باختر شهرستان خوی استفاده شده است. برای این کار، نمونه برداری سطحی و عمقی (از مغزه‌های حفاری) انجام گرفت و پس از بررسی‌های سنگنگاری (میکروسکوپی) و کانی‌شناسی به روش پرتو ایکس (XRD)، تعداد ۱۱ بلور کلریت که به بخش‌های مختلف سیستم دگرسانی وابسته‌اند، انتخاب و تجزیه شیمیایی نقطه‌ای با دستگاه ریزکاوالکترونی روی آن‌ها انجام گرفت. فرمول ساختاری کلریت‌های انتخابی بر مبنای تعداد ۱۴ اکسیژن محاسبه شد. کلریت‌ها دارای تغییرات ترکیبی و جانشینی‌های اتمی مشخصی هستند که بازتابی از دمای تبلور آن‌هاست. تشکیل کلریت‌های موجود در بخش‌های گوناگون سنگ‌های کانه‌دار در گستره‌ی دمایی ۳۱۸-۳۶۸ درجه سانتی‌گراد، و برای کلریت‌های موجود در سنگ‌های دگرسان بی‌کانه ۲۰۲-۲۱۰ درجه سانتی‌گراد روی داده است. کلریت‌های با دمای بالا محتوی Si کمتری نسبت به کلریت‌های متبولر شده در دماهای پایین دارند.

واژه‌های کلیدی: کلریت، زمین دماسنجه، جانشینی اتمی، دگرسانی، کانه‌زایی، سولفید توده‌ای، قزل داش، خوی.

پیروکسن‌ها، آمفیبول‌ها و بیوتیت در سنگ‌های آذرین است که در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار چند کیلوبار روی می‌دهند [۱، ۲]. بررسی‌های انجام گرفته توسط پژوهشگران مختلف نشان داده است که برخی از متغیرهای شیمیایی این کانی به شدت به دمای تبلور آن وابسته‌اند [۳-۵]؛ برای مثال،

مقدمه

فرمول عمومی کلریت‌ها به صورت $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Mn}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ است. رخداد اصلی این کانی‌ها در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای با درجه‌ی پایین تا متوسط و نیز به عنوان فراورده‌ی دگرسان کانی‌های فرومیزین همچون

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۴۶۰۲۱۸، نامبر: ۲۷۷۷۰۲۲، پست الکترونیکی: a.imamalipour@urmia.ac.ir

را در مرز مشترک ایران و ترکیه می‌پوشاند. پهنه‌ی یاد شده از جنوب به کمریند جنوبی اوپیولیت‌های نئوتیس ترکیه (اوپیولیت‌های محور تاروس) و از سوی شمال به رشته‌ی شمالي (اوپیولیت‌های محور آناتولی) می‌پیوندد. واحدهای سنگی تشکیل دهنده‌ی این مجموعه اوپیولیتی شامل سنگ‌های اولترامافیکی (هاربزبورزیت، دونیت، اندرکی پیروکسنتیت و سرپانتینیت)، گابر، دایک‌های رودنگیتی، مقدار کمی پلاژیوگرانیت، دایک‌های صفحه‌ای، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی با ساختارهای بالشی و صفحه‌ای- توده‌ای، آهک پلاژیک و چرت‌های رادیولاریتی است. سنگ‌های آتشفشاری زیردریایی می‌زبان نهشته‌های سولفیدی به‌بخش بالایی ردیف اوپیولیت خوی (شمال باختر ایران) وابسته‌اند. این نهشته‌ها، پیشتر، به‌عنوان کانه‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشاران زاد نوع قبرسی معرفی شده‌اند [۷، ۸].

روش بررسی

در این کار پژوهشی، از بخش‌های مختلف منطقه‌ی دگرسان که می‌زبان نهشته‌های سولفید توده‌ای هستند، نمونه برداری شد. ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های دگرسان به روشهای سنگ-نگاری میکروسکوپی (۳۰ نمونه) و پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) (۱۵ نمونه)، مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۱۱ بلور کلریت درشت دانه روی تیغه‌های نازک میکروسکوپی برای تجزیه شیمیایی نقطه‌ای انتخاب شدند. به‌منظور اجتناب از گزینش نمونه‌هایی که دستخوش هوازدگی سطحی بوده‌اند، نمونه‌ها از مغزه‌های حفاری و اعماق زیر منطقه هوازده به‌ویژه سنگ‌های بلافصل واقع در پایین و بالای کانسنگ‌های توده‌ای برداشته شدند. در میان این نمونه‌ها، نمونه‌های شماره‌ی 6.3 برداشته شدند. BH1-4 و BH3-3، 23.2 و 26/1 از کانسنگ توده‌ای، نمونه‌های شماره‌ی 23.1 و 26/2 نیز از سنگ میزبان نهشته‌ی معدنی ولی از فاصله‌ای نسبتاً دورتر از آن انتخاب شده‌اند. تجزیه‌ی شیمیایی نقطه‌ای کلریت‌های

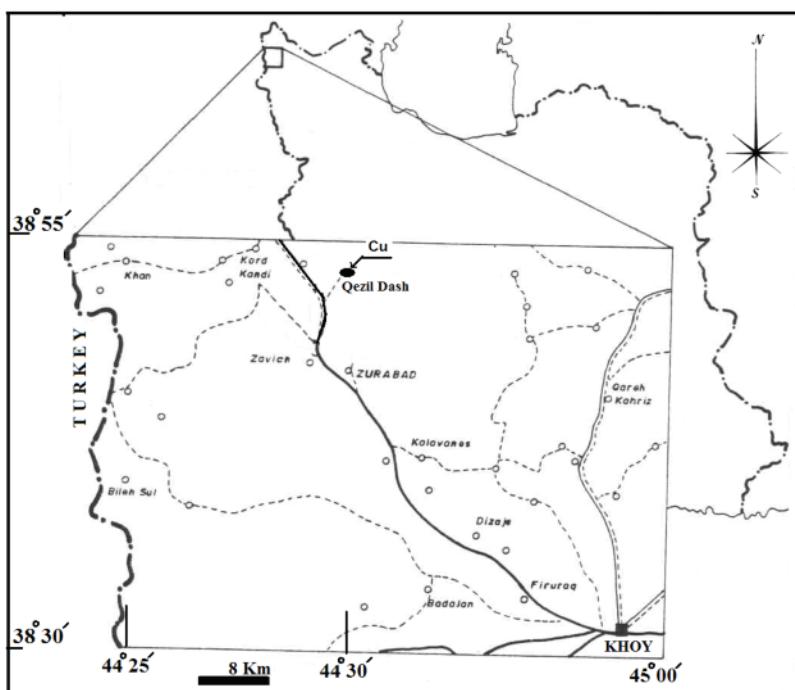
در شبکه‌ی بلوری کانی کلریت کاتیون Al دو جایگاه چهاروجهی (ترائئدری) و هشت وجهی (اکتائدری) را اشغال می‌کند. بررسی کلریت‌های میدان زمین گرمایی "لوس آروفرس" در کمریند آتشفشاری کواترنری مکزیک نشان داده است که همبستگی مشت بسیار جالب توجهی بین میزان Al در جایگاه چهار وجهی و دمای تبلور کلریت‌ها وجود دارد، به‌گونه‌ای که مقدار (IV)Al با افزایش دما به‌طور منظم افزایش می‌یابد. اعتبار داده‌های دمایی به‌دست آمده از روش زمین- دما‌سنجی کلریت از طریق داده‌های به‌دست آمده به‌روش زمین- دما‌سنجی شاره‌های درگیر تایید شده است [۵]. پژوهش‌های انجام گرفته توسط پژوهندگان دیگر در حوضه‌های زمین- شناسی گوناگون دال بر آن است که رابطه‌ی پسرفتی و نمودار اصلاح شده‌ی (IV)T-Al که کتلینیو (۱۹۸۸) ارائه کرده است، می‌تواند به گونه‌ای موفقیت آمیز ولی با احتیاط برای تعیین دمای تبلور کانی کلریت در مواردی همچون بررسی زنگ نهشته‌های معدنی، دگرگونی‌های با درجه‌ی پایین، دگرسانی گرمایی و دیاژنز به کار رود [۶، ۲].

در این پژوهش، شیمی کانی کلریت‌های انتخابی از هاله‌ی دگرسانی وابسته به کانه‌زایی سولفید توده‌ای در سنگ‌های آتشفشاری زیردریایی ناحیه‌ی قزل داش خوی مورد بررسی قرار گرفته و با تعیین تغییرات موجود در متغیرهای شیمیایی ساختار کلریت‌های انتخابی، دمای تبلور این کانی‌ها و در نتیجه دمای دگرسانی گرمایی وابسته به کانه‌زایی ارزیابی شده است. در منطقه‌ی قزل داش واقع در ۵۷ کیلومتری شمال باختری شهرستان خوی، نهشته‌های سولفیدی متعددی یافت می‌شوند که در نتیجه‌ی عملکرد چرخه‌های گرمایی در گدازه‌های آتشفشاری زیردریایی پدیدار شده‌اند (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی، این ناحیه در پهنه اوپیولیتی شمال باختری ایران موسوم به اوپیولیت خوی واقع شده است. این پهنه در واقع بقایای لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس (به سن کرتاسه بالایی- بالئوسن) است که با راستای NNW خود، ناحیه‌ی گسترده‌ای

کشور انجام گرفته است (جدول ۱).

انتخابی با استفاده از ریزکاو الکترونی (Electron

در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (Microprob



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی قزل داش خوی. در نقشه سمت راست موقعیت گستره افیولیت خوی (شمال با ختر کشور و مرز ایران و ترکیه) و منطقه قزل داش (مربع توپر) نشان داده شده است. و در نقشه سمت چپ نیز نقشه زمین‌شناسی منطقه قزل داش آمده است.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای (به روش ریز پردازشی)، محاسبه فرمول ساختار بلوری و دمای تبلور کلریت‌های انتخابی از منطقه‌ی دگرسان و کانه‌زای قزل داش خوی.

Sample No	16/1	16/2	23/1	23/2	6/2	6/3	BH1-4	BH3-4	BH3-3	26/1	26/2
SiO ₂	۲۶,۱۶	۲۴,۷۱	۲۴,۴۷	۲۳,۷۶	۲۶,۰	۲۴,۷	۲۵,۵۷	۲۵,۹۳	۲۴,۸۲	۳۱,۲۵	۳۰,۱۷
Al ₂ O ₃	۱۹,۳۳	۲۰,۳۳	۱۹,۷	۱۹,۰۷	۱۸,۶	۱۸,۹	۱۶,۶۸	۱۷,۸۳	۱۹,۳۱	۱۷,۸۴	۱۷,۳۵
FeO	۱۸,۶۸	۱۸,۸۴	۲۳,۰۷	۲۴,۱۹	۱۶,۰	۱۹,۲	۲۱,۱۵	۱۹,۸۴	۱۹,۵۱	۸۴,۳۰	۲۲,۱۸
MnO	۰,۵۸	۰,۵۶	۰,۷۴	۰,۸۷	۰,۵۴	۰,۶۲	۰,۶۶	۰,۴۲	۰,۵۳	۰,۷۹	۰,۷۴
MgO	۱۸,۱۹	۱۸,۷۳	۱۶,۷۵	۱۷,۲۳	۲۰,۹	۱۹,۸	۱۹,۳۸	۱۹,۰۴	۱۹,۶۵	۱۷,۳۹	۱۵,۱۳
CaO	۰,۱۵	-	-	۰,۱۸			۰,۳۹	۰,۸	۰,۱۹	۰,۸۰	۰,۷۲
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	۰,۰۸	-	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	۰,۰۹	-	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
Total	۸۴,۱۳	۸۳,۱۷	۸۴,۷	۸۶,۱۶	۸۲	۸۳,۱	۸۳,۸	۸۳,۰۳	۸۴,۰۱	۸۶,۴۰	۸۴,۲۶
Si (IV)	۲,۸۲	۲,۶۸	۲,۶۶	۲,۶۸	۲,۷۷	۲,۷۰	۲,۸۰	۲,۸۰	۲,۶۶	۳,۱۸	۳,۱۵
Al	۲,۴۵	۲,۵۹	۲,۵۳	۳,۳۵	۳,۳۴	۲,۴۳	۲,۱۱	۲,۲۸	۲,۴۵	۲,۱۳	۲,۱۴
Al (IV)	۱,۱۸	۱,۳۲	۱,۳۳	۱,۳۲	۱,۲۲	۱,۳۰	۱,۲۰	۱,۳۰	۱,۳۴	۰,۸۲	۰,۸۵
T Site	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Al(VI)	۱,۲۷	۱,۲۷	۱,۱۹	۱,۰۳	۱,۱۲	۱,۱۲	۰,۹۰	۱,۰۸	۱,۱۱	۱,۳۱	۱,۲۹
Fe ⁺²	۱,۶۸	۱,۷	۲,۰۹	۲,۱۶	۱,۴۳	۱,۷۰	۱,۹۰	۱,۷۹	۱,۷۵	۱,۵۵	۱,۵۴
Mn ⁺²	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۴	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۰۶
Mg	۲,۹۲	۳,۰۱	۲,۷۱	۲,۷۴	۳,۳۳	۳,۲	۳,۱۶	۳,۰۶	۳,۱۶	۲,۶۴	۲,۳۹

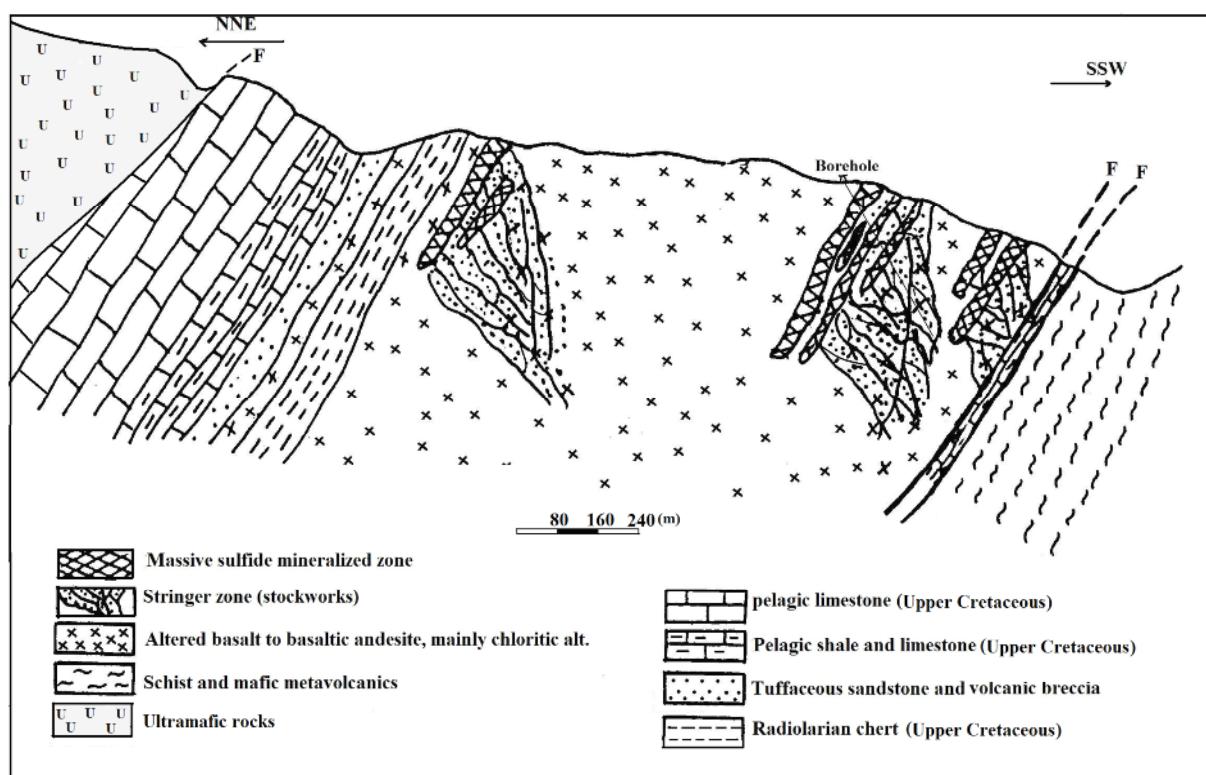
Ca	۰,۰۱	-	-	۰,۰۲	-	-	۰,۰۴	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۰۷
Total	۹,۹۳	۱۰	۱۰	۱۰,۰۱	۹,۹۲	۱۰,۰۷	۱۰,۰۵	۱۰,۰۸	۱۰,۰۸	۹,۸۱	۹,۸۳
Fe/(Fe+Mg)	۰,۳۶	۰,۳۶	۰,۴۳	۰,۴۴	۰,۳	۰,۳۴	۰,۳۷	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۷
Fe/Mg	۰,۵۷	۰,۵۶	۰,۷۷	۰,۷۸	۰,۴۳	۰,۵۳	۰,۶۰	۰,۵۸	۰,۵۵	۰,۵۸	۰,۸۱
T	۳۱۸	۳۶۴	۳۶۸	۳۶۳	۳۳۲	۳۵۶	۳۲۵	۳۲۴	۳۷۰	۲۰۲	۲۱۱

کانه‌ی مس) تشکیل شده است. مقدار پیریت بسیار بیشتر از کالکوپیریت است و نسبت پیریت به کالکوپیریت بالاست. اسفالریت در مقادیر بسیار کم حضور دارد. کوولین در مقادیر بسیار کم تنها در محل گذار بخش اکسایشی به بخش سولفیدی اولیه حضور دارد که در مغزه‌های حفاری شناسایی شده است. ژرفای بخش هوازده در پنج گمانه‌ی اکتشافی حفاری شده از ۱۱/۳ تا ۳۲/۱ متغیر بوده و به طور متوسط به ۱۸ متر می‌رسد [۸]. دگرسانی همراه با کانه‌زایی از نوع کلریتی است که به گونه‌ای فرآگیر سنگ میزبان پیرامون مناطق کانه‌دار را تحت تاثیر قرار داده است (شکل‌های ۳ و ۴). مناطق استرینگر به شکل رگه-رگچه‌ای و انتشاری، بیشتر در بخش‌های پایینی عدسی-های سولفیدی یافت می‌شوند. این رگه-رگچه‌ها سنگ درونگیر را قطع کرده و شبیه مخالف با عدسی‌ها دارند. در زون استرینگر مقدار کانی‌های سیلیس و سرسیت زیاد می‌شود. مناطق کانه‌دار زیر تاثیر فرآیندهای هوازده و اکسایش واقع شده‌اند که فرجام آن گسترش گوسان روی آن‌هاست. به دلیل حضور فراوان هیدروکسیدهای آهن ثانوی، مناطق گوسان به رنگ‌های قهوه‌ای روشن دیده می‌شوند و به خوبی قابل شناسایی هستند (شکل ۳).

بحث و بررسی

ماهیت کانه‌زایی و دگرسانی سنگ میزبان

بالاترین بخش ردیف اوپیولیتی ناحیه‌ی خوی را سنگ‌های آتشفسانی زیردریابی می‌سازند که از گسترشی گستره برخوردارند. در ناحیه‌ی قزل داش، این سنگ‌ها که ساخت صفحه‌ای- توده‌ای دارند، دربردارنده‌ی مناطق کانه‌دار پرشماری در خود هستند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که ترکیب سنگ‌شناسی این سنگ‌ها در گستره‌ی بازالت و آندزیت بازاری بهوده و از نظر ژئوشیمیایی از نوع تولیت‌های با پتاسیم کم (LKT) هستند [۹]. به‌سوی شمال، سنگ‌های آهکی و شیلی پلازیک به گونه‌ای هم شیب بر روی آن‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۲). گذار میان آن دو تدریجی و شامل یک واحد آتشفسانی- رسوبی است. مجموعه‌ی این واحدهای سنگی شیبی در حدود ۴۰-۴۵ درجه به‌سوی شمال دارند [۸]. مناطق کانه‌دار شامل دو بخش توده‌های کوچک عدسی شکل (چینه‌سان) و استرینگر (با ساخت و بافت داربستی) می‌شوند. کانسنگ‌های توده‌ای از ساختار اولیه سنگ درونگیر پیروی می‌کنند و با آن هم شیب‌اند. پاراژنز کانسنگ ساده است و از پیریت (به عنوان کانی باطله اصلی) و کالکوپیریت (به عنوان



شکل ۲ برش زمین‌شناسی ساده شده از منطقه‌ی کانه دار قزل داش خوی.



شکل ۳ نمایی از منطقه‌ی کانه‌دار قزل داش، زون هوازدگی نهشت‌هی سولفید توده‌ای با رنگ روشن‌تر در میان سنگ‌های میزان دگرسان دیده می‌شود، نگاه به سوی باختر.

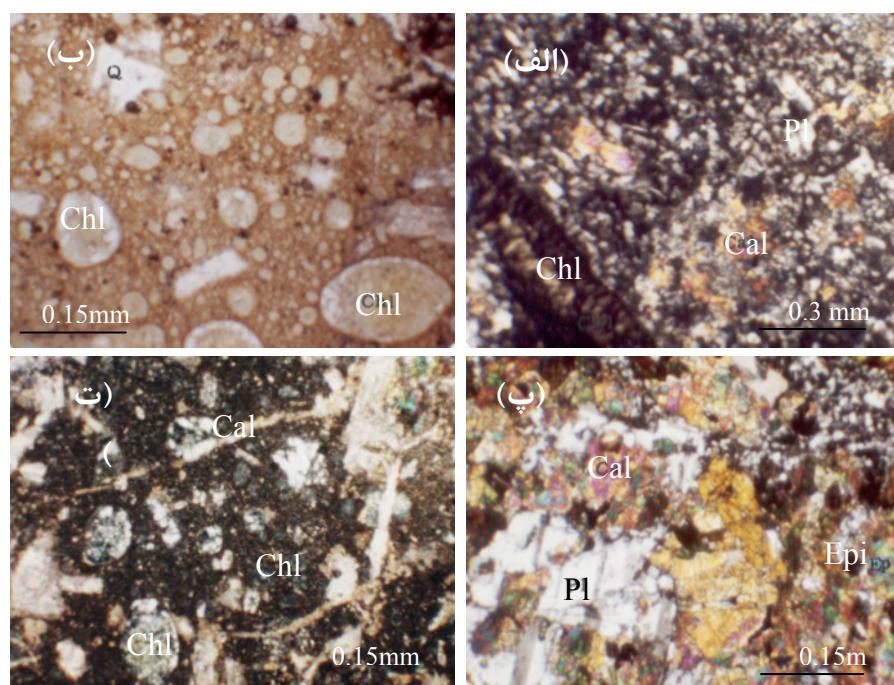


شکل ۴ دگرسانی فرائیگر سنگ میزبان کانه‌دار، بخش عمده‌ی کانی‌های سازنده‌ی سنگ به کانی‌های اپیدوت (به رنگ سبز روشن) و کلریت (به رنگ آبی تیره) دگرسان شده‌اند.

بادامک‌ها اغلب به وسیله‌ی کلریت، اپیدوت، کوارتز و به ندرت کلسیت پر شده‌اند. در بادامک‌ها آثاری از کانی‌های مافیک اولیه باقی نمانده است. فنوکریست‌های پلازیوکلаз در بیشتر موارد دگرسان شده‌اند، ولی بخش‌های نسبتاً سالم هنوز به چشم می‌خورند. فراوانی اپیدوت بیش از کلریت است و در مواردی بیش از ۶۰ درصد سنگ را اپیدوت تشکیل می‌دهد. دگرسانی سنگ میزبان از نوع فرائیگر است، به طوری که هم متن سنگ (میکرولیت‌ها و فنوکریست‌ها) و هم حفره‌ها و رگچه‌های آن با کانی‌های حاصل از دگرسانی اشغال شده‌اند. بررسی‌های کانی-شناختی به روش پرتو ایکس (XRD) نیز گویای آن است که دگرسانی همراه با کانه‌زایی از نوع کلریتی است و کانی‌های کلریت، اپیدوت، کوارتز، آلبیت، پیریت، کلسیت و زیپس، کانی-های اصلی موجود در سنگ‌های میزبان کانه‌زایی هستند (جدول ۲ و شکل ۶). به نظر می‌رسد که دگرسانی پلازیوکلاز (شکل ۲ و شکل ۶) به این سنگ‌ها خصوصیاتی مانند سدیک کلسیک در حضور گرمابی پرمایه از Na به پلازیوکلاز سدیک (آلبیت)، دگرسانی هورنبلند در حضور شاره‌ی پرمایه از Fe و Mg به کلریت، اپیدوت و اکسید آهن، و دگرسانی پیروکسن در حضور محلول پرمایه از CO_2 به کلسیت و سیلیس از فرآیندهای اصلی در دگرسانی سنگ میزبان هستند.

از آنجا که کانه‌زایی ماهیت سین ژنتیک داشته و رخدادهای کانه‌زایی و دگرسانی سنگ میزبان همزمان با هم و طی تکاپوی فرایندهای بروندمی گرمابی زیردریایی پدیدار شده‌اند، از این رو دمای قبلو کلریت‌ها، به عنوان یکی از فراورده‌های دگرسانی سنگ میزبان می‌تواند بیانگر دمای دگرسانی گرمابی و نهشتگی کانه‌های سولفیدی باشد.

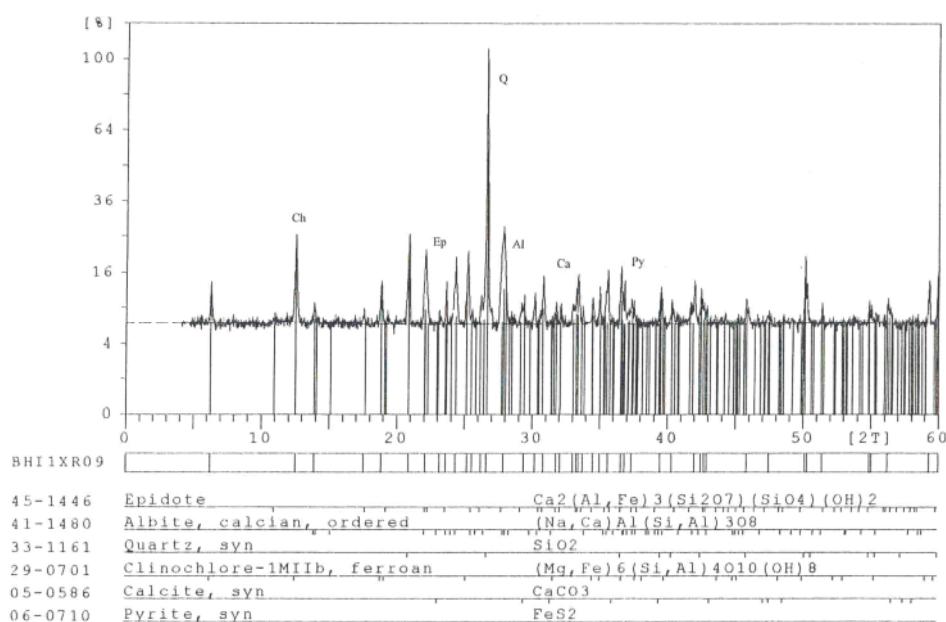
بررسی سنگ‌نگاری گدازه‌های زیردریایی میزبان کانه‌زایی، گویای آن است که این سنگ‌ها تحت تاثیر گرمابی‌ها دگرسان شده و کانی‌های اولیه سازنده آن‌ها به مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسان تبدیل شده‌اند. بافت این سنگ‌ها از نوع پوروفیری، میکروپوروفیری، گلومروفوروفیری، جریانی و در مواردی برشی است. از ویژگی‌های بارز این سنگ‌ها حضور فراوان اپیدوت، کلریت و کلسیت به صورت دانه‌های بی‌شکل، پراکنده یا مجتمع در زمینه‌ی بادامکی‌ها، رگچه‌ها و قالب کانی‌های اولیه است (شکل‌های ۵-الف تا ت). وجود رگچه‌های کلسیتی و کوارتز گویای پیدایش آن‌ها در یک مرحله تاریخی است. زمینه‌ی بیشتر این سنگ‌ها ریز بلوری و ریز دانه‌ای است و بیشترشان انبوهای از اپیدوت، کلریت و کوارتز هستند که در آن تنها آثاری از فنوکریست و کانی‌های مافیک اولیه بر جای مانده است.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفسانی دگرسان؛ کلریت به صورت رگهای در سنگ با بافت میکروپورفیری (الف)، آمیگدال‌های پر شده با کلریت و کوارتز (ب)، کانی‌های دگرسان کلریت، اپیدوت، کلسیت و کوارتز به صورت پراکنده در متن سنگ دگرسان با بافت پورفیری (ج)، و کانی‌های دگرسان (کلریت، کلسیت و کوارتز) به صورت رگهای، پراکنده و پرکننده آمیگدال‌ها (د). علایم اختصاری: کلریت (Chl)، اپیدوت (Epi)، کلسیت (Cal)، کوارتز (Q) و پلاژیوکلاز نوع آلبیت (Pl).

جدول ۲ ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های انتخابی از سنگ‌های دگرسان و کانه‌دار منطقه قزل داش خوی به روش بررسی پرتو مجھول (XRD).

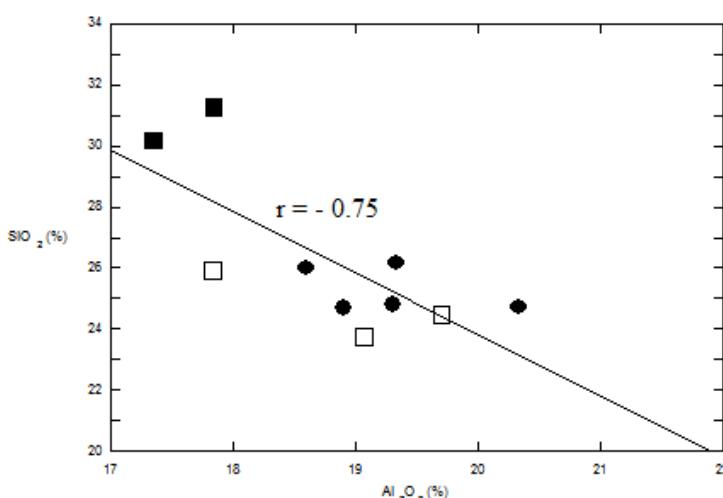
کانی‌های فرعی	کانی‌های اصلی	شماره نمونه
اپیدوت، کلسیت	کوارتز، کلریت، آلبیت	BH1-XR-03
کوارتز، پیریت، زیپس، کلسیت	کلریت، اپیدوت، آلبیت	BH1-XR-05
کوارتز، پیریت، کلسیت، سرسیت	کلریت، اپیدوت، آلبیت	BH1-XR-09
اپیدوت، پیریت، کلسیت	کلریت، آلبیت	BH2-XR-03
اپیدوت، پیریت، کلسیت، تالک	کوارتز، کلریت، آلبیت	BH2-XR-05
اپیدوت، پیریت، کلسیت	کوارتز، کلریت، آلبیت	BH2-XR-07
اپیدوت، سرسیت، کلسیت	کلریت، آلبیت، کوارتز	BH3-XR-03
مالاکیت	کوارتز، کلریت، اپیدوت، پیریت	P1-XR-03
	کوارتز، کلریت، اپیدوت	P2-XR-01
اپیدوت، مalaکیت	کوارتز، کلریت، آلبیت	T5-XR-04
بورنیت، سرسیت	کلریت، کوارتز، پیریت، اپیدوت	KH-XR-11



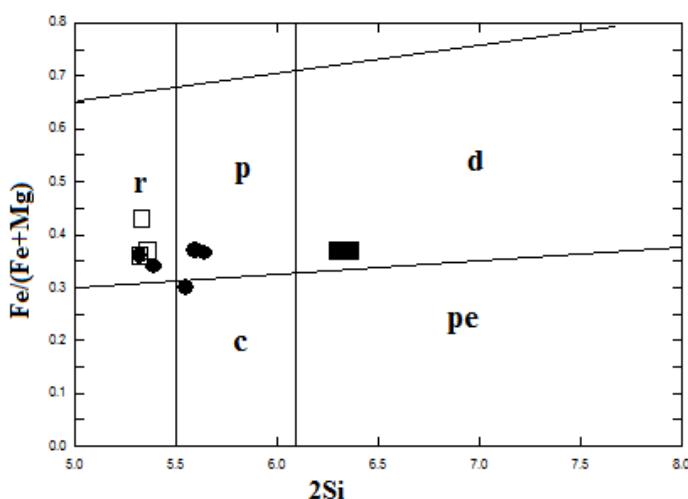
شکل ۶ طرح پراش پرتو ایکس وابسته به یکی از نمونه‌های برداشته از منطقه‌ی دگرسانی با مجموعه کانی‌شناسی اپیدوت، آلبیت، کوارتز، کلینوکلر، کلسیت و پیریت.

ی ۱۳۳۵-۱۰ خواهد بود. مقادیر $\text{Al}(\text{IV})$ در کلریت‌های انتخابی از سنگ‌های کانه‌دار و سنگ‌های مجاور کانسنگ‌های سولفیدی در گستره‌ی ۱۰-۱۳۹ و در سنگ‌های دگرسان بی-کانه در گستره‌ی ۸۴-۸۲-۰ قرار می‌گیرند. مقدار آلومینیمی که وارد جایگاه هشت وجهی کانی‌های کلریت شده‌اند، به طور نسبی کمتر از مقدار جانشین شده در جایگاه چاروجهی است. کلریت‌های وابسته به سنگ‌های منطقه‌ی کانه‌دار بر اساس نمودار $(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{Fe}^{2+})$ نسبت به $2\text{Si} / [10]$ بیشتر از نوع رپیدولیت و کلریت‌های وابسته به سنگ‌های دگرسان بی-کانه از نوع دیابانتیت هستند (شکل ۸). لازم به یادآوری است که در بررسی‌های میکروسکوپی و کانی‌شناسی (XRD) کلریت‌های نوع کلینوکلر و پنیتیت نیز شناسایی شده‌اند. نسبت‌های $(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / \text{Fe}^{2+}$ در کلریت‌های بررسی شده با دامنه‌ی ۰-۳/۴۴ تغییر می‌کند که در مقایسه با مقادیر آن در کلریت‌های نهشته‌ی سولفیدی "زوها" در ناحیه‌ی اوفیولیتی عمان دامنه‌ای، پایین‌تر است [۱۱]. به سخن دیگر، کلریت‌های ناحیه‌ی قزل داش در مقایسه با کلریت‌های ناحیه‌ی "زوها" از منیزیم کمتری برخوردارند؛ در حالی که مقادیر این نسبت در کلریت‌های انتخابی با مقادیر آن در کلریت‌های واقع در هاله‌ی دگرسانی نهشته‌ی سولفیدی "کوکینوپزولا" (اوفیولیت قبرس) قابل مقایسه است [۱۲-۰/۲۵-۰/۴].

شیمی کانی کلریت‌های انتخابی فرمول ساختاری کلریت‌های تجزیه شده بر مبنای تعداد اکسیژن محاسبه شده است. برای این کار، نخست نسبت‌های مولکولی بر اساس درصد وزنی اکسیدها به دست آمد و سپس به ترتیب نسبت‌های کاتیونی و تعداد اکسیژن مربوط به هر اکسید محاسبه شد. با در نظر گرفتن این نسبت‌ها و بر مبنای تعداد ۱۴ اکسیژن تناسب کاتیونی برای هر کدام از کاتیون‌ها به دست آمد. سرانجام، مقدار Al موجود در جایگاه چاروجهی شبکه‌ی بلوری کلریت‌های انتخابی ($\text{Al}(\text{IV})$) محاسبه شد. فرمول ساختاری کلریت‌های انتخابی در جدول ۱ رائه شده است در ساختار بلور کلریت، بین کاتیون Al^{3+} با کاتیون Si^{4+} از یک طرف، و بین کاتیون Al با کاتیون‌های Fe^{2+} و Mg^{2+} از طرف دیگر جانشینی‌های گسترده‌ی اتمی روی می‌دهد، به‌گونه‌ای که کاتیون Al می‌تواند در دو موقعیت چاروجهی و Si هشت وجهی وارد شود. در جایگاه چاروجهی Al جانشین Si می‌شود و از این رو افزایش مقدار Al در این جایگاه، با کاهش SiO_4 در Al_2O_3 با SiO_4 در کلریت‌ها دارای همبستگی وارونند که این خود نشانگر جانشینی کاتیونی است Si^{4+} با Al^{3+} (شکل ۷). نسبت کاتیونی Al کل موجود در شبکه‌های بلوری کلریت‌ها بین ۰/۳ تا ۰/۴۴۸ است. نسبت کاتیونی $\text{Si}(\text{IV})$ در جایگاه چاروجهی در گستره-۰/۴۰-۰/۶۶۵ به دست آمد، از این رو مقادیر $\text{Al}(\text{IV})$ در گستره-



شکل ۷ نمودار پراکنش SiO_2 نسبت به Al_2O_3 ، علایم: بخش داربستی (دایره توپر)، کانسٹگ سولفیدی یا سنگ‌های مجاور (مربع توخالی)، سنگ میزبان دگرسان در فاصله دورتر از منطقه کانه‌دار (دایره توپر).



شکل ۸ ترکیب کلریت‌های بررسی شده در نمودار ارائه شده توسط [۱۰]؛ علایم: ریدولیت (r)، پیکنوكلریت (p)، دیابانتیت (d) و کلینوکلر (c).

ترکیب طبیعی کانی می‌تواند دمای تشکیل آن را مشخص کند. برای مثال، مقدار Ti موجود در مگنتیت (به صورت محلول جامد) به عنوان تابعی از دما از روی تجربیات آزمایشگاهی مشخص شده است [۱]. در رابطه با جانشینی‌های اتمی صورت گرفته در کلریت‌ها نیز مقدار $\text{Al}(\text{IV})/\text{Al}(\text{IV})$ با افزایش دما به طور منظم افزایش می‌یابد و از این رو رابطه‌ی T-Al(IV) برای تعیین دمای تشکیل (تلبور) کلریت‌ها پیشنهاد شده است. تعیین دمای داده‌های دمایی به دست آمده از این روش با داده‌های مقایسه‌ی داده‌های دمایی به دست آمده از این روش با داده‌های حاصل از روش‌های دیگر از جمله اندازه‌گیری مستقیم دما در حوضه‌های زمین گرمایی، بررسی‌های شاره‌های درگیر برآش خوبی را بین آن‌ها نشان داده است، به گونه‌ای که خطای محاسبه شده کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد بوده است [۴].

دماهای تبلور کلریت‌ها

یکی از عواملی که رخداد جانشینی اتمی بین کاتیون‌های مختلف را تعیین می‌کند، دماهای رخداد جانشینی است. به طور کلی در دماهای بالاتر، گنجایش جانشینی اتمی بیشتر است، زیرا در این دماهای ارتعاش‌های گرمایی (کل ساختار) بیشتر بوده و اندازه‌ی موضع اتمی موجود بزرگتر است. بنابراین در یک ساختار خاص، در دماهای بالاتر انتظار تغییرات ترکیبی بیشتری می‌رود تا در دماهای پایین‌تر [۱۱]. خاصیت افزایش جانشینی اتمی در دماهای بالا، وسیله‌ای برای تعیین دمای تشکیل کانی‌ها فراهم می‌آورد که خود روشی را در بررسی‌های زمین-دماسنجی تشکیل می‌دهد. اگر درجه‌ی جانشینی اتمی برای یک کانی خاص در دماهای گوناگون تعیین شده باشد،

به خوبی شناخته شده است، از این رو با تجزیه‌های شیمیایی (به ویژه تجزیه‌های نقطه‌ای) دقیق و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن می‌توان دمای تبلور کانی را به دست آورد. در گستره‌ی مورد بررسی، کلریت یکی از کانی‌های فراوان تشکیل شده طی فرآیندهای دگرسانی (و کانه‌زایی) بوده است. میانگین دمای دگرسانی (و کانه‌زایی) در منطقه‌ی قزل داش بر پایه‌ی زمین دماسنجی کلریت، ۳۳۴ درجه سانتیگراد به دست آمد. به نظر می‌رسد که با دور شدن از سنگ‌های کانه‌دار (کانون اصلی چرخش محلول‌های کانه‌دار)، دمای دگرسانی کاهش یافته و به حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد رسیده است. بررسی روابط بین اکسیدهای تشکیل دهنده کلریتها و دمای تبلور آن‌ها گویای آن است که میان محتوای SiO_2 و دمای تبلور آن‌ها همبستگی وارون و شدیدی وجود دارد؛ به گونه‌ایکه با افزایش سیلیس، دمای تبلور کاهش می‌یابد (شکل ۱۰). به دیگر سخن می‌توان گفت که کلریتها بیشتری تشکیل می‌شوند، سیلیس کمتری در ترکیب خود دارند و بر عکس، از این رو محتوای سیلیس کلریتها می‌تواند شاخصی از دمای تبلور آن‌ها باشد.

گستره‌ی دمایی یاد شده با گستره‌های دمایی به دست آمده از نهشتلهای سولفید توده‌ای مشابه در نقاط دیگر جهان، قابل مقایسه است؛ برای مثال، دمای کانه‌زایی در نهشتلهای سولفید توده‌ای قبرس بر اساس داده‌های شاره‌های درگیر در گستره‌ی ۳۵۰-۲۲۰ درجه سانتیگراد گزارش شده است [۱۲].

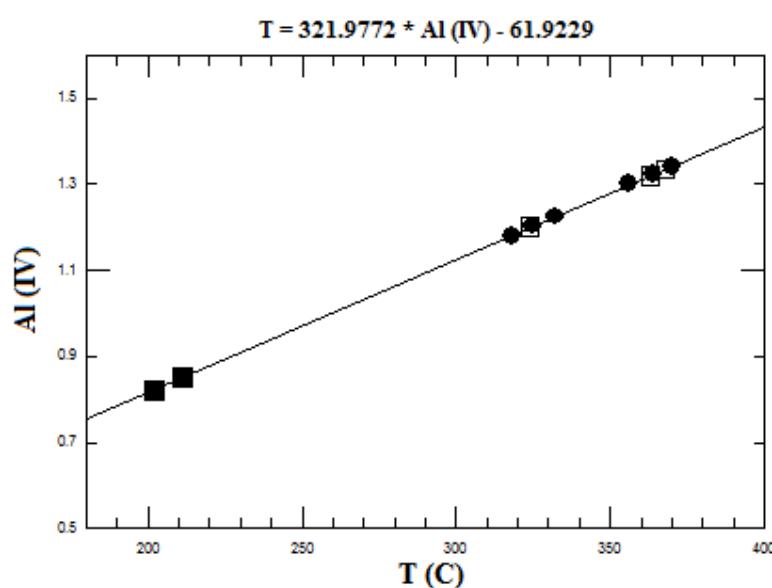
معادله‌ی زیر رابطه پسروی ارائه شده در اثر کتلینئوا را نشان می‌دهد:

$$T (\text{°C}) = -61.92 + 321.98 (\text{Al}_{\text{IV}}) \quad (1)$$

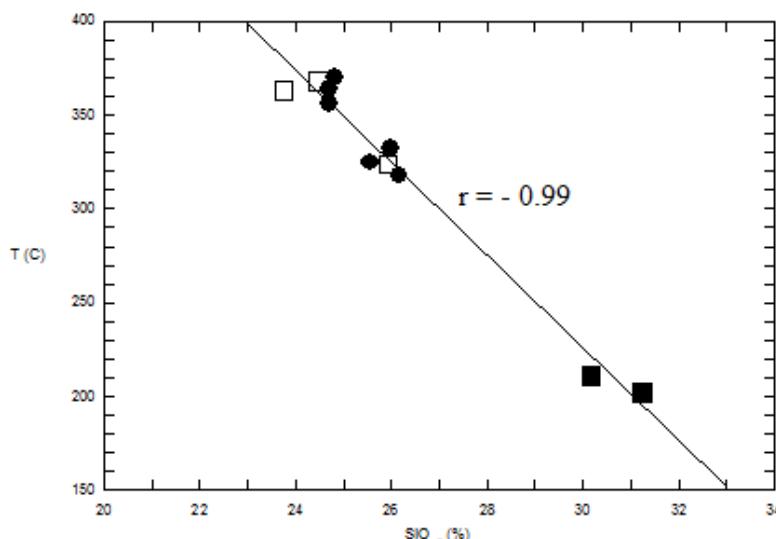
دمای دگرسانی و کانه‌زایی در نهشتلهای سولفید توده‌ای قزل داش ناحیه‌ی خوبی با استفاده از زمین دماسنج کلریت تعیین شده است. با استفاده از رابطه‌ی پسروی $T\text{-Al}_{\text{IV}}$ و نمودار اصلاح شده کتلینئوا [۴] دمای تبلور کلریتها انتخابی از سنگ‌های مجاور کانسنگ سولفیدی در گستره‌ی ۳۷۰-۳۲۴ درجه‌ی سانتیگراد و در مورد کلریتها انتخابی از بخش درایستی در گستره‌ی ۳۶۸-۳۱۸ درجه‌ی سانتیگراد به دست می‌آید (شکل ۹)، از این رو می‌توان گفت که تغییر چندانی در دمای تبلور کلریتها این سنگ‌ها وجود ندارد. میانگین دمای تبلور این کلریتها حدود ۳۵۰ درجه‌ی سانتیگراد است. کلریتها وابسته به سنگ‌های دگرسان بی کانه که در فاصله‌ی دورتری نسبت به منطقه‌ی کانه دار قرار گرفته‌اند، دمای کمتری را نشان می‌دهند. دمای تبلور دو بلور کلریت انتخابی از این سنگ‌ها ۲۱۱-۲۰۲ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمده است (جدول ۱).

برداشت

کلریت یکی از محصولات دگرسانی سنگ‌ها در اثر گرماب کانه‌دار، شاره‌های سیستم‌های زمین گرمایی یا دگرگونی‌های با درجه پایین است. از آنجا که ارتباط بین مقدار Al_{IV} در جایگاه چاروجه‌ی ساختار بلوری کانی کلریت و دمای تبلور آن



شکل ۹ دمای تبلور کلریت‌های انتخابی از سیستم دگرسانی و کانه زایی ناحیه‌ی قزل داش خوی بر اساس نمودار T-Al(IV)-SiO₂ ارائه شده توسط [۴]



شکل ۱۰ نمودار SiO₂ نسبت به T، کلریت‌های تشکیل شده در دماهای بالا محتوای Si کمتری دارند و بر عکس.

trioctahedral chlorites", Clays and clay minerals, Vol. 57, 2009, pp.371-382.

[۷] امامعلی پور ع.، مسعودی ج.، "معرفی نهشته‌های مس قزل داش به عنوان کانه‌زایی ماسیوسولفاید تیپ قبرس در زون اوفیولیت ملانژ خوی"، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران ۶-۴ شهریور ۱۳۷۶.

[۸] امامعلی پور ع.، "متالوژنی اوفیولیت خوی با نگرشی ویژه بر انباسته‌های سولفیدی در آتشفشانی‌های زیردریایی قزل داش خوی"، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۰.

[۹] امامعلی پور ع.، "بررسی ژئوشیمی و خاستگاه زمین‌ساختی پیدایش انباسته‌های سولفوری در ناحیه قزل داش خوی"، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، شهریور ۱۳۸۰.

[10] Pflumio C., "Evidences for polyphased oceanic alteration of the extrusive sequence of the Semail ophiolite from the Salahi Block (Oman)", in: Peters, T.J.(Eds), Ophiolite genesis and evolution in the oceanic lithosphere, 1991, pp. 313-351.

[11] Richards H.G, "Mineralogical and metasomatic zonation of alteration pipes of yprus sulfide deposits", J .Geophys, Res., 1989, 84: 91-115.

[12] Heaton T. H. E., Sheppard S. M. F., "Hydrogen and oxygen isotope evidence for sea

این پژوهش، کاربرد شیمی کانی را در بررسی‌های زمین دماسنجه نشان می‌دهد. استفاده از زمین دماسنجه کانی کلریت به ویژه آنجا که امکانات لازم و یا شرایط مناسب برای بررسی شاره‌های درگیر وجود ندارد، روشی بسیار سودمند است. همچنین از این روش می‌توان به عنوان مکملی در کنار روش‌های مرسوم دیگر زمین دماسنجه استفاده کرد.

مراجع

- [1] Klein C., Hurlbut C.S., "Manual of mineralogy", John Wiley and Sons, 1999.
- [2] Caritat P., Hutcheon I., Walshe J.L., "Chlorite geothermometry: a review", Clays and clay minerals, Vol. 41, 1993, pp.219-239.
- [3] McDowell S.D., Elders W.A., "Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1", Salton sea geothermal field, California, USA, Contrib. Mineral. Pet., Vol. 74, 1980, pp. 293-310.
- [4] Cathelineau M., "Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature", Clay minerals, Vol. 23, 1988, pp. 471-485.
- [5] Cathelineau M., Nieva D., "A chlorite solid solution geothermometer, the los Azufres geothermal system (Mexico)", Contrib. Mineral. Pet., Vol. 91, 1985, pp. 235-244.
- [6] Inoue A., Meunier A., Patrier-Mas P., Rigault C., Beaufort D., Vieillard P., "Application of chemical geothermometry to low-temperature

water hydrothermal alteration and ore deposition", Troodos complex Cyprus, Geol ., Soc., lord., spec., pub 1, Vol. 7 , 1977, pp. 42-57 .