

زمین شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگهای آذرین مرتبط با کانسار اسکارن آهن چالو، جنوب دامغان، استان سمنان

نادر تقی پور، قاسم قربانی و مریم درانی

دانشگاه دامغان، دانشکده علوم زمین

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۵

taghipour@du.ac.ir

چکیده

کانسار اسکارن آهن چالو در جنوب دامغان واقع شده است. توده های آهنی همراه با سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت و آندزیت داسیتی سنگ میزبان کانی زایی در این کانسار می باشند. توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن چالو از نوع دیوریت می باشند. توده های نفوذی این کانسار به لحاظ ژئوشیمیایی از نوع کالک آلکالن هستند و دارای ماهیت متالومین متعلق به گرانیتوئیدهای نوع I قوس های آتشفشانی می باشند. آنومالی منفی عناصر با پتانسیل یونی بالا (HFSE) مانند Nb, Ti, Ta و آنومالی های مثبت K, Pb یک جایگاه کمان قاره ای مرتبط با فرورانش را برای این توده های نفوذی پیشنهاد می کند. مقدار SiO_2 توده های نفوذی کانسار چالو با ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن جهانی مطابقت دارد. مقادیر اکسیدهای اصلی Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , P_2O_5 این توده ها با ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس جهانی همخوانی دارند. نسبتهای Rb/Ba , Rb/Nb و Zr/TiO_2 توده نفوذی کانسار چالو مشابه ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانسارهای اسکارن مس می باشد و همچنین مقادیر Y+Nb این توده ها با کانسارهای اسکارن آهن و مس جهانی همخوانی دارد. نسبت Ga/Al کانسار آهن چالو نیز با مقدار این نسبت در توده های با قابلیت ایجاد کانسارهای اسکارن آهن نیز همخوانی خوبی نشان می دهد. مقایسه ترکیب میانگین توده نفوذی کانسار چالو با ترکیب میانگین توده های نفوذی کانسارهای اسکارن آهن و مس، پیشنهاد اکتشاف احتمالی مس در کانسار چالو را یادآوری می کند.

کلمات کلیدی: سنگ های نفوذی، کانی زایی آهن، اسکارن، چالو، دامغان

مقدمه

منطقه چالو در بخش شمالی واحد ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. کانسار آهن چالو در جنوب شهرستان دامغان و در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان قرار دارد. این کانسار بین طول جغرافیایی $54^{\circ}32'$ تا $54^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ}20'$ تا $35^{\circ}25'$ شمالی قرار گرفته است. منطقه معلمان از نظر زمین شناسی ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار گرفته است (اشراقی، ۱۳۸۵). این منطقه به نام باریکه ترود - چاه شیرین نامگذاری شده است که میان دو گسل اصلی ترود و انجیلو قرار گرفته است که در بخش شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای گرفته است. زیر پهنه ترود-چاه شیرین دارای رخنمون هایی از سنگ های دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک و نهشته های آذرین-رسوبی ترشیری می باشد.

روش مطالعه

برای بررسی پتروگرافی، دگرسانیهای کانسار اسکارن آهن چالو از توده های نفوذی، سنگهای آتشفشانی و همچنین بخش کانی زایی نمونه برداری شد و مقاطع نازک و صیقلی از این نمونه ها تهیه شد. همچنین از توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن در کانسار چالو و همچنین سنگهای آتشفشانی موجود در محدوده کانسار، تعداد ده نمونه انتخاب و به آزمایشگاه AIs Chemex برای آنالیز ژئوشیمیایی به کشور کانادا ارسال گردید. اکسیدهای اصلی به روش ICP-AES و عناصر فرعی و کمیاب به روش ICP-MS مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. حد تشخیص دستگاه برای آنالیز اکسیدهای اصلی ۰/۰۱ درصد و برای عناصر فرعی و کمیاب ۰/۰۱ ppm بوده است. با توجه به اینکه برای نامگذاری سنگهای منطقه نیاز به استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی است، سعی شده است که از آنالیزهای موجود، نمونه های غیر دگرسان و یا با

کربنات ها که شامل گارنت، کلسیت، اکتینولیت، کوارتز، تالک و موسکویت می باشد (شکل ۳ الف)، نشاندهنده کانیهای شاخص اسکارن می باشند.

بافت و مجموعه کانی شناسی توده نفوذی به شرح زیر است: بافت غالب گرانولار، میکروگرانولار و پورفیریتیک با خمیره میکروگرانولار است. بافت های میرمکتی، پوئی کیلیتیک نیز مشاهده می شود. پلاژیوکلاز به صورت شکل دار تا بی شکل، دارای ساختمان منطقه ای است. برخی بلورها دگرسانی به سریسیت، کانی های رسی، کلسیت و اپیدوت را نشان می دهند (شکل ۳- ب و ج). دگرسانی عموماً به صورت نوسانی در بخش های مختلف بلور مشاهده می شود. ترکیب آنها در حد اولیگوکلاز تا آندزین است. در حاشیه آنها و در کنتاکت با آلکالی فلدسپار ها هاله ای از بلورهای کرمی شکل کوارتز به صورت بافت میرمکتی مشاهده می شود. کوارتز به صورت بی شکل و به مقدار کم در فضای بین دیگر کانی ها وجود دارد. آلکالی فلدسپار نیمه شکل دار تا بی شکل، در برخی نمونه ها در اطراف پلاژیوکلازها (بافت آنتی راپاکیوی) و در فضاهای خالی بین کانی ها دیده می شوند. ترکیب آنها از نوع ارتوز پرتیتی و در اثر دگرسانی تا حدودی به سریسیت و کانی های رسی تجزیه شده اند. آمفیبول، کلینوپیروکسن و بیوتیت کانی های مافیک اصلی این سنگ ها است. آمفیبول به صورت خودشکل تا بی شکل و ترکیب آنها از نوع اکتینولیت و هورنبلند است. برخی از بلورها از حاشیه به اکسید آهن، تیتانیت و کلریت تبدیل شده اند. کلینوپیروکسن از نوع اوژیت و برخی در حاشیه به اکسید آهن و به آمفیبول اورالیته شده اند و واجد ادخال آپاتیت هستند (شکل ۳- د). بیوتیت به مقدار کم با اشکال خود شکل تا بی شکل و با چندرنگی قهوه ای تا زرد کم رنگ وجود دارد. برخی از بیوتیت ها به اکسید آهن، کلریت و اسفن تجزیه شده اند. کانی های فرعی شامل زیرکن، آپاتیت، تورمالین، اوپک و اسفن است. تورمالین به صورت شعاعی در برخی نمونه ها وجود دارد. کانی های ثانویه شامل سریسیت، کانی های رسی، کلریت، اپیدوت، اکسیدهای آهن، ترمولیت - اکتینولیت و اسفن است.

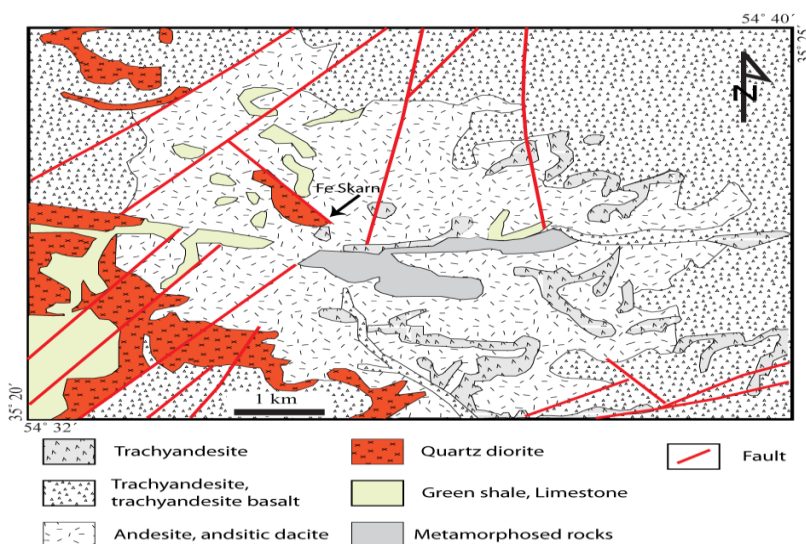
حداقل دگرسانی جدا و مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این آنالیزها در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

زمین شناسی کانسار

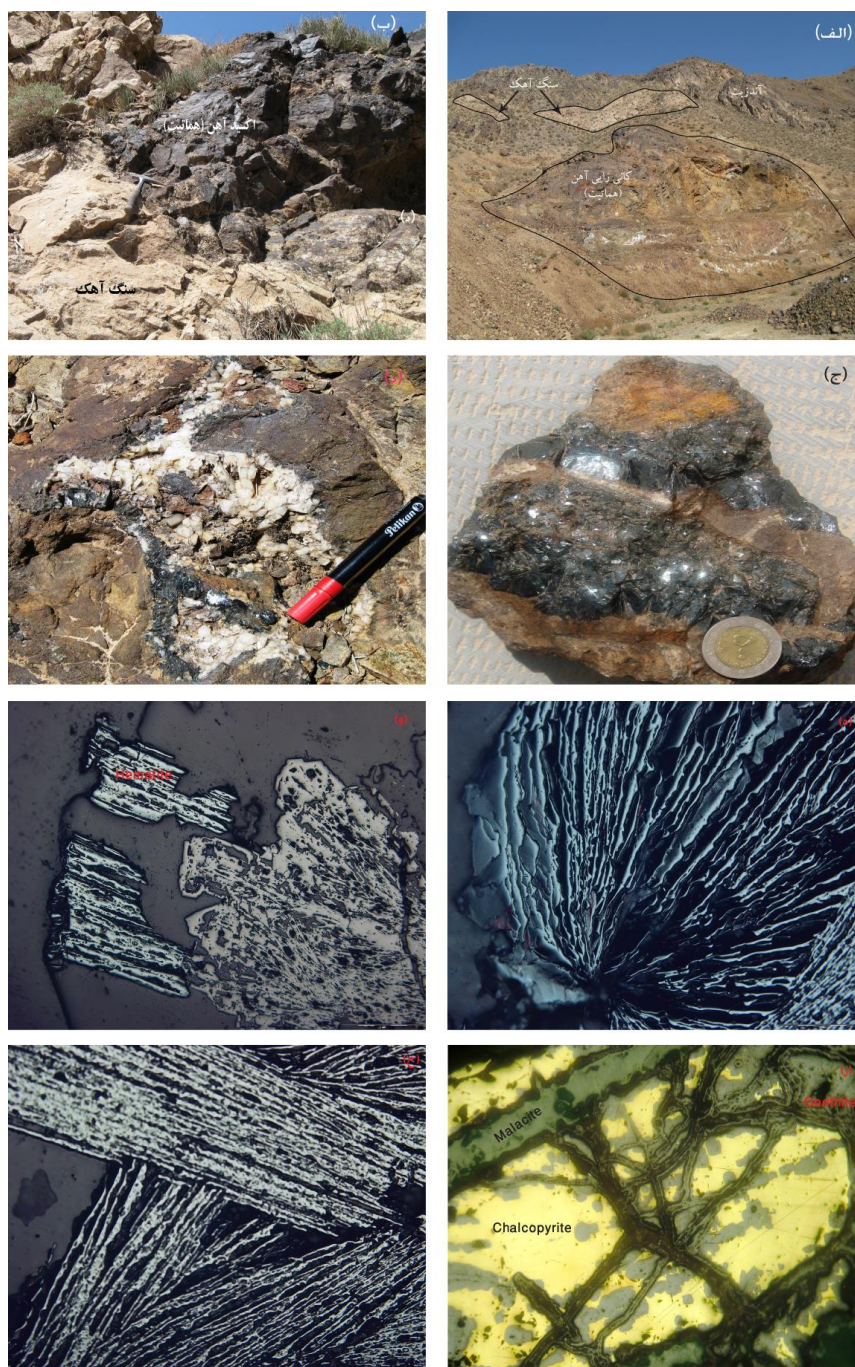
سنگ میزبان کانی زایی در این کانسار، توده های آهکی همراه با سنگهای آتشفشانی با ترکیب آندزیت و آندزیت داسیتی می باشد (شکل ۱-). توده های نفوذی با ترکیب کوارتز دیوریت و دیوریتی به داخل سنگهای آتشفشانی و سنگ آهکها نفوذ کرده است. در محل تماس این توده ها با سنگهای آتشفشانی و آهکها کانی زایی آهن به صورت هماتیت صورت گرفته است (شکل ۲ الف و ب). کانی زایی آهن در کانسار چالو غالباً به صورت هماتیت ورقه ای (اسپیکولاریت) می باشد که هم در نمونه دستی و هم در مقاطع صیقلی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۲ ج و ه و ح). کانی زایی آهن در این کانسار به صورت توده ای و همچنین پر کننده فضای خالی دیده می شود. در داخل سنگ آهک کانی زایی آهن به صورت هماتیت ورقه ای همراه با بلورهای کوارتز دیده می شود (شکل ۲ د). علاوه بر هماتیت، مقدار کمی کانی مگنتیت نیز در مقاطع صیقلی دیده می شود. البته مقدار آن در مقایسه با هماتیت بسیار اندک می باشد (شکل ۲ و). در این کانسار، کانیهای فلزی سولفیدی دیگری مانند کالکوپریت قابل مشاهده است که به صورت افشان و همراه با هماتیت دیده می شوند. معمولاً کانی کالکوپریت تحت تاثیر فرایندهای سطحی قرار گرفته و به کانیهای مالاکیت و گوئیت دگرسان شده است (شکل ۲ ز).

پتروگرافی و دگرسانی

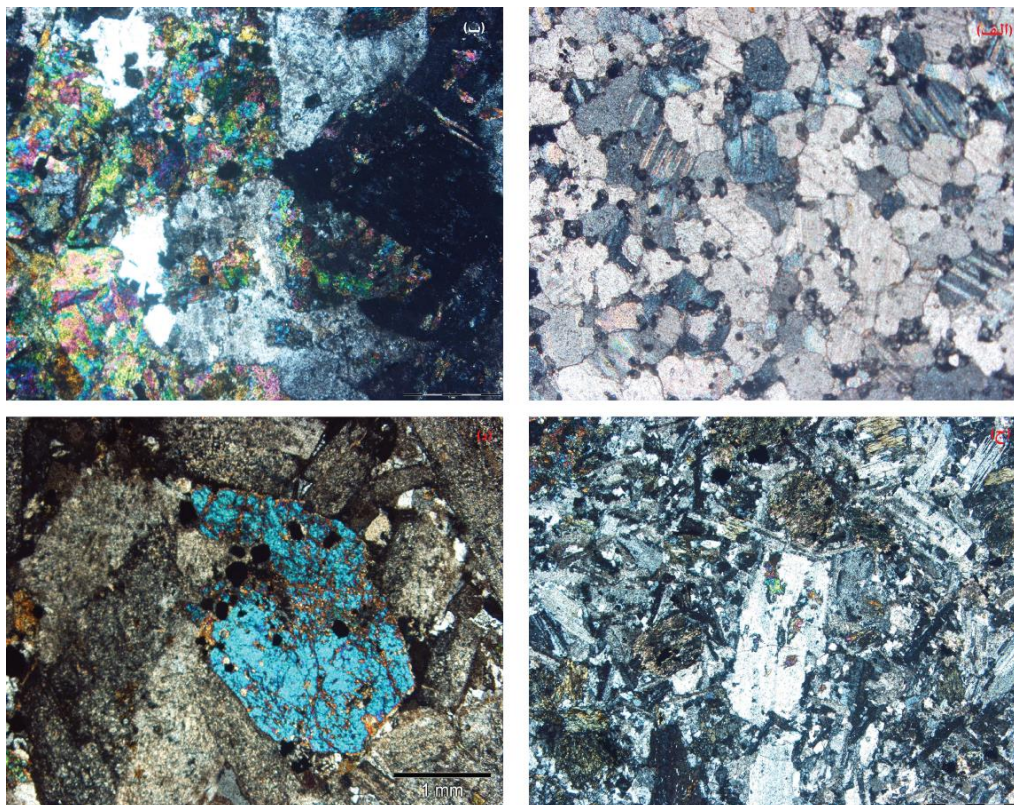
رنگ توده های نفوذی چالو در صحرا و در نمونه دستی خاکستری تیره تا متمایل به سبز است و دگرسانی پروپلیتی و آرزیلیتی باعث رنگ خاکستری متمایل به سبز این سنگ ها در سطح شده است. میزبان توده نفوذی، سنگ های آتشفشانی ائوسن میانی و بطور موضعی در بخش شمال توده نفوذی، سنگ های میزبان را سنگ های کربناته کرتاسه تشکیل می دهند. سنگ آهن چالو نیز در محل تماس بین این توده و سنگ های کربناته و آتشفشانی تشکیل شده است. مجموعه کانی شناسی موجود در محل تماس بلافاصله توده با این



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه چالو (با تغییرات از اشراقی، ۱۳۸۵).



شکل ۲. الف) رابطه بین کانی زایی آهن با سنگهای آهکی و آتشفشانی. ب) مرز تماس کانی زایی آهن با سنگ آهک. ج) تشکیل هماتیت ورقه ای (اسپکیولاریت) با بافت شعاعی در سنگ آهک. د) کانی زایی هماتیت ورقه ای همراه با بلورهای کوارتز در سنگ آهک. ه) تشکیل هماتیت های به صورت ورقه ای و شعاعی. و) حضور مگنتیت همراه با هماتیت اولیه. ح) تجزیه کالکوپیریت به کانیهای ثانویه اکسیدی مانند گوئتیت و ملاکیت.



شکل ۳. الف) کانی های گارنت و کلسیت در کنتاکت بلا فصل توده نفوذی و سنگ های میزبان کربناتی. ب و ج) اپیدوتی شدن در کانی های پلاژیوکلاز. د) کانی های پلاژیوکلاز و پیروکسن.

گیرند (شکل ۶). ماهیت توده های نفوذی در این منطقه نیز در نمودار $Zr+Nb+Ce+Y$ در مقابل Na_2O+K_2O/CaO در محدوده گرانیت های نوع S و I نرمال قرار می گیرد و در نمودار SiO_2 در مقابل Y نیز ترکیب این توده ها در محدوده گرانیت های نوع I قرار می گیرند (شکل ۷). حضور کانیهای آمفیبول، پیروکسن و بیوتیت و عدم حضور کانیهای مسکویت و آلومینوسیلیکانه نیز تأیید کننده نوع I این توده های نفوذی می باشد. الگوی توزیع عناصر کمیاب در توده های نفوذی مربوط به این کانسار دارای روند کاهشی از سمت عناصر کمیاب خاکی سبک به سمت عناصر کمیاب خاکی سنگین می باشد (شکل ۸ الف). این الگو گویای سازگاری توده های نفوذی این منطقه با سری ماگمایی کالک آلکان مرتبط با کمان آتشفشانی می باشد (Müller, et al., 1993). آنومالی منفی عناصر با پتانسیل یونی بالا (HFSE) مانند Nb, Ti, Ta و آنومالی های مثبت K, Pb (شکل ۸ ب) یک جایگاه کمان قاره ای مرتبط با فرورانش را برای این توده های نفوذی پیشنهاد می کند (Wilson, 1989).

زمین شیمی توده های نفوذی

در نمودار K_2O در مقابل SiO_2 ترکیب توده های نفوذی محدوده کانسار آهن چالو از نوع دیوریت می باشند (شکل ۴). در نمودار سه تایی AFM (Irvine and Baragar, 1971) نمونه های مربوط به کانسار چالو در محدوده کالک آلکان قرار می گیرند. همچنین در این نمودار، محدوده جهانی کانسارهای اسکارن آهن و مس نیز ترسیم شده است (Meinert, 1995) و ترکیب شیمیایی نمونه های مربوط به کانسار چالو نیز در محدوده ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس قرار می گیرد (شکل ۵). در نمودار شند (۱۹۴۳) که برای تعیین درجه اشباع از آلومین سنگها استفاده می شود، نمونه های مربوط به توده های نفوذی مرتبط با کانسار آهن چالو در محدوده قلمرو متاآلومین قرار می گیرند. همچنین این نمونه ها در محدوده ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس نیز قرار می

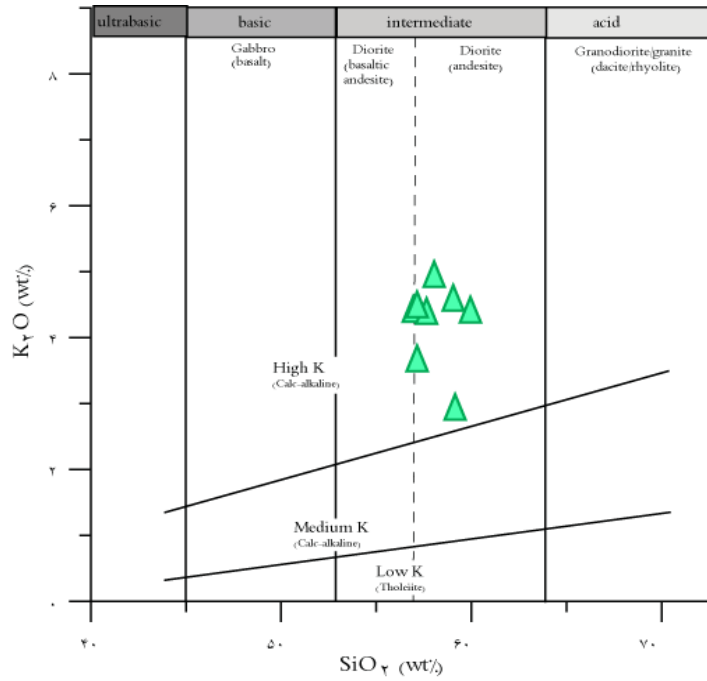
جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی اکسیدهای اصلی نمونه های توده نفوذی و سنگ آتشفشانی در محدوده کانسار چالو (مقادیر بر حسب درصد وزنی).

Samples	سنگ آتشفشانی									
	ch-1	chp-1	chp-2	chp-3	chp-4	chp-6	chp-7	chp-9	chv-1	chv-2
SiO ₂	۵۹/۲	۵۹/۱	۵۷	۶۰	۵۷/۷	۵۷/۲	۵۸/۱	۵۷/۲	۵۳/۲	۵۳/۸
Al ₂ O ₃	۱۶/۰۵	۱۵/۹۵	۱۵/۶	۱۵/۸	۱۵/۳	۱۵/۷۵	۱۵/۴۵	۱۵/۳۵	۱۵/۳۵	۱۶/۴۵
Fe ₂ O ₃ *	۵/۳۱	۵/۶۹	۵/۶۳	۵/۴۹	۵/۴۷	۶/۱۹	۵/۷۷	۵/۷۷	۶/۶۷	۷/۷۲
CaO	۴/۱۳	۴/۲۹	۴/۳۶	۴/۶۸	۴/۲۴	۴/۹۴	۴/۸۶	۵/۰۷	۶/۱۵	۵/۰۲
MgO	۱/۹۸	۳/۰۱	۳/۰۳	۲/۸۹	۲/۸۲	۳/۵۵	۳/۲۴	۳/۰۵	۳/۷۵	۳/۱۱
Na ₂ O	۵/۷۴	۴/۰۷	۴/۰۶	۳/۹۷	۴/۲۷	۳/۷۶	۳/۴۲	۳/۹۳	۱/۲۶	۴/۲۵
K ₂ O	۲/۸۷	۴/۵۳	۴/۳۶	۴/۳۵	۴/۳۳	۳/۶۱	۴/۸۹	۴/۴۳	۴/۸۵	۴/۹۳
Cr ₂ O ₃	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
TiO ₂	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۸۱
MnO	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۴	۰/۲۱
P ₂ O ₅	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۵۳
SrO	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱۸
BaO	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۱۴
LOI	۴/۸۷	۲/۸	۴/۴	۰/۸	۲/۲	۲/۵۹	۱/۵	۲/۲	۷/۰۷	۱/۹
Total	۱۰۱/۵	۱۰۰/۵	۹۹/۶	۹۹/۲	۹۷/۵	۸۹/۹	۹۸/۶	۹۸/۲	۱۰۰	۹۹/۱

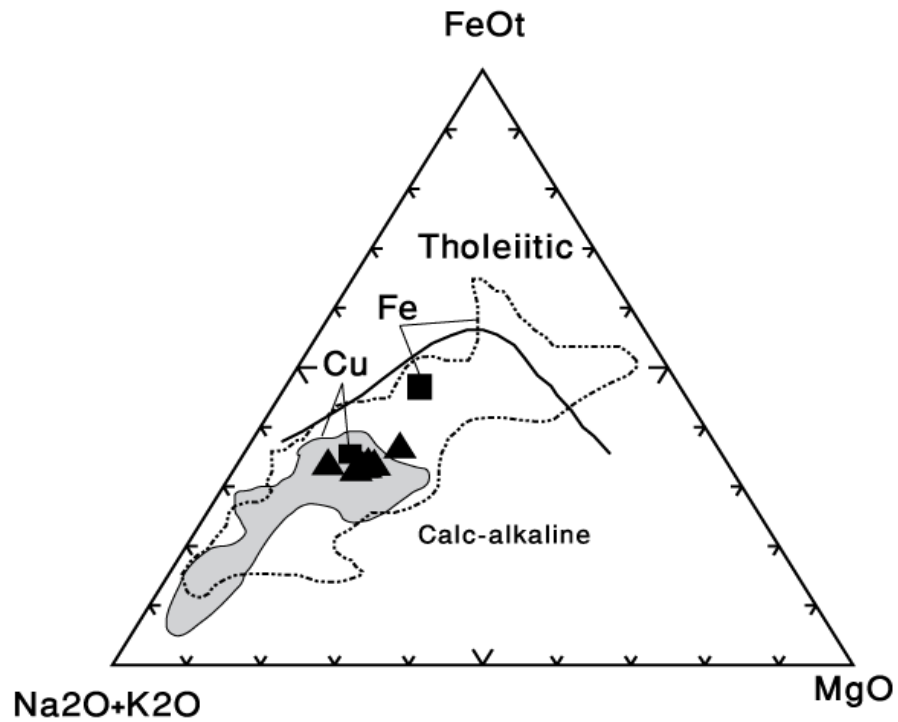
* مقدار آهن کل به صورت Fe₂O₃ بیان شده است

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر فرعی و کمیاب در نمونه های سنگهای آذرین درونی و بیرونی در محدوده کانسار چالو (مقادیر بر حسب ppm).

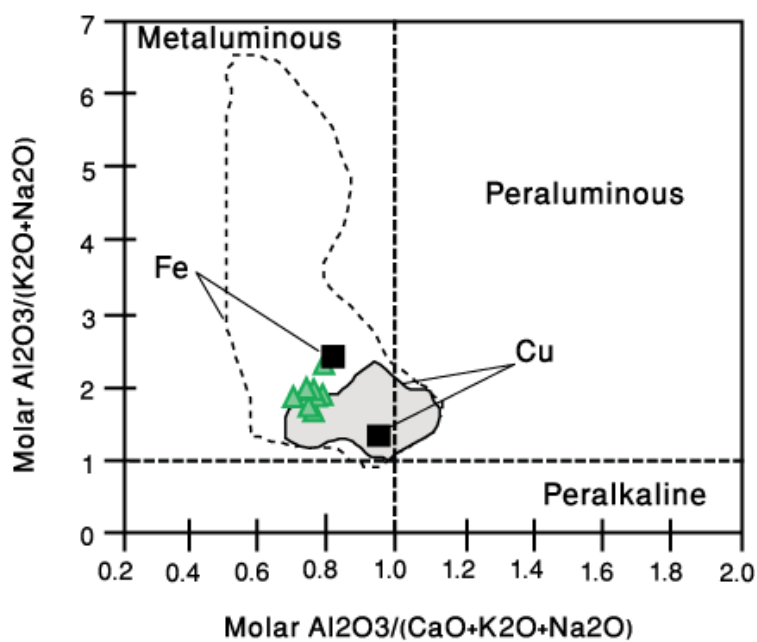
Elements	ch-1	chp-1	chp-2	chp-3	chp-4	chp-6	chp-7	chp-9	chv-1	chv-2
Ba	۲۸۲۰	۶۵۷	۸۱۳	۵۸۴	۶۲۷	۸۵۳	۱۳۷۵	۵۸۳	۱۳۵۰	۱۲۳۵
Ce	۱۰۳	۵۷/۲	۶۱/۸	۶۱/۷	۶۱/۸	۶۶/۹	۶۲/۵	۶۳/۹	۵۷/۵	۹۲/۵
Co	۱۰۳	۱۳/۹	۱۲/۷	۱۴/۹	۱۳/۲	۱۴/۷	۱۶/۲	۱۶/۷	۱۹	۱۸/۷
Cr	۱۰	۸۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۴۰
Cs	۰/۳۴	۰/۷۱	۰/۳۶	۱/۰۱	۰/۵۷	۱/۱۴	۱/۲۷	۰/۹۲	۱/۳۲	۱/۵۴
Cu	۱۰	۹۲	۱۰۴	۶۸	۸۴	۶۶	۳۴	۸۸	۱۱۰	۱۳۲
Dy	۳/۱۷	۲/۹۴	۳/۰۸	۳/۱۱	۳/۰۳	۳/۸۳	۳/۷۵	۳/۳	۳/۵۴	۴/۲۹
Er	۱/۸۷	۱/۶۹	۱/۷۹	۱/۸۶	۱/۷۵	۲/۱۴	۲/۲۲	۱/۸۷	۲/۱	۲/۳۳
Eu	۱/۶۲	۱/۲۳	۱/۴۳	۱/۳	۱/۲۸	۱/۵۳	۱/۴۷	۱/۳۳	۱/۳۱	۱/۱۹
Ga	۱۹/۸	۱۷/۹	۱۸/۲	۱۸/۳	۱۷/۹	۱۹/۳	۱۷/۹	۱۸	۱۶/۶	۲۱/۲
Gd	۴/۸۳	۴/۰۵	۴/۵۵	۴/۴۳	۴/۳۸	۵/۲۵	۵/۱۳	۴/۵۶	۴/۶۲	۶/۷۹
Hf	۵/۳	۴/۹	۵	۴/۸	۵	۵/۴	۵/۳	۵/۴	۴/۸	۵/۳
Ho	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۶	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۷۱	۰/۸۳
La	۶۲/۷	۳۰/۳	۳۲/۸	۳۲/۲	۳۲/۸	۳۴	۳۱/۹	۳۲/۶	۲۹/۹	۴۸/۵
Lu	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۲
Nb	۳۲	۰/۸	۹	۸/۶	۹	۸/۲	۸/۶	۹/۹	۹/۳	۹/۹
Nd	۳۴/۶	۲۴/۷	۲۶/۷	۲۵/۸	۲۶/۱	۳۰/۱	۲۸/۵	۲۷/۳	۲۵/۱	۴۱/۸
Ni	۵	۲۴	۲۱	۲۲	۲۰	۲۴	۲۴	۲۳	۲۰	۱۹
Pb	۱۳	۱۲	۸	۱۱	۲۰	۱۷	۱۲	۹	۱۴	۴۵
Pr	۱۰/۲۵	۶/۶۷	۷/۱۴	۷/۰۳	۷/۰۷	۷/۷۵	۷/۵۷	۷/۳۵	۶/۵۸	۱۰/۹
Rb	۶۴/۱	۸۹/۷	۷۴/۹	۹۸/۵	۸۷/۱	۸۷/۳	۱۰۸	۱۰۷/۵	۱۰۴/۵	۱۰۱/۵
Sm	۵/۳۹	۴/۶۲	۴/۹۶	۴/۸۱	۴/۷۷	۵/۷۶	۵/۵۲	۵/۰۴	۴/۷۷	۷/۷۲
Sr	۱۰۳۰	۸۶۰	۵۶۴	۱۰۱۰	۶۹۴	۱۰۳۰	۱۰۰۵	۸۵۹	۵۴۵	۱۵۴۰
Ta	۲/۳	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۷
Tb	۰/۶۲	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۹
Th	۱۶/۸۵	۸/۶۵	۹/۲۸	۹/۲۹	۹/۵۵	۷/۹۷	۹/۱۳	۹/۶۴	۸/۳۶	۹/۲۵
Tm	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۳
U	۳/۷	۲/۰۶	۲/۹۴	۲/۰۲	۲/۷۲	۱/۹۹	۱/۸۴	۲/۲۹	۲/۶۴	۲/۷۹
V	۱۰۴	۱۶۳	۱۶۶	۱۵۷	۱۶۳	۱۷۷	۱۷۳	۱۷۵	۲۱۰	۲۲۸
Y	۱۷/۳	۱۵/۵	۱۶/۶	۱۶/۹	۱۵/۶	۲۰	۱۹/۸	۱۶/۹	۱۸/۷	۲۲/۴
Yb	۱/۷۳	۱/۵۸	۱/۶۵	۱/۷۲	۱/۶۳	۱/۹۶	۲/۰۷	۱/۷۹	۱/۹۲	۲/۲۴
Zn	۱۱۷	۷۰	۱۱۰	۴۹	۶۷	۷۹	۷۰	۵۱	۲۲۰	۱۶۴
Zr	۲۱۰	۱۷۸	۱۷۹	۱۷۱	۱۸۲	۲۰۳	۱۹۲	۱۹۵	۱۷۱	۱۹۸



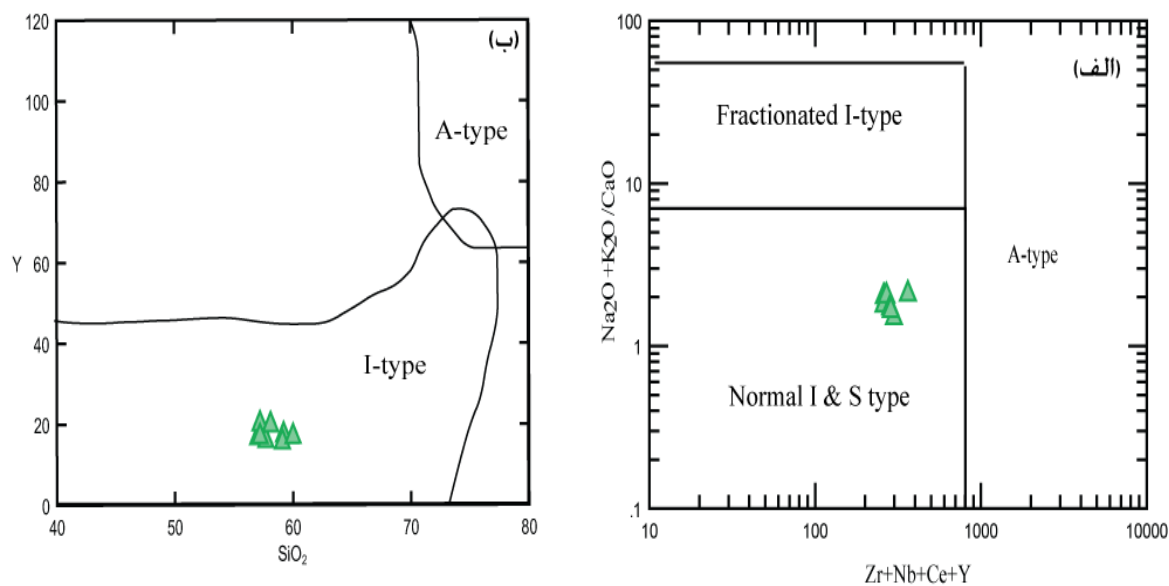
شکل ۴. نامگذاری توده های نفوذی محدوده کانسار چالو در نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Vry, et al., 2010).



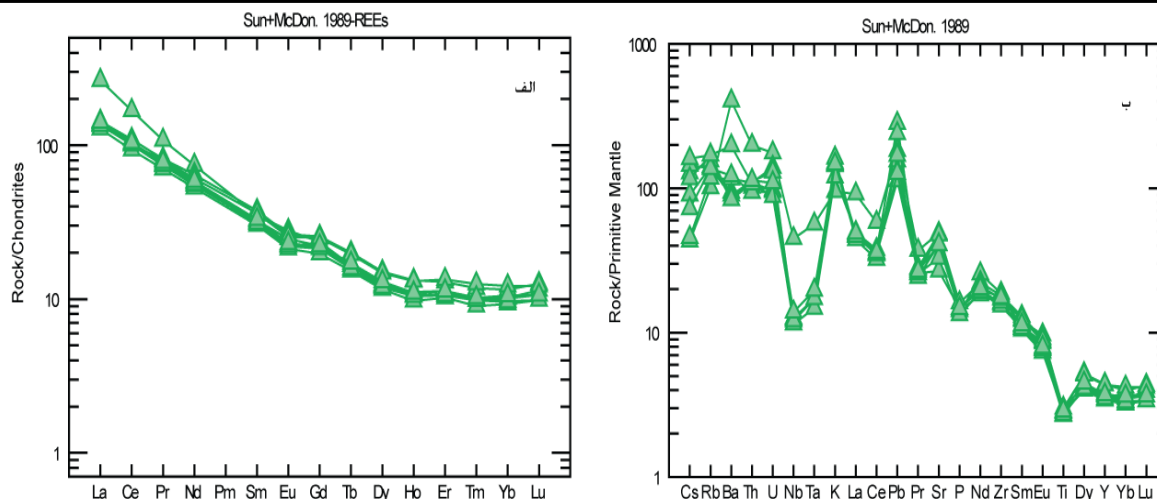
شکل ۵. موقعیت توده نفوذی کانسار چالو در نمودار سه تایی AFM (Irvine and Baragar, 1971) و محدوده ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس



شکل ۶. موقعیت توده نفوذی کانسار چالو در نمودار ضریب اشباع شدگی آلومینیوم (Shand, 1943) و محدوده توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس



شکل ۷. موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه در نمودارهای تعیین کننده ماهیت ماگمایی (Chappell and White, 2001).



شکل ۸. الف) الگوی پراکندگی عناصر کمیاب خاکی در توده های نفوذی کانسار چالو که نسبت به کندریت بهنجار شده است. ب) نمودار عنکبوتی عناصر فرعی توده نفوذی مرتبط با کانی زایی آهن در کانسار چالو بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989).

توده های نفوذی و نوع کانسار سازی اسکارن به خوبی مشخص شده است (Meinert, 1995). بنابراین با این مقایسه می توان نوع کانی زایی همراه با توده های نفوذی کانسار چالو را پیش بینی نمود. مقدار SiO_2 توده های نفوذی کانسار چالو با توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن جهانی مطابقت دارد اما مقادیر اکسیدهای اصلی Al_2O_3 ، TiO_2 ، MgO ، P_2O_5 این توده ها با ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس جهانی همخوانی دارند (جدول ۳). در نمودار V در مقابل Ni ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانسار چالو در محدوده ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس می باشد. همچنین در نمودارهای Zr در مقابل Rb/Sr و SiO_2 در مقابل MgO نیز توده های نفوذی کانسار چالو در محدوده ترکیب توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس قرار می گیرد (شکل ۸). در نمودار Zr در مقابل Ba، اکثر نمونه های توده نفوذی کانسار چالو در محدوده اسکارنهای آهن قرار می گیرند (شکل ۸). نسبتهای Rb/Nb، Rb/Ba، و Zr/TiO₂ توده نفوذی کانسار چالو مشابه ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانسارهای اسکارن مس جهانی می باشد و همچنین مقادیر Y+Nb این توده ها با کانسارهای اسکارن آهن و مس جهانی همخوانی دارد. نسبت Ga/Al کانسار آهن چالو با مقدار این نسبت در توده های با قابلیت ایجاد کانسارهای اسکارن آهن نیز همخوانی خوبی نشان می دهد (جدول ۳).

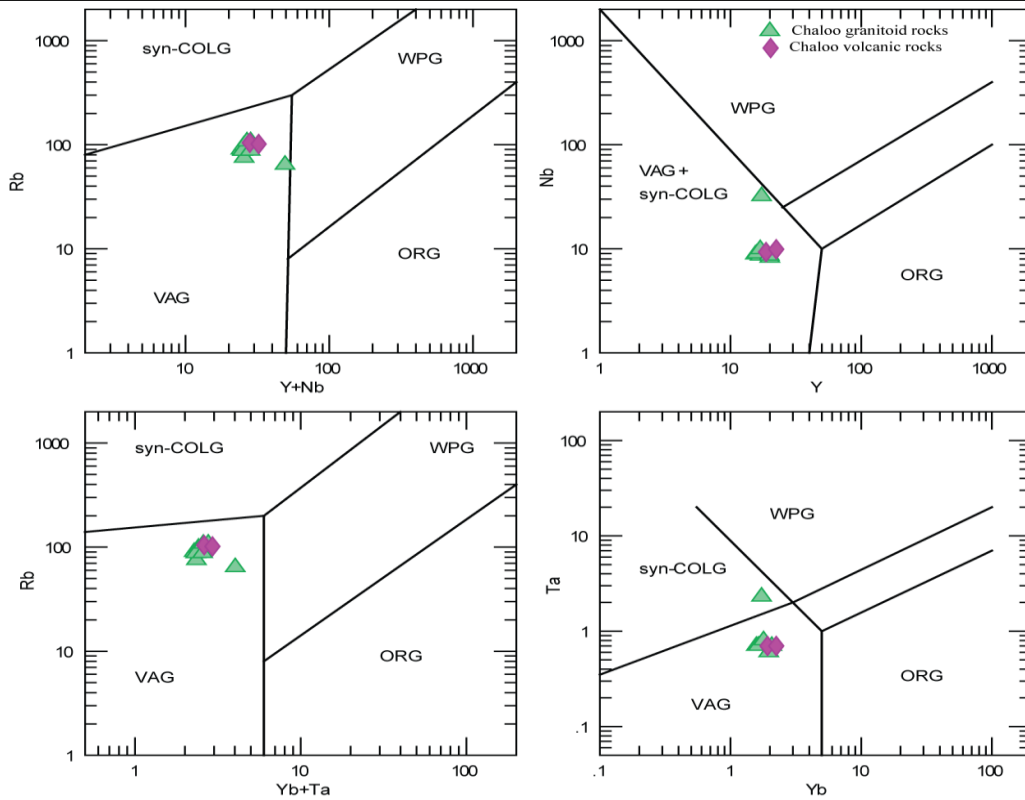
محیط تکتونیکی

جهت تعیین محیط تکتونیکی توده نفوذی کانسار آهن چالو از نمودارهای عناصر فرعی به دلیل عدم تحرک پذیری در اثر فرایندهای گرمایی استفاده شده است. در نمودار Nb در مقابل Y نمونه های توده نفوذی کانسار چالو در محدوده قوس آتشفشانی و همزمان با تصادم واقع می شوند (VAG + Syn-COLG) (شکل ۹). توده های گرانیتوئیدی VAG متعلق به حواشی فعال قاره ای هستند و با وجود پیرکسن، بیوتیت و هورنبلند از نوع I می باشند (Pearce, et al., 1984). در نمودارهای Rb در مقابل Yb+Ta و Rb در مقابل Y+Nb (Pearce, et al., 1984) نیز نمونه های توده نفوذی چالو در محدوده قوس آتشفشانی قرار می گیرند (شکل ۹). در نمودار Th/Hf در مقابل Ta/Hf (Schandal and Gorton, 2002) نمونه های توده نفوذی کانسار چالو در محدوده حاشیه فعال قاره ای قرار می گیرند (شکل ۱۰ الف) و در نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb (Condi, 1989) نیز این نمونه ها در موقعیت قوس حاشیه قاره ای واقع می شوند (شکل ۱۰ ب).

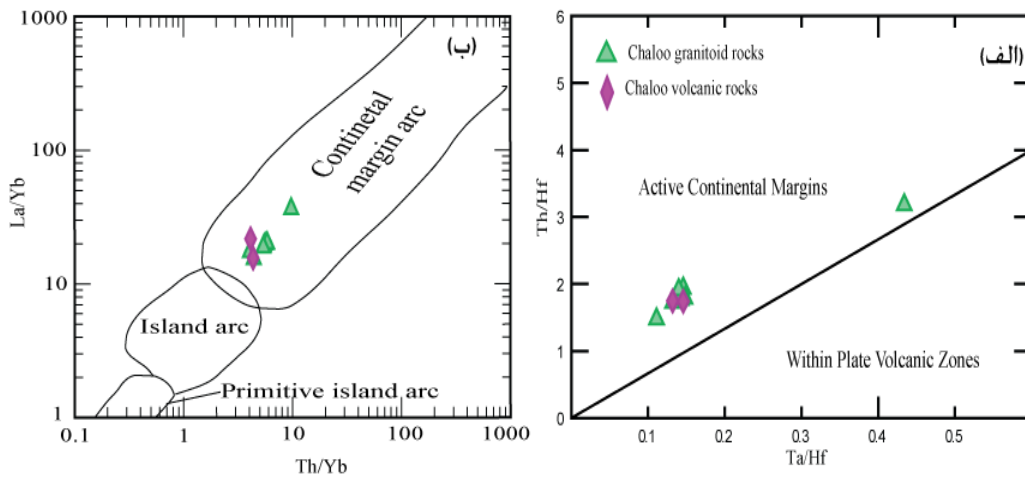
مقایسه کانسار چالو با توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی

اسکارن

در جدول ۳ مقادیر اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و کمیاب توده های نفوذی کانسار چالو با ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس جهانی مقایسه شده است. از آنجائیکه ارتباط بین ترکیب



شکل ۹. موقعیت نمونه های توده نفوذی مرتبط با کانی زایی آهن و سنگهای آتشفشانی در کانسار چالو در نمودارهای تعیین کننده موقعیت تکتونیکی (Maniar and Picooli, 1989)



شکل ۱۰. (الف) نمودار Th/Hf در مقابل Ta/Hf (Schandal and Gorton, 2002) و (ب) نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb (Condi, 1989) جهت تعیین محیط تکتونیکی توده های نفوذی و سنگهای آتشفشانی محدوده کانسار چالو

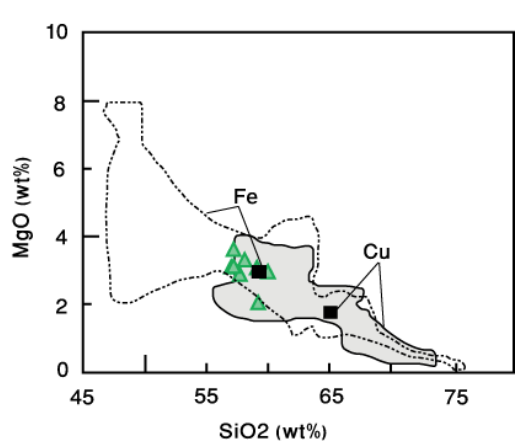
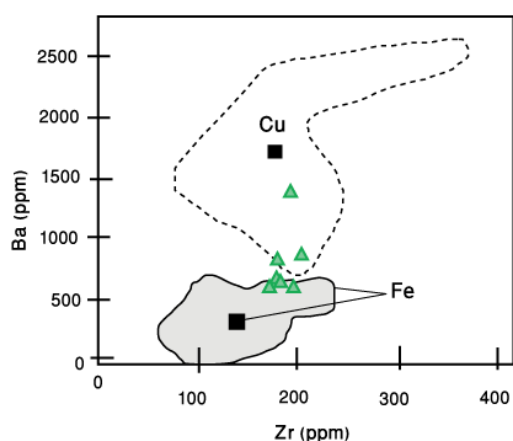
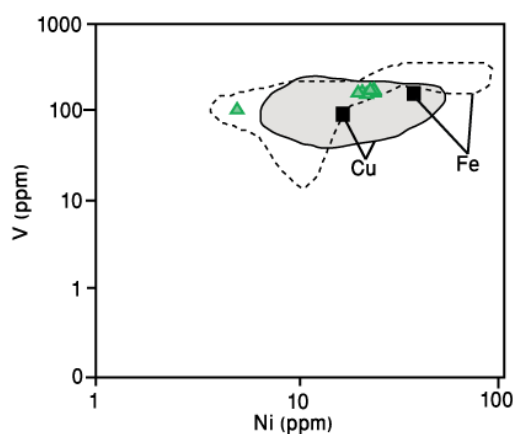
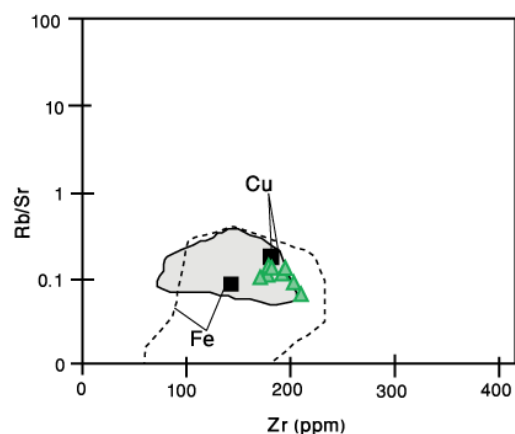
نتیجه گیری

نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس همخوانی دارند. مقادیر عناصر فرعی Cr, V, Ni این توده ها با توده های مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن مطابقت دارند. بدلیل همخوانی مقادیر اغلب اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی توده های نفوذی کانسار چالو با ترکیب میانگین توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس جهانی، نیاز به اکتشاف کانی زایی مس در این کانسار را نمایان می کند.

سپاسگزاری

این تحقیق مستخرج از طرح پژوهشی به شماره 88/Geo/72/135 می باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فن آوری دانشگاه دامغان انجام شده است.

توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی آهن در کانسار چالو از نوع دیوریت می باشند. توده های نفوذی این کانسار به لحاظ ژئوشیمیایی از نوع کالک آلکالن هستند و دارای ماهیت متآلومین متعلق به گرانیتوئیدهای نوع I قوس های آتشفشانی می باشند. آنومالی منفی عناصر با پتانسیل یونی بالا (HFSE) مانند Nb, Ti, Ta و آنومالی های مثبت K, Pb یک جایگاه کمان قاره ای مرتبط با فرورانش را برای این توده های نفوذی پیشنهاد می کند. احتمالاً این موقعیت تکتونیکی می تواند در ارتباط با بسته شدن حوضه های دور خرده قاره ایران مرکزی باشد. مقدار SiO_2 توده های نفوذی کانسار چالو با توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن مطابقت دارد. اما مقادیر اکسیدهای اصلی Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , P_2O_5 این توده ها با ترکیب میانگین توده های



شکل ۸. مقادیر عناصر فرعی توده های نفوذی کانسار چالو در محدوده ترکیبی توده های نفوذی مرتبط با کانی زایی اسکارن آهن و مس (محدوده ها از Meinert, 1995)

جدول ۳. مقایسه مقادیر اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و نسبت عناصر مختلف کانسار آهن چالو با متوسط جهانی کانسارهای اسکارن آهن و مس (داده ها به جز کانسار چالو از Meinert, 1995).

	Chaloo Fe skarn		Fe Skarns		Cu Skarns	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
SiO ₂	۵۸/۱۹	۵۷-۶۰	۵۹/۳	۴۷/۰-۷۵/۶	۶۴/۹	۵۵/۷-۷۲/۸
Al ₂ O ₃	۱۵/۶۶	۱۵/۳-۱۶/۰۵	۱۶/۸	۱۲/۲-۲۲/۷	۱۶/۰	۱۳/۲-۱۸/۵
TiO ₂	۰/۶۱	۰/۵۸-۰/۶۵	۰/۸	۰/۱-۳/۱	۰/۵	۰/۲-۱/۰
MnO	۰/۱۲	۰/۱-۰/۱۳	۰/۱	۰/۰-۰/۶	۰/۱	۰/۰-۰/۳
CaO	۴/۵۷	۴/۱۳-۵/۰۷	۷/۲	۰/۹-۲۲/۴	۳/۸	۱/۴-۷/۸
MgO	۲/۹۵	۱/۹۸-۳/۵۵	۳/۰	۰/۲-۷/۹	۱/۸	۰/۵-۳/۹
K ₂ O	۴/۱۷	۲/۸۷-۴/۸۹	۲/۱	۰/۲-۵/۶	۳/۶	۲/۰-۵/۵
Na ₂ O	۴/۱۵	۳/۴۲-۵/۷۴	۴/۰	۰/۶-۷/۵	۴/۰	۱/۱-۵/۰
P ₂ O ₅	۰/۳۱	۰/۲۹-۰/۳۲	۰/۳	۰/۰-۱/۵	۰/۳	۰/۱-۰/۴
Trace Elements (ppm)						
Ni	۲۰/۳۸	۵-۲۴	۳۵	۴-۱۶۱	۱۶	۷-۵۰
Cr	۶۳/۷۵	۱۰-۸۰	۸۱	۹-۳۰۳	۱۸	۵-۵۰
V	۱۵۹/۷۵	۱۰۴-۱۷۷	۱۵۲	۱۵-۳۱۳	۸۵	۱۶-۱۶۱
Ba	۱۰۳۹	۵۸۳-۲۸۲۰	۳۲۶	۱-۶۵۸	۱۴۶۶	۷۸۷-۲۵۶۲
Rb	۸۹/۶۴	۶۴/۱-۱۰۸	۳۹	۲-۱۳۷	۱۰۳	۴۸-۱۵۸
Sr	۸۸۱/۵۰	۵۶۴-۱۰۳۰	۵۰۵	۲۰۰-۹۸۱	۸۰۷	۲۶۵-۱۵۱۷
Zr	۱۸۸/۷۵	۱۷۱-۲۱۰	۱۴۱	۶۶-۲۲۷	۱۸۳	۷۹-۳۶۳
Y	۱۷/۳۶	۱۵/۵-۲۰	۲۴	۱۶-۳۵	۱۷	۳-۲۹
Nb	۱۱/۷۶	۹-۳۲	۹	۳-۲۱	۱۱	۳-۳۰
Ga	۱۸/۴۱	۱۷/۹-۱۹/۸	۱۷	۱۱-۲۳	۱۹	۱۵-۲۱
Cu	۶۷/۲۵	۱۰-۱۰۴	۴۳	۰-۱۹۶	۲۸۷	۰-۱۶۶۹
Zn	۷۶/۶۳	۴۹-۱۱۷	۵۷	۲۵-۹۱	۵۷	۲۲-۹۸
Pb	۱۲/۷۵	۸-۲۰	۵	۰-۴۰	۲۴	۱-۷۰
La	۳۶/۲۹	۳۰/۳-۶۲/۷	۱۶	۰-۴۵	۴۵	۱۴-۱۵۰
Ce	۶۷/۳۵	۶۱/۸-۱۰۳	۴۳	۱۹-۷۳	۷۸	۴۵-۱۵۰
Th	۱۰/۰۵	۷/۹۷-۱۶/۸۵	۵	۰-۳۰	۹	۲-۱۴
Ratios						
Rb/Sr	۰/۱	۰/۰۶-۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۰-۰/۴۵	۰/۱۹	۰/۱-۰/۵
Rb/Nb	۷/۶۲	۲-۱۲/۵۶	۳/۴	۰/۲-۶/۶	۱۳/۵	۵/۱-۳۸/۴
Rb/Ba	۰/۰۸	۰/۰۲-۰/۱۷	۱/۰۵	۰/۰۳-۹/۰	۰/۰۸	۰/۰-۰/۱
Zr/TiO ₂	۰/۰۳	۰/۰۲۹-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰-۰/۱
Y+Nb	۲۹/۱۲	۲۴/۳-۴۹/۳	۳۳/۳	۲۱/۷-۴۵/۵	۲۷/۴	۵/۰-۵۰/۰
Y/Nb	۱/۴۷	۰/۵۴-۲/۴۴	۳/۴	۱/۰-۷/۰	۱/۷	۰/۷-۲/۸
Ga(ppm)/Al	۱/۱۸	۱/۰۸-۱/۲۸	۱/۸۹	۱/۴۶-۲/۵۳	۲/۲۲	۱/۶-۲/۵
Ce/Nb	۵/۷۲	۳/۲۲-۸/۱۶	۵/۵	۲/۲-۱۱/۶	۶/۲	۴/۲-۹/۷
K ₂ O/MgO	۱/۴۱	۱/۰۱-۱/۵۰	۱/۸	۰/۰-۲۰/۳	۲/۹	۰/۶-۱۰/۳
A/CNK	۱/۲۱	۱/۱۴-۱/۲۶	۰/۸۱	۰/۳۶-۱/۰۹	۰/۹۴	۰/۷-۱/۱

منابع

- اشراقی، س.، الف.، جلیلی، الف.، ۱۳۸۵، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰
معلمان، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور
- Chappell, B.W., White, A.J.R. (2001) two contrasting granite types: 25 years later, Australian journal of earth sciences, 48, 489-499.
- Condi, K.C. (1989), geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Protrozoic boundary: Identification and significances, Lithos, 23, 1-18.
- Irvine, T. N., Baragar, W. R. A. (1971), A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Maniar, P.D., and Picooli, P.M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids, Geo. Soc. Of Am. Bull., Vol. 101, 635-643.
- Meinert, L. (1995), Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits—chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization. Mineralogical Association of Canada Short Course Series vol. 23, 401-418.
- Muller, D., Groves, D. L., Stumpfl, E. F. (1993), Potassic igneous rocks and shoshonites as potential exploration targets. In: IAVCEI, General Assembly, Canberra, September 1993, Ancient Volcanism and Modern Analogues, Abstracts. International Association for Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Canberra, 76p.
- Pearce, J.A., Harris, B.W., and Tindle, A.G. (1984), Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., 25, 956-983.
- Schandl, E.S., and Gorton, M.P. (2002), application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments, Economic Geology, 97, 629-642.
- Shand S.J. (1943), Eruptive Rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to deposits. Thomas Murby and Co, London, pp.448.
- Sun, S.S., McDonough, W.F. (1989), chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society of London Special Publication, v.42, 313-376.
- Wilson, M. (1989), Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman, London, 461p.
- Vry, V. H., Wilkinson, J. J., Seguel, J., and Millan, J. (2010), Multistage Intrusion, Brecciation, and Veining at El Teniente, Chile: Evolution of a Nested Porphyry System, Economic Geology, 105, 119-153.