

Geothermometry and physiochemical condition of Qaleh- Zari Cu-Au ore bearing solution based on chlorite composition and fluid inclusion study

Karimpour, M.H.

Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

Khin Zaw.

Special center for ore deposit and exploration study,

University of Tasmania, Australia

Keywords: *Chlorite, ripidolite, geothermometry, Qaleh Zari.*

Abstract: Qaleh-Zari mine is the largest Cu-Au vein type deposit in Iran and is located about 182 km south of Birjand (Khorasan province). The ore grade ranges from Cu= 0.5-8%, Au= 0.5-15 ppm, and Ag= 20-150 ppm. Mineralization concentrated in three major veins. Host rocks are mainly andesite to basaltic andesite (Paleocene-Eocene). The main paragenesis is: quartz, hematite (specularite), chlorite, chalcopyrite, $\pm$ pyrite, $\pm$ Ag-sulfosalts, and $\pm$ gold.

Samples were collected from three veins at depth of -70, -100, -135, and -170 meters. At each level, samples are taken every 10m. Chlorites are mainly Fe-rich ripidolite, however a few sampels are brunsvigite and pycnochlorite. Temperature of chlorites formation were calculated based on the Cathelineau and Nieva (1985) equation. The chlorites were formed between 260-300°C. The temperature of chlorite formation is 10-30°C less than temperature measured from fluid inclusion. Using chlorite composition and fluid inclusion data from Qaleh- Zari, new equation is presented for calculation of temperature for chlorite formation . The ore fluid contained

$\log mH_2S = -3$ to -3.5 , $\log mH_2 < -5.5$, $\log fO_2 = -30$ to -29 .

پژوهشی

دماسنجی و شرایط فیزیکی شیمیایی محلول کانه‌دار بر مبنای کلریت و سیالات درگیر در معدن مس - طلای قلعه زری

محمد حسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

خین زاو

مرکز ویژه مطالعات و تحقیقات ذخایر و اکتشافات معدنی دانشگاه تاسمانیا، استرالیا

چکیده: معدن مس قلعه‌زری بزرگترین معدن مس رگه‌ای ایران، در ۱۸۲ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. عیار مس بین ۰/۵ تا ۸ درصد، نقره ۲۰ تا ۱۵۰ گرم در تن و طلا ۰/۵ تا ۱۵ گرم در تن است. کانی‌سازی عمدتاً در سه رگه متمرکز شده است. غالب سنگهای دربرگیرنده شامل آندزیت تا آندزیت بازالتی (با سن پالئوسن - ائوسن) است. کانی‌سازی منطقه شامل کوارتز، هماتیت (اسپیکولاریت)، کلریت، کالکوپیریت، $\pm$ طلا، $\pm$ کانی‌های حاوی نقره و $\pm$ پیریت است.

نمونه‌برداری از سه رگه اصلی در اعماق ۷۰-، ۱۰۰-، ۱۳۵- و ۱۷۰- متری صورت گرفت، و از رگه‌ها به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر نمونه برداری شد. غالب کلریتها از نوع رپیدولیت غنی از آهن و چند نمونه پینوکلریت - برانزویجیت‌اند. دمای تشکیل کلریتها براساس فرمول کاتلینو و نیوا [۹] محاسبه و بین 260°C تا 300°C است.

دمای کلریتها 10°C تا 30°C کمتر از دمای اندازه‌گیری شده سیالات درگیر کوارتز است. فرمول کاتلینو و نیوا [۹] براساس کلریتهای قلعه‌زری تغییر می‌کند و فرمول جدید جهت محاسبه دمای تشکیل کلریتها ارائه می‌شود. در محلول کانه‌دار قلعه زری نتایج به شرح زیرند.

$$-29 \text{ تا } -30 = \log f\text{O}_2, \log m\text{H}_2 < -5/5 \text{ و } -3/5 \text{ تا } -\log m\text{H}_2\text{S} = 3 \text{ بوده.}$$

واژه‌های کلیدی: کلریت، رپیدولیت، قلعه‌زری، دماسنجی

مقدمه

معدن مس قلعه زری در استان خراسان و در ۱۸۲ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند واقع شده است. کانسار قلعه زری مهمترین و بزرگترین معدن مس نوع رگه ای ایران است. غالب سنگهای در برگیرنده از نوع آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا بازالت است. در مرکز منطقه، شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک رخنمون دارند. رگه ها دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق و شیب آنها ۸۰ تا ۸۵ درجه به سمت شمال شرق است. عرض منطقه کانی سازی بین ۰/۵ تا ۱۰ متر است. عیار مس بین ۰/۵ تا ۸ درصد، طلا ۰/۵ تا ۱۵ گرم در تن و نقره ۲۰ تا ۱۵۰ گرم در تن گزارش شده است [۱]. مجموع میزان ذخیره برداشت شده و باقی مانده در حدود ۱۰ میلیون تن برآورد می شود.

براساس آثار باقی مانده از برداشت رگه ها در مناطق پرعیار، سرباره های نسبتاً زیاد و موارد دیگر، بهره برداری در این معدن از ادوار گذشته (زمان شداد) انجام می شده است. مطالعات و بهره برداری از سوی دو شرکت ایرانی و ژاپنی (شرکت لوت و تیتسو ژاپن) از سال ۱۳۴۹ آغاز و در سال ۱۳۷۱ شرکت ملی صنایع مس ایران سهم شرکت ژاپنی را خریداری کرد. در حال حاضر شرکتهای میناکان و صنایع مس ایران از این معدن بهره برداری می کنند.

روش مطالعه

به منظور مطالعه کانی شناسی (شناسایی کانیها و مطالعه پاراژنز)، دماسنجی، و نیز تجزیه کانیها با میکروسکوپ الکترونی، از سه رگه اصلی نمونه برداری شد. نمونه برداری از تونلها در اعماق ۷۰-، ۱۰۰-، ۱۳۵- و ۱۷۵- متری انجام گرفت. چاه شماره (۱) (Shaft No.1) در هر عمق به عنوان ایستگاه مبنا انتخاب شد، و نمونه برداری در هر عمق به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر در امتداد جنوب شرق و شمال غرب صورت گرفت. نمونه های برداشت شده از سمت جنوب شرق چاه شماره (۱) با علامت R و در محدوده شمال غرب با علامت L نمایش داده شدند. ابتدا مقاطع صیقلی و نازک صیقلی از همه نمونه ها تهیه شد و کانیهای فلزی و غیرفلزی آنها به دقت مورد مطالعه قرار گرفتند. در رگه های شماره (۱)، (۲) و (۳) در اعماق مختلف، همراه کوارتز، هماتیت و کالکوپریت، کانی کلریت مشاهده شدند. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، ترکیب کلریتها تعیین شد و برای کنترل دمای به دست آمده از کلریت، سیالات درگیر کوارتز نیز مورد مطالعه قرار گرفتند.

زمین شناسی

قدیمی ترین واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارند شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک هستند. این واحد در جنوب و جنوب شرق رگه های اصلی واقع شده است (شکل ۱). در ارتفاعات دم روباه (شرق روستای قلعه زری)، کنگلومرای قرمز رنگ کرتاسه فوقانی به صورت ناپیوسته روی شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک قرار دارد [۲]. روی کنگلومرا آهک ماسه ای به ضخامت ۲۰۰ متر قرار گرفته که براساس نوع فسیلها به کرتاسه فوقانی تعلق دارد. در جنوب ارتفاعات دم روباه، آهک توده ای کرم رنگ با ضخامت ۱۳۰ متر و با سن پالئوسن قرار دارد. فعالیت های آتشفشانی در این منطقه بعد از پالئوسن شروع و در چند مرحله تکرار شده است. انواع سنگهای پیروکلاستیکی و گدازه در این منطقه شناسایی شده اند (شکل ۱).

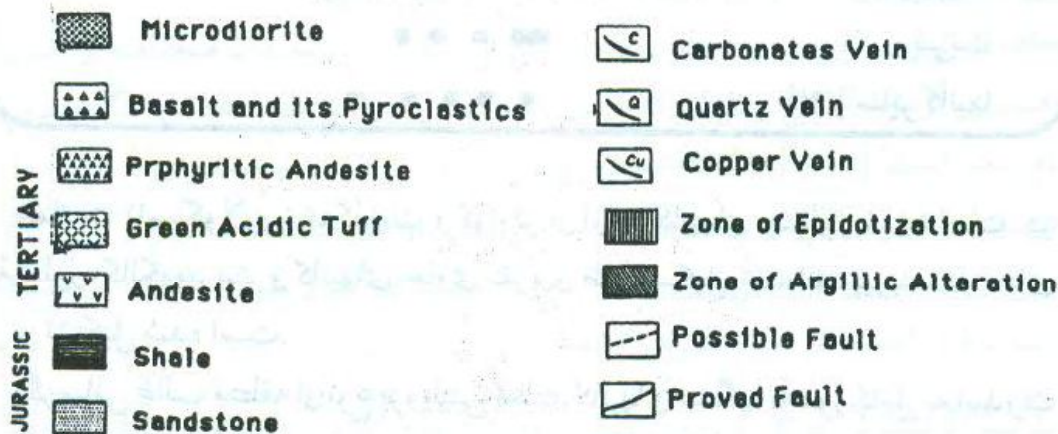
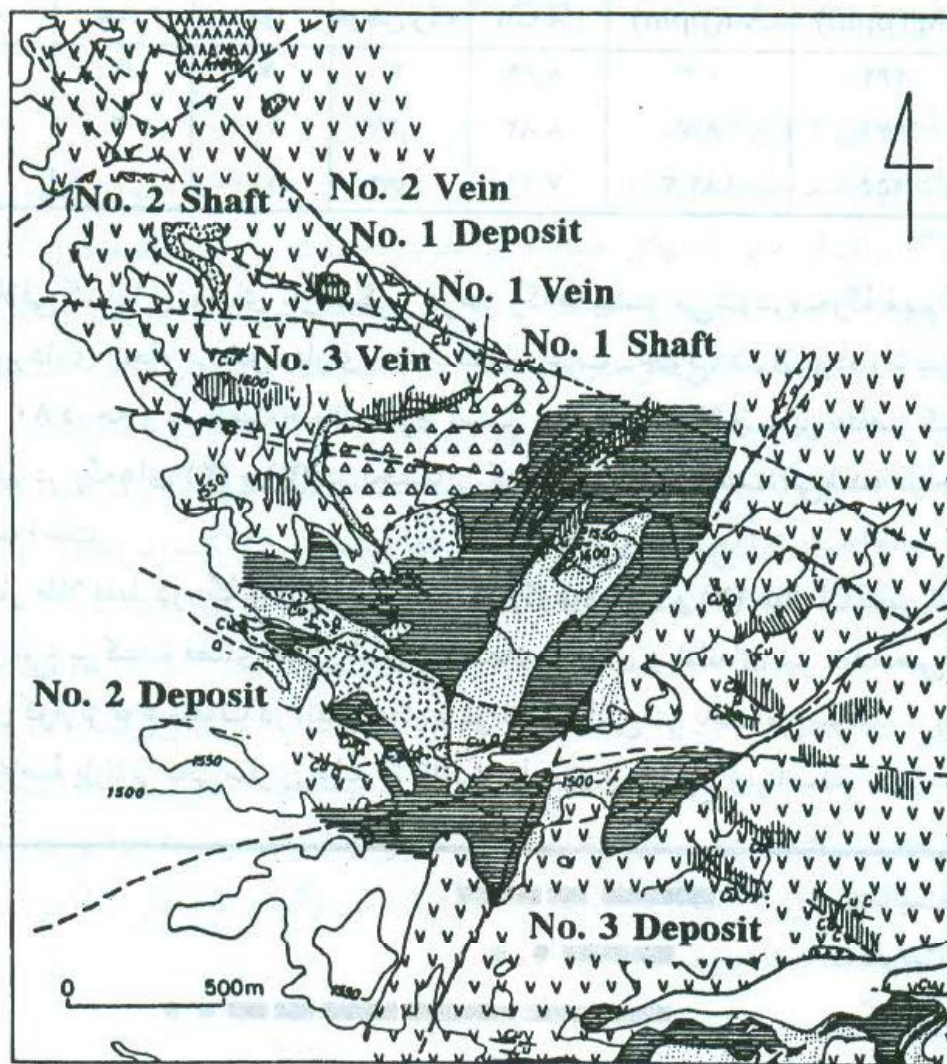
پترولوژی سنگهای آتشفشانی منطقه توسط صدقیانی [۳]، دیمه ور [۲] و ترکیان [۴] مطالعه شده است. ترکیب غالب سنگها آندزیت تا آندزیت بازالتی است و به طور محدود ترکیب داسیتی گزارش شده است. فعالیت های جوانتر عموماً از نوع بازالتی اند. آندزیت و آندزیت های بازالتی از نوع کالک آلکالن تا کالک آلکالن غنی از پتاسیم هستند. بازالت های جوان از نوع تولی ایت اند. محیط زمین ساختی آنها کمر بند آتشفشانی منطقه فرورانش است [۲]. سن سنگهای آتشفشانی محدوده غربی کانسار قلعه زری به روش $K-Ar$ 40.5 ± 2 میلیون سال گزارش شده است [۴]. توده های نفوذی با فاصله از کانسار قلعه زری شامل توده های نفوذی شاه کوه است. رخنمون بسیار محدود میکرو دیوریتی در منطقه کانی سازی گزارش شده است.

درزه ها و گسله های منطقه دارای سه روند زیرند [۲]

- ۱ - روند شمال غرب - جنوب شرق، ۲ - روند شمال شرق - جنوب غرب و
- ۳ - روند شمالی - جنوبی. روند شمال غرب - جنوب شرق قدیمتر و بخش اعظم کانی سازی مس - نقره در این ساختارها تشکیل شده است.

کانی سازی و دگرسانی

کانسار قلعه زری از نوع رگه ای است. بهره برداری از سه رگه شماره (۱)، (۲) و (۳) و در اعماق بیش از ۲۰۰ متری در حال انجام است (شکل ۱). طول رگه (۲) بیش از ۳ کیلومتر است و بهره برداری در طول کمتر از ۲ کیلومتر انجام شده است. طول رگه (۱) ۶۵۰ متر و طول رگه (۳) کمتر از ۵۰۰ متر است. عرض رگه ها بین ۰/۵ تا ۷ متر تغییر می کند. در



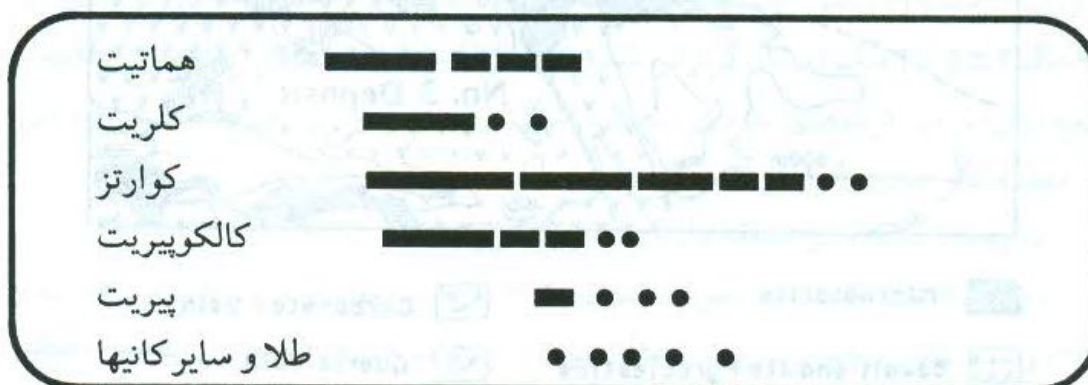
شکل ۱ - نقشه زمین شناسی کانسار قلعه زری [۱]

جدول ۱ - عیار کانسنگ مس قلعه زری [۱]

رگه	چاه	عمق	عرض رگه	%Cu	Au(ppm)	Ag(ppm)
۲	۱	۷۰	۳	۸۱٫۶۹	۰٫۳	۲۶۴
۲	۲	۱۰۰	۰٫۲۷	۸۱٫۸۲	۸٫۷	۶۲۰
۳	۱	۱۰۰	۰٫۸۲	۷۱٫۲۹	۱۸۲٫۳	۲۵۵

محل تلاقی گسلها و زونهای بازشدگی، عرض رگه‌ها بیشتر می‌شود. سه رگه مهم که در آن بهره‌برداری انجام می‌شود دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق بوده و شیب آنها بیش از ۸۰ درجه و به سمت شمال شرق است. عیار مس، طلا و سایر عناصر کانسار قلعه زری در رگه‌های (۲) و (۳) در بخشهایی که در گذشته برداشت می‌شده در جدول (۱) آمده است.

عیار طلا فقط در رگه (۳) بالاست، اما در رگه‌های (۱) و (۲) عیار آن پایین است. بافت از نوع پرکننده فضای خالی است. حالت‌های لایه‌ای و شانه‌ای نیز دیده می‌شود. بلورهای کوارتز نوع شفاف در اندازه‌های بیش از ۱ سانتی‌متر یافت می‌شوند. خلاصه پاراژنز کانی‌سازی اولیه در کانسار قلعه زری به شرح زیر است



هماتیت (اسپیکولاریت)، کلیريت و کوارتز از اولین کانیهای متبلور شده است. در ادامه تبلور، کالکوپیریت و کانیهای حاوی نقره و طلا تشکیل شده‌اند. پیریت در دمای پایین‌تر تشکیل شده است.

دگرسانی غالب منطقه از نوع پروپلیتی است. کانیهای سنگها به طور کامل به اپیدوت و کلیريت دگرسان شده‌اند. اپیدوت علاوه بر متن سنگ، در سطح درزه‌ها و شکستگیها نیز تشکیل شده است. شعاع گسترش منطقه پروپلیتی نسبتاً زیاد است. منطقه آرژیلیتی

نسبتاً محدود و در اطراف رگه‌ها تشکیل شده است. منطقه سیلیسی شامل منطقه کانی‌سازی و بخشی از سنگهای دیواره است.

ترکیب شیمیایی و نوع کلریت

نمونه‌های برداشت شده از اعماق ۷۰-، ۱۰۰-، ۱۳۵- و ۱۷۰- در طول رگه‌های (۱)، (۲) و (۳) برای ارزیابی کانیهای فلزی و غیرفلزی به دقت مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌هایی که حاوی کلریت + هماتیت + کوارتز + کالکوپیریت $\pm$ پیریت بودند، برای مطالعه انتخاب شدند. کانی کلریت غالباً همزمان با هماتیت و کوارتز متبلور شده است. کلریتها با استفاده از میکروسکپ الکترونی نوع SX-50-Cameca در آزمایشگاه مرکزی علوم (CSL) دانشگاه تاسمانیا (استرالیا) تجزیه شدند. در جدول (۲) ترکیب کلریتها گزارش شده است. توزیع کاتیونها و فرمول کلریتها براساس ۲۸ اکسیژن (بدون H_2O) و یا براساس (O, OH) ۳۶ محاسبه شده است که در جدول (۲) [۵] آمده‌اند.

با استفاده از نمودارهای استاندارد، [۶] نوع کلریتها مشخص شدند. کلریتهای رگه (۱) از نوع ریدولیت (غنی از آهن) است (شکل ۲- الف). کلریتهای رگه (۲) بیشتر از نوع ریدولیت و دو نمونه در محدوده پینوکلریت - برانزوویجیت واقع شده‌اند (شکل ۲- ب). کلریتهای رگه (۳) بیشتر از نوع ریدولیت‌اند و دو نمونه در محدوده برانزوویجیت واقع شده‌اند (شکل ۲- پ). در مجموع، کلریتهای سه رگه از نوع غنی از آهن بوده و تشکیل آنها با هماتیت این موضوع را تأیید می‌کند.

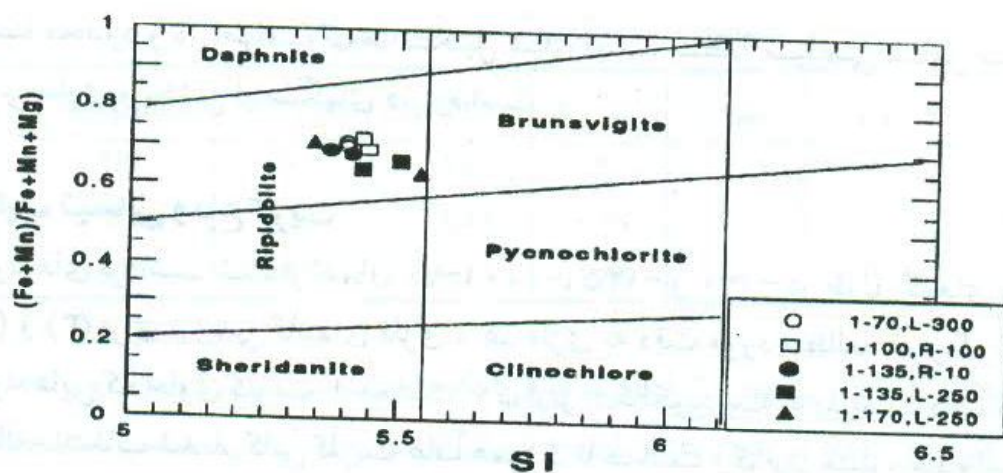
تعیین دمای تشکیل کانسار قلعه‌زری با استفاده از ترکیب کلریت

استفاده از ترکیب کلریت به منظور دماسنجی از سوی دانشمندان مختلف از طریق پژوهشهای آزمایشگاهی و اندازه‌گیریهای مستقیم در مناطق چشمه‌های آبگرم فعال انجام شده است [۷، ۸ و ۹]. مطالعات دماسنجی در مناطق با چشمه‌های آبگرم فعال (مکزیک) و تجزیه کلریتهای تشکیل شده در این مناطق توسط کاتلینو و نیوا [۹] انجام داده‌اند. تغییرات خطی خوبی بین تغییرات دمای آب و میزان $A1^{IV}$ در شبکه کلریت برقرار است. در این خصوص رابطه

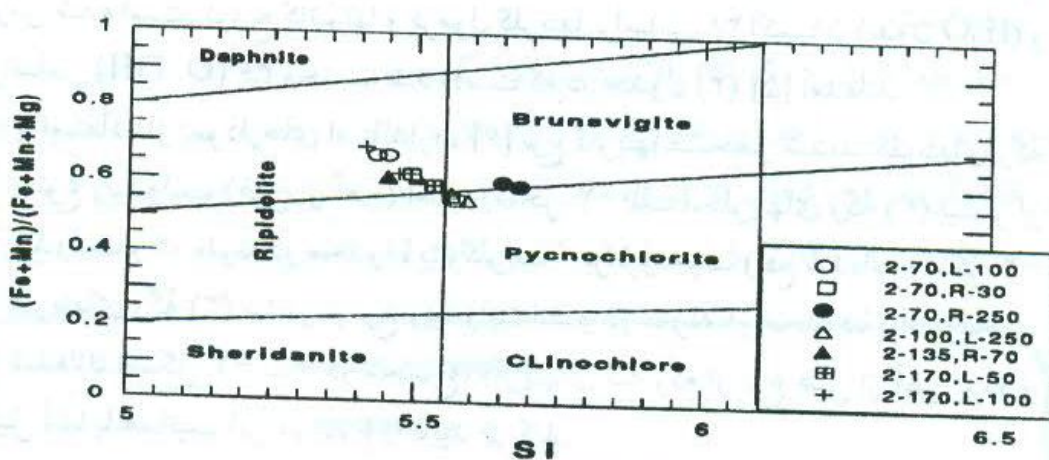
$$T = \frac{0.0826 + A1^{IV}}{0.00471}$$

به منظور تعیین دمای تشکیل کلریت ارائه گردیده است [۹].

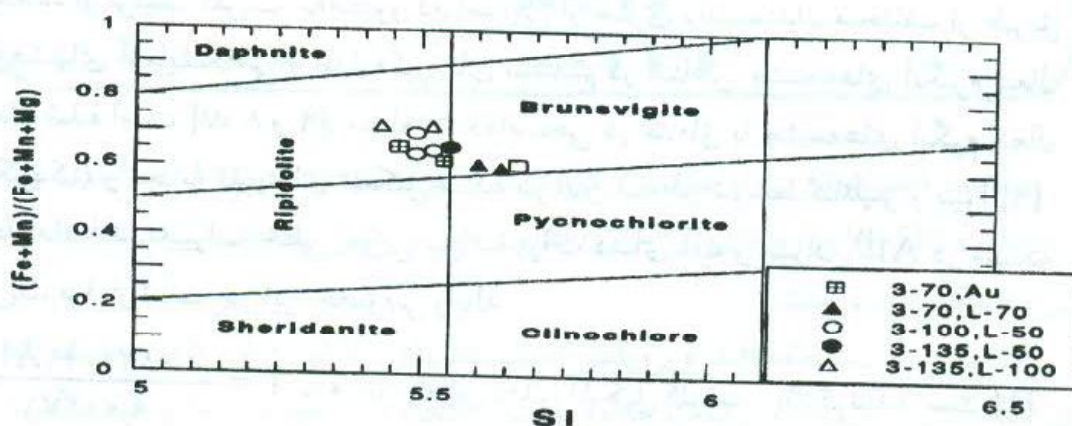
میزان $A1^{IV}$ در این معادله براساس محاسبه فرمول کلریت بر مبنای ۱۴ اکسیژن است.



شکل ۲-الف - نموداری از ترکیب کلریت‌های رگه (۱)



شکل ۲-ب - نموداری از ترکیب کلریت‌های رگه (۲)



شکل ۲-پ - نموداری از ترکیب کلریت‌های رگه (۳)

جدول ۲- ترکیب شیمیایی کلریت های معدن قلعه زری و محاسبه فرمول آن براساس ۲۸ اکسید

نمونه	۱-۷۰, L-۳۰۰	۱-۱۰۰, R-۱۰۰	۱-۱۳۵, L-۲۵۰	۱-۱۳۵, R-۱۰	۱-۱۷۰, L-۲۵۰	۲-۷۰, L-۱۰۰
	۱(۱)	۱(۲)	۱(۱)	۱(۲)	۱(۱)	۱(۲)
SiO ₂	۳۳/۸۰	۳۳/۱۲	۳۳/۴	۳۳/۸	۳۵/۵۲	۳۴/۸۰
TiO ₂	۰/۰۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
Al ₂ O ₃	۱۸/۹۳	۱۹/۱۹	۱۹/۳۵	۱۹/۶۸	۱۸/۹۲	۱۹/۰۲
TFeO	۳۳/۷۵	۳۵/۳۹	۳۳/۲۵	۳۳/۰۵	۳۲/۶۴	۳۶/۹۶
MnO	۱/۰۹	۰/۸۸	۰/۵	۰/۷	۰/۶۷۹	۰/۹۶۶
MgO	۸/۲۶	۸/۲۲	۷/۹۳	۹/۵۲	۱۱/۰۲۵	۷/۹۹
CaO	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹
H ₂ O	۱۰/۶۷	۱۰/۶۹	۱۰/۷۶	۱۰/۹۱	۱۱/۰۳۹	۱۰/۷۵
جمع	۹۸/۱۵	۹۸/۵۲	۹۹/۲۲	۹۸/۹۹	۹۹/۹۶	۹۹/۶۱
Si	۵/۲۰	۵/۴۰	۵/۴۲	۵/۵	۵/۵۲	۵/۳۷۲
Al ^{IV}	۲/۶	۲/۶	۲/۵۶	۲/۵	۲/۴۶	۲/۶۲۶
Al ^{VI}	۲/۲۱	۲/۳۷	۲/۵۱	۲/۵۹	۲/۳۸	۲/۳۷۹
Mg	۲/۸۲	۲/۷۴	۲/۸۵	۲/۱۱	۲/۵۶	۲/۶۵۵
TFe	۶/۵۲	۶/۶۳	۶/۷۵	۶/۰۷	۵/۹۲	۶/۸۹
Ca	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳۸
Mn	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۸۱
Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲۶
جمع کاتیونها	۲۰/۰۳	۲۰/۰۲	۲۰/۰۱	۱۹/۹۵	۲۰/۱۲	۲۰/۱۱
x	۷۰/۴۰	۷۱/۲۳	۷۲/۲۳	۶۹/۲۵	۶۲/۹۲	۷۲/۷۰
تعداد تعزیه	۲	۲	۲	۲	۲	۲

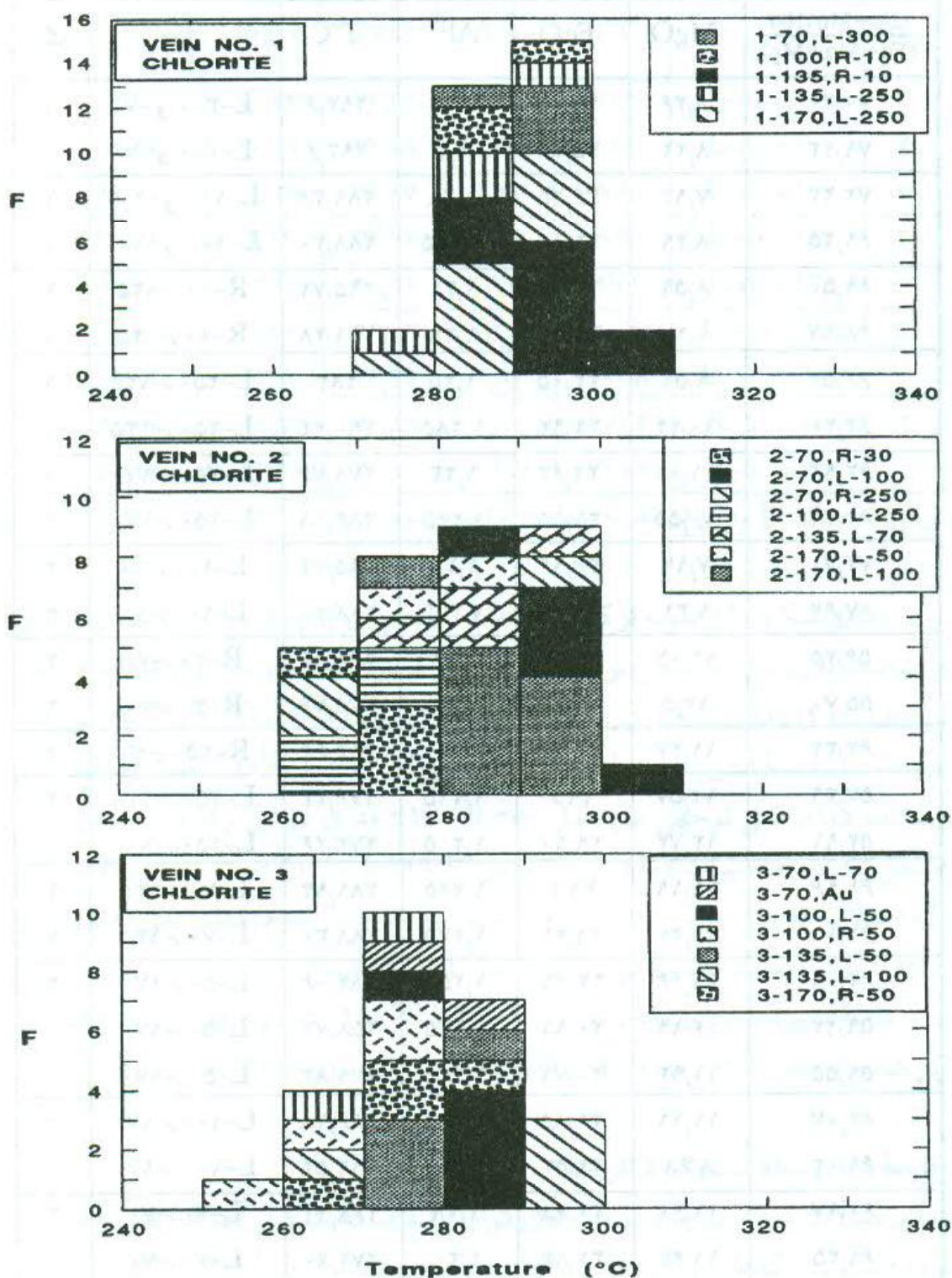
TFe = Fe⁺³ + Fe⁺², TFeO = FeO + Fe₂O₃, توضیحات L و R به روش نمونه برداری مراجعه شود. $x = [(Fe+Mn)/(Fe+Mn+Mg)] \cdot 100$

ادامه جدول ۲.

نمونه	۲-۷۰, R-۳۰		۳-۱۰۰, R-۵۰		۳-۱۳۵, L-۱۰۰		۳-۱۷۰, R-۵۰		۲-۱۳۵, L-۷۰		۲-۱۷۰, L-۱۰۰	
	r(۱)	r(۲)	r(۱)	r(۲)	r(۱)	r(۲)	r(۱)	r(۲)	r(۱)	r(۲)	r(۱)	r(۲)
SiO ₂	۲۶/۱۷	۲۵/۸۷	۲۷/۶۸	۲۵/۴۶	۲۴/۱۰	۲۴/۵۶	۲۵/۴۹	۲۵/۳۳	۲۵/۰۲	۲۴/۹۱	۲۵/۰۳	۲۴/۲۱
TiO ₂	۰/۰۱	۰/۰۱	.	.	.	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲	.	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱
Al ₂ O ₃	۱۸/۵۸	۱۸/۳۹	۱۷/۵۷	۱۷/۴۸	۱۸/۷۸	۱۸/۱۰	۱۷/۵۸	۱۸/۸۲	۱۸/۷۶	۱۸/۹	۱۹/۳۱	۱۹/۱۷
TFeO	۲۹/۵۳	۲۹/۶۶	۳۱/۶۶	۳۱/۴۴	۳۶/۰۶	۳۶/۳۵	۳۱/۸۹	۳۰/۰۷	۳۱/۱۴	۳۱/۴۱	۳۱/۸۵	۳۴/۵۳
MnO	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۹۷۵	۰/۶۷	۰/۶۳	۱/۳۵	۱/۱۱	۰/۵۵	۰/۹۸
MgO	۱۲/۰۲	۱۳/۵	۱۱/۶	۱۱/۴۲	۷/۸۷	۸/۰۵	۱۱/۸۴	۱۲/۲۹	۱۱/۱۹	۱۱/۳۲	۱۱/۱۱	۸/۶۸
CaO	۰/۰۲۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵
H ₂ O	۱۱/۱۲	۱۱/۰۲	۱۱/۲	۱۰/۷۶	۱۰/۲۲	۱۰/۶۵	۱۰/۸۶	۱۰/۹۶	۱۰/۸۸	۱۰/۹۵	۱۰/۹۶	۱۰/۷۱
جمع	۹۹/۰۳	۹۹/۷	۱۰۰/۳	۹۷/۱۵	۹۸/۵	۹۸/۷۵	۹۸/۳۲	۹۸/۲۰	۹۸/۳۸	۹۹	۹۸/۹۱	۹۸/۳۹
Si	۵/۶۴	۵/۵۷	۵/۹۲	۵/۶۷	۵/۴۳	۵/۵۲	۵/۶	۵/۵۲	۵/۵۰	۵/۴۵	۵/۴۷	۵/۴۱
Al ^{IV}	۲/۳۶	۲/۴۶	۲/۰۸	۲/۳۳	۲/۵۷	۲/۴۸	۲/۴	۲/۴۷	۲/۳۹	۲/۵۵	۲/۵۳	۲/۵۹
Al ^{VI}	۲/۳۵	۲/۲۵	۲/۳۵	۲/۲۶	۲/۴۲	۲/۳۱۵	۲/۱۶	۲/۴۲	۲/۳۷	۲/۴۲	۲/۵۷۵	۲/۴۶
Mg	۲/۸۸	۲/۳۵	۲/۷۰	۲/۸۰	۲/۶۴	۲/۶۹	۳/۸۹	۲/۰	۳/۶۷	۳/۷۹	۳/۵۶	۲/۸۹
TFe	۵/۳۲	۵/۳۵	۵/۶۶	۵/۸۳	۶/۸۰	۶/۸۳	۵/۸۸	۵/۴۹	۵/۷۳	۵/۷۵	۵/۸۲	۶/۴۶
Ca	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	.	.	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
Mn	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۳۲
Ti	.	.	.	.	.	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	.	.	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
جمع کاتیونها	۱۹/۹۸	۲۰/۰	۱۹/۸۲	۱۹/۸۲	۲۰/۰۶	۲۰/۰۶	۲۰/۰۱	۲۰/۰۳	۲۰/۰۵	۲۰/۰۹	۲۰/۰۲	۲۰/۰۴
x	۵۶/۴۵	۵۵/۷	۶۰/۹۱	۶۱/۰۵	۷۲/۵۱	۷۲/۲۶	۶۰/۶۷	۵۸/۳۶	۶۱/۹۶	۶۱/۱۱	۶۲/۰۷	۶۹/۰۳

تعداد تجزیه

TFe = Fe⁺³ + Fe⁺², TFeO = FeO + Fe₂O₃ به روش نمونه برداری مراجعه شود R و L توضیحات x = [(Fe + Mn)/(Fe + Mn + Mg)] 100



شکل ۳- نمایش دمای تشکیل کلریت‌های رگه (۱)، (۲) و (۳)
 اعماق ۷۰-، ۱۰۰-، ۱۳۵- و ۱۷۰ متری معدن قلعه‌زری

جدول ۳- دمای تشکیل کلریت‌های قلعه زری

$\frac{(Fe+Mn)100}{(Fe+Mn+Mg)}$	MgO	FeO	Al ^{IV}	T°C	عمق	رگ
۷۰/۴۰	۸/۴۶	۳۴/۷۵	۱/۳	۲۹۳/۶	L-۷۰ و -۳۰۰	۱
۷۱/۲۳	۸/۲۲	۳۵/۳۹	۱/۳	۲۹۳/۶	L-۷۰ و -۳۰۰	
۷۲/۲۳	۷/۹۳	۳۶/۲۵	۱/۲۸	۲۸۹/۳۶	L-۱۰۰ و -۱۰۰	۱
۶۹/۲۵	۸/۴۹	۳۲/۸۰	۱/۲۷۵	۲۸۸/۳۰	L-۱۰۰ و -۱۰۰	۱
۶۹/۵۰	۸/۵۹	۳۴/۱۶	۱/۳۱	۲۹۵/۷۲	R-۱۰ -۱۳۵	۱
۶۸/۱۱	۹/۱۷	۳۴/۱۴	۱/۲۹	۲۹۱/۴۸	R-۱۰ -۱۳۵	۱
۶۶/۵۴	۹/۵۲	۳۳/۰۵	۱/۲۵	۲۸۳	L-۲۵۰ -۱۳۵	۱
۶۴/۴۰	۱۰/۲۴	۳۲/۹۲	۱/۲۸۵	۲۹۰/۴۲	L-۲۵۰ -۱۳۵	۱
۶۲/۹۲	۱۱/۰۲	۳۲/۶۴	۱/۲۳	۲۷۸/۷۶	L-۲۵۰ -۱۷۰	۱
۶۰/۳۲	۱۰/۵۵	۳۱/۵۵	۱/۲۶۵	۲۸۶/۱۸	L-۲۵۰ -۱۷۰	۱
۷۲/۷۰	۷/۹۹	۳۶/۹۶	۱/۳۱	۲۹۵/۷۲	L-۱۰۰ -۷۰	۲
۶۷/۶۲	۹/۳۱	۳۳/۴۸	۱/۲۷۵	۲۸۸/۳۰	L-۱۰۰ -۷۰	۲
۵۶/۴۵	۱۳/۰۲	۲۹/۵۳	۱/۱۸	۲۶۸/۱۶	R-۳۰ -۷۰	۲
۵۵/۷۰	۱۳/۵	۲۹/۶۶	۱/۲۳	۲۷۸/۷۶	R-۳۰ -۷۰	۲
۶۲/۳۲	۱۱/۴۷	۳۳/۰۴	۱/۳	۲۹۴/۶۶	R-۲۵۰ -۷۰	۲
۵۷/۳۹	۱۲/۵۷	۲۹/۶	۱/۲۱۵	۲۷۶/۴۳	L-۲۵۰ -۱۰۰	۲
۵۴/۹۱	۱۳/۷۴	۲۹/۱۰	۱/۲۰۵	۲۷۳/۴۶	L-۲۵۰ -۱۰۰	
۶۱/۹۶	۱۱/۱۹	۳۱/۴	۱/۲۲۵	۲۸۱/۹۴	L-۷۰ -۱۳۵	۲
۶۱/۱۱	۱۱/۳۴	۳۱/۴۱	۱/۲۷۵	۲۸۸/۳۰	L-۷۰ -۱۳۵	۲
۶۲/۰۹	۱۱/۶۶	۳۳/۲۲	۱/۲۵۵	۲۸۴/۰۶	L-۵۰ -۱۷۰	۲
۵۹/۲۴	۱۲/۱۹	۳۰/۹۱	۱/۱۳۵	۲۵۸/۷۲	L-۵۰ -۱۷۰	
۵۹/۵۵	۱۱/۹۳	۳۰/۷۱	۱/۲۳۵	۲۷۹/۸۲	L-۵۰ -۱۷۰	
۶۲/۰۷	۱۱/۱۱	۳۱/۸۵	۱/۲۶۵	۲۸۶/۱۸	L-۱۰۰ -۱۷۰	۲
۶۹/۰۳	۸/۶۸	۳۴/۵۳	۱/۲۹۵	۲۹۲/۵۴	L-۱۰۰ -۱۷۰	
۶۰/۱۷	۱۱/۶۰	۳۰/۶۸	۱/۱۸	۲۶۸/۱۲	L-۷۰ -۷۰	۳
۶۱/۴۵	۱۱/۴۴	۳۱/۸۳	۱/۲۰	۲۷۲/۴۰	L-۷۰ -۷۰	
۶۶/۸۰	۹/۴۷	۳۲/۴۵	۱/۱۶۵	۲۶۵	-۷۰	۳
۶۲/۳۳	۱۰/۹۷	۳۱/۰۷	۱/۲۳	۲۷۸/۷۶	-۷۰	
۶۱/۰۵	۱۱/۴۴	۳۱/۴۴	۱/۱۶۵	۲۶۵	R-۵۰ -۱۰۰	۳

ادامه جدول ۳

رگه	عمق	T°C	Al ^{IV}	FeO	MgO	$\frac{(Fe+Mn)100}{(Fe+Mn+Mg)}$
۳	L-۵۰-۱۰۰	۲۸۴	۱/۲۵۵	۳۲/۳۴	۱۰/۳۳	۶۴/۶۶
۳	L-۵۰-۱۰۰	۲۸۲	۱/۲۴۶	۳۲/۷۸	۱۰/۲۹	۶۴/۸۷
۳	L-۵۰-۱۰۰	۲۷۶/۶	۱/۲۲	۳۲/۸۷	۱۰/۳۶	۶۴/۷۰
۳	L-۵۰-۱۳۵	۲۸۷/۲	۱/۲۷	۳۳/۰۷	۹/۸۶	۶۶/۰۸
	L-۵۰-۱۳۵	۲۷۳	۱/۲۰۵	۳۰/۹۱	۱۲/۴۰	۵۸/۹۱
۳	L-۱۰۰-۱۳۵	۲۹۰/۴۲	۱/۲۸۵	۳۶/۰۶	۷/۸۷	۷۲/۵۱
	L-۱۰۰-۱۳۵	۲۸۰/۸	۱/۲۴	۳۶/۳۵	۸/۰۵	۷۲/۲۶
۳	R-۵۰-۱۷۰	۲۷۲/۴	۱/۲۰	۳۱/۸۹	۱۱/۸۴	۶۰/۶۷
	R-۵۰-۱۷۰	۲۷۹/۸	۱/۲۳۵	۳۰/۰۷	۱۲/۲۹	۵۸/۳۶

توضیحات L و R به روش نمونه برداری مراجعه شود

دمای تشکیل ۱۹ نمونه از کلریت‌های معدن قلعه‌زری که پاراژنز آن با کانیهای کوارتز و هماتیت به روشنی مشخص بودند با استفاده از فرمول کاتلینو و نیوا [۹] محاسبه شد. در جدول (۳) دمای تشکیل این کلریتها و میزان تغییرات MgO، FeO و Al^{IV} گزارش شده است. دامنه تغییرات دما در رگه (۱) بین ۲۷۸°C تا ۳۱۰°C است (شکل ۳). اختلاف دمای قابل توجهی بین عمق ۷۰- تا ۱۷۰- متری در این رگه دیده نمی‌شود (شکل ۳). دامنه تغییرات دما در رگه (۲) بین ۲۶۲°C تا ۳۱۰°C است (شکل ۳). در این رگه اختلاف دما بین عمق ۷۰- تا ۱۷۰- متری مشاهده نمی‌شود. دمای نمونه‌های عمق ۷۰- متری به سمت جنوب غرب ۱۰°C تا ۱۵°C کمتر است. دامنه تغییرات دمای رگه (۳) بین ۲۶۰°C تا ۲۹۰°C است (شکل ۳). اختلاف دما بین سطح و عمق ۱۷۰- متری رگه (۳) مشاهده نمی‌شود (شکل ۳).

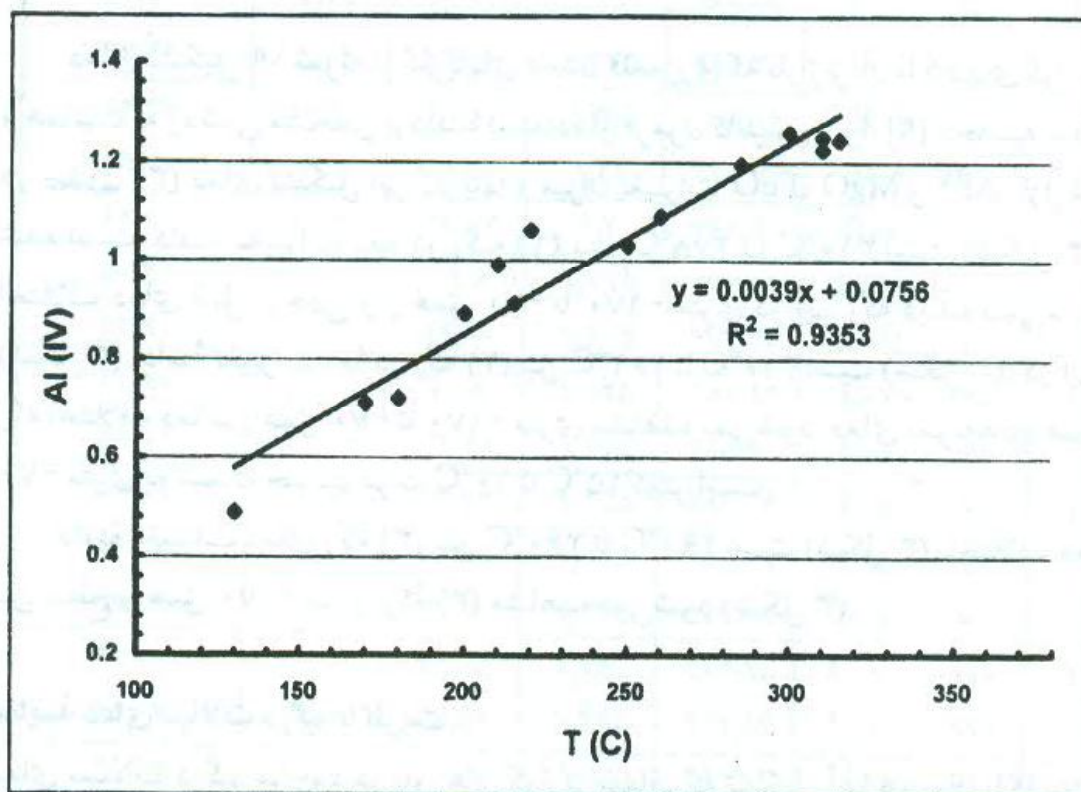
مقایسه دمای سیالات درگیر با کلریت

دمای سیالات درگیر موجود در بلورهای کوارتز شفاف که تشکیل آنها همزمان با کلریت بوده است در رگه‌های (۱)، (۲) و (۳) اندازه‌گیری شدند (جدول ۴). سیالات درگیر اندازه‌گیری شده در سه رگه از نوع غنی از محلول‌اند. دمای اندازه‌گیری شده در این سیالات در تمامی رگه‌ها بیش از دمای محاسبه شده براساس ترکیب کلریت است

فرمول محاسبه دمای تشکیل کلریت که توسط کاتلینو و نیوا [۹] ارائه شده است براساس دمای محدوده 130°C تا 260°C بوده است. از آنجا که کلریت‌های قلعه زری در

جدول ۴- مقایسه دمای سیالات درگیر کوارتز با دمای کلریت در معدن قلعه‌زری

رگه شماره	عمق	دمای سیال درگیر میانگین (سانتی‌گراد)	دمای کلریت (سانتی‌گراد)	Al ^{IV}
۱	L-۲۵۰ و -۱۷۰	۳۰۰	۲۸۵	۱/۲۶
۲	L-۵۰ و -۱۷۰	۳۱۰	۲۸۰	۱/۲۵
۳	L-۷۰ و -۷۰	۲۸۵	۲۷۰	۱/۱۹۵
۳	L-۵۰ و -۱۰۰	۳۱۵	۲۸۲	۱/۲۴۵
۳	L-۵۰ و -۱۲۵	۳۱۰	۲۷۷	۱/۲۲۵



شکل ۴- نمایش بررسی میزان تغییرات Al (IV) و دما در کلریت‌های قلعه زری و کاتلینو و نیوا [۵]
و ارائه معادله جدید جهت محاسبه دمای تشکیل کلریت

دمای بالاتر از ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده‌اند دمای محاسبه شده براساس معادله کاتلینو و نیوا ۱۵°C تا ۳۰°C کمتر از دمای اندازه‌گیری شده به روش سیالات درگیر است.

به منظور اصلاح این معادله و کاربرد آن برای دمای بالاتر، اطلاعات دماسنجی براساس سیالات درگیر بلور کوارتز و میزان Al^{IV} در کلریت (کلریت و کوارتز انتخابی همزمان متبلور شده‌اند) در معدن قلعه‌زری و اطلاعات استفاده شده توسط کاتلینو و نیوا [۹] در نمودار (شکل ۴) ترسیم شدند. با استفاده از این اطلاعات بهترین خط ترسیم شد (شکل ۴). معادله‌ای که براساس این نمودار به دست آمد به قرار زیر است.

$$T = \frac{Al^{IV} - 0.0756}{0.0039} \quad (Al^{IV}, \text{ فرمول کلریت بر مبنای } 14 \text{ اکسیژن است}).$$

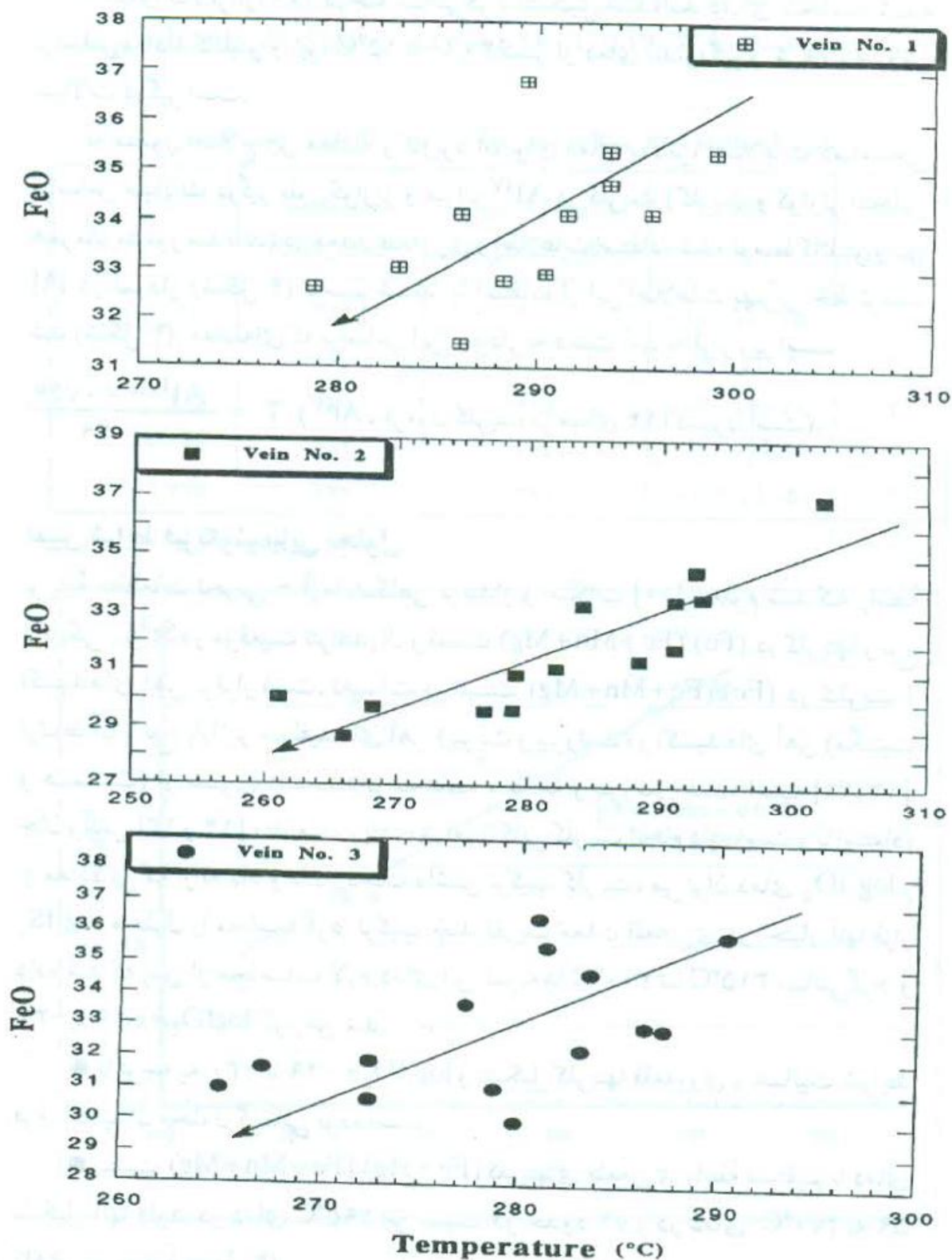
تعیین شرایط فیزیکی شیمیایی محلول

بر پایه مطالعات تجربی - آزمایشگاهی برینداز و اسکات [۱۰] معلوم شد که رابطه نزدیکی بین Si در موقعیت تتراهدرال و نسبت $(Fe)/(Fe+Mn+Mg)$ در کلریتها و نوع اکسیدهای آهن برقرار است. تغییرات در نسبت $(Fe)/(Fe+Mn+Mg)$ در کلریت و ارتباط آن با نوع پارائز سولفیدهای آهن (پیریت و پیروتیت) و اکسیدهای آهن (مگنتیت و هماتیت) از سوی دانشمندان مختلف مطالعه و بررسی شده است [۱۱، ۱۲]. جان و آلش [۱۳ و ۱۴] مطالعات زیادی پیرامون کانی کلریت انجام داده است و با استفاده از معادلاتی که ارائه داد و با در دست داشتن ترکیب کلریت، می‌توان دمای $\log fO_2$ و $\log fS_2$ محلول را محاسبه کرد. ترکیب چند کلریت معدن قلعه‌زری در اختیار آنها قرار داده شد که پس از محاسبات لازم دمای این نمونه‌ها ۳۰۰°C تا ۳۱۵°C سانتی‌گراد و $\log fO_2 = -29$ تا -30 گزارش شد.

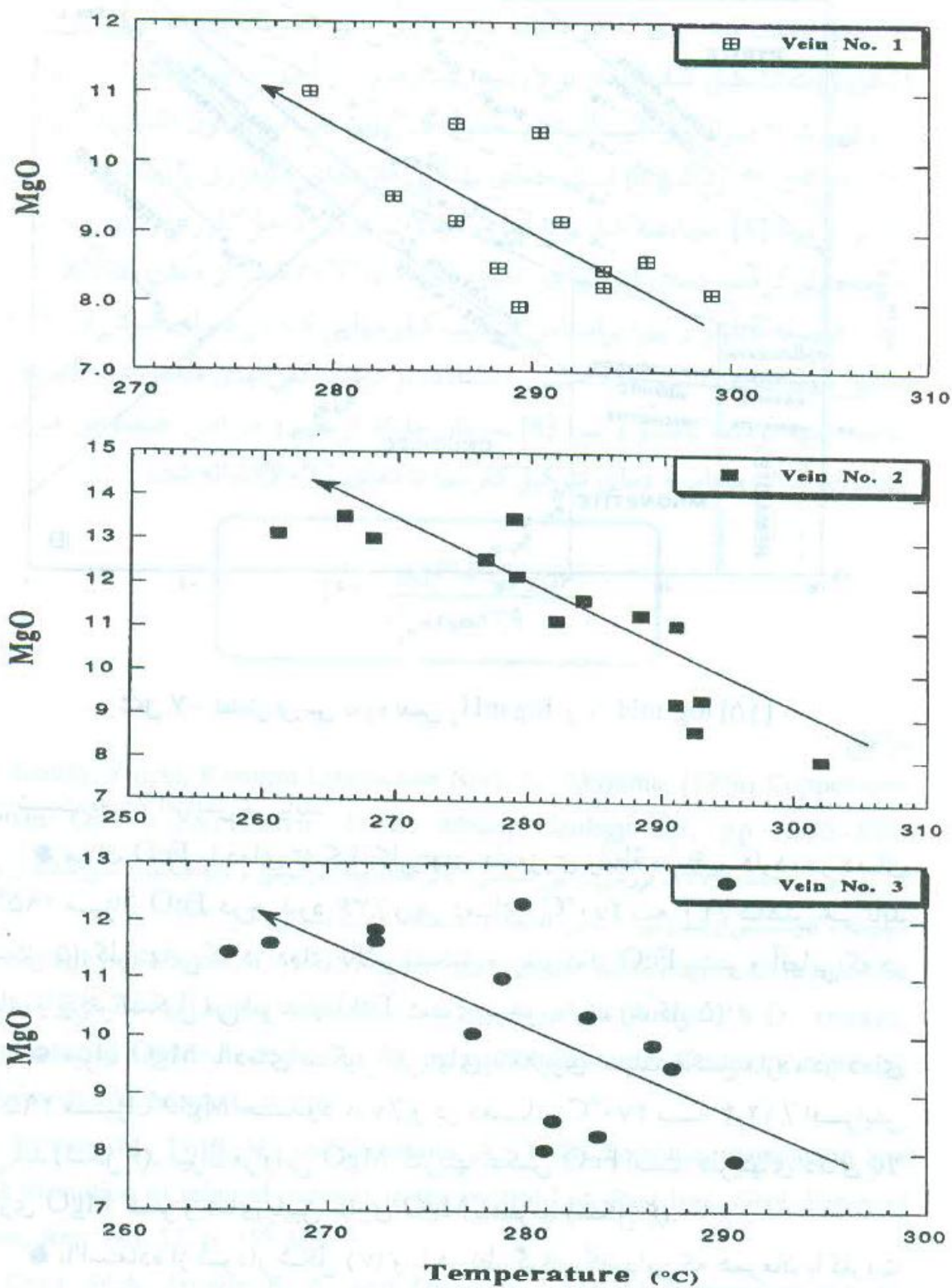
● با توجه به $\log fO_2 = -29$ تا -30 و تشکیل کلریتها قلعه‌زری با هماتیت شرایط فوق اکسیدان محلول گرمایی بوده است.

● نسبت $(Fe+Mg)/(Fe+Mn+Mg)$ کلریتهای قلعه‌زری رابطه مستقیم با دمای تشکیل آنها دارد. در دمای ۲۹۵°C این نسبت در حدود ۷۲ و در دمای ۲۷۰°C به ۵۹ کاهش می‌یابد (جدول ۲).

● نسبت $(Fe+Mg)/(Fe+Mn+Mg)$ کلریتهای قلعه‌زری با میزان Si چهاروجهی رابطه عکس دارد. در حالت $Si = 5/64$ این نسبت ۵۶ و در شرایط $Si = 5/4$



شکل ۵ - نمایش بررسی نحوه تغییرات FeO و دما در کالریتهای قلعه زری



شکل ۶- نمایش بررسی نحوه تغییرات MgO و دما در کربنهای قلعه زری

نتیجه

کلریت‌های معدن قلعه‌زری که در منطقه کانی‌سازی مس همزمان با هماتیت، کوارتز و کالکوپیریت تشکیل شده‌اند از نوع رپیدولیت غنی از آهن و چند نمونه آن از نوع پینوکلریت - برانزوئجیت‌اند. محلول گرمابی حالت فوق اکسیدان داشته (log fO₂ = -۳۰ تا -۲۹) است. دمای تشکیل کلریت‌های قلعه‌زری با استفاده از فرمول کاتلینو و نیوا [۹] محاسبه شد و با دمای سیالات درگیر داخل بلورهای کوارتز مورد مقایسه قرار گرفت. دمای کلریت‌ها در حدود ۱۰°C تا ۳۰°C کمتر از دمای سیالات درگیر است. فرمول کاتلینو و نیوا براساس ترکیب کلریت‌هایی که در دمای کمتر از ۲۶۰°C تشکیل شده‌اند به دست آمده است. با استفاده از ترکیب کلریت‌های قلعه‌زری و کلریت‌های مطالعه شده توسط کاتلینو و نیوا [۹] نمودار جدید ترسیم و در این خصوص فرمول جدید زیر برای محاسبه دمای تشکیل کلریت‌ها تا دمای ۳۶۰°C ارائه شد:

$$T = \frac{Al^{IV} - 0.0756}{0.0039}$$

مراجع

1. Suzuki, Yuichi, Katsumi Ogawa and Norihito Akiyama, (1976) Copper ores from Qaleh-Zari min, Iran: *Mining Geology*. 26, pp. 385-391.
- ۲- دیمه‌ور، محمد، ۱۳۷۴، بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس قلعه‌زری: پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۱۳۳.
3. Sadaghyani-Avval, F. (1976) Etude geologique de la region de la mine de Khal-Eh-Zari (Iran) *mineralisation et inclusions fluides* Ph.D. theses, unpublished equipe de recherche sur les equilibres entre fluides et mineraux, Universite de Nancy I, p. 165
4. Tarkian, M., Lotfi, M., and Baumann, A. (1983) Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, East Iran, *Geol. Survey of Iran*, Rep. No. 57, p. 357-383.
5. Deer, W.A., Howie, R. A., and Zussman, J. (1975) *An introduction to the rock forming minerals*: Longman.
6. Hey, M.H. (1954) Nomenclature of chlorites: *Min. Mag.*, V. 30, p. 277

7. Walker, J. R. (1993) Chlorite polytype geothermometry: *Clays Minerals*, 4, p. 260-267.
8. McPhail, D. C., Berman, R. G., and Greenwood, H. J. (1990) Experimental and theoretical constraints on aluminium substitution in magnesium chlorite: *Canadian Mineralogist*, 28, p. 859-874.
9. Cathelineau, M., and Nieva, D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer, the Los Azufres (Mexico) geothermal system: *Contrib. Mineral Petrol.*, 19, p. 235-244.
10. Cathelineau, M. (1988) Cation size occupancy in chlorite and illites as a function of temperature: *Clay Minerals*, 83, p. 471-386.
10. Bryndzia, T., and Scott, S.d. (1987) The composition of chlorite as a function of sulfur and oxygen fugacity, an experimental study: *Am. Journal of Sci.*, V. 287, p. 50-76.
11. Rumble, D. (1976) Oxide minerals in metamorphic rocks: *Mineralogy. Soc. Am. short course notes*, V. 1, p. 81-
12. Bryndzia, T.(1983) The composition of chlorite as a function of sulfur and oxygen fugacity, an experimental study: Ph.D. thesis University of Toronto, 120p.
13. Walshe, J. L., and Solomon, M.(1981) An investigation into the environment of formation of the volcanic-hosted Mt. Lyell copper deposits, using geology, mineralogy, stable isotopes and a six component chlorite solid-solution model: *Econ. Geology*, V. 76, p. 246-284.
14. Walshe, J. L.(1986) A six-component solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems: *Econ. Geology*, V. 81, p. 681-703.
15. Lonker, S.W., Fitz Gerald, J.D., Hedenquist, J. W., and Walshe, J. L. (1990) Mineral-fluid interaction in the Broolands-Ohaaki geothermal system, New Zealand: *Am. Jour. of Science*, V. 290, p. 995-1068.