

شیمی کانی و خاستگاه کروم در گارنت‌های یوواریت‌دار بابانظر (شمال شرق تکاب)

زیبا خدائیان چگنی^۱، نعمت ا... رشیدنژاد عمران^{۱*}، علی اکبر بهاری فر^۲، کارملا واکارو^۳، آیدا ماریا کونته^۵

۱- گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران

۳- دانشکده فیزیک و علوم زمین، دانشگاه فرارا، فرارا، ایتالیا

۴- دانشکده علوم اتمسفری و اقلیم، بلونیا، ایتالیا

۵- دانشکده علوم زمین، دانشگاه ساپینزا، رم، ایتالیا

(دریافت مقاله: ۹۹/۱/۹، نسخه نهایی: ۹۹/۳/۱۷)

چکیده: گارنت کالک سیلیکات‌های بابانظر در شمال شرق تکاب، پهنه سندنج- سیرجان، واقع هستند. از ویژگی‌های بارز این کالک سیلیکات‌ها، وجود گارنت‌های بی‌شکل تا شکل‌دار و به رنگ سبز است. بررسی شیمی کانی نشان می‌دهد که این گارنت‌ها از نوع آندرادیت-گروسولار هستند و تا بیش از ۱۳ درصد یوواریت دارند. مقدار بالای کروم در گارنت، حضور کروم اسپینل که دارای هسته غنی از کروم نسبت به حاشیه است و کانی‌های کدر سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت در این واحد کالک سیلیکات‌ها شواهدی از سنگ مادر فرامافیک هستند که می‌تواند منبع کروم برای گارنت باشد. شباهت ترکیب زمین شیمیایی این گارنت کالک سیلیکات‌های با سنگ‌های فرامافیک نیز با سنگ مادر فرامافیک سازگار است. این سنگ‌ها دستخوش دگرسانی گرمایی شده‌اند که موجب بالا رفتن مقدار Ca و پایین آمدن مقدار Mg در گارنت و سنگ میزبان در مقایسه با گارنت‌های گوشته‌ای و سنگ‌های فرامافیک شده‌است. ورود سیال‌های غنی از CO₂ موجب کربناتیته شدن سنگ مادر فرامافیک و خروج ترجیحی Mg می‌شود. گسل‌ها به عنوان کانال‌هایی برای چرخش سیال‌های گرمایی نقش کلیدی در فرایند دگرسانی گرمایی دارند.

واژه‌های کلیدی: گارنت؛ یوواریت؛ بابانظر؛ تخت سلیمان؛ تکاب.

مقدمه

گزارش شده‌اند و بررسی‌هایی نیز در این مناطق انجام شده‌است [۶-۱۱].

در این پژوهش گارنت‌های سبز یوواریت‌دار در منطقه بابانظر، شمال شرق تکاب، بررسی می‌شوند. پژوهش‌های پیشین که پیرامون این گارنت‌ها انجام شده است، بر اساس جداسازی بلورهای گارنت به رنگ‌های مختلف و سنجش عناصر اصلی و جزئی به روش‌های طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی X (XRF) و طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) و تعیین فازهای کانیایی با پراش پرتوی X (XRD) بوده است.

گارنت‌ها گروه گسترده‌ای از کانی‌ها با تنوع در رنگ و ترکیب شیمیایی هستند که به واسطه تفاوت اجزای مولی اعضای انتهایی ناشی می‌شوند. معمول‌ترین رنگ در این کانی قرمز است که اغلب در پیروپ و آلماندن دیده می‌شود، ولی اغلب رنگ‌های دیگر به ویژه رنگ سبز که اغلب در یوواریت دیده می‌شود بسیار مورد توجه است [۱]. گارنت سبز از کمیاب‌ترین [۲] و زیباترین انواع گارنت است که بیشتر در کشورهایی چون هند، فنلاند، ایتالیا، روسیه، ترکیه، آمریکا و آفریقای جنوبی [۲-۵] رخنمون دارد. در ایران نیز این گارنت‌های سبز رنگ در سه منطقه باغ برج (کرمان)، تجغنی (بیرجند) و بابانظر (تکاب)

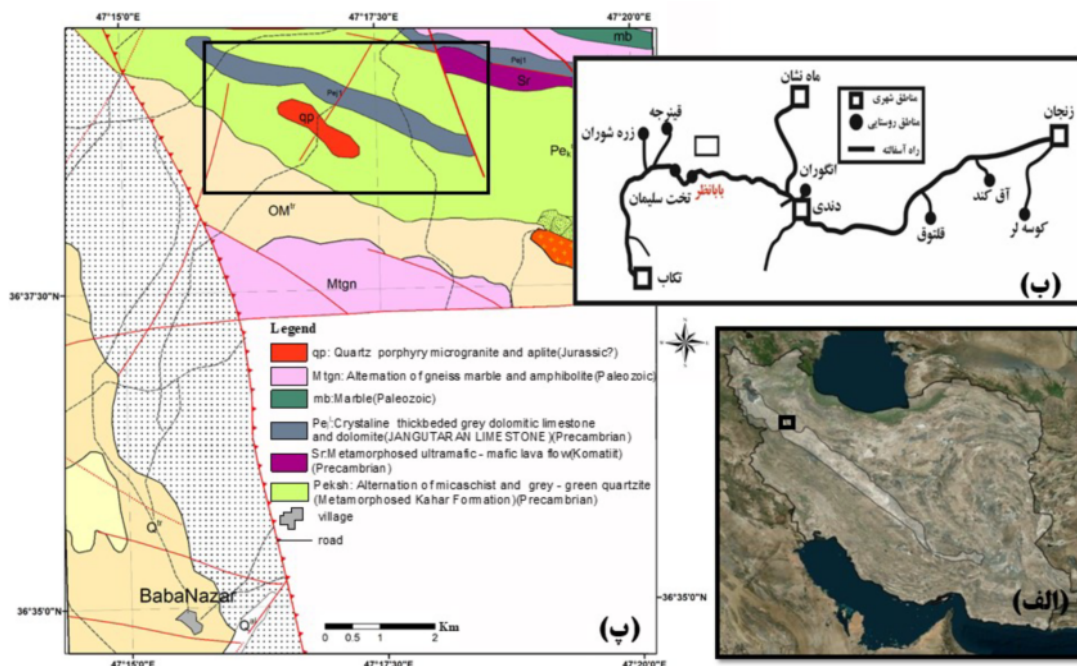
جان‌گوتاران قرار دارند. این سنگ‌های دگرگونی شامل سریسیت- موسکویت شیست، کوارتز- کلریت- اپیدوت شیست، بیوتیت شیست و میان لایه‌هایی از کوارتزیت هستند. این واحدهای دگرگونی به عنوان شیست‌های امیران در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب [۱۵] معرفی شده‌اند. بین این واحد دگرگونی و واحد جان‌گوتاران، یک افق ۵۰ تا ۱۰۰ متری مرکب از سنگ‌های فرامافیک دگرگون شده (سرپانتینیت و سرپانتین شیست و متاگابرو و سنگ‌های بازالتی دگرگون شده) وجود دارد [۱۲]. این واحد به صورت واحد Sr در منطقه مورد بررسی و یا واحدهای معادل آن چون افیولیت‌های معرفی شده توسط رشید نژاد و مومن زاده [۱۶] در مناطق کنار آن مانند افیولیت- های چال داغی (شمال شرق تکاب) و قوزی چاق (جنوب غرب شهر دندی) دارای رخنمون است. در مورد دگرگونی‌های منطقه باور بر این است که دگرگونی اثر گذار بر منطقه باور از نوع دینامیکی- گرمایی بوده و اثر آن در تناوب میکاشیست و کوارتزیت سازند کهر و مرمرهای جان‌گوتاران در حد رخساره شیست سبز نمایان بوده و وابسته به پرکامبرین است. از دیگر واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد بررسی، گرانیته‌ها و کوارتزپوفیرهایی هستند که به علت قرار گرفتن زیر نهشته‌های آتشفشانی الیگومیوسن و قطع کردن واحدهای دگرگونی پالئوزوئیک و پرکامبرین به مزوزوئیک نسبت داده شده‌اند و دارای رخنمون محدودی در منطقه هستند [۱۲].

[۶-۸]، نتایج این بررسی‌ها نشان داده است که گارنت‌ها از گروه گروسولار- آندرادیت هستند و گارنت‌های سبزرنگ درصدی از یووارویت در ترکیب خود دارند. از موارد مهم در [۷]، این است که مقدار یووارویت در سایر گارنت‌های منطقه، صفر و یا ناچیز است که این امر می‌تواند بیانگر وجود یک منبع تغذیه کننده کروم برای سنگ‌های دارای گارنت یووارویت‌دار باشد. در هیچ یک از پژوهش‌های انجام شده به خاستگاه کروم اشاره‌ای نشده است. در این پژوهش، با بررسی گارنت‌ها با میکروسکوپ الکترونی و ریزپردازشگر الکترونی، و تجزیه سنگ کل، ترکیب گارنت‌ها و علت بالا بودن کروم در آن تعیین شد.

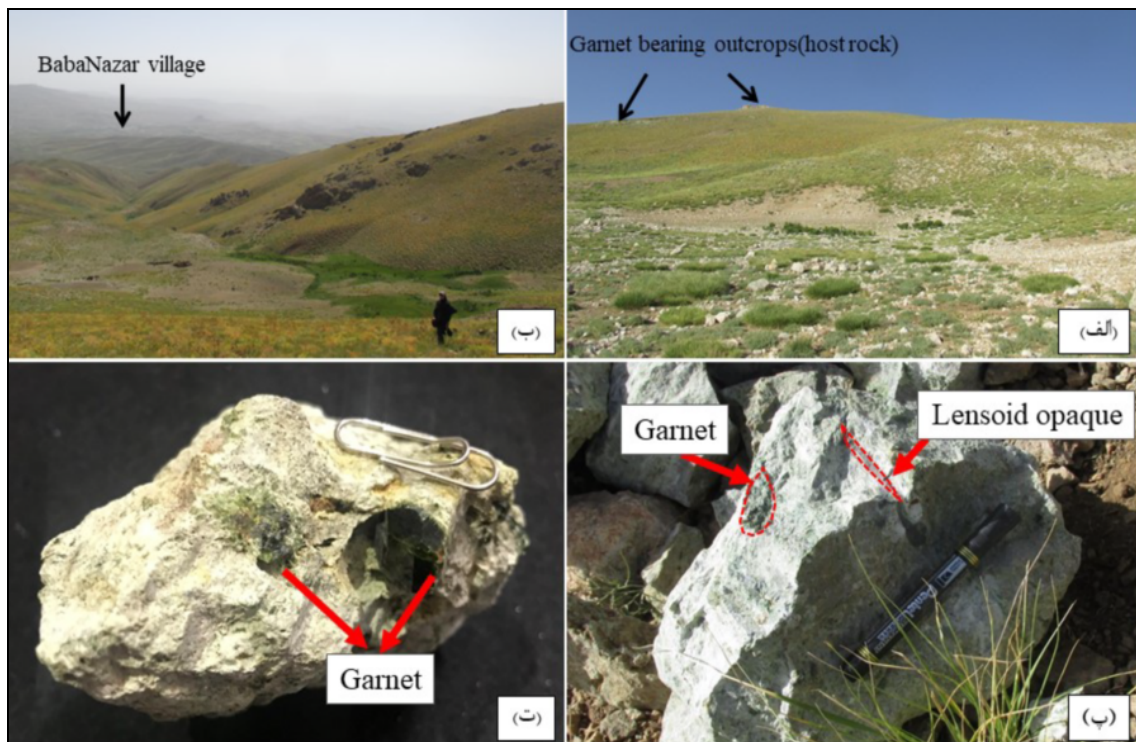
زمین‌شناسی منطقه

گستره سنگ‌های کالک سیلیکات‌های دربردارنده یووارویت، که اسکارن تلقی شده‌اند [۷، ۸، ۱۲]، در شمال شرق تکاب، برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان، شمال شرق روستای بابانظر (شکل‌های ۱ ب و ۲ ب) واقع است. از نظر تقسیم‌بندی ساختاری، برخی از پژوهشگران این منطقه را مربوط به پهنه سنندج- سیرجان [۱۳] (شکل ۱ الف) و برخی دیگر از پهنه ایران مرکزی می‌دانند [۱۴].

کهن‌ترین واحد شناخته شده در منطقه، سنگ‌های دگرگونی به رنگ سبز - خاکستری هستند که در زیر یک افق ۵۰ تا ۱۰۰ متری از آهک و دولومیت مرمری به نام مرمر



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی (مستطیل سیاه) در الف- پهنه سنندج-سیرجان [۱۳]، ب- نقشه راه‌های دسترسی و پ) نقشه زمین‌شناسی منطقه، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تخت سلیمان [۱۲].



شکل ۲ الف- تصویر صحرایی از واحد گارنت یووارویت‌دار (دید به سمت شمال شرقی) ب- موقعیت رخنمون‌های گارنت‌دار (شاخص) نسبت به روستای بابانظر (دید به سمت جنوب غربی)، پ- نوارها و یا عدسی‌هایی از کانی کدر، ت- گارنت شکل دار به قطر ۲ سانتی‌متر و گارنت‌های بی‌شکل.

روش انجام پژوهش

در دو مرحله بررسی صحرایی (۶ روز) و بررسی روابط و ویژگی‌های صحرایی واحدهای سنگی منطقه و نمونه‌برداری، تعداد ۱۰ مقطع نازک - صیقلی برای سنگ‌نگاری تهیه شد. این مقاطع پس از بررسی با میکروسکوپ نوری، با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در دانشکده فیزیک و علوم زمین دانشگاه فرارا (ایتالیا)، بررسی شدند. دو نمونه برای بررسی کمی ترکیب شیمیایی کانی‌ها براساس تجزیه با ریزکواالکترونی (EPMA) با دستگاه Cameca SX50 با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت و با قطر باریکه ۱-۵ میکرون دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه ساپینزا، رم، ایتالیا آنالیز شدند. این دو نمونه و ۴ نمونه از پیروکسنیت و سرپانتینیت‌های منطقه (به منظور مقایسه ترکیب سنگ کل)، برای بررسی ترکیب عناصر اصلی سنگ کل به روش طیف-سنجی فلئورسانس پرتو ایکس با دستگاه ARL advent-XP سنجی شدند. برای سنجش عناصر جزئی نیز از طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت القایی (ICP-MS) با دستگاه Thermo Series X-I در دانشگاه فرارا گرفته شد.

کالک سیلیکات‌های دارای گارنت یووارویت به صورت برون‌زدهایی در واحد آهک و دولومیت مرمری جان‌گوتاران و در فرادیواره گسل قینرجه- چهارطاق رخنمون دارند. این گسل مهمترین شکستگی موجود در منطقه و از نوع گسل‌های پی سنگی بوده و دارای جابجایی معکوس راستگرد است. این گسل افزون بر جابجایی معکوس، دارای جنبش راستالغز بوده که سبب ایجاد گسل‌های رورونده با راستای شرقی- غربی شده است. از جمله این گسل‌های ایجادشده، گسل لعل‌کان است [۱۲] که در مرز شمالی این واحد قرار دارد (شکل ۱ پ). این کالک سیلیکات‌ها به رنگ کرم- خاکستری هستند و گسترش محدودی (کمتر از ۱ کیلومتر مربع) دارند (شکل ۲ الف) به طوری که در هیچ یک از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ تکاب و ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان قابلیت نقشه‌برداری نداشته‌اند و حتی در گزارش نقشه‌ها نیز هیچ اشاره‌ای به این واحد نشده است. شاخص‌ترین ویژگی این سنگ‌ها در بررسی‌های صحرایی، وجود گارنت‌های بی‌شکل تا شکل‌دار به رنگ سبز و با قطری تا بیش از ۲ سانتی‌متر، پیریت‌های مکعبی پراکنده و نوارها و یا عدسی‌هایی از دیگر کانی‌های کدر است (شکل‌های ۲ پ و ت).

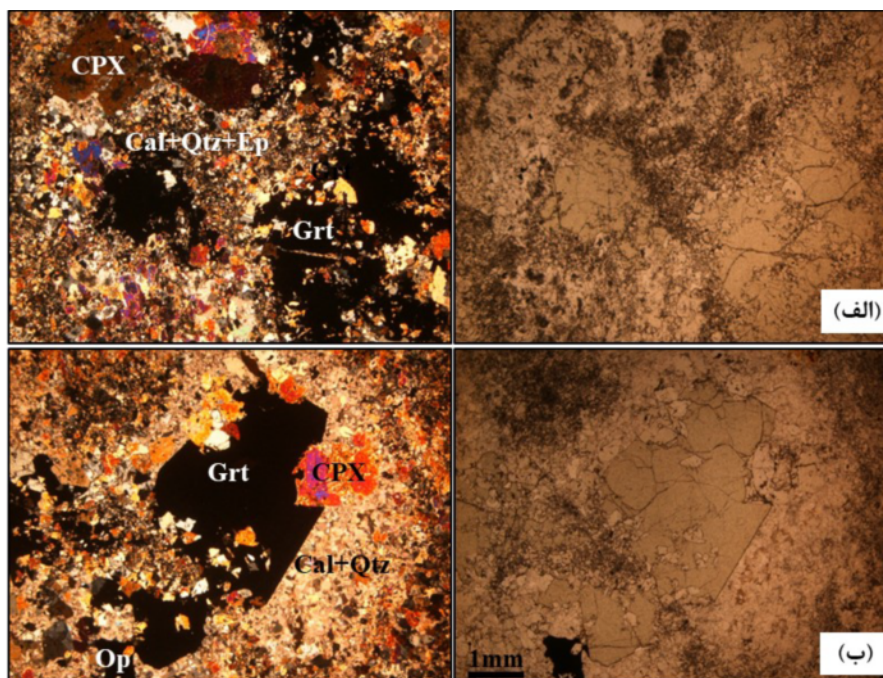
سنگ‌نگاری

در بررسی‌های میکروسکوپی کلسیت، گارنت و پیروکسن به عنوان کانی‌های اصلی و اپیدوت، کلریت، اسفن و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی قابل مشاهده هستند. بلورهای گارنت اغلب بی‌شکل (شکل ۳ الف) تا نیمه شکل‌دار بیشتر به رنگ سبز تیره (شکل ۳ ب) هستند، ولی گارنت‌های کاملاً شکل‌دار نیز به طور محدود دیده می‌شوند که بیشتر سبز روشن و شفاف هستند. در برخی از گارنت‌ها، شکستگی‌های پر شده با کوارتز و یا اپیدوت دیده می‌شود. افزون بر این، تبدیل‌شدگی گارنت به کلریت، به ویژه در حاشیه‌ها، در اثر دگرسانی بعدی نیز دیده می‌شود. کلسیت دارای بافت موزائیکی است و اغلب رخ لوزی نشان می‌دهد و به همراه کوارتز و یا فلدسپات زمینه سنگ را تشکیل می‌دهد. پیروکسن‌ها اغلب شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی از نوع کلینوپیروکسن هستند. اپیدوت به صورت پراکنده در زمینه سنگ و یا در رگه‌های قطع‌کننده سایر کانی‌ها دیده می‌شود. کانی‌های کدر بیشتر به صورت بی‌شکل تا کاملاً شکل‌دار و به فراوانی در این سنگ‌ها، هم در زمینه و هم به صورت میانبار درون کانی‌ها، دیده می‌شوند. فراوانی هر کانی در نمونه‌های مختلف، متفاوت

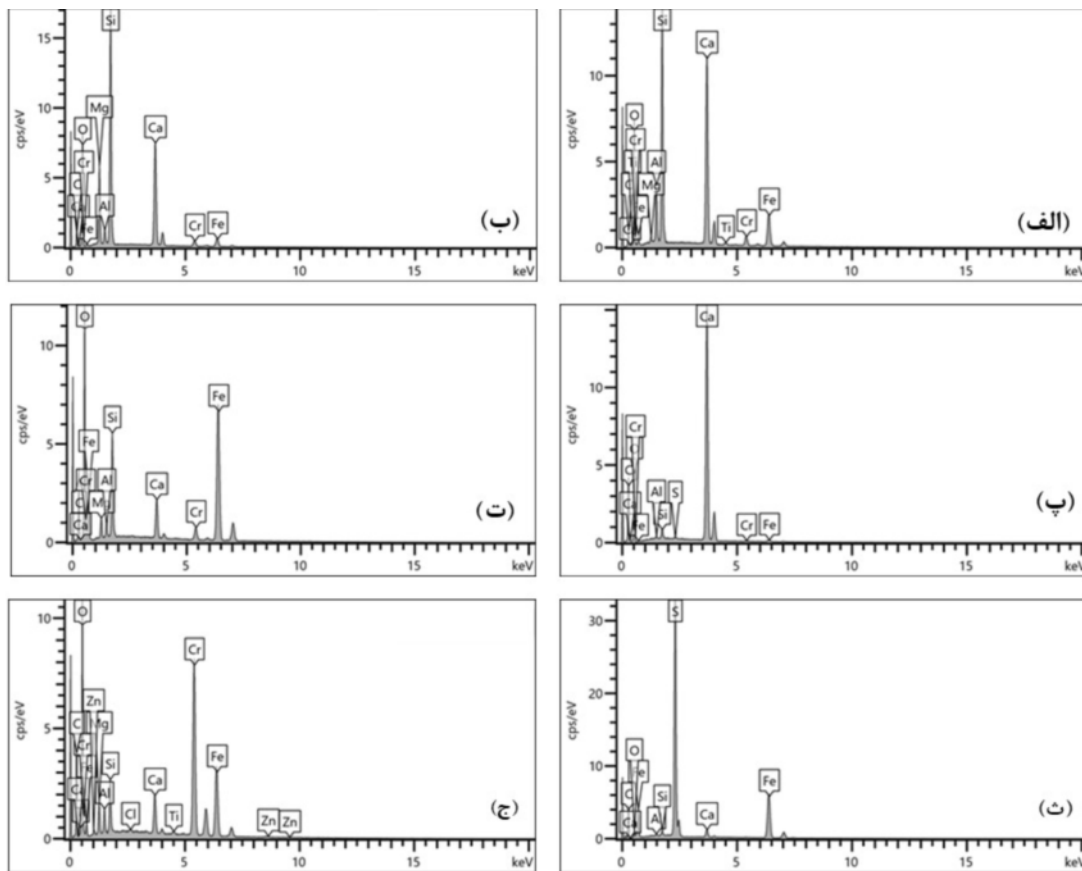
است، ولی همچنان گارنت، کلسیت و پیروکسن کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها هستند.

نتایج مطالعه با میکروسکوپ الکترونی روبشی

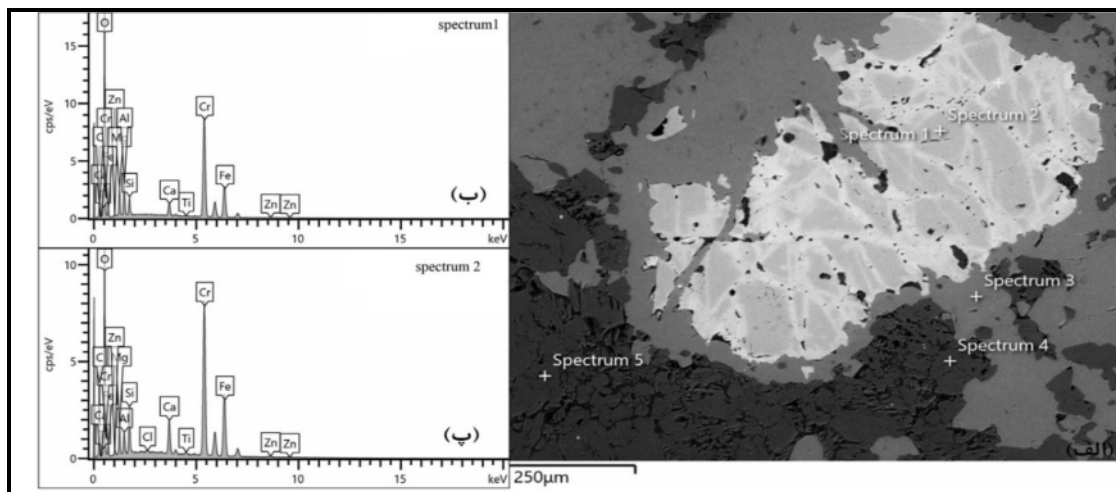
درصد وزنی عناصر اصلی به دست آمده از بررسی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که گارنت‌ها دارای ترکیب آهن- کلسیم‌دار با مقادیر متفاوتی از کروم هستند. کلینوپیروکسن‌ها ترکیب کلسیمی- منیزیمی دارند و از نوع دیوپسید هستند. کانی‌های کدر دارای دو فاز متفاوت اکسیدی و سولفیدی هستند. بررسی و مقایسه ترکیب کانی‌های مختلف نشان می‌دهد که بجز پیریت، همه کانی‌ها، حتی کلسیت دارای مقادیر متفاوتی از کروم هستند (شکل ۴) ولی بیشترین مقدار کروم در فاز اکسیدی کانی‌های کدر با بیش از ۴۰٪ وزنی است. این کانی‌ها همگن نیستند و مقدار کروم در بخش‌های مختلف آنها متفاوت است. این تفاوت در مقدار کروم در تصاویر الکترونی پس پراکند (BSE) خود را به صورت تفاوت در رنگ نشان می‌دهد، به طوری که بخش‌های تیره‌تر نسبت به بخش‌های روشن‌تر مقدار بیشتری کروم دارند (در شکل ۵، طیف ۱ مربوط به بخش‌های تیره تر و طیف ۲ مربوط به بخش‌های روشن‌تر است).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از الف- گارنت‌های بی‌شکل همراه با شکستگی پر شده با کوارتز (Qtz) و یا اپیدوت (Ep) و کلینوپیروکسن (Cpx) در زمینه‌ای از کلسیت (Cal)، کوارتز و اپیدوت، ب- گارنت نیمه‌شکل‌دار به همراه کلینوپیروکسن، کلسیت، کوارتز و کانی‌های کدر (Op) (تصاویر سمت راست در نور قطبیده متقاطع (XPL) و تصاویر سمت چپ در نور قطبیده صفحه‌ای (PPL) تهیه شدند). همه نشانه‌های اختصاری کانی‌ها در این نوشتار برگرفته از مرجع [۱۷] هستند.



شکل ۴ طیف‌های مربوط به الف- پیروکسن، ب- گارنت، پ- کلسیت، ت- اسفن، ث- کانی کدر سولفیدی و ج- کانی کدر اکسیدی



شکل ۵ الف- تصویر BSE از فاز اکسیدی کانی‌های کدر، ب- طیف مربوط به بخش‌های غنی‌تر از کروم و پ- طیف مربوط به بخش فقیرتر از کروم.

شیمی کانی‌ها

شیمی گارنت

فرمول ساختاری گارنت بر پایه ۱۲ اکسیژن محاسبه شده است. برای محاسبه Fe^{2+} و Fe^{3+} که در تفکیک سه عضو انتهایی آلماندن مقدار Fe^{2+} ، برای آندرادیت مقدار Fe^{3+} و برای گروسولار نسبت Fe^{3+} و Fe^{2+} دارای اهمیت ویژه‌ای است، از

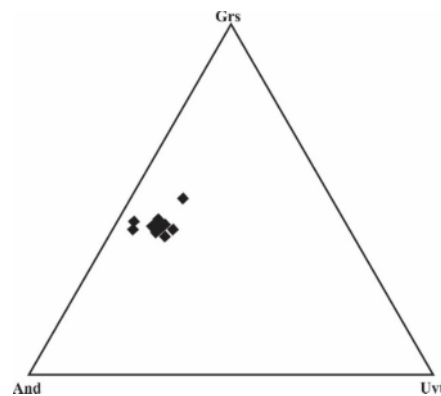
نتایج تجزیه شیمیایی گارنت‌ها، به همراه جایگاه نقاط تجزیه شده در گارنت‌های شکل‌دار، در جدول ۱ ارائه شده‌است.

دارند. مقدار آلماندن و اسپسارتیت صفر و یا نزدیک به صفر است. مقدار پیروپ نیز بین ۱/۳ تا ۳/۷ درصد متغیر است. بر اساس رده‌بندی مرجع [۲۰]، این گارنت‌ها بین دو عضو انتهایی گروسولار و آندرادیت قرار دارند و کمی تمایل به سمت راس یوواریت وجود دارد و بقیه مولفه‌ها فرعی هستند (شکل ۶).

شیوه عنصرسنجی مرجع [۱۸] و برای محاسبه اعضا انتهایی از روش مرجع [۱۹] استفاده شد. گارنت‌های مورد بررسی ترکیب گسترده‌ای از محلول جامد Ca, Fe^{3+}, Cr (اوگراندیت) و مقدار تقریباً مساوی از آندرادیت (۵۲-۳۶ درصد) و گروسولار (۳۹/۶-۴۹/۵ درصد) و مقادیر کمتری یوواریت (۴/۴۲-۱۳/۹۴ درصد)

جدول ۱ نتیجه تجزیه شیمیایی گارنت‌های یوواریت‌دار.

اکسید	BI3-1	BI3-2	BI3-3-1	BI3-3-2	BI3-4	BI3-5	BI4-1	BI4-2	BI4-3	BI4-4	BI4-5
	(بی شکل)	(بی شکل)	(مرکز)	(حاشیه)	(بی شکل)	(بی شکل)	(بی شکل)	(بی شکل)	(بی شکل)	(حاشیه)	(بی شکل)
SiO ₂	۳۶,۷۴	۳۷,۶۶	۳۶,۷	۳۶,۳۵	۳۷,۳۴	۳۷,۵۴	۳۷,۷۶	۳۷,۱	۳۶,۹۷	۳۴,۴۶	۳۷,۳۱
TiO ₂	۱,۸۵	۰,۸۹	۰,۷۱	۰,۷۷	۰,۸۴	۰,۹۳	۰,۸۱	۰,۷۲	۰,۶	۰,۶۹	۰,۶۸
Al ₂ O ₃	۸,۰۱	۹,۶۶	۷,۸۴	۷,۷۹	۷,۹۲	۸,۱۴	۸,۲۶	۷,۸۲	۷,۸۳	۸,۷۶	۸,۱۴
Cr ₂ O ₃	۲,۳۳	۳,۵۵	۱,۱۸	۱,۳۳	۳,۱۹	۳,۲۴	۲,۵۲	۳,۶۳	۳,۸۳	۲,۶۹	۳,۳
FeO	۱۲,۷۵	۱۲,۶۰	۱۵,۸۳	۱۵,۵۰	۱۳,۹۷	۱۳,۶۲	۱۴,۰۰	۱۳,۶۷	۱۲,۹۵	۱۲,۶۸	۱۳,۴۰
MnO	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۱۵	۰,۱۳	۰,۰۹	۰,۱۶	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۹
MgO	۰,۸	۰,۳۶	۰,۲۹	۰,۴۲	۰,۵	۰,۵۵	۰,۴۶	۰,۴۴	۰,۳۹	۰,۴	۰,۴۶
ZnO	۰,۰۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۲
CaO	۳۴,۳۵	۳۳,۷۸	۳۳,۹۱	۳۴,۶۷	۳۵,۵	۳۵,۱۲	۳۴,۶۷	۳۵,۳۲	۳۴,۸۲	۳۵,۹	۳۴,۵
Total	۹۸,۲۵	۹۹,۶۱	۹۸,۰۳	۹۸,۴۶	۱۰۰,۷۲	۱۰۰,۶۱	۹۹,۸۸	۱۰۰,۰۶	۹۸,۶۸	۹۸,۱۸	۹۹,۱۴
cations											
Si	۳	۳,۰۳	۳,۰۳	۲,۹۹	۳	۳,۰۱	۳,۰۴	۳	۳,۰۲	۲,۸۶	۳,۰۳
Al ^{IV}	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۱۴	۰
Al ^{VI}	۰,۸	۰,۹۴	۰,۷۹	۰,۷۸	۰,۷۸	۰,۸	۰,۸۱	۰,۷۷	۰,۷۸	۰,۷۵	۰,۸۱
Ti	۰,۱۱	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴
Cr	۰,۱۵	۰,۲۳	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۲	۰,۰۲۱	۰,۱۶	۰,۰۲۳	۰,۰۲۵	۰,۱۸	۰,۰۲۱
Fe ³⁺	۰,۸	۰,۶۴	۰,۹	۰,۹۲	۰,۸۳	۰,۷۹	۰,۸	۰,۸۱	۰,۷۷	۰,۸۸	۰,۷۷
Fe ²⁺	۰,۰۸	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۱۵	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۲	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۱۴
Mn	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Mg	۰,۱	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶
Ni	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Zn	۰,۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ca	۳,۰۱	۲,۹۱	۳	۳,۰۶	۳,۰۵	۳,۰۲	۲,۹۹	۳,۰۶	۳,۰۵	۳,۱۹	۳
Total	۸,۰۵	۸,۰۵	۸,۰۹	۸,۱۱	۸,۰۹	۸,۰۸	۸,۰۶	۸,۰۹	۸,۰۸	۸,۱۷	۸,۰۷
Mg [#]	۰,۵۶	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۲۶	۰,۳۵	۰,۳۵	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳	۰,۴۲	۰,۲۹
Cr [#]	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۰۹	۰,۱	۰,۰۲۱	۰,۰۲۱	۰,۱۶	۰,۰۲۳	۰,۰۲۴	۰,۱۷	۰,۰۲۱
Ca [#]	۰,۹۷	۰,۹۹	۰,۹۹	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۸
Almandine	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Andradite	۴۶,۳۲	۳۶,۰۵	۵۱,۶۷	۵۲,۳۵	۴۶,۴۴	۴۴,۸۷	۴۵,۷۶	۴۵,۳۱	۴۳,۵۸	۴۶,۲۱	۴۳,۸۲
Grossular	۴۱,۰۲	۴۹,۵۵	۴۲,۱۵	۴۰,۵۳	۳۹,۶۸	۴۰,۶۴	۴۲,۶۹	۳۹,۶۵	۴۰,۶۳	۴۲,۳۱	۴۱,۸۵
Pyrope	۳,۷۹	۱,۶۱	۱,۳۷	۱,۹۶	۲,۲۴	۲,۴۷	۲,۱۱	۱,۹۶	۱,۸	۱,۷۳	۲,۱۱
Spessartine	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۰۳۹	۰,۰۳۵	۰,۰۲۳	۰,۰۴	۰,۰۴۴	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۴۸	۰,۰۲۳
Uvarovite	۸,۷۵	۱۲,۶۶	۴,۴۲	۴,۹۱	۱۱,۴	۱۱,۶۲	۹,۲	۱۲,۹۹	۱۳,۹۴	۹,۲۶	۱۲



شکل ۶ موقعیت گارنت‌ها در نمودار And-Grs-Uvt [۲۰].

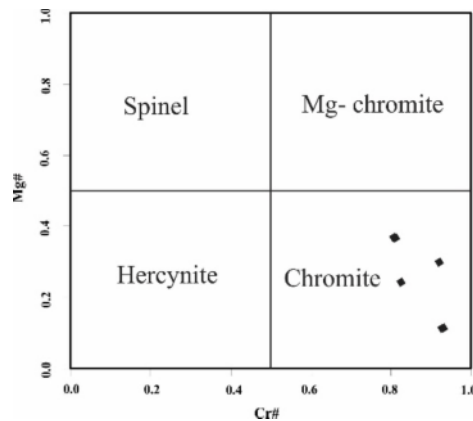
شیمی کانی‌های کدر

نتایج بدست آمده از بررسی با میکروسکوپ الکترونی نشانگر وجود کانی‌های کدر اکسیدی کروم‌دار در این سنگ‌هاست که می‌تواند به عنوان یک منبع برای تامین کروم در نظر گرفته شود. برای تعیین ترکیب دقیق این کانی‌ها، ۶ نمونه از

کانی‌های کدر که بر اساس بررسی‌های SEM در ترکیب خود دارای کروم بودند، با ریزکاوالکترونی تجزیه شدند (جدول ۲). براساس تقسیم‌بندی مرجع [۲۱]، این کانی‌های کدر از نوع کرومیت (کروم اسپینل غنی از کروم و فقیر از آلومینیم و آهن) هستند (شکل ۷).

جدول ۲ ترکیب شیمیایی کانی‌های کدر کروم‌دار (کرومیت).

oxide	۱	۲	۳	۴	۵	۶
MgO	۷,۷۳	۵,۴۸	۳,۲۱	۶,۱۳	۶,۶۵	۳,۶۷
CaO	۰,۰۸	۰,۲۱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۱۶
MnO	۱,۱۰	۰,۹۳	۰,۲۴	۲,۱۶	۰,۷۵	۰,۴۸
FeO	۲۲,۹۲	۲۹,۹۸	۴۴,۹۷	۳۸,۰۴	۲۷,۹۸	۴۷,۶۵
Al ₂ O ₃	۸,۴۹	۶,۱۱	۲,۰۳	۲,۷۴	۳,۰۴	۷,۴۳
Cr ₂ O ₃	۵۱,۲۰	۴۳,۳۵	۴۱,۳۷	۴۲,۸۸	۵۳,۶۵	۳۱,۴۹
SiO ₂	۰,۱۳	۰,۵۲	۰,۱۴	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۹
TiO ₂	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۲۱	۰,۱۲	۰,۲۳	۰,۱۵
P ₂ O ₅	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
ZnO	۱,۷۷	۱,۳۷	۱,۲۱	۱,۶۲	۱,۳۴	۰,۹۹
Total	۹۳,۵۲	۸۸,۰۴	۹۳,۴۰	۹۳,۷۹	۹۳,۷۲	۹۲,۱۱
cations						
Mg	۰,۵۳	۰,۴۲	۰,۲۵	۰,۴۶	۰,۴۸	۰,۱۲
Ca	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Mn	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۱
Fe	۰,۸۹	۱,۲۸	۱,۹۶	۱,۶۱	۱,۱۳	۰,۹۴
Al	۰,۴۶	۰,۳۷	۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۱۷	۰,۰۶
Cr	۱,۸۸	۱,۷۶	۱,۷۱	۱,۷۲	۲,۰۵	۰,۸۲
Si	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
P	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Zn	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱
مجموع	۳,۸۳	۳,۹۱	۴,۰۷	۴,۰۶	۳,۸۸	۱,۹۶
Cr#	۰,۸۰	۰,۸۳	۰,۹۳	۰,۹۱	۰,۹۲	۰,۹۳
Mg#	۰,۳۸	۰,۲۵	۰,۱۱	۰,۲۲	۰,۳۰	۰,۱۱



شکل ۷ موقعیت کرومیت‌های منطقه در نمودار $\text{Cr}^{\#}\text{-Mg}^{\#}$ [۲۱].

سنگ میزبان

بر اساس بررسی‌های پیشین [۶-۸] و نقشه زمین‌شناسی منطقه [۱۲]، گارنت‌های با ناظر در اسکارن‌هایی رخنمون دارند که در اثر نفوذ توده کوارتز پورفیر تشکیل شده‌اند. از طرفی، رخنمون غالب در منطقه، مرمها و دولومیت‌های جان‌گوتاران است، همچنین بر پایه شواهد صحرایی و بررسی‌های زمین‌شیمیایی، رخنمون‌هایی از کرومیت در منطقه وجود دارد. افزون بر این، وجود رخنمون‌هایی از سنگ‌های فرامافیک در مناطق پیرامون، لزوم بررسی بیشتر برای اظهار نظر در مورد سنگ میزبان را نشان می‌دهد. علی‌پور و همکاران [۸] سنگ میزبان را کالک سیلیکات‌ها با ناخالصی‌های رسی عنوان کرده‌اند و تشکیل کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن را ناشی از ناخالصی‌های رسی دانسته‌اند. این درحالی است که به توانایی بخش‌های پلیتی در تامین کردن و یا نکردن کروم هیچ اشاره‌ای نشده‌است. به همین دلیل، در این پژوهش، از معیارهای کانی‌شناسی برای نامگذاری سنگ میزبان استفاده شده و واژه کالک سیلیکات‌ها [۲۲] به کار برده شده‌است. نتایج تجزیه عناصر اصلی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای مقدار ۳۸-۴۴ درصد SiO_2 ، ۲۳-۳۰ درصد CaO ، ۹-۱۰ درصد MgO ، کمتر از ۳ درصد Al_2O_3 و ۳-۸ درصد Fe_2O_3 هستند (جدول ۳).

بحث

بر اساس بررسی‌های صحرایی، واحدهای کالک سیلیکات‌ها در بردارنده گارنت با رخنمون محدود در بین مرمهای جان‌گوتاران برونزد دارند. از ویژگی‌های بارز این سنگ‌ها وجود کانی‌های کدر به شکل‌های مختلف و با فراوانی متفاوت در بخش‌های مختلف آن‌هاست. در بررسی‌های پیشین به

کانی‌هایی چون هماتیت، گوتیت، پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت و لیمونیت اشاره شده‌است [۶-۸]. نتایج بررسی با میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که به جز کانی‌های کدر سولفیدی، نه تنها گارنت، بلکه سایر کانی‌ها نیز تمایل به جذب کروم دارند. بیشترین مقدار کروم در گارنت و کانی‌های کدر اکسیدی دیده می‌شود. از بررسی گارنت و کانی‌های کدر اکسیدی با ریزکاو الکترونی مشخص شد که کانی‌های کدر اکسیدی، کروم اسپینل غنی از کروم و فقیر از Fe و Al هستند و گارنت‌ها نیز که بر پایه بررسی‌های پیشین [۶-۸] دارای کروم و در نتیجه مولفه یووارویت در ترکیب خود هستند از نوع گروسولار-آندرادیت با بیش از ۱۳ درصد یووارویت در اعضا انتهایی هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی گارنت وابسته به ترکیب سنگ کل میزبان و تاریخچه دما و فشار است. ترکیب عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر در گارنت می‌تواند برای بررسی تکامل گوشته و سنگ‌های پوسته‌ای به کار رود [۲۳-۲۶]. وجود کروم در گارنت‌های مورد بررسی که علت رنگ سبز این گارنت‌ها عنوان شده‌است [۶-۸] با سنگ خاستگاه مافیک و فرامافیک همخوانی دارد [۲۷-۳۵]. مقایسه ترکیب سنگ کل با سنگ‌های فرامافیک منطقه نشان می‌دهد که مقدار Cr در این سنگ‌ها بالاتر از سایر سنگ‌هاست، ولی مقدار این اکسید در دو نمونه کالک سیلیکات‌ها نیز با هم متفاوت است. مقدار CaO بسیار بالاتر از سایر سنگ‌ها و مقدار MgO بسیار کمتر است. مقدار Al_2O_3 این سنگ‌ها بسیار مشابه با سرپانتینیت‌هاست ولی از مقدار این اکسید در پیروکسنیت‌ها بسیار کمتر است. مقدار سایر اکسیدها تقریباً مشابه هستند (جدول ۳). به عبارتی، تفاوت اصلی این کالک سیلیکات‌ها با سرپانتینیت‌ها و پیروکسنیت در بالا بودن مقدار Cr و CaO و کم بودن مقدار MgO است.

جدول ۳ ترکیب شیمیایی سنگ کل در مقایسه با سرپانتینیت و پیروکسنیت‌ها در منطقه مورد بررسی (*: آهن کل).

مولفه	سیلیکات آهکی Grt-	سیلیکات آهکی Grt-	سرپانتینیت	سرپانتینیت	سرپانتینیت	سرپانتینیت
SiO ₂	۴۴،۴۳۰	۳۸،۶۹۰	۴۳،۴۲۰	۳۹،۴۸۰	۴۰،۷۸۰	۴۰،۸۰۰
TiO ₂	۰،۲۳۰	۰،۱۱۰	۰،۱۲۰	۰،۰۲۰	۰،۰۸۰	۰،۱۵۰
Al ₂ O ₃	۲،۹۳۰	۱،۹۸۰	۹،۴۸۰	۱،۱۷۰	۱،۸۹۰	۲،۰۰۰
Fe ₂ O ₃ *	۸،۴۰۰	۳،۹۳۰	۵،۷۱۰	۷،۲۶۰	۷،۰۸۰	۶،۹۳۰
MnO	۰،۲۴۰	۰،۰۸۰	۰،۱۴۰	۰،۰۹۰	۰،۱۱۰	۰،۰۷۰
MgO	۹،۹۷۰	۹،۲۹۰	۲۵،۷۰۰	۳۶،۴۶۰	۳۶،۳۷۰	۳۶،۹۸۰
CaO	۲۳،۸۹۰	۳۰،۰۴۰	۱۳،۸۰۰	۰،۲۹۰	۲،۱۱۰	۲،۱۱۰
Na ₂ O	۰،۰۴۰	۰،۰۳۰	۰،۰۵۰	-	۰،۰۱۰	-
K ₂ O	-	-	-	-	۰،۰۰۰	-
P ₂ O ₅	۰،۰۱۰	۰،۰۴۰	-	-	۰،۰۷۰	-
Cr ₂ O ₃	۳،۱۴	۰،۳۰۹	۰،۲۲	۰،۳۱	۰،۳۵	۰،۳۰۶
Co	۰،۰۰۲	۰،۰۰۱	۰،۰۰۵	۰،۰۱۰	۰،۰۰۸	۰،۰۰۷
Ni	۰،۰۰۸	۰،۰۱۸	۰،۰۵۱	۰،۲۱۵	۰،۱۸۲	۰،۱۸۲

در مقابل، شواهدی چون وجود کروم در گارنت [۲۷-۳۵]، حضور کانی‌هایی مانند کروم اسپینل که اغلب از نخستین کانی‌هایی است که در ماگماهای مافیک و فرامافیک متبلور می‌شود و یک شاخص سنگ‌شناسی و زمین‌دینامیکی مفید در این سنگ‌هاست [۳۹-۵۴] و در رژیم‌های دگرگونی، اغلب به عنوان منبع کروم برای کانی‌های دیگر چون یوواریت غنی از کروم [۴۲] است. کانی‌های کدر سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت [۴۸، ۵۴-۵۶] و شباهت ترکیب سنگ کل با سنگ‌های فرامافیک، نشان از خاستگاه مافیک و یا فرامافیک دارد.

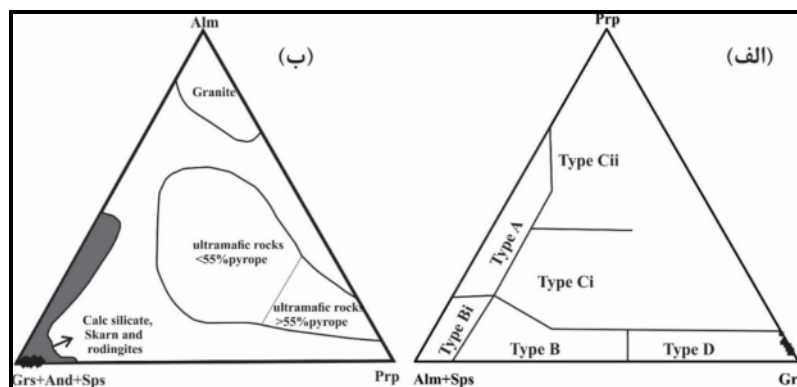
ترکیب این سنگ‌های فرامافیک اولیه در اثر عبور سیال‌های وابسته به ماگما [۸] و غنی از CO₂ تغییر کرده و موجب کربناتی‌شدن این سنگ‌ها و خروج ترجیحی Mg شده است در حالیکه Fe برای تشکیل سولفیدها (پیریت و کالکوپیریت) و اکسیدها (مگنتیت) ثابت مانده‌است [۵۵، ۵۷].

علی‌پور و همکاران [۸] نیز غنی‌شدگی از Fe و فقیرشدن از Mg را در سیلیکات‌های آهکی منطقه‌ی مورد بررسی به ورود محلول‌های گرمایی برآمده از توده از راه شکستگی‌ها به سنگ میزبان نسبت داده‌اند. این نوع دگرسانی اغلب در مناطقی با زمین‌ساخت شکنا و انتشار گسل‌ها در سنگ میزبان روی می‌دهد. سامانه گسله به عنوان کانال‌هایی برای عبور این سیال‌ها عمل می‌کند و می‌تواند فضای مناسبی برای ورود سیال‌ها گرمایی به درون سنگ‌های فرامافیک فراهم کند [۴۸، ۵۸-۶۰].

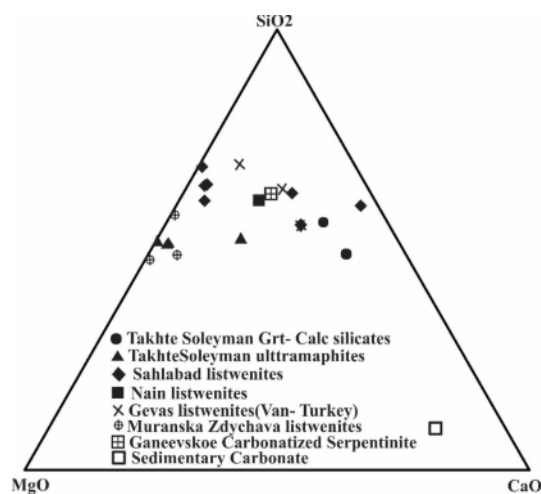
در برخی از پژوهش‌ها [۳۶، ۳۷]، از ترکیب گارنت برای تعیین سنگ خاستگاه استفاده شده‌است. ترکیب نمونه‌های گارنت نشان می‌دهد که گارنت‌ها در گستره سنگ‌های دگرنهاده و گرانولیت‌های سیلیکات آهکی بسیار فشار بالا (شکل ۸ الف) و در نمودار مرجع [۳۶]، در گستره کالک سیلیکات‌ها، اسکارن‌ها و رودنگیت‌ها قرار دارند (شکل ۸ ب). افزون بر این، روشی برای تشخیص گارنت‌های با خاستگاه گوشته و گارنت‌های با خاستگاه پوسته‌ای بر پایه نسبت‌های Ca/(Ca+Mg) و Mg/(Mg+Fe) ارائه شده است [۲۴]. بر این اساس، اگر Ca[#] بین ۰/۱ تا ۰/۹ و Mg[#] نیز بین ۰/۵ تا ۱ باشد، گارنت‌ها دارای خاستگاه گوشته‌ای هستند. مقایسه این مقادیر با گارنت‌های منطقه نشان می‌دهد که هیچ یک از گارنت‌ها دارای Ca[#] و یا Mg[#] در گستره گارنت‌های گوشته‌ای نیستند. در تقسیم‌بندی‌های دیگر از جمله تقسیم‌بندی مرجع [۳۸]، از ترکیب گارنت‌ها برای بررسی خاستگاه آن‌ها استفاده شده است که بر این اساس، گارنت‌ها در خارج از این نمودارها قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد که بسیاری از منابع موجود برای گارنت‌های با مقدار کروم بالا، مربوط به گارنت‌های Mg بالا و ساب کلسیک هستند. دو تفاوت عمده (بالا بودن مقدار Ca و پایین بودن مقدار Mg) در گارنت‌های مورد بررسی با گارنت‌های گوشته‌ای و همچنین بین ترکیب سنگ کل با سنگ‌های فرامافیک که اساس این تقسیم‌بندی‌ها هستند، موجب ناکارآمدی بسیاری از نمودارها و نظریه‌ها برای تعیین خاستگاه این گارنت‌ها می‌شود.

(بالا بودن مقدار Ca و پایین بودن مقدار Mg) می تواند مربوط به این فرایند دگرسانی و لیستونیتی شدن در سنگ های فرامافیک میزبان باشد. به بیان دیگر، سنگ های فرامافیکی که اکنون بقایایی از آنها در بین سنگ میزبان وجود دارد، در اثر سیال ها، تهی شدگی از Mg و غنی شدگی از Ca تشکیل شده اند. از دیگر شواهد این دگرسانی، ناهمگن بودن کرومیت ها و تفاوت مقدار کروم در بخش های مختلف آنهاست که نشان می دهد که بخش های تیره تر بقایای کرومیت دگرسان نشده هستند و بخش های روشن تر بیشتر دستخوش رخدادهای بعدی شده و منبع تامین کروم برای گارنت و سایر کانی ها در منطقه گردیده اند [۵۵].

در بسیاری از مناطق از این نوع دگرسانی به عنوان لیستونیتی شدن و یا کرناتیتی شدن فرامافیت ها یاد شده است [۴۸، ۵۶-۶۹]. لیستونیت ها در اثر دگرسانی گرمابی یا دگرزهادی دما متوسط تا پایین سنگ های مافیک و فرامافیک تشکیل می شوند و اغلب در محل یا نزدیک گسل های اصلی قرار دارند [۵۸]. مقایسه ترکیب کالک سیلیکات های مورد بررسی با لیستونیت ها و سرپانتینیت های کرناتیتی شده در برخی از نقاط ایران و جهان (شکل ۹) نشان می دهد که ترکیب این سنگ ها قابل مقایسه با لیستونیت های غنی از کوارتز و کرنات است همچنین، تفاوت ترکیب گارنت های مورد بررسی با گارنت های گوشته ای و همچنین ترکیب سنگ کل با سنگ های فرامافیک



شکل ۸ موقعیت گارنت ها در الف) نمودار سه تایی نوع A: سنگ های رسوبی یا شارنوکیتهای دگرگون شده رخساره گرانولیت درجه بالا و سنگ های آذرین حدواسط فلسیک، نوع B: سنگ های رسوبی دگرگون شده رخساره آمفیبولیت، نوع Bi: سنگ های آذرین فلسیک حدواسط، نوع Ci: سنگ های مافیک درجه بالا، نوع Cii: سنگ های فرامافیک با Mg بالا (پیروکسنیت ها و پریدوتیت ها)، نوع D: سنگ های دگرزهاده، سنگ های مافیک دگرگونه درجه بسیار پایین و گرانولیت های سیلیکات آهکی دگرگون شده دمای بسیار بالا [۳۶] و ب) نمودار مرجع [۳۷]



شکل ۹ موقعیت ترکیب سنگ کل در مقایسه با لیستونیت های (به ترتیب از بالا به پایین راهنما) مراجع [۵۶]، [۶۷]، [۴۸]، [۵۹]، سرپانتینیت کرناتیتی شده [۶۸] و کرنات رسوبی [۶۹].

برداشت

بر اساس بررسی‌های انجام شده، گارنت‌های منطقه بابانظر از نوع گروسولار- آندرادیت هستند. ویژگی بارز این گارنت‌ها بالا بودن مقدار کروم و در نتیجه وجود یوواریت در ترکیب اعضای انتهایی است که تا بیش از ۱۳ درصد می‌رسد. گارنت‌های سبز کروم‌دار می‌توانند در سنگ‌های فرامافیک، کیمبرلیت‌ها، سرپانتین- گرافیت شیست‌ها، سنگ‌های سیلیکاتی‌آهکی و کرومیت‌ها و به صورت گارنت‌های خودشکل یوواریت همزیست با دولومیت در رگه‌های نازک کرومیت‌های برشی شده و یا در ارتباط با لایه‌هایی از سنگ‌های فرامافیک و یا کرومیت در سیلیکات‌های آهکی تشکیل شوند.

چنان که بیان شد، محیط‌های مختلفی برای تشکیل گارنت‌های یوواریت در نظر گرفته شده‌است. افزون بر این، گارنت‌های نوع گروسولار- آندرادیت می‌توانند در سنگ‌هایی چون سنگ آهک، اسکارن، کلریت شیست‌ها، سرپانتینیت که دستخوش دگرگونی مجاورتی یا ناحیه‌ای شده‌اند، دیده شوند. نکته بارز در موارد یاد شده این است که تشکیل گارنت‌های یوواریت‌دار در ارتباط با واحدهای فرامافیک عنوان شده است. به نظر می‌رسد که با توجه به شواهد نام برده، تشکیل این نوع گارنت در منطقه مورد بررسی نیز با سنگ میزبان فرامافیک همخوانی بیشتری دارد و مانند سایر نقاط یاد شده، عناصر سازنده گارنت به ویژه کروم از سنگ میزبان فرامافیک تامین شده است. سنگ میزبان فرامافیک که اکنون بقایایی از آن به صورت کروم اسپینل و کانی‌های کدر سولفیدی آهن وجود دارد، در اثر سیال‌های گرمایی غنی از CO₂ (حضور فاز دی اکسیدکربن مربوط به عبور سیال از درون سنگ کربناتی است [۱۸])، غنی از کربنات و تهی از Mg و به اصطلاح لیستونیتی شده است. در این میان، سامانه گسله به عنوان کانال‌هایی برای عبور این سیال‌ها عمل کرده و فضای مناسبی را برای ورود سیال‌های گرمایی به درون سنگ‌های فرامافیک فراهم می‌کند. گفتنی است که تفاوت‌هایی چون مقدار گسترش کانی‌های کدر، تفاوت مقدار Cr حتی در بین نمونه‌های سیلیکات آهکی و تفاوت اندازه و رنگ گارنت‌ها می‌تواند مربوط به عوامل سنگ-شناسی موضعی، وجود ناپیوستگی‌هایی مانند سطوح برشی و سطوح گسلی، مکانی که محلول‌ها می‌توانند جریان یابند و مدت زمان برهم‌کنش سیال و سنگ دیواره و مقدار متفاوت

مشارکت سنگ‌های فرامافیک دگرسان‌شده و مرم‌های جان‌گوتاران در فرایندهای دگرگونی باشد.

قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر رضا کهنسال به جهت راهنمایی‌های ارزنده تشکر نمایند.

مراجع

- [1] Balciunaite I., Kleismantas A., Norkus E., "chemical composition of rare garnets, their colours and gemological characteristics", *Chemija*, 26, 1 (2015) 18-24.
- [2] Kanungo D.R., Malpe D.B., Radhakrishnan C.J., "Chrome-Rich Green Garnets from Mesoproterozoic Sausar Fold Belt, Tirodi Area, Central India", *Journal of geological society of India*, 69 (2007) 65-69.
- [3] Von Knorring O., Condliffe E., Tong Y. L., "some mineralogical and geochemical aspects of chromium bearing skarn minerals from northern Karelia, Finland", *Bull. Geol. Soc. Finland* 58, Part 1 (1986) 277-292.
- [4] Parthasarathy G., Balam V., Srinivasan R., "Characterization of green garnets from an Archean calc-silicate rock, Bandihalli, Karnataka, India: evidence for a continuous solid solution between uvarovite and grandite", *Journal of Asian Earth Sciences*, 17 (1999) 345-352.
- [5] Saki S., Kiani M., "review of gemology and genesis of garnet in Iran and world, 3th gemology, crystallography and mineralogy national symposium of Iran", *Shahid beheshti university*, (2016) 15-22.
- [6] Shirmohammadi p., "mineralogy and geochemistry of Baba- Nazar garnet (Takab, west Azarbaijan province), Msc. Thesis", *Urmia University, Urmia, Iran*(Unpublished) (2014) 103 pp.
- [7] Alipour S., Shirmohammadi p., RahimSouri Y., "Geochemistry of REEs and reconstruction of structural formula of Baba-Nazar garnet index (Takab, W. Azarbayedjan), *Petrology*", 6th Year, 23 (2015) 83-96.
- [8] Alipour S., Shirmohammadi p., RahimSouri Y., Bagheri H., "Geology, petrography and floid inclusion of Baba-Nazar garnet index (Takab, W. Azarbayedjan)", *earth science Quarterly Journal*, 25th year, 98 (2015) 349-362.
- [9] Barghi B., "geology and geochemistry of Tajghani and Kamartelar chromite in SE Khorasan (Birjand- Gazik)", *Msc. Thesis, Tabriz*

- and Associated companies throughout world, 738pp (2014).
- [23] Harangi S., Downes H., Kosa L., Szabo C., Thirlwall M.F., Mason P.R.D., Matthey D., "Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of the Northern Pannonian Basin, (Eastern-Central Europe), geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications", *Journal of Petrology*, 42 (2001) 1813–1843.
- [24] Schulze D. J., "A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite, a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds", *Lithos*, 71(2003)195–213.
- [25] Cookenboo H.O., Grütter H.S., "Mantle-derived indicator mineral compositions as applied to diamond exploration, *Geochemistry*", *Exploration, Environment, Analysis*, 10 (2010) 81–95.
- [26] Heimann A., Spry P.G., Teale G.S., Conor C.H.H., Leyh W.R., "Geochemistry of garnet-rich rocks in the southern Curnamona Province, Australia and their genetic relationship to Broken Hill-Type Pb–Zn–Ag mineralization", *Economic Geology*, 104 (2011) 687–712.
- [27] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "Rock-forming Minerals, 1A, Orthosilicates", 2nd Edn. The Geological Society, London, (1997) 642-648.
- [28] Sobolev N.V., Lavrent'ev Yu.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V., "Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses", *Contributions in Mineralogy and Petrology*, 40 (1973) 39-52.
- [29] Clarke D. B., Carswell D. A., "Green garnets from the Newlands kimberlite, Cape Province, South Africa", *Earth and Planetary Science Letters*, 34, 1 (1977) 30-38.
- [30] Kesson S.E., Ringwood A.E., "Slab-mantle interactions", The formation of diamonds: *Chemical Geology*, 78 (1989) 97–118.
- [31] Frankel J.J., "Uvarovite garnet and South African jade (Hydrogrossular) from the Bushveld Complex, Transvaal", *Amer. Miner.*, 44 (1959) 565-591.
- [32] Nixon P.H., Hornung G., "A new chromium garnet end member, Knorringite from kimberlites", *American Mineralogist*, 53 (1968) 1833-1840
- [33] Dunn P.J., "On the composition of some Canadian Green garnets", *Canadian Miner*, 16 (1978) 205-206.
- [34] Klemme S., Van miltenburg J. C., Javorsky P., Wastin F., "Thermodynamic properties of uvarovite garnet (Ca₃Cr₂Si₃O₁₂)", *American Mineralogist*, 90, 663-666.
- University, Tabriz, Iran (Unpublished), 81pp (2006).
- [10] Barghi B., Zarrinkob M. H., "mineralogy of green color garnet on the Tajghani chromite index in East of Birjand, Southern Korasan, Iran", 15th crystallography and mineralogy of Iran, Mashad university, (2007) 445-448.
- [11] Montaseri M., "mineralogy, geochemistry and petrogenesis of green garnet in Esfandaghe ophiolites (SE Kerman)", Msc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran (Unpublished), 210pp (2011).
- [12] BabaKhani A., Ghalamghash J., "Geological Quadrangle Map", Geological Survey of Iran (1992).
- [13] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran, a review", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52 (1968) 1229-1258.
- [14] Berberian M., King G.C.P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18 (1981) 210–265.
- [15] Alavi Naini M., Amidi M., Tavousian Sh., Hajian J., Bolourchi M., Aghanabati A., Pelissier G., Takab quaderangle map (1:250000), Geological Survey of Iran (1976).
- [16] Rashidnejad Omran N., Momenzade M., "two ophiolitic suites index in Takab complex", 5th Earth science symposium, geological survey of Iran (1987).
- [17] Whitney D. L., Evans B. W., "abbreviations for names of rock forming minerals", *American mineralogist*, 95 (2010) 185-187.
- [18] Droop G. T.R., "Alpine metamorphism of pelitic schists in the south-east Tauern Window, Austria", *Schweizerische Mineralogische und Petrographische*, 61 (1978) 237- 273.
- [19] Locock A, J., "an Excel spread sheet to recast analyses of garnet in to end member components and a synopsis of crystal chemistry of natural silicate garnets", *Computer and geosciences*, 34 (2008) 1769- 1780.
- [20] Pan Y., Fleet M.E., "Cr-rich calc-silicates from the Hemlo area Ontario", *Canadian Mineralogist*, 27 (1989) 565-577.
- [21] Smirnov V. I., Ginzburg A. I., Grigoriev V. M., Yakoviev G.F., "studies of mineral deposits", Moscow, Miv (1983) 288pp.
- [22] Winter J.D., "Principles of igneous and metamorphic petrology, second edition, Edinburg gate", Harlow, Harlow, Essex CM20 2JE, England

- Nuasahi and Sukinda massifs in the Singhbhum craton*", India, Precambrian Res. 148 (2006) 45–66.
- [46] Rollinson H., "The geochemistry of mantle chromitites from the northern part of the Oman ophiolite: inferred parental melt compositions", Contrib. Mineral. Petrol. 156 (2008) 273–288.
- [47] Mukherjee R., Mondal S.K., Rosing M.T., Frei R., "Compositional variations in the Mesoproterozoic chromites of the Nuggihalli schist belt, Western Dharwar craton (India)", potential parental melts and implications for tectonic setting, Contrib Mineral Petrol, 160 (2010) 865–885.
- [48] Colakoglu A. R., "Geology and geochemical characteristics of Gevaş listwaenites (Van-Turkey)", Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, Yerbilimleri, 30 (1) (2009) 59–81.
- [49] Kashkai M.A., Allakhverdiev S.H.I., "Listvenites, their origin and classification", Institute Geologim Akad. I. M. Gubkina; Izdat Akad Nauk Azerbaidzhanskoi SSR, Baku, 142 p [in Russian] (1965).
- [50] Capedri S., Rossi A., "Conditions governing the formation of ophi-calcites and listwaenites", Bulletin of Geological Society of Greece, X (1), (1973) 278-297.
- [51] Buisson G., Leblanc M., "Gold-bearing listwaenites (carbonatized ultramafic rocks) from ophiolite complexes, In: J.M. Gallagher, R.A. Ixer, C.R. Neary (eds.) Metallogeny of Basic and Ultrabasic Rocks", Institution of Mining and Metallurgy, London (1986) 121-132.
- [52] Tsikouras B., Karapi S., Grammatikopoulos A.T., Hatzipanagiotou K., "Listwaenite evolution in the ophiolite melange of Iti Mountain", European Journal Mineralogy, 18 (2006) 243-255.
- [53] Lutkov V. S., Mogarovskii V. V., V. Ya. Lutkova, "Petrogeochemistry and Genesis of Listwaenite Xenoliths in the Alkali Basalts of the Southern Tien Shan, Geochemistry International, 45, 8 (2007) 733–743.
- [54] Emam A., Zoheir B., "Au and Cr mobilization through metasomatism, Microchemical evidence from ore-bearing listvenite, South Eastern Desert of Egypt", Journal of Geochemical Exploration, GEXPLO-05102 (2012) 12pp.
- [55] Abdel-Aal M., Abdel-Karim Shaimaa A., El Shafei, "Mineralogy and chemical aspects of some ophiolitic metaultramafics, central Eastern Desert, Egypt: Evidences from chromites", sulphides and gangues, open access Geological Journal; 53 (2017) 580–599.
- [35] Chepurov A., Turkin A., Dereppe J.M., "interaction of serpentine and chromite as a possible formation mechanism of subcalcic chromium garnet in the upper mantle, an experimental study", Eur.J. Mineral, 28 (2016) 329-336
- [36] Mange M.A., Morton A.C., "Geochemistry of heavy minerals, In: Mange, M.A., Wright, D.T. (Eds.), Heavy Minerals in Use, Developments in Sedimentology", 58, Elsevier, Amsterdam, (2007) 345–391.
- [37] Suggate S.M., Hall R., "Using detrital garnet compositions to determine provenance, a new compositional database and procedure, In: Scott, R.A., Smyth, H.R., Morton, A.C., Richardson, N. (Eds.), Sediment Provenance Studies in Hydrocarbon Exploration and Production", Geological Society of London, Special Publication, (2013) 386
- [38] Grütter H.S., Gurney J.J., Menzies A.H., Winter F., "An updated classification scheme for mantle-derived garnets, for use by diamond explorers", Lithos 77(2004) 841–857.
- [39] Irvine N.T., "Chromian spinel as a petrogenetic indicator Part 2, Petrologic applications", Canadian Journal of Earth Science 4 (1967) 71-103.
- [40] Arai S., "A review of my mantle petrology, message to young petrologists", Journal of Mineralogical and Petrological Sciences 39(2010) 1-11 (in Japanese with English abstract).
- [41] Arai S., Hirai H., Uto K., "Mantle peridotite xenoliths from the Southwest Japan arc and a model for the sub-arc upper mantle structure and composition of the Western Pacific rim", Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. 95 (2000) 9-23.
- [42] Taguchi T., Satish-Kumar M., Hokada T., Jayananda M., "petrogenesis of Cr – rich calcisilicate rocks from the Bandihalli supracrustal belt, Archean Dharwar craton", India, Canadian Mineralogist, 50 (2012) 705-718.
- [43] Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S., "Factors controlling chemistry of magmatic spinel, an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks", J. Petrol. 42 (2001) 655–671
- [44] Bidyananda M., Mitra S., "Chromitites of komatiitic affinity from Archean Nuggihalli greenstone belt of south India", Mineral Petrol, 84 (2005) 169–187.
- [45] Mondal S.K., Ripley E.M., Li C., Frei R., "The genesis of Archean chromitites from the

- Gneiss*", Labrador, The Canadian Mineralogist 26 (1988) 335-342.
- [63] Challis A., Grapes R., Palmer K., "Chromian muscovite, uvarovite, and zincian chromite: products of regional metasomatism in Northwest Nelson", New Zealand. The Canadian Mineralogist, 33(1995) 1263-1284.
- [64] Kerr P.F., "Optical mineralogy", McGra-Hill book company, 492P (1977).
- [65] Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F., "Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite", Journal of Petrology 38(1997) 1419-1458.
- [66] Emerson E. A., "analysis of oxidation in garnets, bachelor thesis", department of geology and geography of mount Holyoke college (2008) 130p.
- [67] Saidi M., Falahati S., Noghreyan M., Khalili M., Ghahraipour M., "Mineralogy, geochemistry and genesis of carbonate – silica serpentines (listwaenite) in north of Nain ophiolite (west of central Iran)", 17, 3 (2009) 405-417.
- [68] Belogub E. V., Melekestseva I., Novoselov K. A., Zabolina M. V., Tretyakov G. A., Zaykov V. V., Yuminov A.M., "Listvenite-related gold deposits of the South Urals (Russia)", A review, Ore Geology Reviews, 85 (2017) 247-270.
- [69] Turekian K. K., Wedepohl K. W., "Distribution of the elements in some major units of the earths crust", Geological Society of America Bulletin, 72 (1961) 175- 192.
- [56] Aftabi A., Zarrinkoub M H., "Petrogeochemistry of listvenite association in metaophiolites of Sahlabad region, eastern Iran, Implications for possible epigenetic Cu–Au ore exploration in metaophiolites", Lithos 156–159 (2013) 186–203.
- [57] Burkhard D. I. M., "Accessory chromium spinels: their coexistence and alteration in serpentinites", Geochimica et Cosmochimica Acta, 57(6) (1993) 1297–1306.
- [58] Halls C., Zhao R., "Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Cregganbaur", Mayo Co., Republic of Ireland. Miner Depos 30 (1995) 303–313.
- [59] Ferenc S., Uher P., Spišiak J., Šimonov V., "Chromium- and nickel-rich micas and associated minerals in listvenite from the Murjnska Zdychava, Slovakia: products of hydrothermal metasomatic transformation of ultrabasic rock", Journal of Geosciences, 61 (2016) 239–254.
- [60] Hansen L. D., Dipple G. M., Gordon T. M., Kellet D. A., "Carbonated serpentinite (listwanite) at Atlin, British Columbia: a geological analogue to carbon dioxide sequestration", Canad Mineral, 43 (2005) 225–239.
- [61] Wan H.M., Yeh C.L., "Uvarovite and grossular from the Fengtien Nephrite deposits", Eastern Taiwan. Mineralogical Magazine, 48 (1984) 31–37.
- [62] Kalamarides R.I., Berg J.H., "Coexisting Cr-rich and Cr-poor garnet from a calc-silicate