



## کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین شرایط فیزیکی‌شیمیایی اسکارن واکنشی کان گوهر، توتک (بوانات - فارس)

بتول تقی‌پور<sup>۱</sup>، مریم تقوایی فرد<sup>۲\*</sup>، محمد علی مکی‌زاده<sup>۳</sup>

۱- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: m.taghvaeifard@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۳/۹/۵، پذیرش مقاله: ۹۳/۱۰/۱۶

### چکیده

اسکارن واکنشی کان گوهر، در محدوده زون سنندج- سیرجان و در بخشی از کمپلکس توتک واقع شده است. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات پتروگرافی واحدهای تشکیل‌دهنده اندیس کان گوهر شامل: گرانیت- گنایس، شیس، سنگ کربناته و اسکارن می‌باشد و به سه زون، گرانیت اسکارن، آمفیبول اسکارن و اپیدوت اسکارن رده‌بندی می‌شود. بررسی‌های زمین‌شیمیایی صورت گرفته بر روی توده نفوذی حاکی از آن است که این توده از نوع S، پرآلومینوس و کلسیمی- قلیایی، بوده که در موقعیت زمین- ساختمانی کمان‌آشفشانی قرار دارد. با توجه به اینکه توده نفوذی توتک از نوع S تعیین شده است؛ بنابراین توده نفوذی این کناسار از نظر زمین‌شیمی نقش موثری در تشکیل اسکارن و کانه‌زایی ندارد. کانی‌های کمیاب شاخص اسکارن منگنزدار همچون دانموریت و مگنزهورنبلند، همچنین گارنت (اوگراندیت- پیرالسیپت)، کلسیت، همتایت، مگنتیت با استفاده از نتایج آنالیز XRD مشخص شد. الگوی عناصر کمیاب خاکی در گارنت‌های منطقه دو الگوی متفاوت را نشان می‌دهد، که بیانگر حضور هر دو نوع گارنت‌های اوگراندیتی و پیرالسیپتی در منطقه مورد مطالعه است. گارنت‌های اوگراندیت (گروسولار- آندرادیت) غنی‌شدگی در LREE و تهی‌شدگی در HREE را نشان می‌دهند. در حالی که در گارنت‌های پیرالسیپتی، LREE تهی‌شدگی؛ و HREE غنی‌شدگی دارند. براساس مطالعات زمین‌شیمیایی، اسکارن کان گوهر در دمای کمتر از ۵۰۰°C، فوگاسیته اکسیژن تقریباً معادل  $10^{-21}$  و  $X_{CO2} > 0.2$  بار تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: عناصر کمیاب خاکی، گارنت، اسکارن واکنشی، کمپلکس توتک، کان گوهر

و مشخص ساختن روابط صحرایی از هم تفکیک پذیرند.

کانی‌های معمول ذخایر اسکارن شامل گارنت، پیروکسن، اسکاپولیت، کلسیت، کوارتز، اپیدوت، اکتینولیت و ترمولیت می‌باشند (Karimzadeh, 2004). با شناخت مجموعه کانی‌های اسکارنی می‌توان دما، فشار، فوگاسیته اکسیژن و فاصله از کناسار را برآورد نمود. با آنکه بسیاری از کانی‌های اسکارنی از کانی‌های شاخص و اجزای اصلی سنگ‌ها به شمار می‌روند، تعدادی از آن‌ها که فراوانی کمتری دارند، تغییرات و نوسانات ترکیبی که در بردارنده‌ی اطلاعات مهمی از محیط پیدایش هستند، آشکار می‌نمایند. تعیین ارتباط کانی‌های اسکارن و کانه مهم است چون درک اینکه در چه مرحله از اسکارنی شدن کانه یا مواد معدنی نهشته شده در اکتشاف و پی‌جویی اسکارن بسیار موثر است.

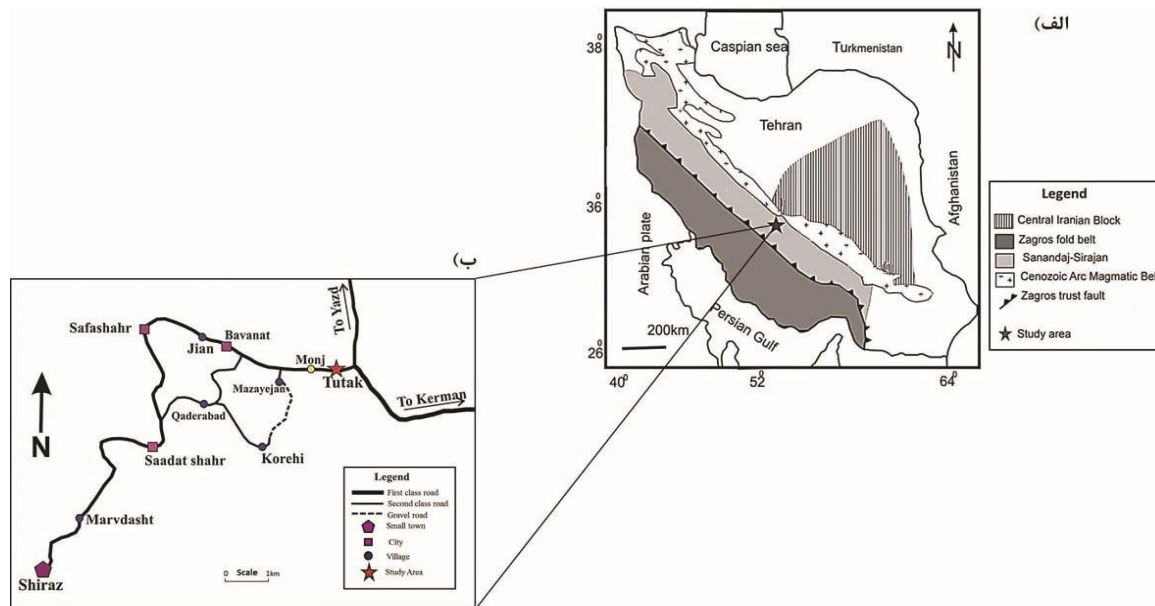
تاکنون مطالعات متعددی بر روی کمپلکس توتک انجام گرفته‌است (امینی، ۱۳۷۹؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۰ و غیره). اما بطور خاص بر روی اندیس کان گوهر مطالعه‌ای صورت نگرفته که موضوع این پژوهش می‌باشد. اسکارن واکنشی آهن- منگنز کان گوهر در ۲۴۰ کیلومتری شمال شهرستان شیراز، در مسیر جاده آسفالت سوریان، بعد از روستای مزایجان، در کوه سفید (توتک) و زون سنندج- سیرجان واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد

### ۱- مقدمه

سنگ‌های کربناته خالص و ناخالص در دگرگونی مجاورتی می‌توانند به انواع مرمر، هورنفلس و اسکارن تبدیل شوند. چنان‌که سنگ‌های آهکی ناخالص تحت تاثیر فرایندهای تراوش (Infiltration) یا نشری (Diffusion) سیالات متاسوماتیک حاوی سازه‌های بیرونی قرار گیرند، به سنگ کالک‌سیلیکاته درشتی به نام اسکارن تبدیل می‌شوند (Meinert et al., 2005). در واقع اسکارن به سنگ‌های دگرگونی گفته می‌شود که بیشتر از طریق متاسوماتیسم در شرایط دمایی نسبتاً بالا تشکیل می‌شوند و حاوی کانی‌های کالک‌سیلیکاته می‌باشد (Meinert et al., 2005; Einaudi & Burt, 1982). اسکارن‌های واکنشی بر اثر دگرگونی ایزوشیمیایی و در لایه‌های نازک شیل، واحدهای کربناته و در جایی یافت می‌شود که انتقال متاسوماتیک اجزا و سازه‌ها در بین لیتولوژی‌های مجاور در مقیاسی کوچک (در حد سانتی‌متر) رخ دهد (Burt, 1977). اسکارن‌های واکنشی همچون اسکارن‌های واقعی، منطقه‌بندی متاسوماتیک دارند، این دو نوع اسکارن تنها با بررسی‌های دقیق ترکیب شیمیایی کانی‌ها

غیرفعال می‌باشد، با این حال هنوز در اطراف آن رگه‌های با ارزش معدنی قرار دارد که دست نخورده می‌باشد. در این منطقه معدنی دگرگونی به عنوان مهمترین و بارزترین پدیده حاکم و به صورت دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی دیده می‌شود. در این پژوهش به بررسی کانی‌شناختی و زمین‌شیمی و داماسنجی اسکارن واکنشی اندیس کان‌گوهر پرداخته شده است.

مطالعه، در محدوده نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان و ۱:۲۵۰۰۰۰ اقلید، بین طول‌های جغرافیایی "۴۰' ۵۴" ۵۳° تا "۵' ۵۴' ۵۳" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۴۳' ۱۸" ۳۰° تا "۲۹' ۱۷" ۳۰° شمالی قرار دارد. شکل اندیس معدنی بصورت عدسی بوده و چند صد متر طول و حدود ۲۰ متر ضخامت دارد. عیار آهن حدود ۹۰٪ می‌باشد و عیار منگنز بسیار ناچیز بطوری که حداکثر به ۶٪ می‌رسد (کشتکار، ۱۳۸۱). در محل این اندیس در گذشته معدنکاری بصورت گسترده‌ای انجام شده است. هم‌اکنون این اندیس معدنی



شکل ۱- الف) موقعیت منطقه توتک در زون دگرگونی سنندج- سیرجان (Sokoutis et al., 2000) ب) نقشه راه‌های دسترسی به اسکارن کان‌گوهر از مسیر شیراز- قادراآباد- سوریان

شده است:

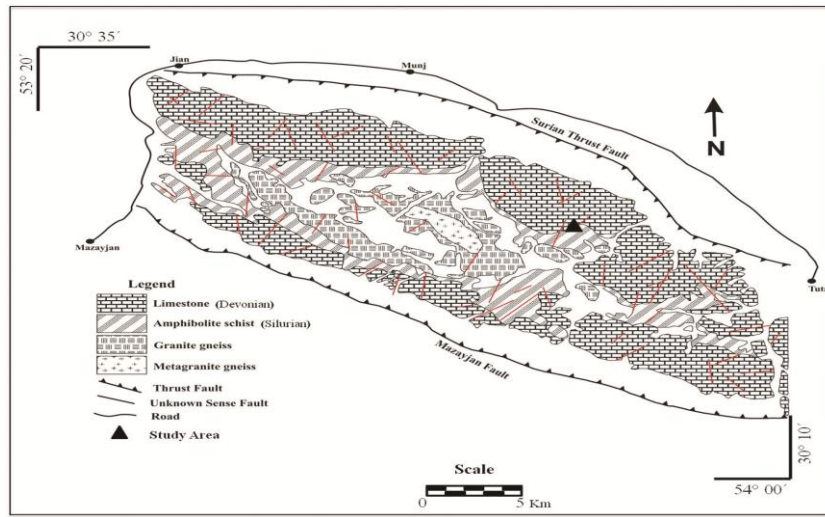
## ۲- زمین‌شناسی منطقه

۱- ارتوگنیس یا گرانیته که بیشترین گسترش آن در بن دونو است؛ در میان شیست‌های سیاه رنگ نفوذ کرده و ساخت گنیسی را نشان می‌دهد.  
 ۲- شیست‌های سیاه رنگ  
 ۳- مجموعه‌ای که بیشتر سنگ‌های آن از مرمر تشکیل شده و به نام مرمرهای کوه سفید شناخته می‌شود (امینی، ۱۳۷۹).  
 مرمرهای کمپلکس توتک توسط Alric & Virlogeux, (1977) به سه بخش تقسیم شده‌اند: بالاترین بخش ردیف M1 که در زیر سنگ‌های کمپلکس سوریان قرار گرفته و از نظر سنگ‌شناسی بسیار ناهمگن است. ردیف M2 بخش غالب مرمرهای مجموعه توتک را تشکیل می‌دهد، که شامل ضخامت زیادی از مرمرهای سفید تا خاکستری رنگ است و در نهایت ردیف M3 که تناوبی از آمفیبولیت، مرمر و میکاشیست می‌باشد. کانه‌زایی در مرمرهای ردیف M2 رخ داده است (شکل ۳). شیست‌های سیاه قابل قیاس با سازند نیور (سیلورین)، ردیف M3 هم‌ارز سازند پادها (دونین زیرین) و ردیف‌های M1 و M2 قابل مقایسه با سازندهای سیب‌زار و بهرام (دونین میانی تا فوقانی) می‌باشد (هوشمندزاده و سهیلی، ۱۳۶۹).  
 از نظر سنگ‌شناسی رخمون واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه

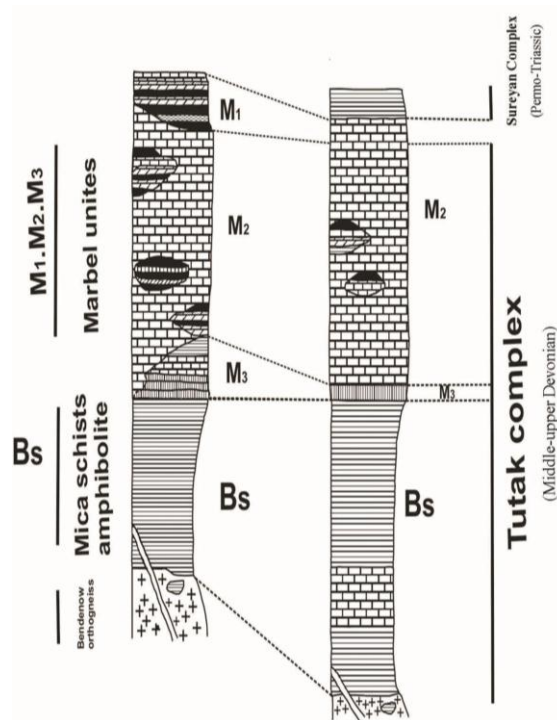
اندیس کان‌گوهر، در بیرون‌زدگی کمپلکس توتک، در بخش جنوبی زون ساختاری سنندج- سیرجان واقع شده است. براساس درجه دگرگونی زون سنندج- سیرجان به دو کمربند دگرگونی تقسیم می‌شود: HP/LT و HT/LP. کمپلکس توتک در داخل کمربند دگرگونی HP/LT این زون واقع شده است (Alizadeh & Sarkarinejad, 2009) (شکل ۱- الف). این کمپلکس بخش مرکزی تاقدیس کوه سفید توتک را تشکیل می‌دهد، که در این تاقدیس رخمون واحدهای متعلق به پالتوزوئیک را می‌توان مشاهده کرد و در بردارنده‌ی سنگ‌های رسوبی و ماگمایی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). به عقیده هوشمندزاده و سهیلی، (۱۳۶۹) دو فاز دگرگونی بر این کمپلکس اثر گذاشته است، بطوری که فشار کلی این دگرگونی به درستی معلوم نیست. حادثه دگرگونی ناحیه‌ای، پیش از ژوراسیک بالایی رخ داده است (نوری خانگهدانی و همکاران، ۱۳۸۵). نقشه ساده زمین‌شناسی کمپلکس توتک و موقعیت اندیس معدنی کان‌گوهر در شکل ۲ آمده است. این مجموعه دگرگونی از مرکز به سمت خارج تاقدیس (از قدیم به جدید) براساس بررسی‌های چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی از سه بخش زیر تشکیل

بخش‌های کربناته، حضور گارنت در سنگ‌میزبان کربناته، همراهی گارنت و آمفیبول (ترمولیت-اکتینولیت)، زون اپیدوتیت، تشکیل ماده معدنی در زون دگرگونی و سنگ‌میزبان کربناته می‌باشد (شکل ۴). در برخی از واحدهای سنگی شواهدی از تنش به صورت درز و شکاف و خردشدگی نیز به چشم می‌خورد به طوری که گسل‌های کوچک متعدد در منطقه واحدهای سنگ‌شناسی را بهم ریخته است.

شامل کربنات‌ها، شیست، ارتوگنیس و اسکارن می‌باشد. تناوب سنگ‌های کربناته و شیست‌ها در منطقه مشاهده می‌شود. اسکارن در اندیس کان‌گوهر بیشتر به صورت لکه‌های قهوه‌ای (گارنت پینه‌ای) بر سطوح سنگ‌میزبان کربناته ظاهر می‌شود. گارنت‌های موجود در این اسکارن واکنشی، در نمونه دستی بیشتر به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای و در زمینه کربناته دیده می‌شوند. شواهد صحرایی مبنی بر اسکارنی بودن شامل تبلور مجدد و پدیده مرمری شدن



شکل ۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی کمپلکس توتک و موقعیت اندیس معدنی کان‌گوهر (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان با تغییرات (اویسی، ۱۳۸۲)).



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی کمپلکس توتک، برگرفته از (Alric & Virlogeux, 1977)



شکل ۴- الف) گارنت‌های قرمز مایل به قهوه‌ای در سنگ میزبان کربناته کانسار کان گوهر (ب) زون اپیدوتیت در واحد کربناته کانسار کان گوهر

### ۳- روش مطالعه

وجود دارد. کلسیت‌های اولیه نتیجه دگرگونی سنگ آهک‌ها می‌باشند و کلسیت‌های ثانویه طی دگرسانی گارنت به وجود آمده‌اند (شکل ۵- ب). در بخش کوچکی از مرم‌های موجود در منطقه کانه‌زایی و جان‌شینی به طور نامنظم در دانه‌ها صورت گرفته است (شکل ۵- پ). خردشدگی در مرم‌ها به چشم می‌خورد که اغلب ناشی از حرکات زمین‌ساختاری منطقه می‌باشد بطوری که کانال‌های مناسبی را برای عبور محلول‌های اسکارن‌ساز در درون خود به وجود آورده‌اند.

### ۴-۲- گرانیت- گنایس

گرانیت- گنایس‌ها در نمونه دستی دارای ظاهری روشن با بلورهای درشت پلاژیوکلاز و بیوتیت‌های قهوه‌ای تیره می‌باشند و ساخت چشمی در آن‌ها قابل تشخیص است. به طور کلی گنایس‌ها دارای بافت لپیدوبلاستیک و پورفیروکلاستیک با زمینه جریانیه هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل بیوتیت، کوارتز، فلدسپار، کلریت، میکروکلین و مسکویت می‌باشد (شکل ۵- ت). مهم‌ترین نوع دگرسانی در این سنگ‌ها کائولینیتی و سرسیتی شدن می‌باشد که حاصل دگرسانی فلدسپارهای آلکالن و پلاژیوکلازها می‌باشند. بیوتیت‌ها نیز به کلریت دگرسان شده‌اند، بطوری که بازمانده‌هایی از بیوتیت اطراف کلریت‌ها قابل مشاهده است. تشکیل میکروکلین، و میکروکلین پرتیتی در این گنایس‌ها به احتمال بسیار زیاد حاصل میلونیتی شدن است (نوری خانکهدانی و همکاران، ۱۳۸۵) (شکل ۵- ث). به عقیده Buttner, (1999) در حین پدیده میلونیتی شدن و تبدیل گرانیت به گنایس، بیشتر فلدسپارهای قلیایی به میکروکلین تبدیل می‌شوند. Barker, (1991) نیز اعتقاد دارد که تنش‌های برشی، عامل تبدیل ارتوکلاز به میکروکلین هستند. فراوانی میکروکلین در گنایس‌های منطقه و کمیابی آن در گرانیت‌های این منطقه، کاملاً با این موضوع سازگاری دارد (نوری خانکهدانی و همکاران، ۱۳۸۵).

### ۴-۳- اسکارن واکنشی

براساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی اسکارن واکنشی کان گوهر شامل انواع کانی‌های گارنت، آمفیبول (ترمولیت- اکتینولیت)، پیروکسن، کلسیت، کوارتز، کلریت و اپیدوت می‌باشد. همچنین کانی‌های فرعی

به منظور مطالعات دقیق کانی‌شناسی و بررسی اسکارن واکنشی منطقه مذکور، پس از بررسی‌های صحرایی، تعداد ۵۰ نمونه از واحدهای سنگی منطقه به روش سیستماتیک از سنگ‌های کربناتی به سمت اندیس معدنی برداشت گردید؛ از این تعداد ۳۰ نمونه جهت مطالعات سنگ‌نگاری و کانه-نگاری مقاطع نازک و صیقلی تهیه شد. مطالعات سنگ‌نگاری، معرفی کانی-شناختی و بافت‌ها در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه شیراز و اصفهان، همچنین جهت تکمیل این مطالعات آزمایش XRD نیز در سازمان زمین‌شناسی تبریز انجام شد. به منظور مطالعه عناصر اصلی، فرعی و بررسی زمین‌شیمی توده نفوذی آزمایش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) صورت گرفت، گارنت‌های اسکارن کان گوهر به روش جداسازی دستی خالص‌سازی شدند و جهت تعیین عناصر کمیاب خاکی به روش ICP-MS در آزمایشگاه زرازمای تهران تجزیه شدند. نتایج در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

### ۴-۴- پتروگرافی

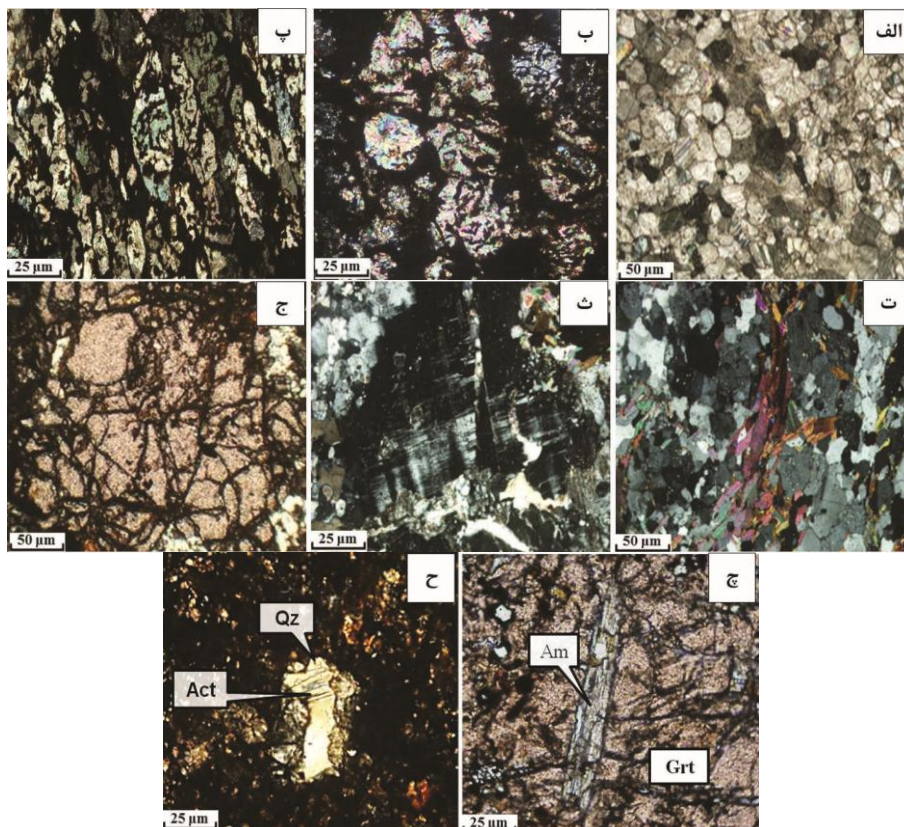
بر اساس شواهد صحرایی واحدهای تشکیل‌دهنده اندیس کان گوهر شامل سنگ کربناته، گرانیت- گنایس و اسکارن می‌باشد، بطوری که مطالعات پتروگرافی نیز تاییدکننده آن است. طبق مطالعات میکروسکوپی انواع کانی‌های گارنت، کلسیت، دولومیت، کوارتز، فلدسپار، کانی‌های گروه آمفیبول، بیوتیت، مسکویت و کلریت در این واحدها دیده شده است. در زیر به شرح هر یک از این واحدها به اختصار پرداخته می‌شود:

### ۴-۱- واحد کربناتی

سنگ‌های کربناتی از آهک‌های مرمیتی تا آهک دولومیتی و دولومیت آهکی سیلیسی شده تغییر می‌کند. آهک‌های مرمیتی از نظر اندازه بلورها ریز دانه تا درشت دانه هستند، به طوری که مرم‌های نزدیک اندیس معدنی درشت بلور و با فاصله از اندیس ریز بلور می‌شوند و دارای بافت گرانوبلاستیک می‌باشند (شکل ۵- الف). بلورهای کلسیت بخش عمده سنگ را تشکیل داده‌اند و در اسکارن واکنشی منطقه به دو صورت اولیه و ثانویه

گارت رخ داده است، بنابراین گارت همزمان یا قبل از کانه‌زایی تشکیل شده است. آمفیبول‌ها به شکل کشیده، خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شود و از سری ترمولیت-اکتینولیت هستند (شکل ۵-ج). رنگ سبز کم رنگ این کانی نشان می‌دهد، که از نوع اکتینولیت آهن‌دار است. بعد از تشکیل گارت در نواحی بین‌بلوری فرایند تشکیل همزمان کوارتز و اکتینولیت به طور بافت بین-بلوری (Interstitial Texture) مشاهده می‌شود (شکل ۵-ح).

مگنتیت، هماتیت، پیریت، رگه کوارتزی و کلسیتی مشاهده می‌شود. گارت‌های موجود در این واحد سنگ‌شناختی، در نمونه‌های دستی بیشتر به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای و در زمینه کلسیتی دیده می‌شوند. در برش‌های میکروسکوپی این گارت‌ها نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل، غالباً همسانگرد، توده‌ای و بدون جهت-یافتگی و حاوی شکستگی‌های زیادی می‌باشند (شکل ۵-ج). این گارت‌ها اغلب طی دگرسانی به کلسیت تبدیل شده‌اند و کانه‌زایی آهن در شکستگی‌های

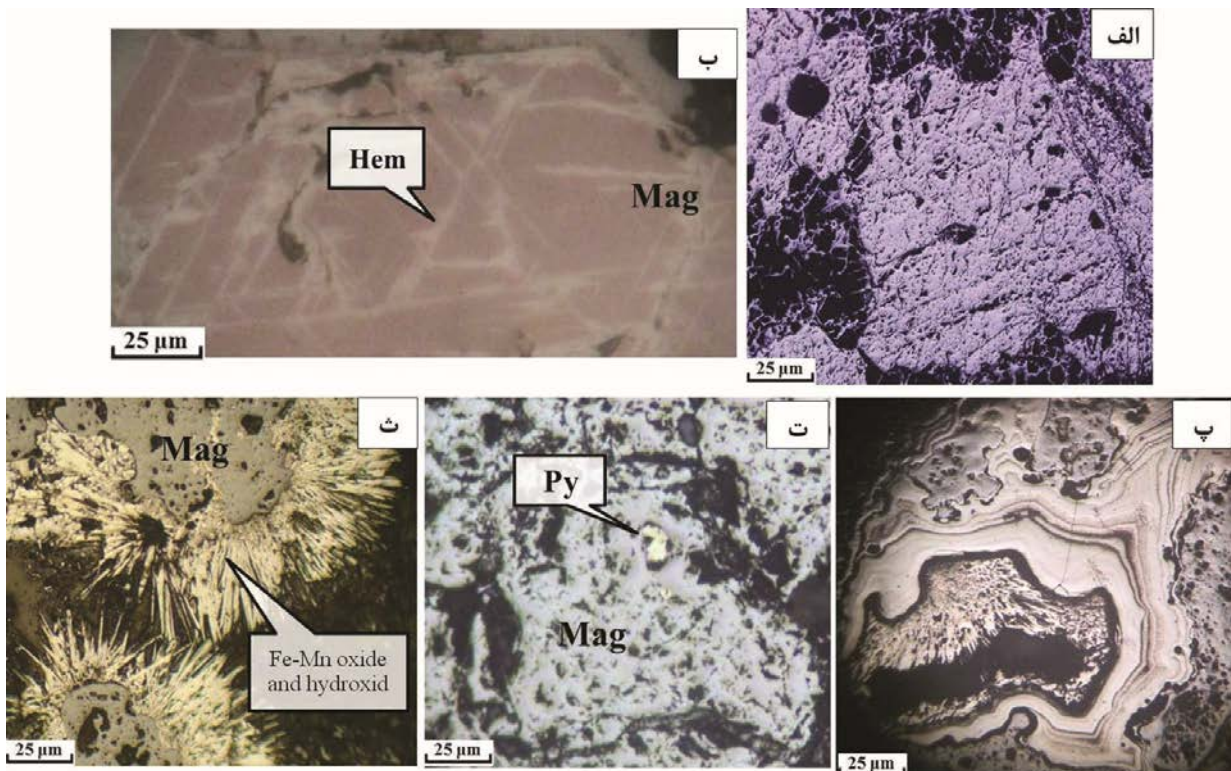


شکل ۵- مقاطع نازک در اسکارن واکنشی کان‌گوهر: الف) مرمر ریز دانه تا درشت دانه با بافت گرانوبلاستیک، ب) کلسیت ثانویه حاصل دگرسانی گارت، پ) کانه‌زایی در امتداد جهت‌یافتگی مرمر و به طور نامنظم در دانه‌ها، ت) گنایس با بافت پورفیروکلستیک (کوارتز، فلدسپار) و لپیدوبلاستیک، ث) میکروکلین، ناشی از پدیده میلونیتی‌شدن، ج) گارت توده‌ای، فاقد جهت‌یافتگی و حاوی شکستگی به طوری که کانه‌زایی در شکستگی‌ها رخ داده است، چ) آمفیبول احاطه شده توسط گارت‌ها (ح) تشکیل همزمان کوارتز و اکتینولیت به صورت بافت بین‌بلوری. (Grt: گارت - Am: آمفیبول - Qz: کوارتز - Act: اکتینولیت)

## ۵- کانه‌نگاری

شمار می‌رود که به مقدار کم در داخل مگنتیت، همراه با بافت جزیره‌ای تشکیل شده است؛ تشکیل پیریت در داخل مگنتیت بدین دلیل است که در ابتدا فوگاسیته اکسیژن پایین بوده و پیریت تشکیل شده، بتدریج با افزایش فوگاسیته اکسیژن، مگنتیت و سپس هماتیت تشکیل شده است. به نظر می‌رسد یک فاز سولفیدی قبل از مگنتیت باعث تشکیل پیریت شده و مگنتیت‌ها، پیریت‌ها را در برگرفته‌اند (شکل ۶-ت). منگنز در این کانسار کانی مستقل تشکیل نمی‌دهد و اغلب بصورت هیدروکسیدها و اکسیدهای آهن و منگنز در نتیجه گردش آب جوی در شکستگی‌ها تشکیل می‌شوند. این کانی‌ها (به عنوان مثال گوتیت، لپیدوکروزیت، پیرولولوزیت، کریپتوملان) ممکن است هم‌رشدی متحدالمرکز در دیواره رگه یا توده‌های پیچیده از بلورهای فیبری شعاعی با مکان‌های رشدی چندگانه در امتداد شکستگی‌ها تشکیل دهند (Craig et al., 1981) (شکل ۶-ث).

بررسی برش‌های صیقلی در نور انعکاسی نشان می‌دهد که مهمترین کانه‌های اکسیدی و سولفیدی در اسکارن منطقه شامل هماتیت، مگنتیت، گوتیت و به مقدار کم پیریت می‌باشد، که از این بین هماتیت کانه اصلی می‌باشد. مگنتیت‌ها خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار و به رنگ خاکستری، و اغلب بصورت توده‌ای و همراه با بافت جانیشینی شبکه‌ای می‌باشند (شکل ۶-الف). مارتیتی شدن مگنتیت از پدیده‌های رایج در برش‌های صیقلی است، که حاصل اکسایش این کانی است. این پدیده حاصل تشکیل تیغه‌های هماتیت در زمینه خاکستری و در امتداد رخ اکتانداری مگنتیت می‌باشد (شکل ۶-ب). هماتیت غالباً همراه با بافت کولفرم و جانیشینی شبکه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۶-پ). پیریت مهم‌ترین کانه همراه با مگنتیت و هماتیت به



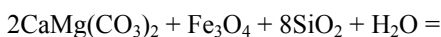
شکل ۶- مقاطع صیقلی در اسکارن واکنشی کان‌گوهر: الف) مگنتیت خودشکل تا نیمه‌شکل دار، ب) بافت ماریتیتی در اثر دگرسانی مگنتیت به هماتیت، پ) هماتیت با بافت کلوفرمی، ت) پیریت با بافت جزیره‌ای (ث) تشکیل هیدروکسیدها و اکسیدهای آهن (هماتیت (اسیکیلولاریت)) و منگنز (پیرولوزیت) بصورت بلورهای فیبری شعاعی در شکستگی‌ها، Mag: مگنتیت- Hem: هماتیت- Py: پیریت- Fe-Mn Oxide and hydroxid: اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن - منگنز)

## ۶- پارائز کانی‌ها

می‌توان سنگ را گارنتیت نامید. کانی‌های فرعی این زون شامل کلسیت، کوارتز و اوپاک می‌باشد. گارنت‌ها اغلب به صورت درشت، توده‌ای، همسانگرد و ندرتا ناهمسانگرد می‌باشند و شکستگی‌های آن‌ها با هیدروکسید آهن پر شده است. اغلب گارنت‌ها به کلسیت تجزیه شده‌اند که به عنوان دگرسانی کربناتی گارنت‌ها شناخته می‌شود (شکل ۵- ب).

## ۶-۲- آمفیبول اسکارن

کانی‌های آمفیبول اسکارن عبارتند از آمفیبول (ترمولیت- اکتینولیت)، گارنت، پیروکسن، کلسیت. در این زون، اکتینولیت به صورت رشته‌ای مشاهده می‌شود که اغلب توسط کانی گارنت احاطه شده‌اند. در امتداد رخ‌های اکتینولیت اکسید آهن آزاد شده و در حاشیه توسط این اکسیدها احاطه شده است. ترمولیت- اکتینولیت یا به خرج دولومیت، یا از فروپاشی پیروکسن حاصل شده‌اند. دیر و همکاران (Deer et al., 1992) واکنش‌های زیر را برای تشکیل اکتینولیت پیشنهاد می‌کنند:



دولومیت



اکتینولیت

در اسکارن کلسیمی جانشینی در سنگ‌های آهنی صورت می‌گیرد، بر اساس وجود کلسیت در منطقه، همچنین تشکیل اسکارن در سنگ‌های کربناتی و دور بودن توده نفوذی از سنگ کربناته به نظر می‌رسد، اسکارن واکنشی کان‌گوهر از نوع برون‌اسکارن و کلسیک است. در حین تشکیل اسکارن‌های کلسیک، عموماً شرایط به گونه‌ای است که در مراحل اولیه کانی‌های سیلیکاتی آهنی بدون آب و غیرفلزی هم‌چون ولاستونیت، پیروکسن، گارنت و پلاژیوکلاز تشکیل می‌شوند. ولی واکنش‌های دگرگونی این اسکارن‌ها در مراحل بعدی، در جهت تشکیل کانی‌های سیلیکاتی آبدار (کلریت، اپیدوت، آمفیبول‌ها) و در نهایت کانی‌های غیرسیلیکاتی و یا فلزی (پیریت، مولیبیدنیت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت) پیش خواهد رفت (Brown et al., 2002). براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و با در نظر گرفتن فراوانی غالب کانی‌ها، اسکارن واکنشی گستره مورد مطالعه را می‌توان در سه زون اسکارنی زیر قرار داد: گارنتیت اسکارن، اکتینولیت اسکارن و اپیدوت اسکارن.

## ۶-۱- گارنتیت اسکارن

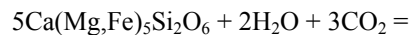
گارنت کانی غالب این زون می‌باشد و فراوانی آن به حدی است که

این آنالیز کانی‌های گارنت (اوگراندیت- پیرالسپیت)، دانموریت، مگنزوهورنبلند، کلسیت، هماتیت و مگنتیت شناسایی شد، که از این بین کانی‌های دانموریت و مگنزوهورنبلند از کانی‌های کمیاب گروه آمفیبول می‌باشند که بیانگر اسکارن منگنز هستند. دانموریت از گروه آمفیبول‌های آهن- منیزیم- منگنز و کانی غیرمعمول در سنگ‌های دگرگونی منگنز- آهن‌دار فقیر از آهن است. کانی‌های همراه آن شامل گارنت، کلسیت و کوارتز می‌باشد. مگنزوهورنبلند بیشتر از تجزیه پیروکسن‌ها حاصل می‌شود، به صورت حاشیه واکنشی پیروکسن‌ها می‌باشد. بطور معمول در آمفیبولیت، شیست و اسکارن یافت می‌شود (Vassileva & Bonev, 2001). روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و تقدم و تاخر آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

### ۷- زمین‌شیمی

#### ۷-۱- زمین‌شیمی توده نفوذی

به منظور بررسی زمین‌شیمی توده نفوذی سازنده کانسار اسکارنی کان- گوهر، چند نمونه از این توده به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.



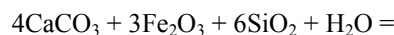
دیوپسید- هدنبرژیت



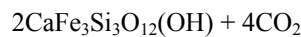
اکتینولیت

### ۶-۳- اپیدوت اسکارن

کانی‌های غالب این زون شامل اپیدوت، کلسیت، کوارتز می‌باشد. اپیدوت از دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز، گارنت، کلینوپیروکسن، ترمولیت- اکتینولیت، کلریت حاصل می‌شود. جهت تشکیل اپیدوت در سیستم اسکارنی باید فوگاسیته اکسیژن در محیط به بالاترین حد خود برسد که این میزان می‌تواند در مراحل نهایی اسکارن- زایی رخ دهد. زون اپیدوتیت در اندیس مورد مطالعه بیشتر در واحد کربناته مشاهده می‌شود (شکل ۴- ب). این زون نشانگر مرحله پسروده از مراحل اسکارن‌زایی می‌باشد. واکنش زیر جهت تشکیل اپیدوت پیشنهاد می‌شود:



کلسیت



اپیدوت

آنالیز XRD جهت تکمیل مطالعات کانی‌شناسی انجام گردید. براساس

جدول ۱- روابط پاراژنتی و توالی تشکیل کانی‌ها در منطقه کان گوهر

مرحله کانی		کربناتی شدن اولیه	اسکارنی شدن	کربناتی شدن ثانویه	اکسیدی شدن
سیلیکات‌ها	گارنت		—————		
	ترمولیت- اکتینولیت		—————		
	دانموریت		—————		
	مگنزوهورنبلند		—————		
	کوارتز		—————		
	اپیدوت			—————	—————
سولفید	پیریت		—————		
اکسیدها	مگنتیت		—————		
	هماتیت			—————	—————
	گوئیت				—————
کربنات	کلسیت	—————			

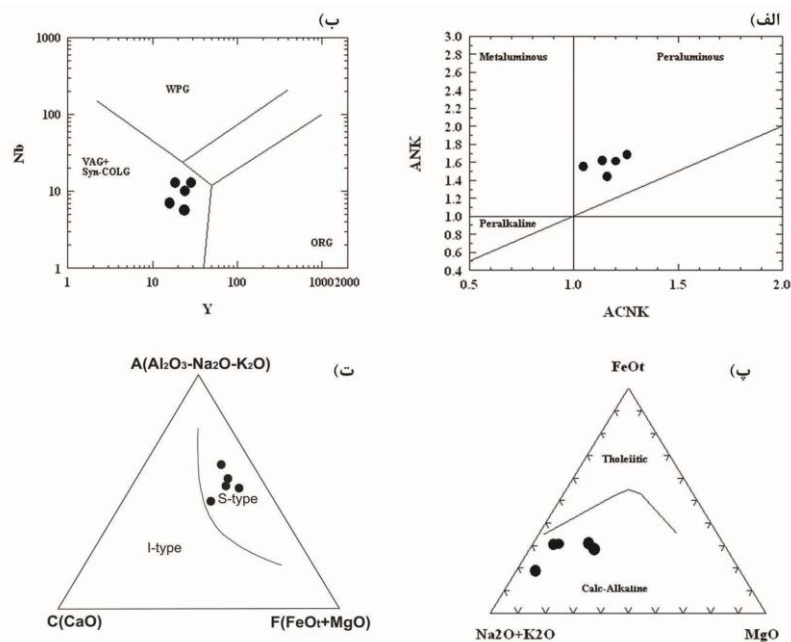
جدول ۲- نتایج تجزیه عناصر شیمیایی گرانیت‌های کانسار کان گوهر

Sample	G-10	G-17	G-19	G-20	G-24
SiO <sub>2</sub> (wt. %)	72.14	72.24	72.74	74.34	72.21
TiO <sub>2</sub>	0.432	0.548	0.379	0.209	0.366
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.05	12.96	13.31	13.1	11.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.51	3.78	3.47	2.02	2.83
MnO	0.017	0.012	0.028	0.013	0.038
MgO	0.91	2.25	0.79	0.74	2.01
CaO	1.88	1.42	1.53	1.22	3.63
Na <sub>2</sub> O	2.33	3.62	2.67	2.9	3.08
K <sub>2</sub> O	3.86	1.59	3.58	3.95	1.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.096	0.182	0.1	0.072	0.073
L.O.I	1.45	1.29	1.62	1.33	3.05
V (ppm)	45	69	48	33	39
Cr	72	126	83	73	71
Co	7	7	5	3	4
Ni	18	41	28	19	20
Zn	73	319	92	44	121
Rb	115	66	107	99	43
Sr	126	118	107	104	207
Y	28	19	24	25	16
Zr	157	196	146	103	150
Nb	13	13	10	6	7
Ba	625	200	586	413	2551
Pb	29	31	43	18	16
Th	12	10	12	8	8
U	5	9	3	3	1
Ce	10	30	12	23	11
Cu	1	1	1	1	1
Cl	180	136	104	64	172

شیمیایی گرانیتوئیدهای نوع S و I، (Takahashi et al., 1980) در محدوده گرانیت‌های نوع S جای می‌گیرند (شکل ۷-ت). با توجه به ماهیت ماگما (نوع S) به نظر می‌رسد که گرانیت توتک در اثر گرانیتی شدن و تغییر متاگنیس‌ها شکل گرفته است. همچنین براساس نظر حسینی و همکاران، (۱۳۹۰)، ماگمای کلسیمی-قلیایی گرانیتوئیدی توتک از ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای منشا گرفته است. بنابراین این توده گرانیتی نقش چندانی در کانسارسازی و تشکیل اسکارن واکنشی منطقه نداشته است. بنابراین می‌توان چنین احتمال داد که توده نفوذی به همراه فرایندهای دگرگونی نقش سیستم حرارتی را داشته و سبب پویایی و تحرک عناصر بین واحدهای سنگی مجاور و تشکیل اسکارن واکنشی کان گوهر شده است.

در نمودار نسبت‌های عنصری ACNK/ANK (Maniar & Piccoli, 1989) که برای تشخیص درجه سیرشدگی از آلومینیوم ماگما به کار می‌رود، نمونه‌های کان گوهر در محدوده پرآلومینوس (peraluminous) قرار می‌گیرند (شکل ۷-الف). در این مطالعه جهت تعیین محیط زمین‌ساختی توده مذکور از نمودار دو متغیره Nb در برابر Y، استفاده گردید (Pearce et al., 1984). براساس این نمودار توده نفوذی کان گوهر از نوع گرانیتوئید کمان‌آشفشانی (VAG) و درون قاره‌ای می‌باشد، که همزمان با برخورد قاره‌ای شکل گرفته است (شکل ۷-ب). این گرانیتوئیدها طبق نمودار AFM (Irvine & Baragar, 1971) ماهیت کلسیمی-قلیایی را نشان می‌دهند (شکل ۷-پ)، و براساس رده‌بندی





شکل ۷- الف) درجه سیرشدگی از آلومینیوم (Maniar & Piccoli, 1989) و فرارگیری نمونه‌ها در محدوده پراآلمینوس، ب) موقعیت نمونه‌های کان‌گوهر بر روی نمودار تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی (Pearce et al., 1984)، پ) ماهیت توده نفوذی در نمودار AFM (Irvine & Baragar, 1971) بیانگر ترکیب کلسیمی - قلیایی است، ت) نمودار تفکیک گرانیت‌های تیپ I و S (Takahashi et al., 1980) و موقعیت گرانیت تونک در گستره گرانیت نوع S

گارت‌های دگرگونی و ماگمایی با تفکیک REE، الگوی غنی‌شدگی HREE و نسبت بالای Lu/Hf و Sm/Nd مشخص می‌شوند که در مطالعات زمین‌شیمیایی و سن‌سنجی زمین‌شناسی بسیار مفیدند. تفاوت در ویژگی‌های بافتی و نوری، همچنین در زمین‌شیمی گارت به وسیله عوامل خارجی مانند ترکیب سیال، نسبت W/R، روند رشد کانی و دینامیک متاسوماتیسم کنترل می‌شود (Gaspar et al., 2008). نتایج تجزیه عناصر کمیاب خاکی در گارت‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. این عناصر در گارت‌های کان‌گوهر نسبت به مقادیر این عناصر در کندریت‌ها (Evensen et al., 1978) نرمالیزه شده‌اند.

## ۲-۷- زمین‌شیمی عناصر کمیاب خاکی در اسکارن کان‌گوهر

طی متاسوماتیسم اسکارنی معمولاً غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی رخ می‌دهد. از این رو بررسی عناصر کمیاب خاکی در اسکارن‌ها کمک زیادی به شناخت سیالات و فرایندهای دگرسانی تشکیل‌دهنده اسکارن می‌کند. توزیع عناصر کمیاب خاکی در فرایندهای اسکارن‌زایی عمدتاً توسط سه عامل کنترل می‌شود: ۱) غلظت REE در سنگ اولیه ۲) غلظت REE در سیال گرمایی ۳) قابلیت آزادسازی و تحرک این عناصر طی فرایند دگرسانی (Alderton et al., 1980; Humphris, 1984).

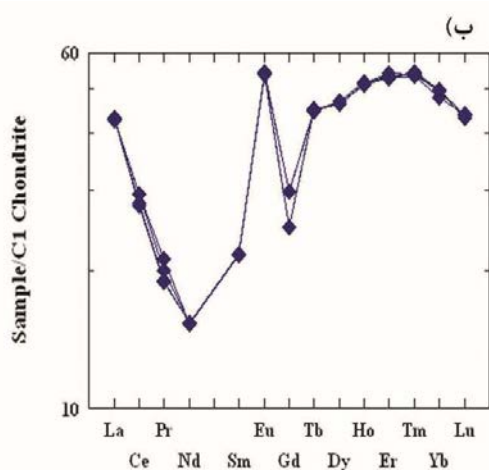
جدول ۳- نتایج تجزیه عناصر کمیاب خاکی در گارت‌های اندیس معدنی کان‌گوهر

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
K30	10.21	17.61	2.71	8.5	1.81	0.52	1.57	0.23	1.35	0.26	0.63	0.08	0.5	0.1
K33	10.23	16.82	2	7.5	1.75	0.57	1.86	0.33	2.07	0.31	1.46	0.06	0.6	0.21
K32	9.03	17.21	2.68	8.32	1.8	0.59	1.98	0.24	1.46	0.27	0.75	0.07	0.4	0.23
G-30	10.2	17	1.8	7.18	3.3	3.13	5.12	1.69	11.8	2.9	8.79	1.38	8.41	1.1
G-31	10.23	17.2	1.81	7.19	3.32	3.14	6.11	1.67	11.9	2.93	8.79	1.39	8.45	1.11
G-1	10.21	18	1.9	7.2	3.31	3.16	6.12	1.68	11.82	2.91	8.98	1.37	8.42	1.1
G-2	10.12	18	2.02	7.16	3.31	3.12	5.13	1.68	11.75	2.91	8.74	1.36	8.12	1.12

به مقادیرشان در کندریت‌ها غنی‌شدگی و از عناصر کمیاب خاکی سنگین تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۸- الف). غنی‌شدگی بیشتر LREE را

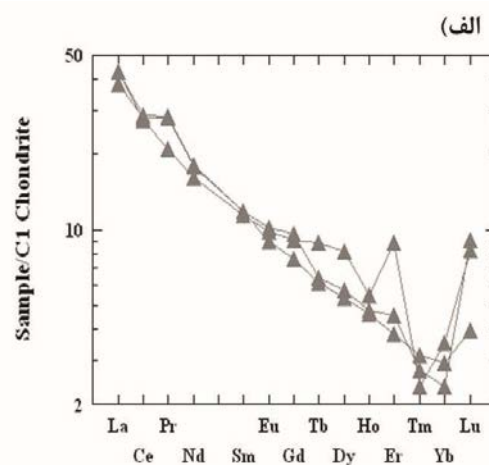
عناصر کمیاب خاکی در گارت‌های منطقه دو الگوی متفاوت را نشان می‌دهند (شکل ۸- الف، ب). در الگوی اول عناصر نادر خاکی سبک نسبت

LREE می‌تواند به دلیل دگرسانی و آبشویی این عناصر از گارنت‌ها باشد. HREE در جریان دگرسانی تپه‌شدگی کمتری را نشان می‌دهند که به دلیل عدم تحرک این عناصر در طی فرایند دگرسانی می‌باشد. بی‌هنجاری شدید Eu در این گروه گارنت‌های منطقه قابل توجه است که نشان‌دهنده فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط تشکیل می‌باشد. با توجه به اینکه الگوی REE در گارنت‌های غنی از Al غنی‌شدگی در HREE و تپه‌شدگی در LREE را نشان می‌دهند (Gaspar et al., 2008)، بنابراین الگوی رسم شده در شکل ۸-ب با ترکیب گارنت پیرالسپیت مطابق است. می‌توان چنین احتمال داد که شرایط متفاوتی بر منطقه حاکم بوده است که سبب به وجود آمدن دو نوع گارنت در منطقه شده است.



می‌توان به تحرک بالاتر و غنی‌شدگی بیشتر این عناصر در سیال گرمایی که با سنگ‌های پوسته‌ای واکنش داده نسبت داد. داده‌های ترمودینامیکی در محلول جامد گروسولار-آندرادیت همبستگی خوبی از HREE در گارنت گروسولار و LREE در گارنت آندرادیتی نشان می‌دهد (Gaspar et al., 2008)؛ بنابراین الگوی رسم شده در شکل ۸-الف می‌تواند نشان‌دهنده گارنت با ترکیب گروسولار-آندرادیت باشد که بیشتر نمایانگر ترکیب آندرادیتی گارنت‌های منطقه مذکور می‌باشد.

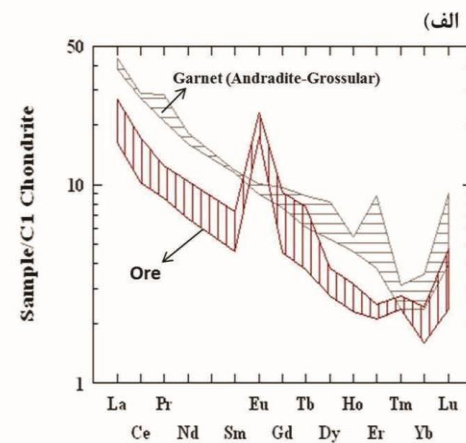
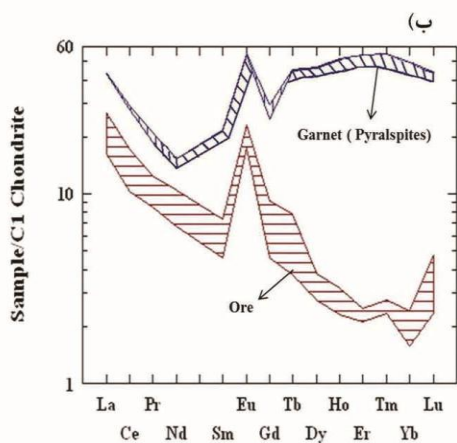
در الگوی دوم عناصر نادر خاکی سبک نسبت به مقادیرشان در کندریت‌ها تپه‌شدگی و عناصر نادر خاکی سنگین غنی‌شدگی و الگوی تقریباً ثابتی را در گارنت‌ها نشان می‌دهند (شکل ۸-ب). تپه‌شدگی



شکل ۸-الف) الگوی عناصر خاکی نادر در گارنت‌های با ترکیب گروسولار-آندرادیت. (ب) الگوی عناصر خاکی نادر در گارنت‌های با ترکیب محلول جامد پیرالسپیت اسکارن واکنشی کان‌گوهر، هر دو الگو نسبت به مقادیر این عناصر در کندریت‌ها (Evensen et al., 1978) نرمالیزه شده‌اند

مثبت نشان می‌دهد (شکل ۹). به طور کلی غنی‌شدگی در LREE نسبت به HREE مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان بیان کرد که شرایط تشکیل گارنت و کانسنگ آهن مشابه و کانسارسازی در مرحله‌ای از اسکارن‌سازی رخ داده است.

مقایسه الگوی عناصر کمیاب خاکی گارنت‌های منطقه با الگوی این عناصر در کانسنگ آهن منطقه نشان‌دهنده روند نسبتاً مشابه گارنت با ترکیب محلول جامد گروسولار-آندرادیت با الگوی رفتاری این عناصر در کانسنگ آهن می‌باشد، با این تفاوت که در کانسنگ آهن Eu بی‌هنجاری

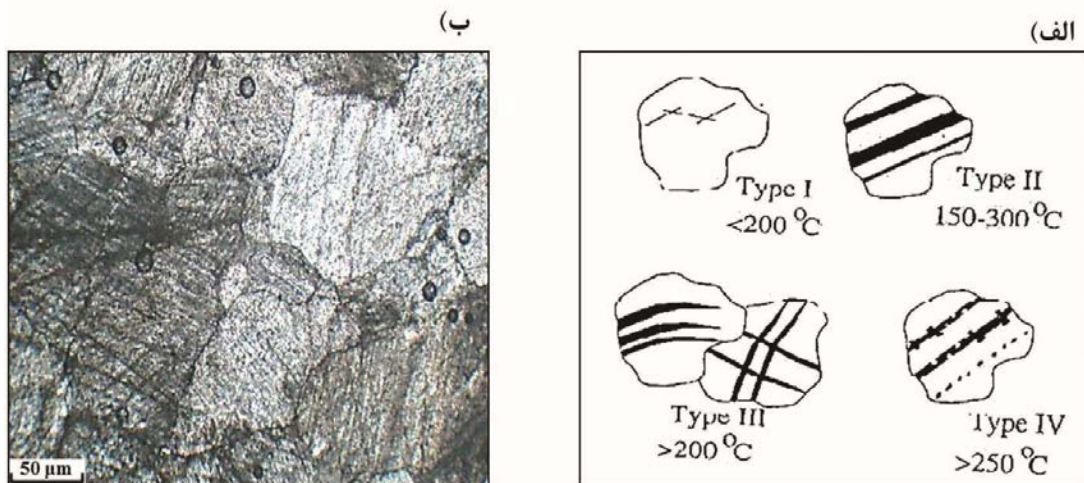


شکل ۹-مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی گارنت‌های (الف) اوگراندیتی (گروسولار-آندرادیت) و (ب) پیرالسپیتی با کانسنگ در اندیس معدنی کان‌گوهر، که بیانگر شباهت الگوی این عناصر در گارنت با ترکیب گروسولار-آندرادیت و کانسنگ در این اندیس معدنی می‌باشد

۸- شرایط فیزیکی- شیمیایی تشکیل اسکارن واکنشی کان گوهر

مستقیم، ضخیم مایل و سرانجام با تبلور مجدد در بلورهای کلسیت تغییر می‌کند. استفاده از این ساختارها در کلسیت برای تخمین دمای دگرریختی بسیار مناسب می‌باشند. مطالعات میکروسکوپی بلورهای کلسیت منطقه مورد پژوهش، و تطبیق چند نمونه از این ماکل‌ها (شکل ۱۰-ب) با نمودار شکل ۱۰-الف نشان می‌دهد که ماکل‌ها شامل نوع II و III و بیانگر پیشینه دمای بیش از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای کلسیت‌های منطقه می‌باشند. همچنین ماکل نوع III یعنی ماکل خمیده، می‌تواند تاثیر نیروهای تکتونیکی موثر در منطقه را نشان بدهد.

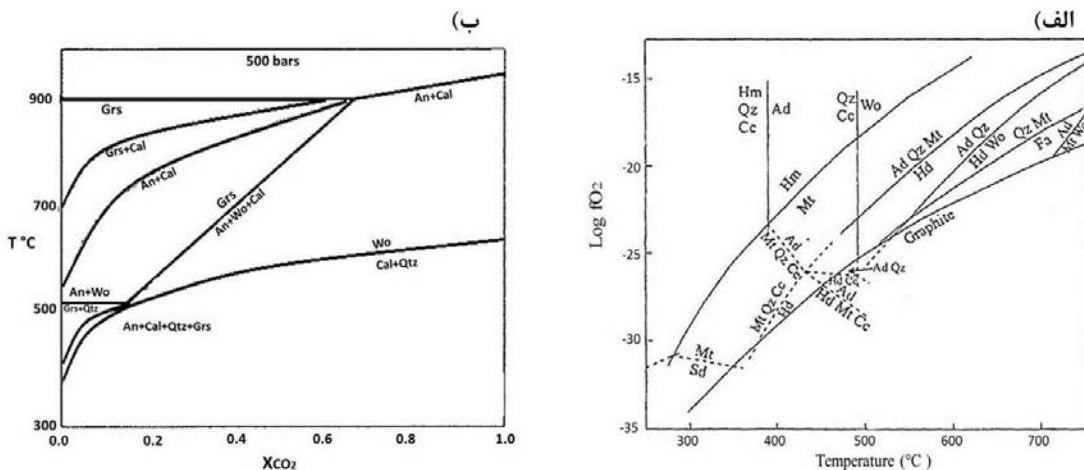
شکل و زاویه ماکل در کلسیت توسط پاسچیر و ترو (Passchier & Trouw, 1996) به عنوان نشانگر درجه حرارت پیشنهاد شده است. مدل ارائه شده شامل ۴ نوع ساختاری I، II، III، IV در کلسیت است که هر کدام دمای مشخص دارد که در شکل ۱۰-الف آمده است. به طور کلی ریخت‌شناسی ماکل‌ها، الگویی مطابق با افزایش دما را ارائه می‌دهد، به گونه‌ای که از ماکل‌های نازک در دماهای خیلی کم تا ماکل‌های ضخیم



شکل ۱۰-الف) طرح شماتیکی از تاثیر دما بر مورفولوژی دوقلوهای دگرشکلی در کلسیت (Passchier & Trouw, 1996). ب) دوقلویی‌های کلسیت منطقه کان گوهر

۱۹۸۲. با توجه به تشکیل مجموعه هماتیت، مگنتیت، کلسیت و کوارتز در اسکارن مورد پژوهش، فوگاسیته اکسیژن تقریباً  $10^{-21}$  بوده است. با توجه به حضور گروسولار در اسکارن مورد مطالعه و براساس نمودار T-XCO<sub>2</sub> (شکل ۱۱-ب) محدوده دمایی ۳۸۰ تا ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد و  $X_{CO_2} > 0.2$  بار، برای اسکارن واکنشی کان گوهر می‌توان در نظر گرفت.

عدم حضور ولاستونیت در اسکارن واکنشی کان گوهر می‌تواند نشان‌دهنده این باشد، که اسکارن منطقه در دمای کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده است (شکل ۱۱-الف). در دماهای کمتر از ۴۵۰ °C آندرادایت در محدوده فوگاسیته اکسیژن  $10^{-21}$  تا  $10^{-24}$  به مجموعه کانیایی کوارتز، کلسیت و مگنتیت و در فوگاسیته اکسیژن بیش از  $10^{-21}$  به مجموعه کوارتز، کلسیت و هماتیت تبدیل می‌شود (شکل ۱۱-الف) (Einaudi, )



شکل ۱۱-الف) روابط فازی T-LogfO<sub>2</sub> در  $X_{CO_2} = 0.1$  و فشار ۵۰۰ بار برای سامانه Ca-Fe-Si-C-O-H (Einaudi, 1982). ب) نمودار T-XCO<sub>2</sub> در ۵۰۰ بار در سیستم (Tracy & Frost, 1991) Geo-Calc محاسبه شده در CAS(H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>)

## نتیجه‌گیری

کانسار اسکارنی کان‌گوهر، در بخشی از کمپلکس توتک واقع شده است؛ و دارای سنگ‌شناسی متنوعی شامل مرمر، شیست، گرانیت گنایس و اسکارن می‌باشد. کانسارسازی آهن بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی در اسکارن دیده شده است. بررسی عناصر کمیاب خاکی در گارنت‌های منطقه نشان‌دهنده گارنت‌های با ترکیب گروسولار-آندرادیت با غنی‌شدگی در LREE و با ترکیب آلماندین-اسپسارتین با غنی‌شدگی در HREE می‌باشند. مقایسه الگوی عناصر کمیاب خاکی در گارنت‌ها با الگوی این عناصر در کانسنگ منطقه بیانگر شباهت الگوی رفتاری این عناصر در گارنت‌های گروسولار-آندرادیت و کانسنگ می‌باشد؛ می‌توان این احتمال را داد که شرایط تشکیل این نوع گارنت و کانسنگ مشابه است. براساس مطالعات زمین‌شیمیایی، می‌توان دمای کمتر از  $500^{\circ}\text{C}$ ، فوگاسیته اکسیژن تقریباً  $10^{-21}$  و  $\text{XCO}_2 > 0.2$  بار، برای تشکیل اسکارن مورد مطالعه پیشنهاد داد. توده نفوذی این کانسار به لحاظ زمین‌شیمیایی متعلق به گرانیتوئیدهای نوع S است. لذا پیدایش این اسکارن را می‌توان به کمک مدل اسکارن واکنشی توجیه نمود. توده نفوذی و فرایندهای دگرگونی نقش یک سیستم حرارتی را بازی می‌کند، و از آنجایی که سنگ‌های کربناته و شیست‌های منطقه در تناوب با یکدیگر قرار دارند و از نظر ترکیب شیمیایی متفاوتند؛ اعمال حرارت سبب پویایی و رهاسازی عناصری چون K, Na, Mg, Fe, Al, Si می‌شود. شیست‌ها و نیز Ca و  $\text{CO}_2$  از کربنات‌ها شده است. سطح برگرگی در شیست‌های منطقه از مسیرهای مناسب برای عبور محلول‌های کانه‌زا است. از طرف دیگر سنگ‌آهک و نیز شیست‌های منطقه، بواسطه عملکرد فازهای کوهزایی دچار شکستگی و ترک‌خوردگی گشته است. ورود سیال مشتق شده از شیست‌ها به داخل سنگ‌های کربناته و یا برعکس، باعث متاسوماتیزم و در نتیجه تشکیل و گسترش اسکارن شده است.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت‌های مالی کمیته تحقیقات دانشگاه شیراز و آزمایشگاه سنگ‌شناسی دانشگاه اصفهان در انجام این پروژه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## مراجع

- ارشد، دانشگاه اصفهان، صفحه ۹۸-۱۲۳.
- نوری خانکهدانی، ک. سبزه‌ئی، م. وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۸۵، "خاستگاه گنیس‌های بن دونو خاور بوانات- استان فارس" مجله علوم زمین، صفحه ۱۶۰-۱۷۷.
- هوشمندزاده، ع. سهیلی، م.، ۱۳۶۹، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اقلید (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰)" سازمان زمین‌شناسی کشور.
- Alderton, D. H. M., Pearce, J. A., and Potts, P. J., 1980,** "Rare earth element mobility during granite alteration. Evidence from southwest England", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 49, No. 1, P.149-165.
- Alizadeh, A., Sarkarinejad, K., 2009,** "Dynamic model for the exhumation of the Tutak gneiss dome within a bivergent wedge in the Zagros Thrust System of Iran", *Journal of Geodynamics*, Vol. 47, P.201-209.
- Alric, G. and Virlogeux, D., 1977,** "Petrographie et geochemie des roches metamorphiques et magmatiques de la region de Dehbid, Bavanat, chaine de Sanandaj-Sirjan, Iran", *PhD thesis, Universite scientifique et medicale de Grenoble*, P 80-98.
- Barker, A., 1991,** "Introduction to metamorphic textures and microstructures", *New York, Blackie*. P.300.
- Brown, V. S., Baker, T., Stephens, J. R., 2002,** "Ray gulch tungsten skarn, Dublin Gulch, central Yukon: gold-tungsten relationships in intrusion-related ore systems and implications for gold exploration", *Yukon exploration and geology*, P.259-268.
- Burt, D. M., 1977,** "Mineralogy and petrology of skarn deposits", *Italiana Mineralogia Petrolgia Rendiconti*, Vol. 33, P.859-873.
- Buttner, S. H., 1999,** "The geometric evolution of structures in granite during continuous deformation from magmatic to solid state condition", *American Mineralogist*, Vol. 84, P.1781-1792.
- Carig, J. R., Vaughan, D. J., Hagni, R. D., 1981,** "Ore microscopy and ore petrography", *New York: Wiley*. P.406.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1992,** "An introduction to the rock-forming minerals", *Hong Kong: Longman Scientific and Technical*. P.528.
- Einaudi, M. T., Burt, D. M., 1982,** "Introduction-terminology, classification, and composition of skarn deposits", *Economic Geology*, Vol. 77, P.745-754.
- Einaudi, M. T., 1982,** "General features and origin of skarns associated with porphyry copper plutons, Southwestern North America", *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America: Tucson, University of Arizona Press*, P.185-210.
- Evensen, N. M., Hamilton P. J. and O'Nions R. K., 1978,** "Rare earth abundances in chondritic meteorites", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 42, P.1199-1212.
- Gaspar, M., Knaack, C., Meinert, L. D., Moretti, R., 2008,** "REE in skarn systems: A LA-ICP-MS study of garnets from the Crown Jewel gold deposit", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 72, P.185-205.
- امینی، م. ج.، ۱۳۷۹، "پتانسیل کانی‌سازی آهن- منگنز کوه سفید توتک (استان فارس- ایران)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۲۵ صفحه.
- اویسی، ب.، ۱۳۸۲، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سوریان مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسینی، ب. قربانی، م. پورمعافی، س. م. رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۰، "سن‌یابی و تحولات آذرین و دگرگونی تاقدیس کوه سفید توتک در زون سنندج- سیرجان جنوبی" فصلنامه زمین‌شناسی ایران، صفحه ۱۷-۲۹.
- کشتکار، غ. ع.، ۱۳۸۱، "بررسی پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های گرانیتوئیدی و دگرگونی ناحیه‌ای کمپلکس توتک" پایان‌نامه کارشناسی

- Humphris, E., 1984**, "The mobility of the REE in the crust", *Rare Earth Element Geochemistry*, P.317-342.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971**, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 8, No. 5, P.523-548.
- Karimzadeh Somarin, A., 2004**, " Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 81, P.47-57.
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M. 1989**, "Tectonic discrimination of granitoids", *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 101, No. 5, P.635-643.
- Meinert, L. D., Dipple, G. M., Nicolescu, S., 2005**, "World Skarn Deposits", *Economic Geology*, Vol. 100, P.299-336.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., 1996**, "Microtectonics", *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*, P.289.
- Pearce, J. A., Harris, N. B., and Tindle, A. G., 1984**, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock", *Journal of petrology*, Vol. 25, No. 4, P.956-983.
- Sokoutis, D., Bonini, M., Medvedev, S., Boccaletti, M., Talbot, C. J. and Oyi, H., 2000**, "Indentation of a continent with a built-in thickness change: Experiment and nature", *Tectonophysics*, P.243-270.
- Takahashi, M., Aramake, S., Ishihara, S., 1980**, "Magnetite-series/ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids", *Japanese Society of Mining and Geology*, Vol. 8, P.13-28.
- Tracy, R. J., Frost, B. R., 1991**, "Phase equilibria and thermobarometry of calcareous, ultramafic and mafic rock, and iron formation", *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 26, No.1, P.207-289.
- Vassileva, R. D., Bonev, I. K., 2001**, "Manganoan amphiboles from the skarn ore Pb-Zn deposits in the Madan district, Central Rhodopes, Bulgaria", *Bulgarian Academy of Sciences*, Vol. 38, P.45-53.

