

بررسی نحوه تشکیل مجموعه کانیهای سرپانتین-تالک-کلینوکلر در کانسار آهن گل گهر، سیرجان

گللاه اصغری^۱، حسن میرنژاد^{۱*}، جلیل قلمقاش^۲

^۱دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

^۲مدیریت زمین شناسی منطقه‌ای، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران

*مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: mirnejad@khayam.ut.ac.ir

(دریافت: ۸۸/۱۲/۱۵؛ پذیرش: ۸۹/۶/۳)

چکیده

کانسار آهن گل گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب سیرجان، در زون زمین ساختی سنندج- سیرجان واقع شده است. سنگ‌های همبر کانسار شامل واحدهای دگرگونی کمپلکس گل گهر متشکل از آمفیبولیت، میکاشیست، مرمر و گرافیت شیست به سن پالئوزوئیک است. سرپانتین، تالک و کلینوکلر از جمله کانی‌هایی هستند که منحصراً به صورت پرکننده فضای میان دانه‌های مگنتیت و یا به صورت نواری و آمیختگی نامنظم همراه با کانه مشاهده می‌شوند. بنابراین انتظار می‌رود که بررسی نحوه تشکیل مجموعه کانی‌های سرپانتین، تالک و کلینوکلر به درک بیشتری از ژنز و تکامل کانسنگ آهن گل گهر منجر شود. براساس مطالعات صحرایی، پتروگرافی و شیمی کانی‌ها مشخص گردید که این مجموعه در طی سه مرحله حرارتی تشکیل شده‌اند. مرحله دمای بالا (بیش از ۵۵۰ درجه سانتیگراد) که با تشکیل الیون همراه بوده است. با افت دما به کمتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد و XCO₂ به بیشتر از ۰/۵، الیون در مرحله متاسوماتیسم به سرپانتین (عمدتاً لیزاردیت و کریزوتیل) دگرسان شده و در ادامه تالک تحت تأثیر دگرسانی سرپانتین بوجود آمده است. با توجه به مشاهدات بافتی و محاسبات دماسنجی بنظر می‌رسد کانی کلینوکلر پس از سرپانتینی شدن و با افزایش مجدد دما در مرحله دگرگونی تشکیل شده است. مراحل فوق در کانسنگ آهن اثر گذار بوده بطوریکه در مرحله متاسوماتیسم کانه مگنتیت اکسیده شده و در مرحله دگرگونی تحت تأثیر تبلور قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: تالک، سرپانتین، دگرگونی، کانسار آهن گل گهر، کلینوکلر، متاسوماتیسم

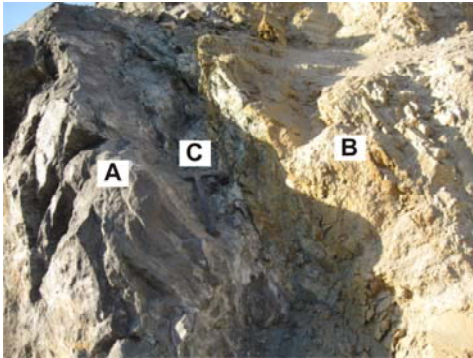
مقدمه

کانسار آهن گل گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سیرجان، استان کرمان و در طول جغرافیایی ۱۵°، ۵۵ تا ۲۴°، ۵۵ شرقی و ۳°، ۲۹ تا ۷°، ۲۹ عرض شمالی در مناطق کویری و خشک جنوب ایران واقع شده است. این کانسار از لحاظ زمین شناسی به بخش شرقی زون سنندج-سیرجان در کمربند کوهزایی زاگرس تعلق دارد (شکل ۱ الف). منطقه مورد مطالعه عموماً از آبرفتهای عهدحاضر پوشیده شده و رخنمونهای محدودی از سنگهای دگرگونی در جنوب و جنوب غرب، سنگهای رسوبی در شرق و توده نفوذی گرانیت میلونیتی به شکل گنبد کم ارتفاعی در جنوب معدن برونزد دارند (سبزه ای ۱۳۷۶، شکل ۱ ب). کانسار آهن گل گهر در قدیمی ترین واحد سنگی ناحیه یعنی کمپلکس دگرگونی گل گهر قرار گرفته است. کالک شیست، کوارتز مسکویت شیست، گارنت شیست، آمفیبول شیست، آمفیبولیت، گرافیت شیست و مرمر از توالیهای کمپلکس مذکور هستند که تا رخساره آمفیبولیت دگرگون شده و سپس دگرگونی قهقرایی تا درجات پایین رخساره شیست سبز در آنها اتفاق افتاده است. داده‌های سن سنجی K/Ar مربوط به آمفیبول و میکا درگنیسه‌های ناحیه نیریز سن

کانسار آهن گل گهر با ۱۱۳۵ میلیون تن ذخیره در حال حاضر یکی از بزرگ ترین معادن تولید کننده آهن در ایران محسوب می‌شود. کانیهای غیر فلزی همراه با کانه مگنتیت شامل الیون، سرپانتین، کلریت، تالک، دولومیت، فلوگوپیت، کلسیت و در مقادیر کمتر کوارتز می‌باشند که مجموعه تالک، سرپانتین و کلریت بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. (Mucke & Younessi 1994) مجموعه کانیهای فوق را در ارتباط با الترامافیکها معرفی کرده‌اند. اما ترابیان (۱۳۸۶) و حلاجی (۱۳۷۰) حضور این مجموعه را ناشی از فرآیند اسکارن‌زایی می‌دانند. از آنجاییکه بررسی کانیهای غیر فلزی همراه با هر ماده معدنی به منظور تعیین منشأ و نیز تفسیر رخدادهای حاکم در زمان تشکیل کانسار و یا پس از آن از اهمیت خاصی برخوردار است، در این مطالعه با استفاده از نتایج سنگ شناسی و شیمی کانیها، شرایط ایجاد کانیهای تالک، سرپانتین و کلریت همراه با کانسار آهن گل گهر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جایگاه زمین شناسی و تکتونیکی کانسار گل گهر

پایین بوده اما در مگنتیت تحتانی درصد آن بالا می‌باشد (بیش از ۰/۲٪). مگنتیت میانی اکسید آهن (هماتیت، لیمونیت) بالاتری نسبت به دو قسمت دیگر دارد. باندها و لایه‌هایی از سنگهای آمفیبولیت، کلریت شیست، تالک شیست و سرپانتینیت با سطح تماس ناگهانی میان سنگهای دگرگونی کمپلکس گل‌گهر با توده معدنی در دیواره معدن قرار می‌گیرند (شکل ۲).



شکل ۲: نمایی از باند کلریت شیست (C) با مرز ناگهانی (گسله) میان توده معدنی (A) و واحدهای سنگی کمپلکس گل‌گهر (B).

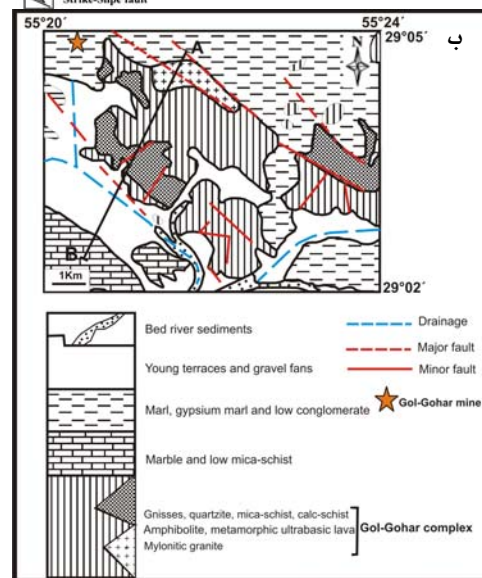
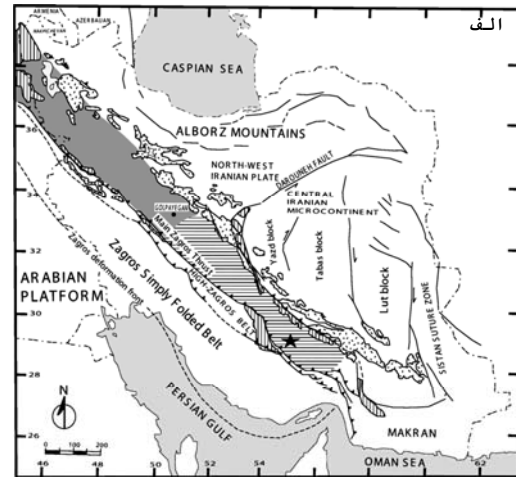
روش مطالعه

در ابتدا طی بررسیهای صحرایی از رخنموهای ناحیه معدن روباز و مغزه‌های حفاری نمونه برداری شد. در راستای مطالعات کانی‌شناسی و بافتی علاوه بر تهیه مقاطع نازک و نازک صیقلی، از پراش پرتو ایکس (XRD) برای شناسایی کانی‌ها و از روش آنالیز الکترون میکروپروپ (EMPA) جهت مطالعه شیمی کانیهای موجود استفاده شده است. پراش نمونه آنالیز شده توسط دستگاه Philips PW1800 diffractometre و در آزمایشگاه اشعه ایکس سازمان زمین شناسی و تحقیقات معدنی بدست آمد و آنالیز شیمیایی کانیها به کمک دستگاه الکترون پروب Cameca Camebax و در دپارتمان زمین شناسی دانشگاه کارلتون کانادا انجام پذیرفت.

مشاهدات صحرایی و مطالعات پتروگرافی

بهره برداری از توده معدنی شماره یک به شکل روباز در حال حاضر به قسمت تحتانی کانسار محدود شده است. در زونهای برشی و شکستگیهای دیواره معدن مجموعه کانیهای سرپانتین، تالک، کلریت تمرکز عمده‌ای دارند و به دلیل رنگ روشن‌تر حتی از فواصل دور از کانسار آهن قابل تشخیص هستند. وجود این مواد به عنوان پرکننده شکستگیها منجر به ناپایداری دیواره‌های معدن و ریزش در برخی قسمتها گردیده است. کانیهای تالک، کلریت و سرپانتین در قالب رگه و یا به شکل آمیختگیهای نامنظم همراه با ماده معدنی دیده می‌شوند. همچنین در مغزه‌های حفر شده از اعماق ۱۴۰-۱۴۶ و ۲۰۷-۲۱۲

پالئوزونیک (۳۰۰ میلیون سال) را برای کمپلکس مذکور نشان داده است

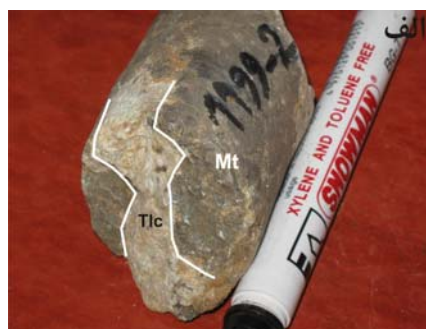
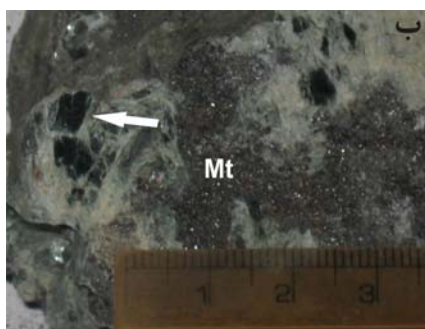


شکل ۱: الف- موقعیت کانسار گل‌گهر در زون سنندج- سیرجان. ب- نقشه زمین شناسی خلاصه شده جنوب کانسار، اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر (سیزهای، ۱۳۷۴).

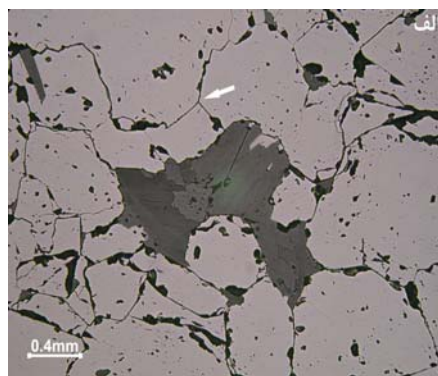
(Sheikholeslami et al. 2003). مرز میان سکانس پالئوزونیک و توالیهای رسوبی تریاس پسین (آهک ریفی) و ژوراسیک (آهک الیتی، کنگلومرا) در شرق معدن ناپوستگی سیمین پیشین می‌باشد. کانسار آهن گل‌گهر دارای ۶ توده معدنی است که توده عدسی شکل شماره ۱ از لحاظ ترکیب و عیار ماده معدنی به سه قسمت: مگنتیت فوقانی، مگنتیت میانی و مگنتیت تحتانی تقسیم بندی می‌شود. در مگنتیت فوقانی درصد گوگرد در قالب کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت

بیشتر در شکستگیها و شکافها به شکل تیغه‌های نازک کاملاً عمود بر دیواره شکاف رشد کرده است (شکل ۵، ج). کلینوکلر اغلب در زمینه‌ای از سرپانتین رشد نموده و ادخالهایی از سرپانتین را در میان گرفته است (شکل ۵، د) که این امر نشان دهنده رشد کلینوکلر پس از سرپانتین است. پیچ‌خوردگی کلینوکلر اعمال استرس بر محیط و دگرشکلی پس از سرپانتینی شدن را نشان می‌دهد (شکل ۵، و). کانی کلینوکلر گاهی به شکل ادخالهای ریز ایدیومورف، به صورت هم‌رشد با سرپانتین نیز در زمینه مگنتیت دیده می‌شود (شکل ۵، ه) و گاهی نیز به شکل ورقه‌های متوسط تا درشت، در مرز کانه‌های مگنتیت پراکنده‌اند. تالک در چند نسل هم به صورت جایگزین سرپانتین و همراه با الیون و هم به شکل باندهای تالک شیبست غنی از کانی تالک (90%) گسترش یافته است. فولیاسیون در کانیهای ذکر شده به وضوح قابل مشاهده است. نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس حضور مجموعه کانی‌های تالک، کلسیت، کلریت و منیزیت را در تالک شیبست، مشخص می‌نماید (شکل ۶) که البته تالک و کلریت فراوانتر بوده و کانی کلریت از نوع کلینوکلر شناسایی شده است.

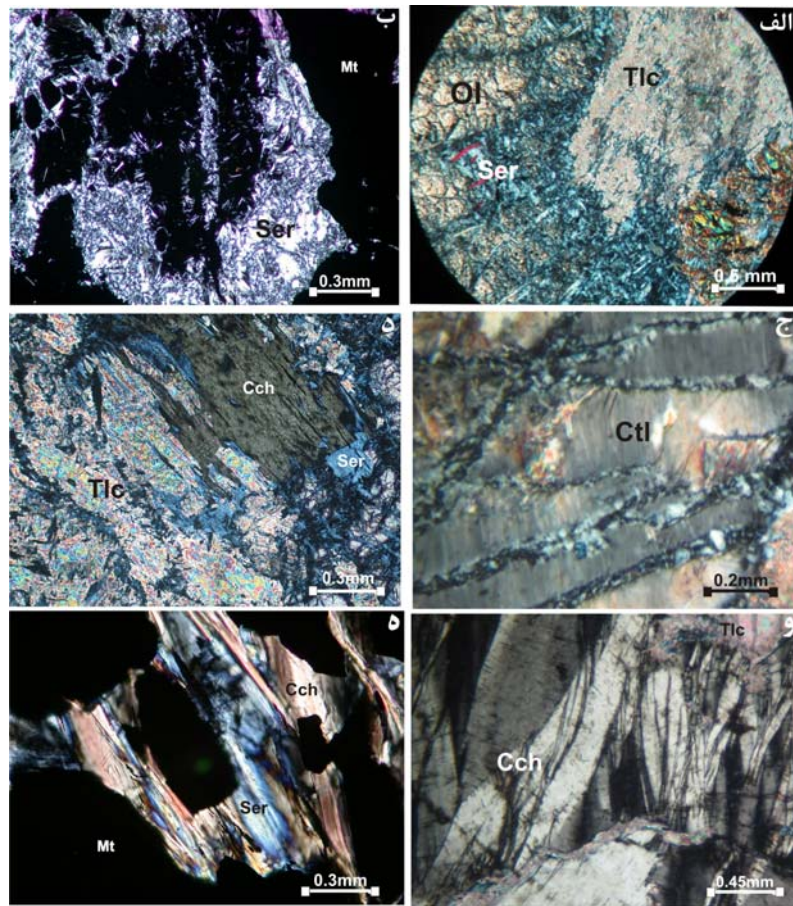
متری معدن وجود این ساختارها مشخص بوده و مرز میان آنها با کانسنگ آهن در اغلب موارد ناگهانی است (شکل ۳، الف). ورقه‌های درشت بلور و سبز رنگ کلریت با اندازه بیش از ۱ سانتیمتر به وضوح در نمونه دستی با کانه مگنتیت سیاه رنگ قابل مشاهده‌اند (شکل ۳، ب). مگنتیت کانه اصلی کانسنگ آهن است و دارای بافت گرانوبلاستیک می‌باشد (شکل ۴، الف). در مواردی حاشیه کانه مگنتیت به هماتیت تبدیل گردیده است (شکل ۴، ب). کانیهای غیر فلزی تالک، کلریت، سرپانتین، دولومیت، کلسیت، مسکویت، فلوگوپیت فضای میان دانه‌های مگنتیت را پر می‌کنند. میزان کانیهای غیرفلزی در اغلب نمونه‌ها بیش از ۲۰٪ است و در حفاریهای انجام شده تا اعماق ۳۵۰ متری نیز دیده می‌شود. در مقاطع مطالعه شده کانی الیون با ابعاد ۰/۵ سانتیمتر از حاشیه به سرپانتین دگرسان شده است و بافت مش با هسته الیون ایجاد نموده است (شکل ۵، الف). البته در شرایط سرپانتینی شدن پیشرونده اثری از پسودومورف الیون باقی نمانده و تماماً کانی سرپانتین همراه با مگنتیت دیده می‌شود (شکل ۵، ب). کریزوتیل با شکل فیبری و بیرفرنزانس پایین قابل تشخیص است و



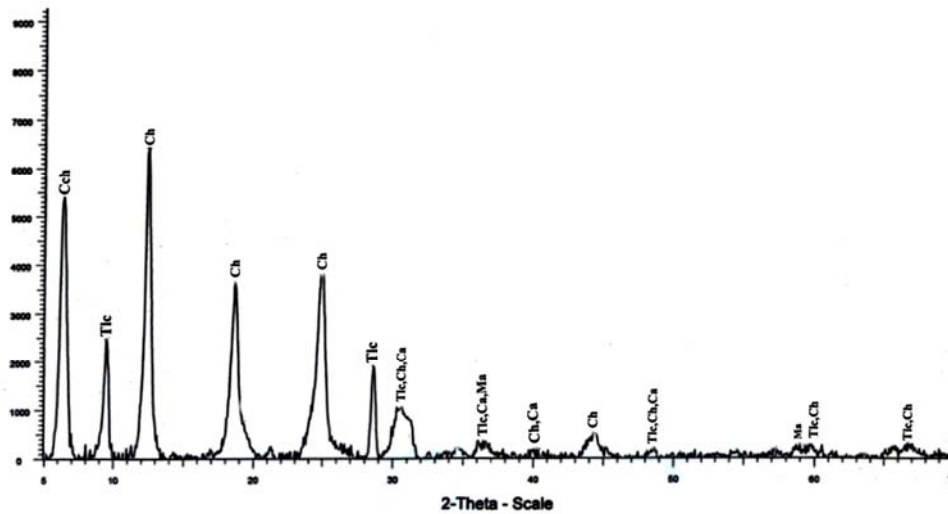
شکل ۳: الف- رگه تالک (Tlc) قطع کننده مگنتیت (Mt) در مغزه حفاری. ب- ورقه‌های درشت کلینوکلر (با علامت پیکان) به همراه کانه مگنتیت سیاه رنگ (Mt).



شکل ۴: الف- زاویه ۱۲۰ درجه ما بین بلورهای مگنتیت و بافت گرانوبلاستیک. ب- مارتیتی شدن حاشیه کانی مگنتیت در نتیجه عبور سیالات ثانویه. نور انعکاسی.



شکل ۵: الف- کانی الیوین (Ol) در مجاورت تالک (Tlc) که به پseudomorph کانی سرپانتین (Ser) دگرسان شده است. ب- دگرسانی پیشرونده با عدم حضور الیوین و وجود سرپانتین در میان کانه مگنتیت. ج- رشد تیغه های ریز کریزوتیل (Ctl) به صورت عمود بر دیواره شکستگیها. د- ادخالهای ریز سرپانتین توسط کانی ورقه‌ای کلینوکلر (Cch) احاطه شده و در کنار تالک قرار گرفته‌اند. و- چین خوردگی ورقه‌های درشت کلینوکلر در مقیاس میکروسکوپی. ه- وجود سرپانتین و کلینوکلر در فضای میان بلورهای مگنتیت. نور XPL.



شکل ۶: نمودار نتایج پراش پرتو ایکس، تالک شیست در کانسار آهن گل‌گهر که حضور کانیهای تالک (Tlc)، کلریت (Ch)، کلسیت (Ca) و منیزیت (Ma) را نشان میدهد.

شیمی کانیها

کانسنگ آهن مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفته‌اند که نتایج شیمی کانیها در جدول ۱ نشان داده شده است.

در این مطالعه ۱۱ نقطه از کانیهای سرپانتین، تالک و کلریت در

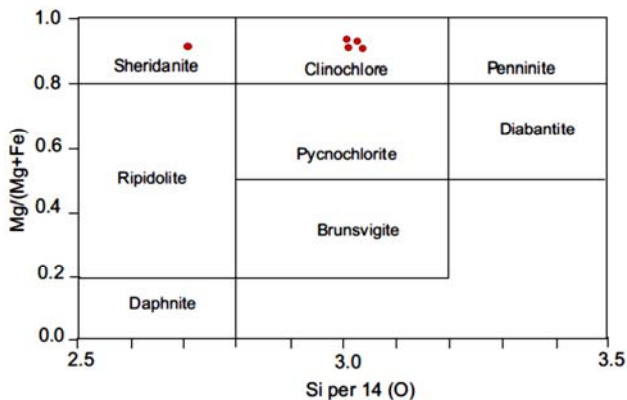
جدول ۱) نتایج آنالیز میکروپروب الکترونی کانیهای کلریت، تالک، سرپانتین در کانسنگ آهن گل‌گهر

	کلینوکلر					سرپانتین			تالک		
	G6-1	G9-2	G17-1	G18-1	G18-2	G17-2	BH83	G9-1	G1-1	G1-2	G2-2
SiO ₂ (%)	۳۳/۵۶	۳۴/۴۲	۳۲/۸۱	۲۸/۹۸	۳۳/۳۷	۴۳/۱۸	۴۲/۲۶	۴۳/۸۰	۶۲/۳۰	۶۲/۰۹	۶۲/۷۸
Al ₂ O ₃	۱۴/۰۸	۱۳/۲۵	۱۴/۲۵	۲۱/۷۴	۱۴/۵۲	۲/۱۵	۲/۶۴	۱/۳۱	-/۰۸	-/۱۲	-/۱۴
TiO ₂	.	-/۰۱	.	-/۰۱	.	-/۰۳	-/۰۱	.	-/۰۲	-/۰۱	-/۰۲
Cr ₂ O ₃	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	.	.	.	.	-/۰۲	-/۰۲	.
FeO	۵/۸۷	۴/۵۱	۵/۰۹	۲/۹۱	۴/۸۲	۳/۸۸	۶/۳۲	۲/۶۸	۱/۶۳	۱/۸۹	۲/۲۴
MnO	.	.	.	.	-/۰۲	-/۰۱	-/۰۴	-/۰۱	-/۰۲	-/۰۱	.
MgO	۳۲/۹۹	۳۲/۹۱	۳۲/۶۷	۳۱/۱۷	۳۳/۶۳	۳۷/۶۲	۳۶/۰۱	۳۸/۰۲	۲۸/۸۰	۲۹/۶۲	۲۹/۲۶
K ₂ O	.	.	.	.	.	-/۰۱	.	-/۰۱	.	.	.
CaO	-/۰۱	-/۰۱	.	-/۰۲	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۴	-/۰۱	.	-/۰۱
Na ₂ O	-/۰۱	.	-/۰۲	.	.	.	.	.	-/۰۲	.	-/۰۲
TOT	۸۶/۶۲	۸۶/۱۹	۸۵/۰۳	۸۴/۹۳	۸۶/۵۳	۸۷/۱۷	۸۷/۳۲	۸۶/۰۲	۹۳/۱۰	۹۴/۹۱	۹۴/۶۵
(O)	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۷	۷	۷	۲۲	۲۲	۲۲
Si	۳/۲۲	۳/۲۹	۳/۱۹	۲/۷۹	۳/۱۹	۲	۱/۹۷	۲/۰۴	۸/۱۰	۸/۵۰	۸/۵۰
Al ^{IV}	-/۷۸	-/۷۱	-/۸۱	۱/۲۱	-/۸۱	.	-/۰۲	.	.	.	.
Al ^{VI}	-/۸۱	-/۷۸	-/۸۳	۱/۲۶	-/۸۲	-/۱۱	-/۱۱	-/۰۷	-/۰۱	-/۰۱	-/۰۲
Ti	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Fe ³⁺
Fe ²⁺	-/۴۷	-/۲۶	-/۴۱	-/۲۳	-/۳۸	-/۱۳	-/۲۲	-/۰۹	-/۱۸	-/۰۲	-/۲۴
Mn	.	.	.	.	.	۱	۱/۱	۱	.	.	.
Mg	۴/۷۱	۴/۸۳	۴/۷۴	۴/۴۷	۴/۷۹	۲/۶۰	۲/۵۰	۲/۶۵	۵/۵۸	۵/۶۳	۵/۵۹
Ca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Na	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ΣCation	۹/۹۹	۹/۹۷	۹/۷۱	۹/۹۶	۹/۹۹	۵/۸۴	۵/۹۲	۵/۸۵	۱۳/۸۷	۱۴/۳۴	۱۴/۳۵

سیال Al دار در هنگام تشکیل آنها در محیط دلیل دیگری برای مقدار بالای آلومینیوم در ساختار لیزاردیتها معرفی شده است (Cressey *et al.* 2008). در تمامی سرپانتینهای آنالیز شده مقدار Cr₂O₃ بسیار اندک و در حد صفر است که احتمالاً بیانگر مقادیر ناچیز کرم در الیونینهای دگرسان شده به سرپانتین می‌باشد.

۲- کلریت و دماسنجی

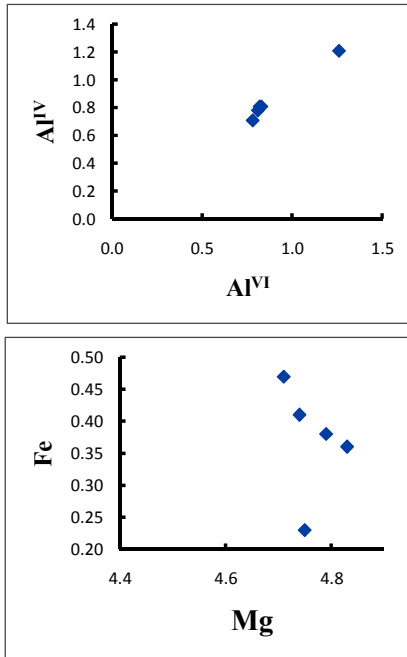
کلریت همراه با مگنتیت در کانسنگ آهن گل‌گهر تقریباً کلینوکلر خالص است و در طبقه بندی Hey (1954) اکثر نمونه‌ها در محدودی کلینوکلر و نمونه G18-1 در گستره شریدانیت قرار می‌گیرد (شکل ۷).



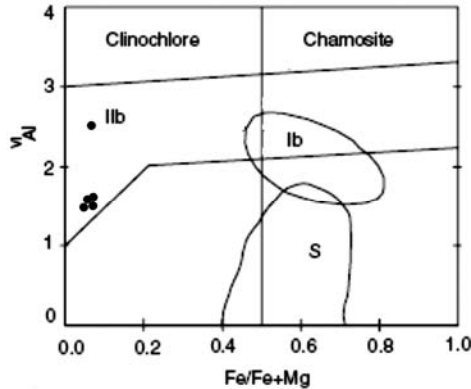
شکل ۷: ترکیب شیمیایی کلریت در کانسنگ آهن گل‌گهر (Hey 1954).

۱ - پلی‌مورفهای سرپانتین:

بطور کلی گفته می‌شود که پسودومورف سرپانتین تشکیل شده از دگرسانی الیون مقدار MgO بالاتری (۳۴-۴۹ wt%) نسبت به پسودومورف حاصل از ارتوپیروکسن (۲۵-۳۸ wt% دارد (Moll *et al.* 2007) و با توجه به مقدار این اکسید (۳۶-۳۸ wt%) در سرپانتینهای مورد مطالعه تشکیل آنها از الیون محتمل‌تر بنظر می‌رسد. بعلاوه، همانطور که در شکل ۵-الف مشاهده می‌شود، حضور سرپانتین در مجاورت الیون تاییدی بر تشکیل سرپانتین در اثر دگرسانی الیون می‌باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی سرپانتینهای مورد مطالعه (جدول ۱) فرمول آنها براساس ۷ اتم اکسیژن به صورت $(Mg_{2.4-2.7}Fe_{0.08-0.3}Al_{0-0.3})_3(Si_{1.9-2.5}Al_{0.7-2.0})_2O_5(OH)_4$ محاسبه می‌شود. براساس روش تفکیکی پیشنهاد شده توسط (Hajialioghli *et al.* 2007) سرپانتینهای آنالیز شده لیزاردیت هستند که البته شواهد بافتی نیز غالباً وجود این کانی را نشان می‌دهد. مقادیر بالای Al (۱-۰) در سرپانتینهای مورد مطالعه می‌تواند به دلیل جانشینی چرماک (Al^{VI}Al^{IV}Mg^{IV}Si₁) در ساختار بلوری سرپانتین باشد. چنین جانشینی با افزایش مقادیر Al و تا حدودی Fe و کاهش Mg و Si در ساختار سرپانتین و در نتیجه افزایش دما اتفاق می‌افتد (Li *et al.* 2004). هم‌رشدی لیزاردیت با کانی کلینوکلر به دلیل جریان یافتن



شکل ۸: تغییرات عناصر Si و Al, Fe, Mg در کلینوکلره‌های گل‌گهر.



شکل ۹: نمودار Al^{VI} در مقابل $Fe/(Fe+Mg)$ برای کلریت‌های همراه با کانه مگنتیت گل‌گهر، Ib = کلریت دیاژنزی، Iib = کلریت دگرگونی، S = کلریت‌های متورم شونده (Curtis *et al.* 1985).

۳- تالک

فرمول محاسبه شده تالک براساس ۲۲ اتم اکسیژن به صورت $(Mg_{5.5-5.6} Fe^{+2}_{0.23-0.24} Al^{VI}_{0.01-0.02})(Si_{8-8.5})O_{10}(OH)_2$ می‌باشد. مقدار Al_2O_3 تالک پایین بوده و جانشینی Fe^{+2} به جای Mg^{+2} اندک است. غلظت Cr_2O_3 و MnO بسیار پایین و کمتر از ۰/۱ درصد می‌باشد.

واکنش‌های احتمالی در تشکیل کانیهای سرپانتین-تالک-کلینوکلر

با توجه به موقعیت مجموعه کانیهای موجود در کانسنگ مگنتیت گل‌گهر در نمودار مثلثی

$MgO-Al_2O_3-SiO_2$ (شکل ۱۰)، واکنش‌های احتمالی زیر را می‌توان برای تشکیل کانیهای مورد مطالعه در نظر گرفت.

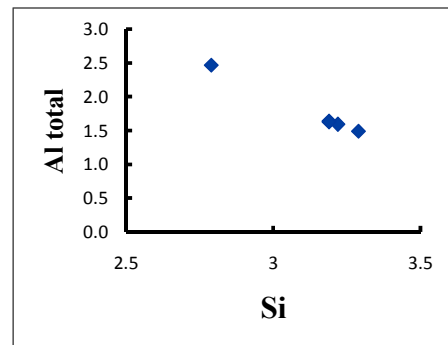
شردانیت کانی متعلق به گروه کلریت با میزان آلومینیوم بالاتر (۲۱/۷۴٪) نسبت به کلینوکلر است. فرمول محاسبه شده کلریت‌های

کانسار آهن گل‌گهر (براساس ۱۴ اتم اکسیژن) بصورت $(Mg_{4.5-4.83} Fe^{+2}_{0.23-0.47} Al_{0.78-1.26})(Si_{2.79-3.30} Al_{0.78-1.20})O_{10}(OH)_4$ گزارش می‌شود. در شکل ۸، ارتباط بین عناصر مختلف موجود در ترکیب شیمیایی کلریت‌های مورد مطالعه مشخص شده است. به استثنای نمونه G18-1 که شردانیت می‌باشد، عناصر $Al^{IV}-Al^{VI}$ در کلینوکلرها همبستگی مثبت و Mg رابطه منفی با Fe نشان می‌دهند.

همچنین Al کل و Si رابطه منفی با یکدیگر دارند. این روابط برای کانی کلینوکلر صدق می‌نماید و نمونه‌ای که از روند کلی تبعیت نمی‌کند شردانیت می‌باشد. ارتباط ذکر شده میان عناصر فوق بیانگر جانشینی چرماک و Fe-Mg در ساختار کلینوکلر است که با افزایش دما مطابقت دارد و نیز تأثیر ترکیب کل سنگ بر روی ترکیب کلریت را آشکار می‌نماید (Munguira *et al.* 2002). تغییر در ترکیب واحد فرمولی کلریت‌ها در دماهای متفاوت توسط اغلب محققین پذیرفته شده است.

به عنوان مثال McDowell & Elders (1980) چنین بیان می‌نمایند که افزایش مقدار Al^{IV} کلریت متأثر از افزایش دما و نسبت $Fe/(Fe+Mg)$ در واحد فرمولی آن می‌باشد. نتایج حاصل از داماسنجی کلریت به روشهای Cathelineau & Nieva (1985), Zang & Fyfe (1985), Xie *et al.* (1997), Kranidiotis & McLean (1987), (1995) که هر

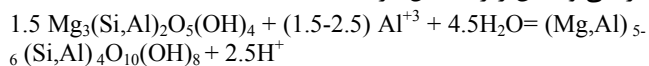
یک بر اساس تأثیر ترکیب سنگ کل بر ترکیب کلریت و مقدار $Fe/(Fe+Mg)$ ساختار فرمولی آن معادلاتی با کالیبراسیونهای متنوع ارائه نموده‌اند، میانگین دمایی ۲۰۰ تا حدود ۳۰۰ درجه سانتیگراد را برای کلینوکلره‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (جدول ۱). در نمودار Al^{VI} در برابر $Fe/(Fe+Mg)$ (Curtis *et al.* 1985) که محدوده کلریت‌های دیاژنزی و دگرگونی آهن و منیزیم‌دار بر روی آن مشخص شده است، کلریت‌های منطقه مورد مطالعه در گستره دگرگونی قرار می‌گیرند (شکل ۹).



(Auzende *et al.* 2006). تالک در نمونه‌های گل‌گهر در زمان تعادل با سرپانتین و الیون در دمای ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد پایدار بوده است اما با پیشرفت فرآیند سرپانتینی شدن در دمای ۳۰۰ درجه نیز پایدار بوده است.

(د) کلریت: گروه کلریت مجموعه فراوانی از کانیهای سیلیکاته آهن-منیزیم آبدار را در بر می‌گیرد که می‌توانند در اکثر سنگهای دگرگونی، رسوبی و آذرین تشکیل شوند. با توجه به همراهی کلینوکلر، سرپانتین و تالک و دمای محاسبه شده برای کلینوکلر به نظر می‌رسد این کانی

در طی واکنش زیر تشکیل گردیده باشد (Wang *et al.*, 2009)



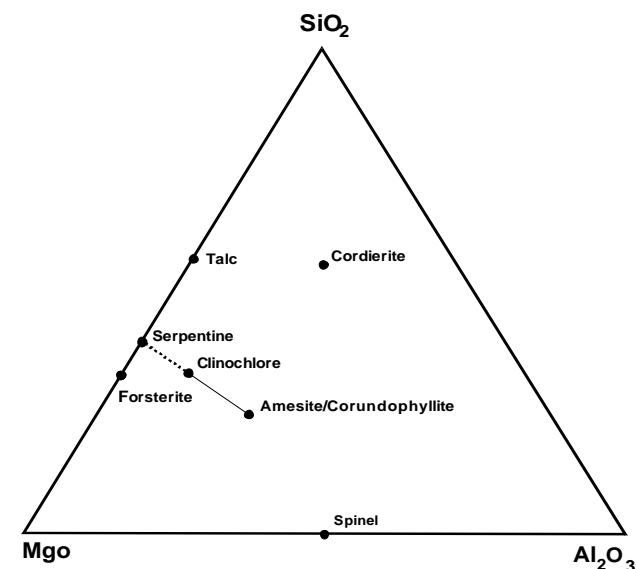
سرپانتین

کلینوکلر

در شکل ۱۱ منحنی ۳ محدوده پایداری کلینوکلر گل‌گهر نشان داده شده است که دما به بیش از ۲۵۰ درجه سانتیگراد و XCO_2 به بیش از ۰/۵ افزایش یافته است.

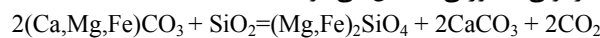
جدول ۲: میانگین دمای کلریت‌های کانسار گل‌گهر به روشهای مختلف

معادله	روش	T°C
$T=106.2 [\text{Al(IV)} - 0.88(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})-0.34)] + 17.5$ $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) = 0.27-0.38$	Zang & Fyfe (1995)	225.93
$T=106.2\text{Al(IV)} + 17.5$	Cathelineau & Nivea (1985)	201.25
$T=106 [\text{Al(IV)} + 0.7\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})] + 18$	Kranidiotis & McLLean (1987)	207.3
$T=321.98[\text{Al(IV)} + 1.33 (0.31 - \text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})) - 61.92$ $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) < 0.31$	Xie <i>et al</i> (1997)	318.23



شکل ۱۰: فازهای سیلیکاته مشارکت کننده در کانسنگ و روابط آنها بر روی نمودار $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

(الف) الیون: این کانی از جمله کانیهای فرومنیزیم است که در اثر تبلور ماگمای مافیک و الترامافیک و یا در نتیجه فرآیند تشکیل اسکارن منیزیمی آهن، از واکنش سیال سیلیکاته با کربنات آهن-منیزیم در طی دگرگونی مجاورتی تشکیل می‌شود:



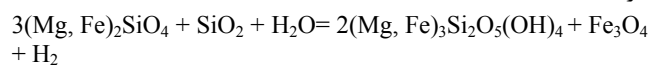
دولومیت

الیون

الیون تشکیل شده در اسکارن عمدتاً همراه با دیوپسید و یا کلسیت است. واکنشگرایی همچون دیوپسید، و ترمولیت همراه با دولومیت در دمای حدود ۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتیگراد و XCO_2 تا ۰/۳ تا ۰/۶ منجر به تشکیل الیون اسکارنی می‌شوند (Gallien *et al.* 2007). کاهش دما به ۴۰۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد و XCO_2 به ۰/۰۹-۰/۰۶ تشکیل سرپانتین، تالک و کلریت را همراه با الیون به دنبال خواهد داشت (Lee *et al.* 1998).

(ب) سرپانتین: کانیهای سرپانتین (آنتی گوریت، لیزاردیت، کریزوتیل) عموماً در طی هیدراسیون کانیهای مافیک

همچون الیون تشکیل می‌شوند. از آنجایی که در نمونه‌های مورد مطالعه پسودومورف کانی الیون در اثر دگرسانی به کانیهای سرپانتین مشاهده می‌گردد، واکنش زیر را می‌توان برای تشکیل سرپانتین در نظر گرفت:



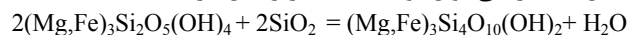
الیون

سرپانتین

مگنتیت

شرایط کلی دما، فشار و XCO_2 پایداری سرپانتینها در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است سرپانتینها در دماهای کمتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در محدوده وسیعی از فشار و $\text{XCO}_2 > 0.5$ پایدارند. بنظر می‌رسد که سرپانتینهای مورد مطالعه در دمای ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد و XCO_2 بیشتر از ۰/۵ در زمان تعادل با الیون و تالک (Harris & Einaudi, 1982) و تا دمای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد و XCO_2 کمتر از ۰/۰۲ در زمان سرپانتینی شدن پیشرونده و تشکیل کریزوتیل (Auzende *et al.* 2006) پایدار بوده‌اند.

(ج) تالک: کانی تالک در اثر دگرگونی سنگهای کربناته همچون دولومیت و نیز از دگرسانی سرپانتینها تشکیل می‌شود. کانی تالک در کانسار گل‌گهر عمدتاً با سرپانتین و کلینوکلر همراه بوده و در قالب سنگ تالک شیبست نیز در توده معدنی دیده می‌شود. واکنش احتمالی تشکیل تالک را می‌توان توسط معادله زیر بیان کرد:



سرپانتین

تالک

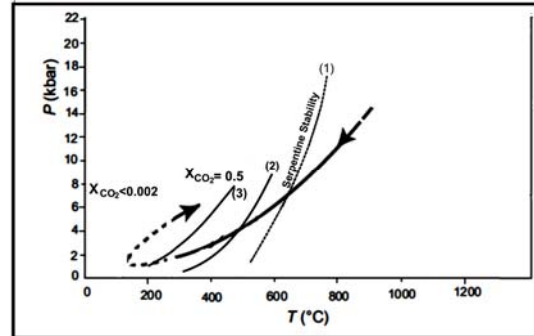
همانطور که در شکل ۱۱ (منحنی ۲) دیده می‌شود محدوده پایداری تالک بطور کلی گسترده است اما محصولات این واکنش در فشار ۲ کیلو بار و دمای حدود ۳۰۰ درجه می‌توانند پایدار می‌باشند

مرحله سوم (دگرگونی)

در این مرحله با افزایش دما، ورقه‌های درشت کلینوکلر و شریدانیت از واکنش سیالات آلومینیوم‌دار (احتمالاً حاصل از دگرگونی واحدهای سنگی آلومینیوم دار کمپلکس گل‌گهر) با سرپانتین تشکیل شده‌اند که حضور ادخاله‌های سرپانتین در کلینوکلر نشان‌دهنده این فرآیند است. پیچ خوردگی ورقه‌های کلینوکلر حاکی از رخداد دگرشکلی بعدی در محیط می‌باشد. با توجه به نحوه ارتباط میان مجموعه کانی‌های الیوین، سرپانتین، تالک و کلینوکلر با کانه مگنتیت مراحل فوق در کانسنگ آهن تأثیر گذار بوده است. چنانکه متاسوماتیسم می‌تواند منجر به اکسیداسیون حاشیه دانه‌های مگنتیت و دگرگونی منجر به تبلور مجدد کانه مگنتیت شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده چنین استدلال می‌شود که پلی‌مورفهای سرپانتین عمدتاً از دگرسانی الیوین تشکیل شده‌اند و از میان کانیهای آنتی گوریت، لیزاردیت و کریزوتیل، بیشترین فراوانی متعلق به لیزاردیت است. سرپانتینی شدن با افت دما تا مراحل انتهایی خود که با تشکیل سرپانتینیت همراه است پیش رفته است. کانی تالک نیز در همان مراحل سرپانتینی شدن از دگرسانی سرپانتین بوجود آمده است. ورقه‌های درشت کلینوکلر متعاقب سرپانتینی شدن و افزایش دما و مقدار آلومینیوم سیال، تحت تأثیر دگرگونی سرپانتین ایجاد شده‌اند. از آنجا که مجموعه کانیهای تالک، سرپانتین و کلینوکلر عمدتاً همراه با کانسنگ آهن گل‌گهر دیده می‌شوند، یقیناً مراحل فوق از جمله فرآیندهای متاسوماتیسم و دگرگونی دخیل در تشکیل این کانیها، توده معدنی را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند. ماریتیتی شدن حاشیه کانه مگنتیت در اثر واکنش با سیالات آبدار در طی مراحل متاسوماتیسم حادث گردیده و دگرگونی به گسترش کلینوکلر و بافت موزاییکی در میان دانه‌های مگنتیت منجر شده است.



شکل ۱۱: منحنی پایداری ترکیب کانی‌ها براساس تغییرات دما و فشار. ۱- منحنی پایداری سرپانتینها، ۲- منحنی تشکیل تالک ۳- منحنی تشکیل کلینوکلر (Hajialioghli et al. 2007).

بحث

براساس شواهد صحرایی، روابط کانی شناسی و بافتی همچون حضور پسودومورف الیوین و فراوانی کانیهای سرپانتین همراه تالک، کلینوکلر در زمینه کانه مگنتیت در کانسار آهن گل‌گهر، و نحوه گسترش آنها (به صورت پرکننده فضای میان مگنتیت و به شکل رگه‌ها و باندهای موجود در سطح تماس توده معدنی با سنگهای در بر گیرنده)، و همچنین شرایط دما و واکنشهای ذکر شده می‌توان چند مرحله را در تشکیل این مجموعه‌ها مؤثر دانست.

مرحله اول (دما بالا): این مرحله با تشکیل کانیهای نسبتاً دما بالا همچون الیوین مشخص می‌گردد. چنین به نظر می‌رسد که الیوین در دمای بیش از ۵۵۰ درجه سانتیگراد و قبل از دگرسانی و دمای به تعادل رسیدنش با سرپانتین - تالک (۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد) تشکیل شده است.

مرحله دوم (متاسوماتیسم): با افت دما به حدود ۴۰۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد، ورود سیالات آبدار به محیط الیوین به سرپانتین دگرسان شده است. با پیشرفت سرپانتینی شدن و کاهش دما به ۲۵۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد، تالک و پلی‌مورفهای سرپانتین کاملاً جانشین الیوین شده‌اند.

منابع:

ترابیان س. ۱۳۸۶: کانی‌زایی و ژنز آنومالی معدن سه گل‌گهر سیرجان با تکیه بر توزیع عناصر جزئی. رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
حلاجی ا. ۱۳۷۰: مطالعه کانی شناسی عناصر کمیاب و منشأ کانسار آهن گل‌گهر. رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

سبزه‌ای م. ۱۳۷۶: نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

Auzende A.L., Guillot G., Devouard B., Baronnet A. 2006: Behaviour serpentinities in convergent context : Microstructural evidence. *European Journal of Mineralogy*. **18**: 21-33.

Cathelineau M., Nieva, D. 1985: A chlorite solid solution geothermometer, The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contrib. Mineral. Petrol.* **91**: 235-244.

Cressey G., Cressey B.A., Wicks F.J. 2008: The significance of the aluminium content of a lizardite at the nanoscale: the role of

- clinochlore as an aluminium sink. *Mineralogical Magazine*. **72**: 817-825.
- Curtis C.D., Hughes, C.R., Whiteman, J.A., Whittle C.K., 1985: Compositional variation within some sedimentary chlorites and some comment on their origin. *Mineralogical Magazine*. **49**:37-386.
- Gallien F., Abart, R., Wyhlidal S., 2007: Contact metamorphism and selective metasomatism of the layered Bellerophon Formation in the eastern Monzoni contact aureole, northern Italy. *Mineralogy and Petrology*. **91** 25-53.
- Hajjialioghli R; Moazzen M; Droop G.T.R; Oberhansli R; Bousquet R; Jahangiri A, Ziemann M. 2007:Serpentine polymorphs and P-T evolution of metaperidotites and serpentinites in the Takab area, NW Iran. *Mineralogical Magazine*., **71**, 203-222 .
- Harris N.B., Einaudi M.T. 1982: Skarn deposits in the Yerington district, Nevada: Metasomatic skarn zinc evolution near Ludwig. *Econ Geol*. **77**: 877-898.
- Hey M.H., 1954: A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine*. **30**: 277- 292.
- Kranidiotis P., McLean, W.H. 1987: Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit. Matagami, Quebec. *Economic Geology*. **82**: 1898 - 1991.
- Lee C. H, Lee, H. K., Kim S. J. 1998: Geochemistry and mineralization age of magnesian skarn-type iron deposits of the Janggum mine, Republic of Korea. *Mineralium Deposita*. **33**: 379-390.
- Li X.P., Rahn M., Bucher K. 2004: Metamorphic processes in rodingites of the Zermatt-Saas ophiolites. *International Geological Review*. **46**: 28-51.
- McDowell S.D., Elders W.A. 1980: Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton sea geothermal field, California, USA. *Contrib. Mineral. Petrol*. **74**: 293-310.
- Moll M., Paulick H., Suhr G., Bach W. 2007: 2. data report: microprobe analyses of primary phases (olivine, pyroxene and spinel) and alteration products (serpentine, iowaite, talc, magnetite and sulfides) in holes 1268A, 1272A and 1274A1. Proceedings of the Ocean Drilling Program, *Scientific Results*. **209**: 1-13.
- Mucke A., Younessi R. 1994: Magnetite-apatite deposits (Kiruna-type) along the Sanandaj-Sirjan zone and the Bafq area, Iran, associated with ultramafic and calcalkaline rocks and carbonatites. *Mineralogy and petrology*. **50**: 219-244.
- Munguira A.L., Nieto F., Morata D. 2002: Chlorite composition and geothermometry:a comparative HRTEM/AEM-EMPA study of Cambrian basic lavas from the Ossa Morena Zone, SW Spain. *Clay Minerals*. **37**: 267-281.
- Sheikholeslami R., Bellon H., Emami H., Sabzehei M., Pique A. 2003: Nouvelles données structurales et datations 40K-40Ar sur les roches métamorphiques de la région de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan, Iran meridional). Leur interet dans le cadre du domaine neo- tethysien du Moyen-Orient. C. R. *Geoscience*. **335**: 981-991.
- Wang X., Zeng Z., Chen J. 2009: Serpentinization of peridotites from the southern Mariana forearc. *Progress in Natural Science*. **19**: 1287-1295.
- Xie X., Byerly G.R., Ferrell R.E. 1997: I1b trioctahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: crystal structure and rock composition constraints with implications for geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **126**: 275-291.
- Zang W., Fyfe, W.S. 1995: Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarape Bahia gold deposit, Carajas, Brazil. *Mineral. Deposita*. **30**: 30-38.