

بررسی ویژگیهای ژئوشیمیایی تورمالین در پی جویی کانسارهای

پورفیری و سنگهای گرانیتویدی استان کرمان

نوشته: حبیبه عطاپور* و دکتر علیجان آفتابی**

Geochemical characteristics of tourmaline as a prospecting guide for porphyry orebodies and granitoid rocks of Kerman province

By: H. Atapour * & Dr. A. Aftabi**

چکیده

استفاده از تورمالین و یا تورمالینیت به عنوان یک کلید اکتشافی جدید در کانسارهای مختلف دنیا، اهمیت خاصی یافته است. در این مقاله، کاربرد ویژگی های ژئوشیمیایی تورمالین در ۶ توده گرانیتویدی بررسی شده است که سه توده از نوع کانسار ساز و بقیه فاقد کانسار می باشند. مطالعات زمین شناختی و سنگ نگاری نشان می دهد که تورمالینیت در این نواحی به صورت رگه ای، رگچه ای و شعاعی در مجاورت بلافصل توده های گرانیتویدی تشکیل شده است. ۲۰ نمونه از تورمالینیت های توده های گرانیتویدی کانسار ساز و بدون کانسار مورد بررسی های ژئوشیمیایی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه نشان می دهد که میانگین مس (۹۱ گرم در تن) و سرب (۱۰۰ گرم در تن) در توده های پورفیری کانسار ساز سه برابر انواع بدون کانی سازی است. عیار بالا و بی هنجار قلع (۴۰ گرم در تن)، تنگستن (۲۰ گرم در تن) و مولیبدن (۱۱ گرم در تن)، در تعداد کمی از نمونه های توده های کانسار سازی نشده مشاهده شده است. ارتباط ژئوشیمیایی عناصر مس و سرب در توده های نفوذی مربوط به کانسارهای پورفیری مس دار مطلوب، ولی در انواع بدون کانسار، تنها قلع، تنگستن و مولیبدن ارتباط مشترک بهتری را نشان می دهند. براساس نتایج این پژوهش، از عناصر مس و سرب موجود در تورمالینیت ها می توان برای پی جویی و اکتشاف کانسارهای پورفیری مس استفاده کرد. از سویی عناصر قلع، تنگستن و مولیبدن نیز می توانند در توده های گرانیتویدی دارای عناصر گرانوفیل (خالص سنگهای گرانیتی) کاربرد داشته باشند. از محاسن ژئوشیمیایی تورمالین و تورمالینیت جدا بش آسان آنها نسبت به کانی های دیگر (بیونیت) از سنگهای گرانیتویدی است.

واژه های کلیدی: ژئوشیمی تورمالین، کانسارهای پورفیری، سنگهای گرانیتویدی، کرمان، ایران

Abstract

Currently, the use of tourmaline and tourmalinite as an exploration guide in different mineral deposits have a special importance. In

this paper, the geochemical application of tourmaline in six intrusive granitoid rocks have been investigated, of which three are mineralized and the rest unmineralized. Based on geological, and petrographical studies, tourmalinite occurs as veins, veinlets, and radial form in the immediate contact of granitoid rocks. Twenty tourmalinite samples weighing one kilogram of mineralized and unmineralized intrusive granitoid rocks were investigated geochemically. The results show that the average content of copper (91 ppm) and lead (100 ppm) in mineralized granitoid rocks are three times higher than unmineralized granitoids. The high and anomalous content of tin (40 ppm), tungsten (20 ppm) and molybdenum (11 ppm) have been observed in a few samples of unmineralized granitic rocks. Copper and lead show a good correlation in mineralized granitoid rocks, whereas, tin, tungsten and molybdenum exhibit a common correlation in unmineralized granitic rocks. Based on the results of this investigation, copper and lead in tourmalinite could be used as an exploration guide for porphyry copper ore deposits. Also, tin, tungsten and molybdenum are indicative of granophile elements or granitic rocks. The advantage of tourmaline or tourmalinite is that it is separated much easier than other minerals (biotite), from the granitoid rocks.

Key words: Geochemistry, Tourmaline, Porphyry orebodies, granitoid rocks, Kerman, Iran,

مقدمه

شاخص ترین کانسارهای تورمالین دار دنیا عبارتند از کانسارهای گرانیتی قلع، تنگستن، کانسارهای قلع لایه ای و کانسارهای سولفیدی نوده ای. لازم به ذکر است که تورمالینیت به سنگی گفته می شود که بیش از ۱۵٪ تورمالین داشته باشد (Bone, 1988 and Gabra, 1996). مطالعه ترکیب ایزوتوپی بور (B) در تورمالین های همراه با کانسارهای سولفیدی نوده ای نشان می دهد که تغییرات بور (B) تحت تاثیر لیتولوژی سنگ میزبان می باشد. مطالعه سیالات درگیر در تورمالین های مطالعه شده دنیا نشان می دهد که تشکیل تورمالین در دمای حدود 400°C - 250°C و حتی بیشتر با درجه شوری ۴۰-۲۰ NaCl درصد و حتی کمتر می باشد. (Zussman, 1962, Deer, Howie and Noyes, 1966). هدف از این مطالعه ارائه ویژگیهای ژئوشیمیایی تورمالینیت در بعضی از نوده های نفوذی ساز و غیرساز استان کرمان می باشد که اولین بررسی در نوع خود در ایران می باشد.

روش مطالعه و نمونه برداری:

تعداد ۲۰ نمونه یک کیلوگرمی از تورمالینیت های (رنگه ای و ستاره ای) موجود در سنگهای همبرگرانیتوئیدی در ۶ منطقه مورد مطالعه برداشته گردید (شکل ۱). این مناطق عبارتند از کانسار مس سرچشمه، کانسار مس دره زار، کانسار مس ده سیاهان، گرانیت کوه ریگی، نوده گرانیتی کوه گیری و چند نوده گرانیتی کوچک در اطراف دهکده سعدی (بردسیر).

بر پایه مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی، تورمالین و تورمالینیت به عنوان یک کلید اکتشافی در کانسارهای گوناگون مطرح شده است (Pesquera and Velasco, 1997, Jingwen (1995). در شبکه تبلور تورمالین حداقل ۱۲ عنصر فرعی و کمیاب جانشین می شوند که بر پایه تمرکز آنها انواع مختلف تورمالین در محیط های آذرین، رسوبی و دگرگونی تشکیل می شوند. فرمول عمومی تورمالین $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}^{+3} + \text{Y}$ در موقعیت Ti و Ca , Na در موقعیت Z قرار دارد

(Plimer, 1986, and Gabra, 1996). سه نوع اصلی تورمالین عبارتند از نوع غنی از منیزیم (Dravite)، تورمالین غنی از آهن (Schorl) و تورمالین غنی از لیتیم (Elbaite). شل والباتیت در سنگهای گرانیتی و پگماتیسی و در اوبیت در سنگهای رسوبی و دگرگونی یافت می شود. نوع کمیاب تر تورمالین اوبیت (Uvite) است که غنی از Ca, Mg می باشد. حضور تورمالین در کانسار غالباً در ارتباط با مناسوماتیسم است. به صورتی که بور (B) یا از یک منبع خارجی (مانند ماگماهای گرانیتی) به سنگ میزبان وارد می شود یا از مواد موجود در سنگ میزبان (سنگهای رسی و رسوبات تبخیری) شسته شده و تورمالین زایی صورت می گیرد. (Bone, 1988 and Pirajno and Smithies, 1992).

مقاطع نازک مناطق مورد مطالعه همچنین نشان می دهد که تورمالین های شعاعی با چند رنگی شدید (از بی رنگ تا سبز تیره) دارای برجستگی بالا، خاموشی مستقیم و بیرفرزانتس بالا (اوایل سری سوم) می باشد. فلدسپارها توسط تورمالین جانشین شده است (گرایزنی شدن) و در اطراف تورمالین های ستاره ای، حاشیه ای از رسهای به جا مانده از دگرسانی فلدسپارها دیده می شود. بلورهای کوارتزی که مرز میان بلورهای تورمالین را پر کرده اند اغلب درشت دانه و بی شکل اند و به نظر می رسد دو نسل کوارتز وجود داشته باشد. نسل اول کوارتزهایی هستند که در متن سنگهای گرانیتوئیدی دیده می شود. نسل دوم کوارتز در اثر فرآیند گرایزنی شدن با مناسومایزم بوجود آمده اند و در بعضی موارد به صورت هم رشدی بر روی کوارتزهای نسل اول دیده می شوند.

مسئله چند رنگی از اهمیت خاصی برخوردار است، بطوریکه هرچه مقدار آهن (Fe^{+2}) در تورمالین بیشتر باشد، چند رنگی شدیدتر است. با توجه به ویژگیهای ساختی، بافتی و نوری، تورمالین های مناطق مورد مطالعه از نوع شزل - آلبایت می باشند. نکته جالب توجه این که چند رنگی تورمالین در نوده های نفوذی کانسار ساز شدیدتر از نوده های نفوذی غیرکانسار ساز می باشد.

بررسیهای ژئوشیمیایی

۱- ژئوشیمی سنگهای همبر:

مطالعه سنگهای گرانیتوئیدی میزبان تورمالینیت ها نشان می دهد که این سنگها دارای درصد متوسط تا بالایی از SiO_2 (۷۵-۵۳ درصد وزنی)، Al_2O_3 (۱۸-۱۲ درصد وزنی) Na_2O (۵-۲ درصد وزنی) K_2O (۶-۲ درصد وزنی) می باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی، برداشت های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی مشخص می گردد که ترکیب شیمیایی سنگهای میزبان این مناطق در حد گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز و مونزونیت و مرتزونیت می باشند.

نمودار AFM نشان می دهد که نمونه های برداشت شده غالباً در نزدیکی قطب $Na_2O + K_2O$ (کالکوالکان) قرار دارند، که بیانگر تمایلات قلیایی آنها می باشد (شکل ۹). نمودار $K_2O - SiO_2$ نیز نشان می دهد که سنگهای گرانیتوئیدی میزبان در محدوده خانواده کالکوالکان غنی از پتاسیم قرار گرفته و غالباً شوشونیتی می باشد (شکل ۱۰).

۲- ژئوشیمی تورمالینیت های مناطق مورد مطالعه

مقایسه ژئوشیمی تورمالینیت های مناطق مورد مطالعه و تورمالینیت های

نمونه های برداشت شده غالباً بیش از ۹۰٪ تورمالین داشته و رنگ آن در نمونه دستی به شدت سیاه می باشد. تعدادی از نمونه ها در آزمایشگاه سازمان زمین شناسی کشور به وسیله روش شیمی مرطوب و جذب اتمی برای اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب تجزیه گردید. تعدادی از نمونه ها بطور مقایسه ای جهت اطمینان صحت و درستی نتایج به چین فرستاده شده و توسط XRF مورد اندازه گیری قرار گرفت. مقایسه نتایج نشانگر دقت و صحت در عیار عناصر مورد نظر می باشد.

بررسی های صحرایی:

نوده های نفوذی مورد مطالعه در کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر قرار دارند و سن آنها بعد از ائوسن می باشد. تورمالینیت ها به اشکال مختلف رگه ای و رگچه ای (شکل ۲)، رگه ای مشبک (شکل ۳) و ستاره ای در نوده های گرانیتوئیدی دیده می شود. شدت تورمالینی شدن در سرچشمه و دره زار کمتر و در ده سیاهان بیشترین مقدار است. بعضی از رخنمونها در منطقه ده سیاهان آنقدر از تورمالین غنی شده است که قسمت زیادی از سنگ را شدیداً سیاه رنگ نموده و نمونه بارز واژه تورمالینیت است. فراوانی تورمالین در این منطقه با مشاهده رگه های ضخیم تورمالین که ضخامت بعضی از آنها به بیش از یک متر می رسد تایید می شود (شکل ۵ و ۶).

سنگ میزبان تورمالین در کوه گیری، ریگی و بردسیر از نوع گرانیت، در کانسار مس سرچشمه و دره زار از نوع گرانودیوریت و در منطقه ده سیاهان کوارتز مونزونیت تا مونزونیت می باشد.

بررسی های میکروسکوپی:

مطالعه مقاطع نازک سنگهای همبر در مناطق مورد مطالعه نشان می دهد که نوده های نفوذی کوه گیری، کوه ریگی و بردسیر از نوع گرانیت است که حاوی فلدسپار آلکان (ارنوزپریتی) پلاژیوکلاز (آلیت) و کوارتز می باشد، کاتبهای تیره بیشتر بیونیت می باشد.

نوده نفوذی ده سیاهان بافت پورفیری مشخصی دارد که حتی در نمونه دستی به خوبی قابل رویت است و در آن بلورهای درشت فلدسپار پتاسیک در یک زمینه ریزدانه مرکب از فلدسپار، کاتبهای تیره و کوارتز قرار گرفته اند. نوده نفوذی سرچشمه نیز از نوع گرانودیوریت است و مشخصات بافتی و کانی شناسی آن شبیه به نوده ده سیاهان می باشد. مطالعه

شکل ۲۹ نشان می دهد که تورمالینهای مطالعه شده در گرانیتوئیدهای دنیا در سه موقعیت متفاوت قرار می گیرند (Pirajon and Smithies, 1992). تورمالینیت هایی که بر روی گرانیتوئیدها قرار گرفته (منطقه A) و پوشش فوقانی این سنگها شده اند به نام تورمالینیت های همجوار (Proximal) خوانده می شوند. تورمالینیت هایی که کمی از توده نفوذی دور شده و تا حدود یک کیلومتری از آن قرار گرفته اند، تقریباً "همجوار" (Subproximal) نامیده می شوند. اما تورمالینیت های نیز وجود دارند که سیستم رگه ای گسترده ای را در مناطق دورتر (بیش از یک کیلومتر دورتر از توده نفوذی) ایجاد کردند که به آنها غیرهمجوار (Distal) گفته می شود.

مقایسه تورمالینیت های مناطق مورد مطالعه با نمونه های جهانی در نمودار شکل ۳۰ داده شده است. مشاهده می شود که غالب نمون های تورمالینیت در استان کرمان نزدیک به منطقه همجوار (A) قرار دارند. مشاهدات صحرانی نیز این مطلب را تأیید می کند.

بحث

گسترش وسیع تورمالین و تورمالینیت (بیشتر از ۱۵٪ تورمالین) در سقف بسیاری از توده های نفوذی گرانیتوئیدی استان کرمان، مبین کانی زایی هیدروترمالی و احتمالاً "پنوماتولیتی" می باشد. تورمالین به صورت رگه ای، رگچه ای و ستاره ای با گسترش بیشتر از یک متر در شکستگیهای بسیاری از توده های نفوذی استان کرمان دیده شده است. سن کانی زایی و رگه های تورمالین جوانتر از توده های نفوذی گرانیتوئیدی (الگوموسن) می باشد.

مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که تورمالین در انواع مختلف توده های گرانیتوئیدی استان کرمان از نوع شزل و البایت می باشد. نوعی که بیشتر در سنگهای گرانیتوئیدی نقاط دیگر دنیا نیز گزارش شده است (Pirajno and Smithies, 1992, Jingwen, 1995). از ویژگیهای خاص تورمالین در کانسارهای مس پورفیری استان (سرچشمه، ده سیاهان و دره زار) چند رنگی شدید می باشد (زرد - فیهو ای - آبی - سبز تا سبز روشن) که احتمالاً در ارتباط با افزایش مقدار آهن در شبکه تورمالین می باشد.

از نقطه نظر ژئوشیمی - سنگهای منطقه بیشتر ویژگی سنگهای کالکوآلکالین ناشونیتی را نشان می دهند. در توده های نفوذی ده سیاهان که تمایل بیشتری به سریهای شونیتی دارد، تورمالین شدن شدیدتر می باشد.

گرانیتوئیدی دنیا (جدول ۱) نشان می دهد که مقادیر اکسیدهای عناصر اصلی مناطق مورد مطالعه با نمونه های جهانی تفاوت قابل ملاحظه ای نشان نمی دهند اما عبار بعضی از عناصر فرعی تغییراتی را نشان می دهد. عبار مس و سرب در گرانیتوئیدهای مناطق مورد مطالعه (به ویژه مناطق کانسار ساز) به مراتب بیشتر از نمونه های جهانی است، در حالیکه مقادیر تنگستن و قلع کمتر از نمونه های جهانی می باشد (Jingwen/1995 and Levinson/ 1980).

با وجود این، ترکیب نمونه های مورد مطالعه در نمودار مثلثی مضاعف (شکل ۱۱) نشان می دهد که غالب نمونه ها در قطب غنی از آهن قرار گرفته و نزدیک به تورمالین های نوع شزل می باشد. تغییرات SiO_2 بین ۶۰-۷۵ درصد وزنی متغیر می باشد که نشان دهنده بالا رفتن مقدار سیلیس سنگ طی فرآیند تشکیل تورمالین و سیلیسی شدن همراه با آن می باشد. تغییرات Al_2O_3 بین ۱۹-۱۲٪ وزنی متغیر است که احتمالاً به علت حضور فلدسپاتها در رگه ها و رگچه ها می باشد. تغییرات Fe_2O_3 جالب توجه است، بطوریکه بالا بودن فوگاسیته اکسیژن در محیط تشکیل تورمالین ها و فرآیند اکسیداسیون Fe^{+2} به Fe^{+3} را نشان می دهد. بالا بودن مقادیر FeO مربوط به تمرکز فراوانی FeO مربوط به تمرکز فراوانی Fe^{+2} در برای مشخص نمودن وضعیت بقیه عناصر از نمودارهای دو محوری سرب در مقابل روی، مولیبدن، قلع و تنگستن استفاده شده است (شکل ۲۶). مشخص است که در این نمودارها نیز دو گروه کانسارهای پورفیری و غیرپورفیری بدلیل بالا بودن عبار عناصر مذکور در انواع پورفیرها از یکدیگر جدا می شوند. ارتباط عنصری بجز در نمودار سرب - روی (شکل ۲۶ - لف) که نسبتاً خوب است، در سایر نمودارها ضعیف می باشد یعنی به موازات افزایش مقادیر سرب در کانسارهای پورفیری، مقادیر روی کمی افزایش یافته، ولی مقادیر قلع، تنگستن و مولیبدن افزایش قابل ملاحظه ای را نشان نمی دهد (شکل ۲۶، ب-د). در نمودارهای دو محوری روی در مقابل قلع، تنگستن و مولیبدن کانسارهای پورفیری از غیر پورفیری قابل تفکیک بوده و ارتباط آنها بسیار ضعیف می باشد (شکل ۲۷). این نشان دهنده کمبود عبار روی در توده های گرانیتوئیدی غیرکانسار ساز است. نمودار سه تایی روی، سرب، مس نیز نشان می دهد که غالب نمونه های تورمالینیت مناطق مورد مطالعه از سرب و مس غنی می باشند (شکل ۲۸). این مسئله بیانگر تمرکز غیرعادی مس و سرب در تورمالین های موجود در توده های گرانیتوئیدی کانسار سازی می باشد.

موقعیت تورمالینها نسبت به سنگهای همبند:

درصد جمعی استفاده می شود. در این نمودار درصد جمعی (محور افقی) در مقابل عیار عناصر مورد بررسی قرار می گیرد. در این نمودار ها که برای عناصر مس، سرب، روی، قلع، تنگستن و مولیبدن رسم شده است (شکل ۲۴). مشاهده می شود که جمعیتهای ژئوشیمیایی عادی (دوایر توخالی) و غیرعادی (دوایر پر) در کانسارهای پورفیری و توده ها گرانیتوئیدی غیر کانسار ساز از یکدیگر قابل تفکیک بوده و دو جمعیت کاملاً جداگانه را در نمودار مس و سرب نشان می دهد. نمودار روی تنها یک جمعیت را نشان می دهد که عیار عادی است. در نمودار قلع، تنگستن و مولیبدن جمعیتهای ژئوشیمیایی با عیار غیرعادی و عادی از یکدیگر قابل تفکیک هستند. با وجود این، نمونه های مربوط به عیار غیرعادی کم بوده و به گرانیتوئیدهای غیر کانسار ساز مربوط می شوند. برای پی بردن به ارتباط ژنتیکی عناصر، معمولاً از نمودارهای دو محوری استفاده می شود. در نمودار دو محوری مس در مقابل سرب، روی، مولیبدن، قلع و تنگستن (اشکال ۲۵ - الف - هـ) مشخص می شود که گرانیتوئیدهای مربوط به گروه کانسار های پورفیری از کانسارهای غیر پورفیری تفکیک شده و دو گروه جداگانه را نشان می دهند جالب توجه است که هر گروه بصورت جداگانه ارتباط عنصری خوبی را نشان می دهند.

تنگستن و مولیبدن یا عناصر گرانوفیل حاصل از محلولهای انتهایی تفریق در سنگهای گرانیتی بیشتر می باشد. براین اساس، تورمالین های موجود در سنگهای گرانیتی از عناصر قلع، تنگستن و مولیبدن غنی می باشد و این عناصر می توانند پتانسیل کانی زایی گرانیت ها را بهتر نشان دهند. ارتباط خوب ژئوشیمیایی بین مس و سرب بیانگر منشأ یکسان این دو عنصر از محلولهای گرمایی می باشد. چنین محلولهایی در اثر سرد شدن، تورمالین کانسارهای پورفیری را تشکیل داده اند. برعکس، هم خوانی عناصر قلع، مولیبدن و تنگستن در گرانیت های فاقد کانسار سازی مس، مبین محلولهای گرمایی خاص عناصر گرانوفیل می باشد.

نسبت $\frac{FeO}{FeO + MgO}$ در انواع تورمالین های استان کرمان نشان می

دهد که در مقایسه با مدل Pirajno and Smithies (1992) بیشتر نمونه های تورمالین از نوع همجوار (proximal) می باشد که با مشاهدات صحرایی انطباق قابل ملاحظه ای دارد. براساس مطالعات صحرایی، اکثر رگه ها و رگچه های تورمالین در سقف و همجوار با توده های نفوذی مختلف قرار می گیرند. در مورد ارتباط سن توده های نفوذی یا واحدهای زمین شناسی با تورمالینی شدن مطالعات زیادی صورت گرفته است (Pesquera and Velasco, 1997) نتایج نشان می دهد که تشکیل

عیار عناصر و اکسیدهای اصلی در تورمالین تغییرات قابل توجهی را در توده های نفوذی نشان نمی دهد و مشابه سایر نقاط دنیا می باشد. با وجود این، بعضی از عناصر فرعی تغییرات بسیار جالبی را نشان می دهند. عیار مس و سرب موجود در تورمالین های همراه با توده های نفوذی حاروی کانسارهای مس پورفیری (سرچشمه، ده سیاهان و دره زار) سه برابر بیشتر از توده های گرانیتوئیدی فاقد کانی زایی مس پورفیری می باشد. این افزایش احتمالاً بدلیل جانشینی زیاد مس و سرب حاصل از محلولهای گرمایی به جای آهن و یا به صورت سولفید در شبکه تورمالین می باشد. (Pesquera and Velasco, 1997) پدیده مشابهی را در تورمالین اسپانیا ذکر نموده اند. بنابراین اندازه گیری عیار مس و سرب در تورمالین موجود در سنگهای گرانیتوئیدی و یا رسوبهای آبرفتی حاصل از آنها می تواند با مطالعات بیشتر، کاربردی اکتشافی تورمالین را روشن نماید. از محاسن عمده این روش، جدایش راحت تر تورمالین از سنگ یا آبرفت در مقایسه با کانیهای دیگر می باشد. طبیعی است که اندازه گیری عناصر مختلف با روش میکروپروب می تواند نتایج دقیق تری را ارائه نماید. در توده های نفوذی فاقد کانی زایی مس که از نقطه نظر ترکیب شیمیایی گرانیتی می باشد (کوه گبری، کوه ریگی و توده های بردسیر)، عیار قلع، تورمالین ها است که نمایانگر غنی بودن تورمالین از آهن (نوع شلر) می باشد مقادیر $Li, O, I, P_2O_5, K_2O, Na_2O, MgO, CaO$ تغییرات قابل توجهی را نشان نمی دهند.

نمودارهای عناصر فرعی تصویر بسیار جالبی را نشان می دهد. در تصویر شکل ۱۲، دو جمعیت ژئوشیمیایی از مس وجود دارد. گروه عیار عادی با فراوانی زیاد و عیار کم و گروه عیار غیرعادی با فراوانی کم و عیار بالا که نشان دهنده کانسار سازی مس در مناطق مورد مطالعه است. نمودار سرب (شکل ۱۳) نیز همین حالت را به خوبی نشان می دهد. در حالی که نمودار مولیبدن و روی یک جمعیتی بوده و نشان دهند عیار عادی آنها در این سنگها است (شکل ۱۴ و ۱۵). نمودار قلع و تنگستن نیز دو جمعیتی است، اما گروه عیار غیرعادی عیار بالایی را نشان نمی دهند (شکل ۱۶ و ۱۷). نمودار نیکل، کبالت، کروم و نقره (شکل ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱) دارای دو جمعیت ژئوشیمیایی می باشند. اما تعداد نمونه های مربوط به عیار غیرعادی آنقدر کم است که اهمیت خاصی را ارائه نمی دهد. نمودار باریم و استرانسیم نیز دو گروه را نشان می دهد. در گروه عیار غیرعادی عناصر مذکور بالاست و به نظر می رسد بدلیل حضور فلدسپاتها و جانشینی باریم و استرانسیم در ساختمان آنها می باشد (شکل ۲۲ و ۲۳).

برای جدایش بهتر جمعیتهای ژئوشیمیایی معمولاً از روش آماری

کانسار ساز بیشتر از سه برابر توده های نفوذی غیر کانسار ساز است.

۵- قلع، تنگستن و مولیبدن در بعضی موارد در توده های پورفیری و فاقد کانسار سازی عبار نسبتاً بالایی را نشان می دهند که می تواند در اکتشاف کانسار و یا سنگهای گرانیتی حاوی قلع، تنگستن و مولیبدن به کار گرفته شود.

۶- با افزایش درجه اسیدی سنگها از گرانودیوریت به کوارتز متزویت و نهایتاً گرانیت مقدار عناصر گرانوفیل یعنی قلع، تنگستن و مولیبدن در تورمالین ها زیاده تر می شود.

۷- از نقطه نظر خاستگاه، تورمالینها از نوع همجوار تا تقریباً همجوار می باشند، یعنی مستقیماً بر روی توده نفوذی تشکیل شده اند.

۸- نمونه برداری از رسوبهای آبرفتی تورمالین دار می تواند در اکتشاف کانسارهای مختلف بویژه انواع پورفیری مفید باشد.

۹- اندازه گیری عناصر مختلف به روش میکروپروپ در تورمالین می تواند جنبه های اکتشافی بیشتری از آن را روشن نماید.

تورمالین در توده های نفوذی اسیدی و سنگهای دگرگونی از پرکامبرین تا دوران سوم دیده می شود. با وجود این، درجه تورمالینی شدن بیشتر در ارتباط با عیار بالای بزر و درجه متاسوباتیزم محلولهای بردار $(H_2BO_4, NaB(OH)_4, B(OH)_4)$ می باشد.

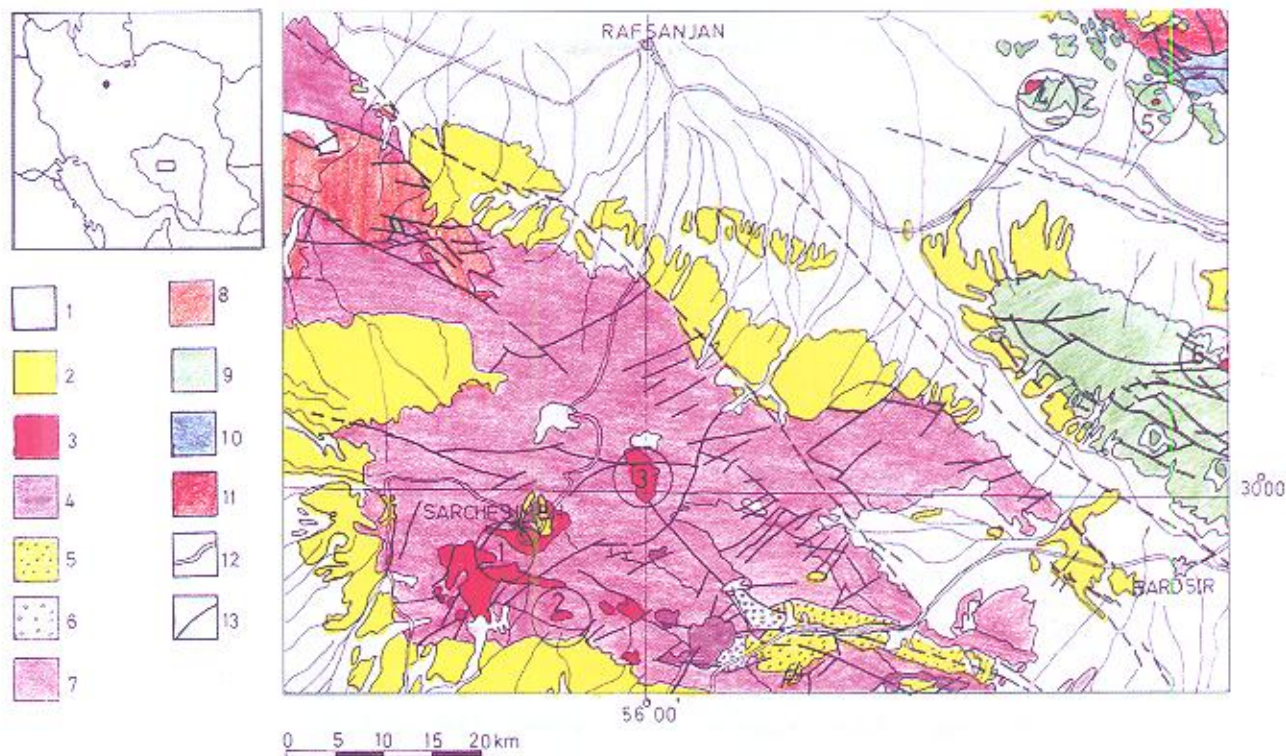
نتایج و پیشنهادات

- ۱- تورمالین و تورمالینیت به علت سهولت جدایش از سنگ (در مقایسه با کانیهای دیگر مثل بیوتیت و هورنبلند) می تواند بعنوان یک کلید اکتشافی در پی جوی کانسارهای پورفیری مورد استفاده قرار گیرد.
- ۲- تورمالین و تورمالینیت بیشتر به صورت رگه ای یا رگچه ای در سنگهای گرانیتی استان کرمان تشکیل شده اند.
- ۳- تورمالینهای مطالعه شده از نوع غنی از آهن (شزل - البایت) می باشند.
- ۴- مس و سرب در تورمالینهای کانسارهای مس پورفیری عیار بالایی را نشان می دهند، بطوریکه عیار آنها در توده های

اکسیدها	استانداردهای بین المللی	مناطق مورد مطالعه
SiO_2	۴۲/۳-۸۹/۶	۶۲/۵۲-۷۵/۳۲
TiO_2	۰/۳۲-۱/۳۶	۰/۰۴-۰/۸۶
Al_2O_3	۵/۸۶-۳۰/۴	۱۲/۶۵-۱۹/۴۸
B_2O_3	۰/۵-۸/۳	>۰/۱
Fe_2O_3	۱/۱۵-۱۵/۱	۱/۲۴-۶/۱۹
FeO	--	۱/۷۹-۷/۶۵
MgO	۱/۷۱-۵/۰۶	۰/۱-۴/۳۲
CaO	۰/۱۸-۲/۳۱	۰/۵۳-۲/۳۴
Na_2O	۰/۳۸-۳/۵۵	۰/۳۸-۱/۲۱
K_2O	۱/۱۱-۶/۷	۰/۰۴-۰/۵۸
P_2O_5	۰/۳-۱/۴۴	۰/۰۸/۲۶
LOI	۰/۸۹-۱۰	۱/۰۱-۲/۴۹

عناصر	استانداردهای بین المللی	مناطق مورد مطالعه
Cu	۴/۵-۱۷	۸-۱۲۷
Zn	۸-۴۹	۴-۴۷
Pb	۱-۶۰	۵-۱۲۹
Mo	۳-۱۴	۲-۱۱
Sn	۳-۱۱۹	۳-۴۰
W	۳-۱۴۲	۲-۲۰
Sr	۲۳-۱۰۲۰	۷۵-۲۲۵
Ba	۲-۱۲۳۰	۱۷-۹۸
Cr	۸۰-۱۴۳	۱۸۵-۷۶۰
Ni	۳-۱۱۰	۴-۷
Co	۱-۴۳	۲-۳
Ag	۰/۱-۱	<۱

جدول ۱) تغییرات ترکیب، ژئوشیمیایی سنگهای تورمالینی مناطق مورد مطالعه در مقایسه با گرانیتوئیدهای تورمالین دار دنیا (Jingwen, 1995, Posquera and Relasco 1994)، اکسیدهای اصلی (درصد) و عناصر فرعی و کمیاب بر حسب گرم در تن است.



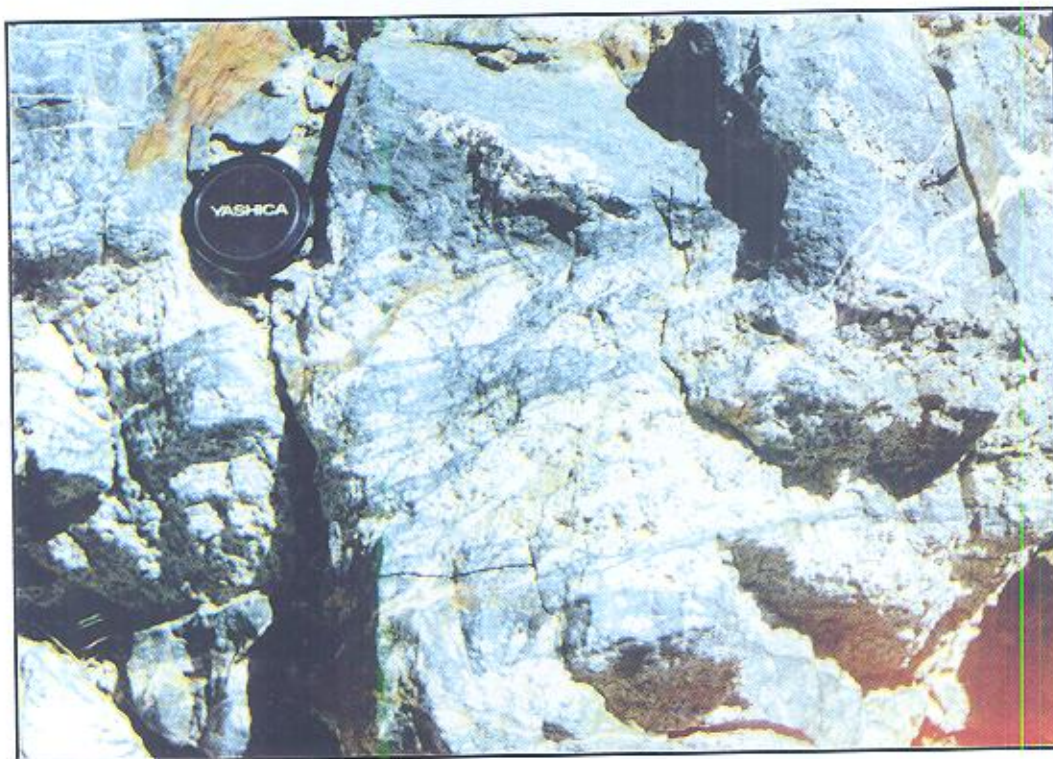
شکل ۱- نقشه زمین شناسی مناطق مورد مطالعه: (۱) کانسار مس سرچشمه (۲) کانسار مس دره زار (۳) کانسار ده سیاهان (۴) توده نفوذی کوه گیری (۵) توده نفوذی کوه ریگی (۶) توده های نفوذی بردسیر (اقتباس از نقشه ۱:۵۰۰۰۰۰ کرمان ۱۹۷۳، Dimitrijevic) راهنمای نقشه: ۱- نهشته های کواترنری ۲- رسوبات پلیوسن ۳- نفوذیهای تیب جبال بارز ۴- نفوذیهای نیمه عمیق تیب کوه پنج ۵- سازند فرمز بالای ۶- کنگلومرا ۷- سنگهای آتشفشانی انوسن ۸- رسوبات انوسن پایینی و میانی ۹- کرتاسه ۱۰- ژوراسیک ۱۱- سازند کرشک (سیلورین - دونین) ۱۲- جاده ۱۳- گسل.



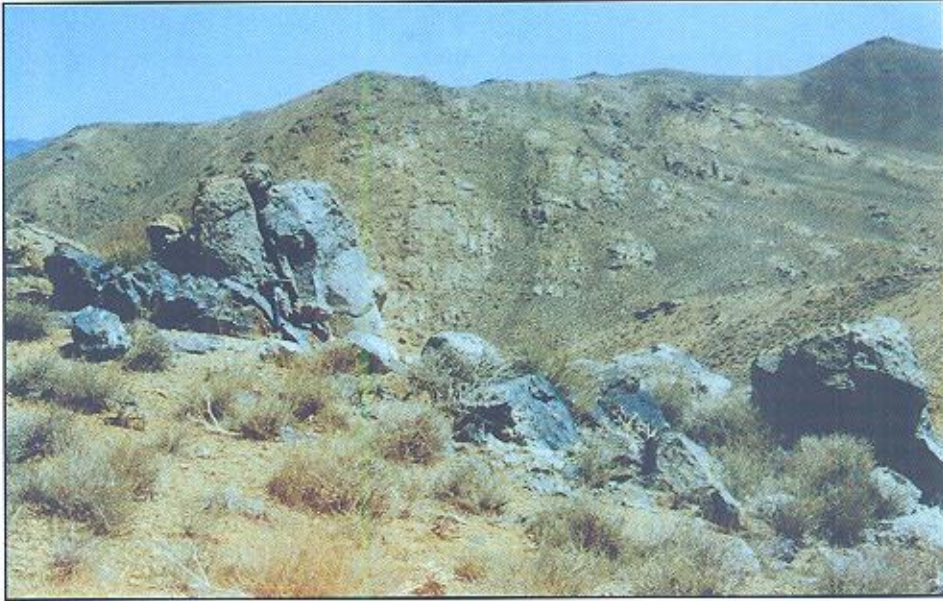
شکل ۲- رنگه تورمالینی در گرانیت کوه ریگی



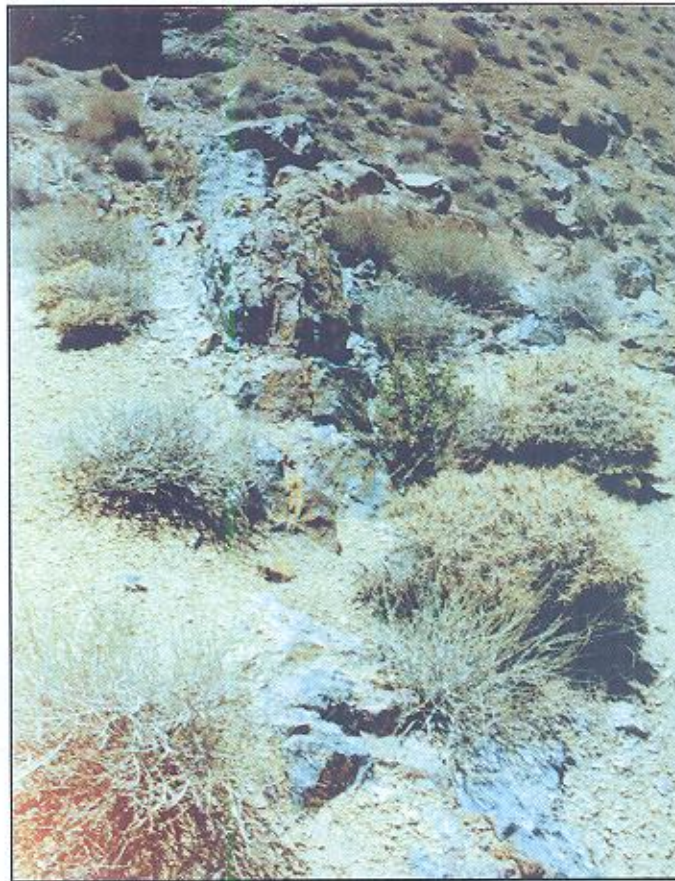
شکل ۳- رگه های مشبک در گرانیت کوه گیری



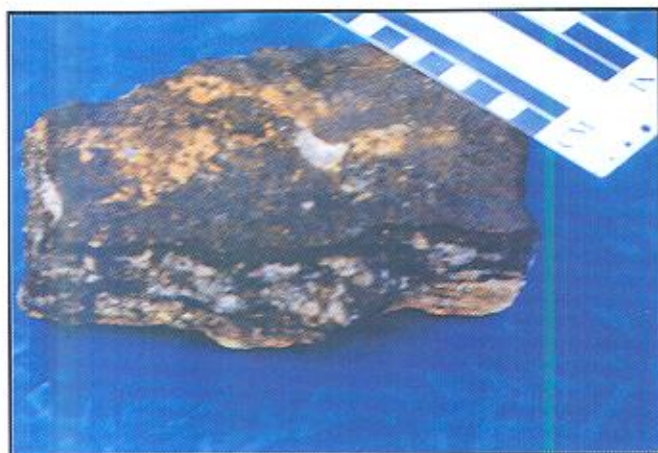
شکل ۴- فراوانی رگه های تورمالینی در منطقه ده سیاهان، در قسمت فوقانی عکس تورمالینی شدن شدیدتر بوده و سنگ را سیاه رنگ نموده است.



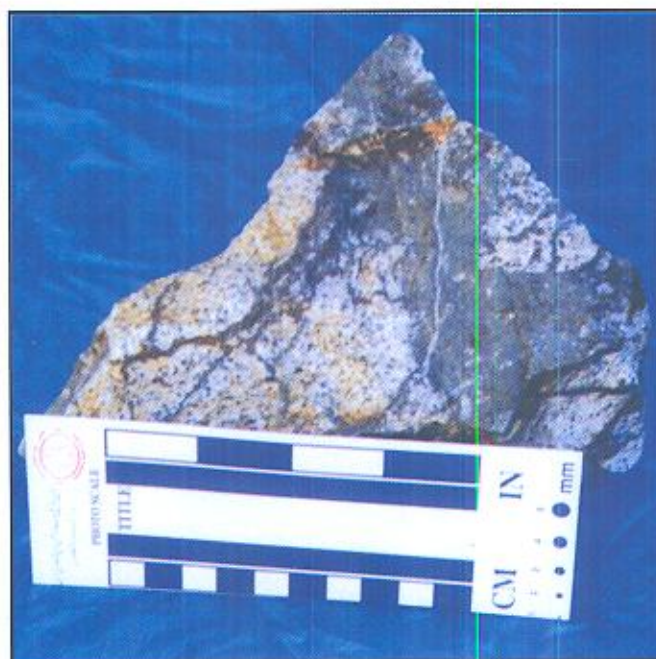
شکل ۵- رگه تورمالینی با ضخامت بیش از یک متر در منطقه ده سیاهان



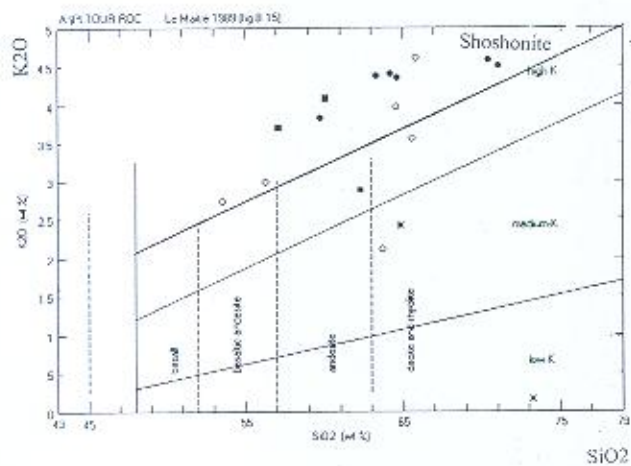
شکل ۶- رگه تورمالینی با ضخامت حدود یک متر در منطقه ده سیاهان



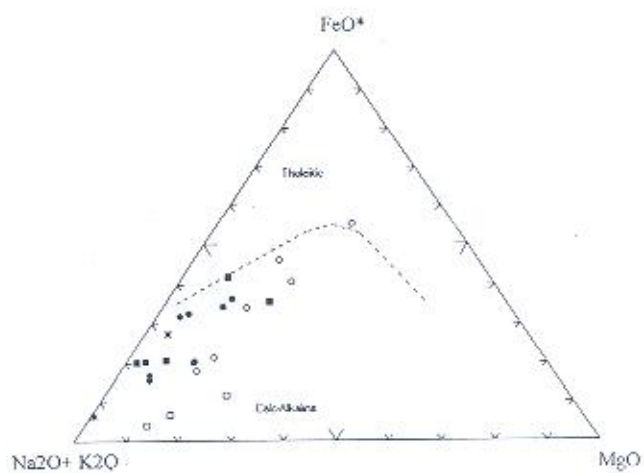
شکل ۸- تورمالینی شدن شدید در نمونه دستی برداشت شده از کوه گیری



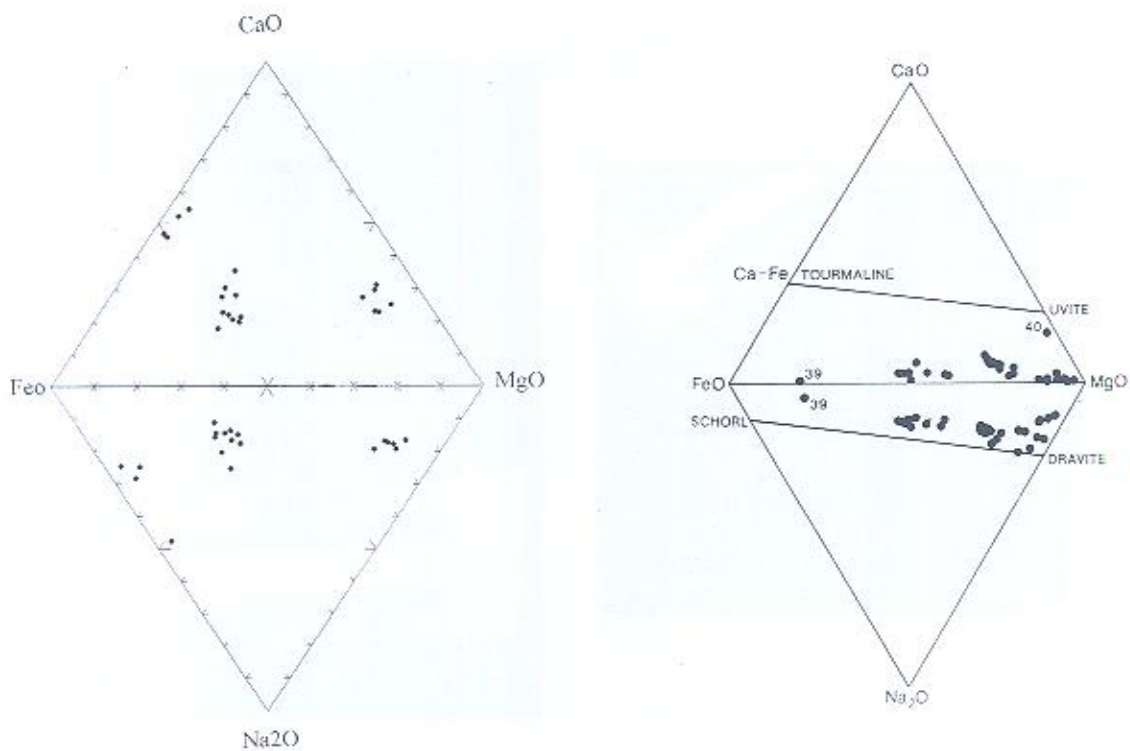
شکل ۷- رنگه های تورمالینی در نمونه دستی کانسار ده سپهان



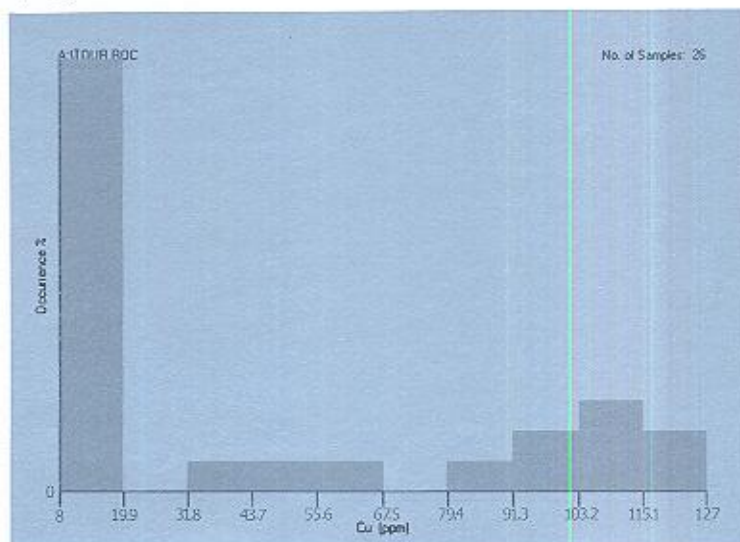
شکل ۱۰- موقعیت نمونه های مورد مطالعه در نمودار K_2O/SiO_2



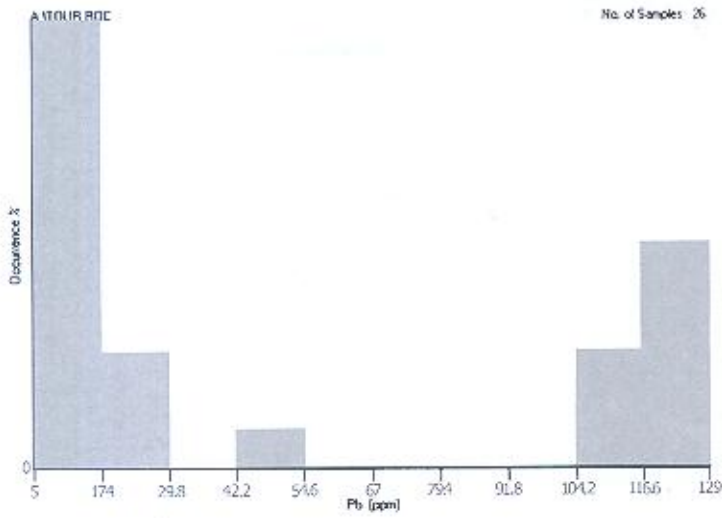
شکل ۹- موقعیت نمونه های مورد مطالعه در نمودار AFM



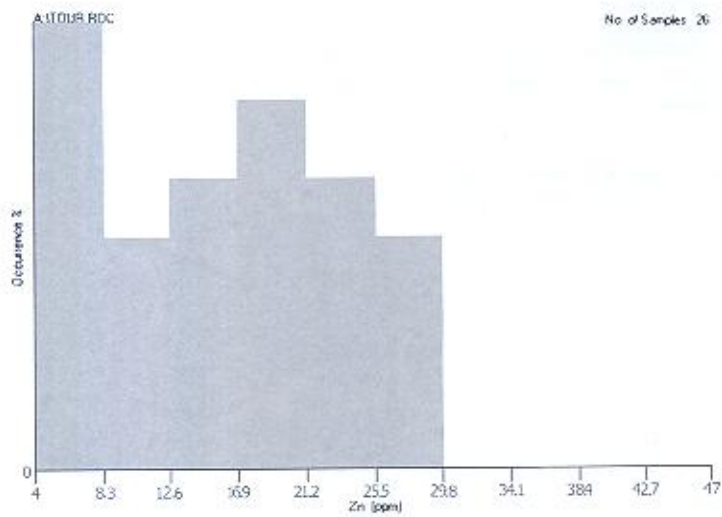
شکل ۱۱- موقعیت تورمالین های مناطق مورد مطالعه در نمودار مثلثی مضاعف FeO-CaO-MgO و FeO-Na₂O-MgO و مقایسه آن با تورمالین های استرالیا (Bone, 1988)



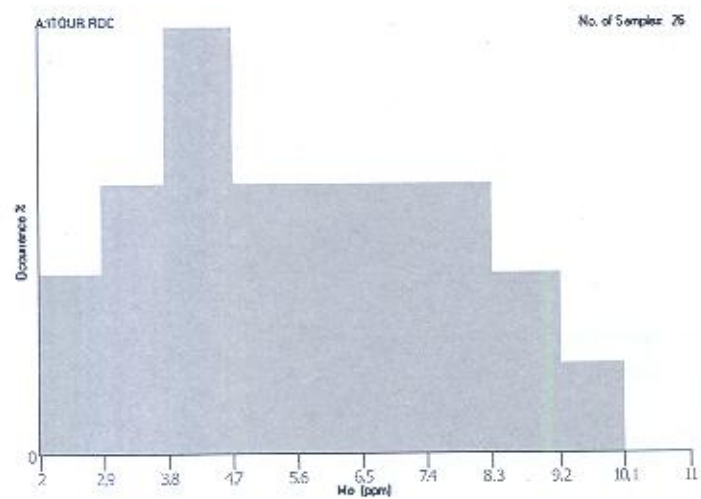
شکل ۱۲- هیستوگرام توزیع مس در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



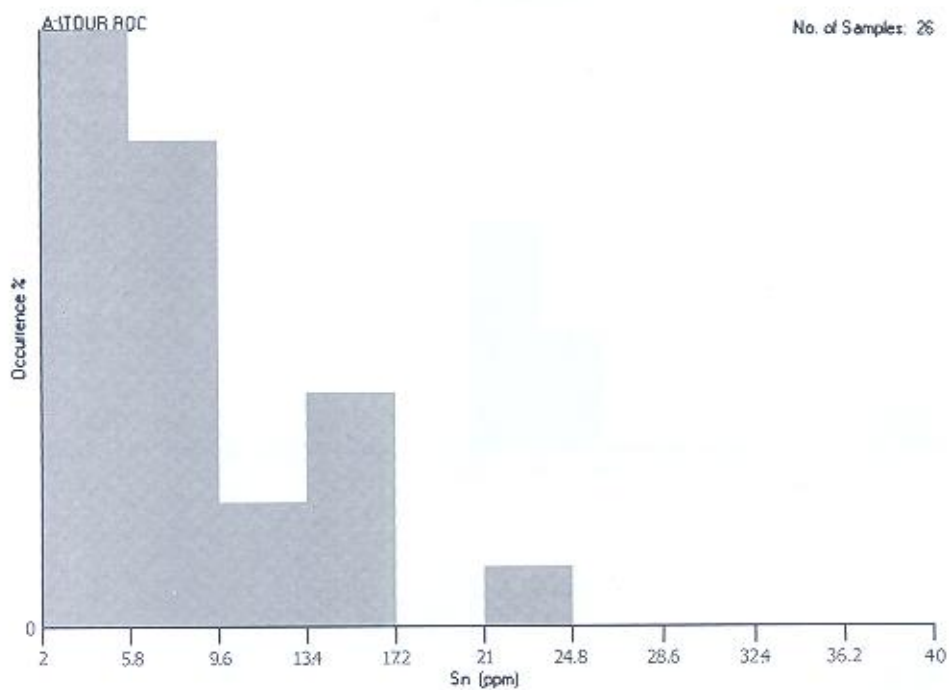
شکل ۱۳- هیستوگرام توزیع سرب در نورمالین های مناطق مورد مطالعه



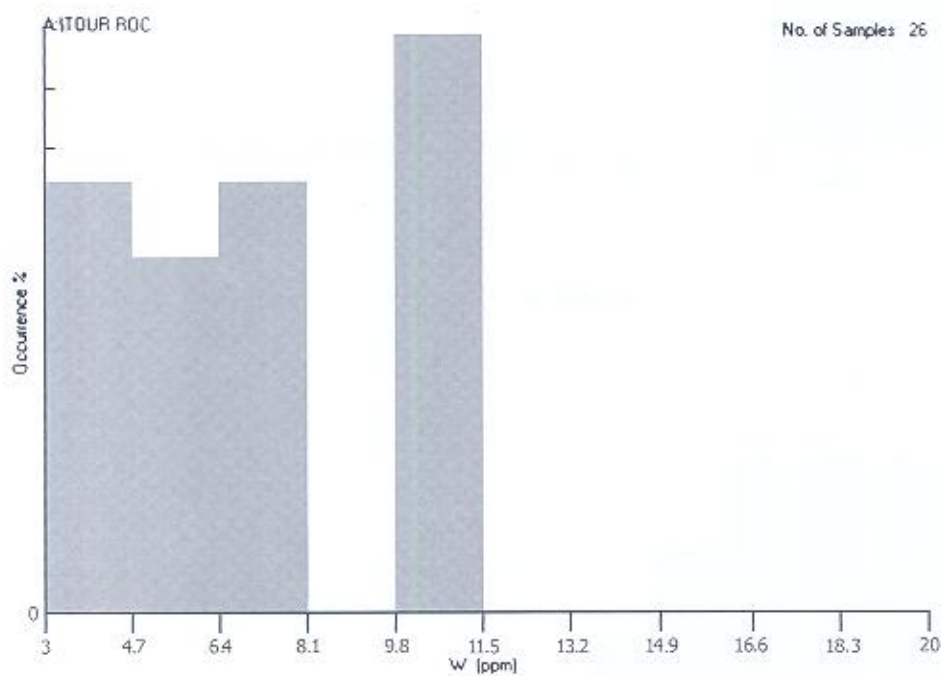
شکل ۱۴- هیستوگرام توزیع روی در نورمالین های مناطق مورد مطالعه



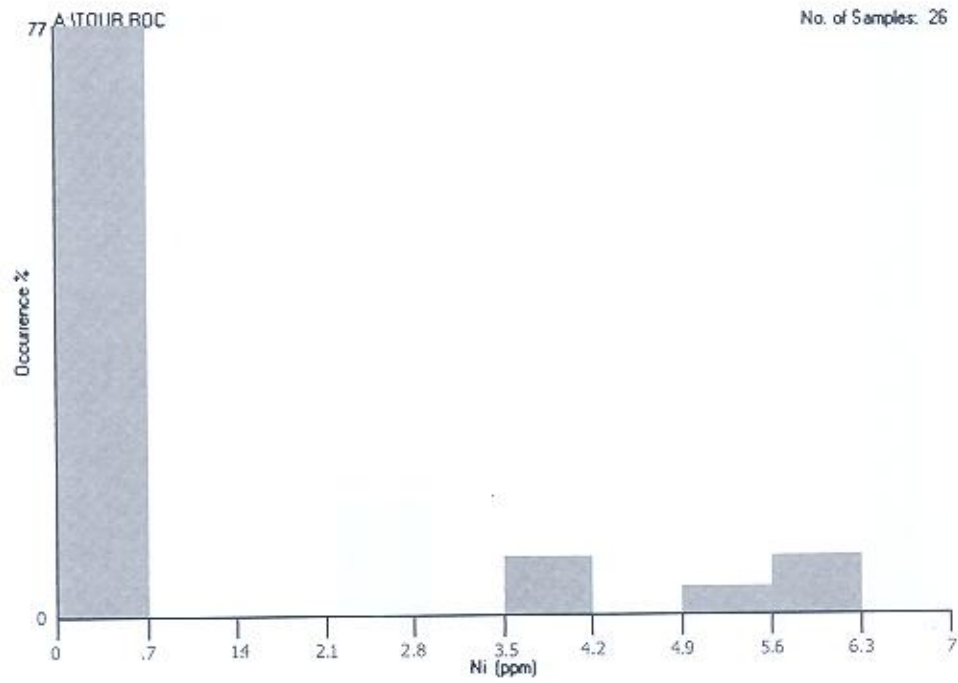
شکل ۱۵- هیستوگرام توزیع مولیبدن در نورمالین های مناطق مورد مطالعه



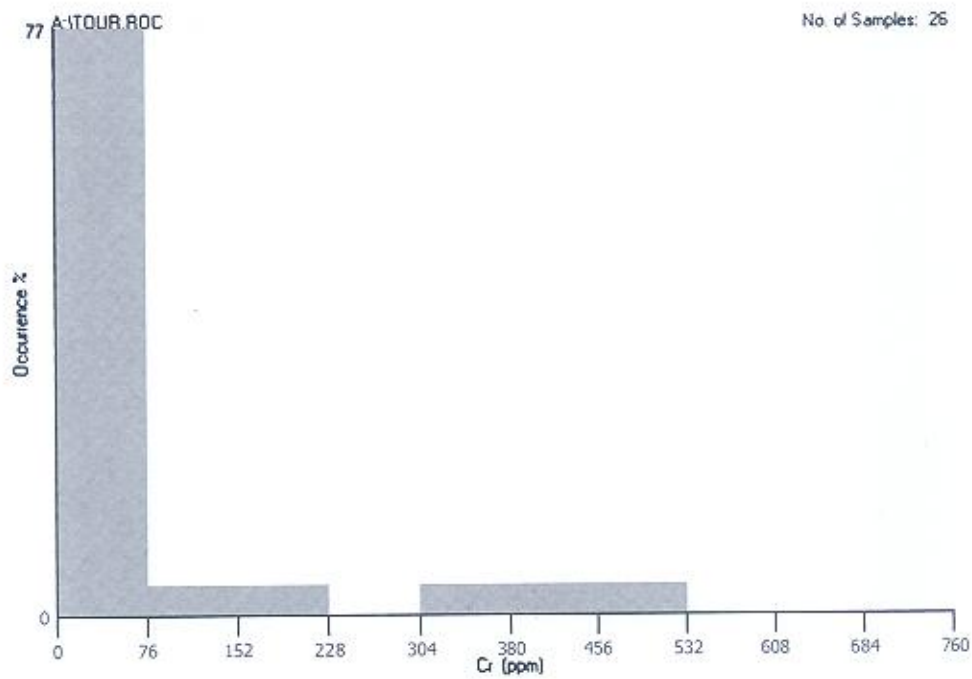
شکل ۱۶- هیستوگرام توزیع قلع در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



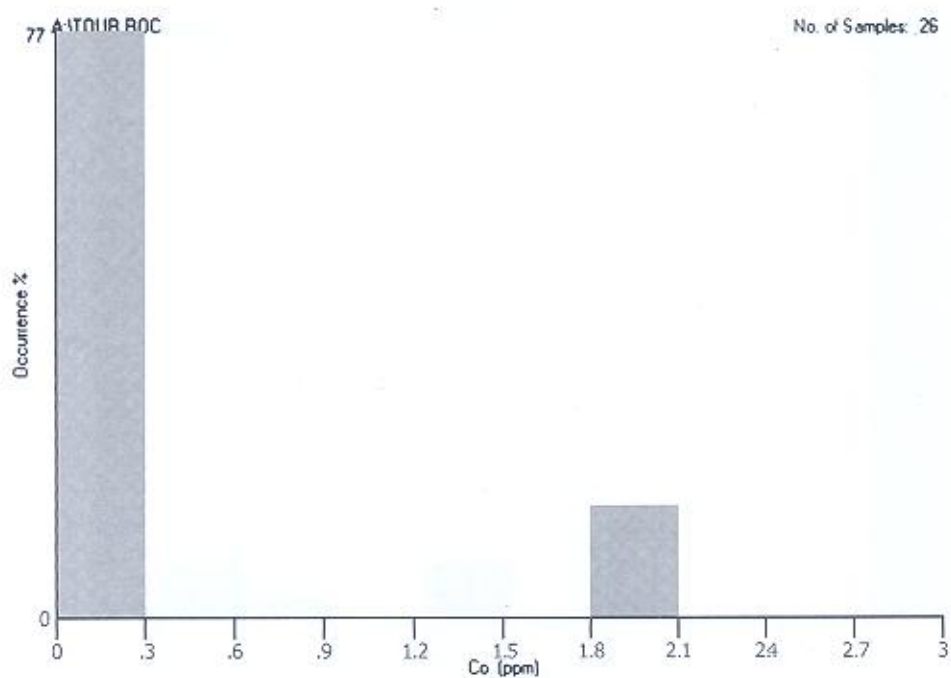
شکل ۱۷- هیستوگرام توزیع تنگستن در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



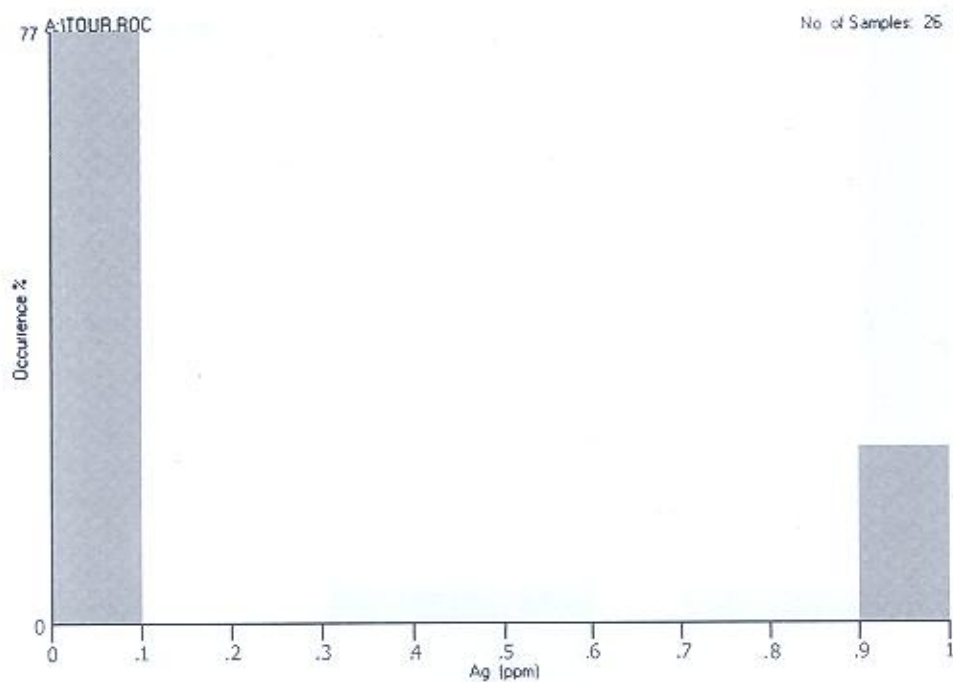
شکل ۱۸- هیستوگرام توزیع نیکل در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



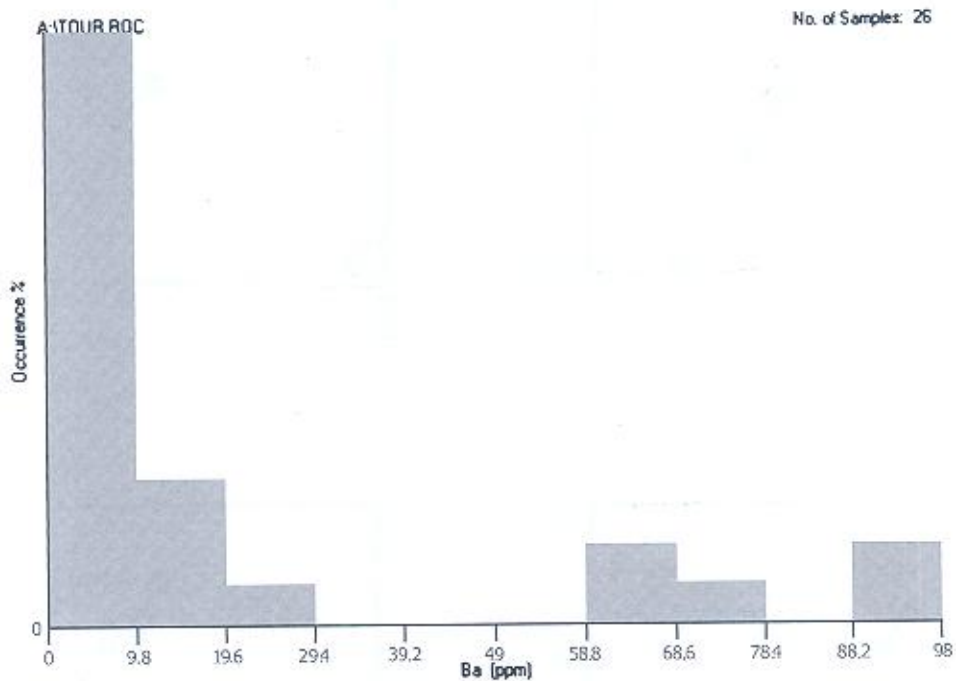
شکل ۱۹- هیستوگرام توزیع کروم در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



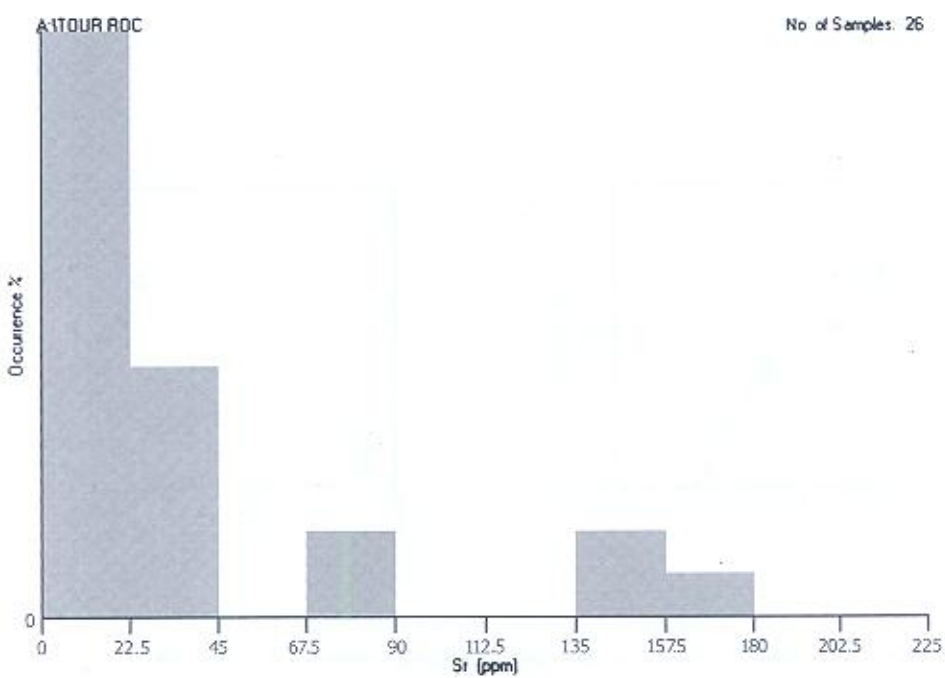
شکل ۲۰- هیستوگرام توزیع کبالت در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



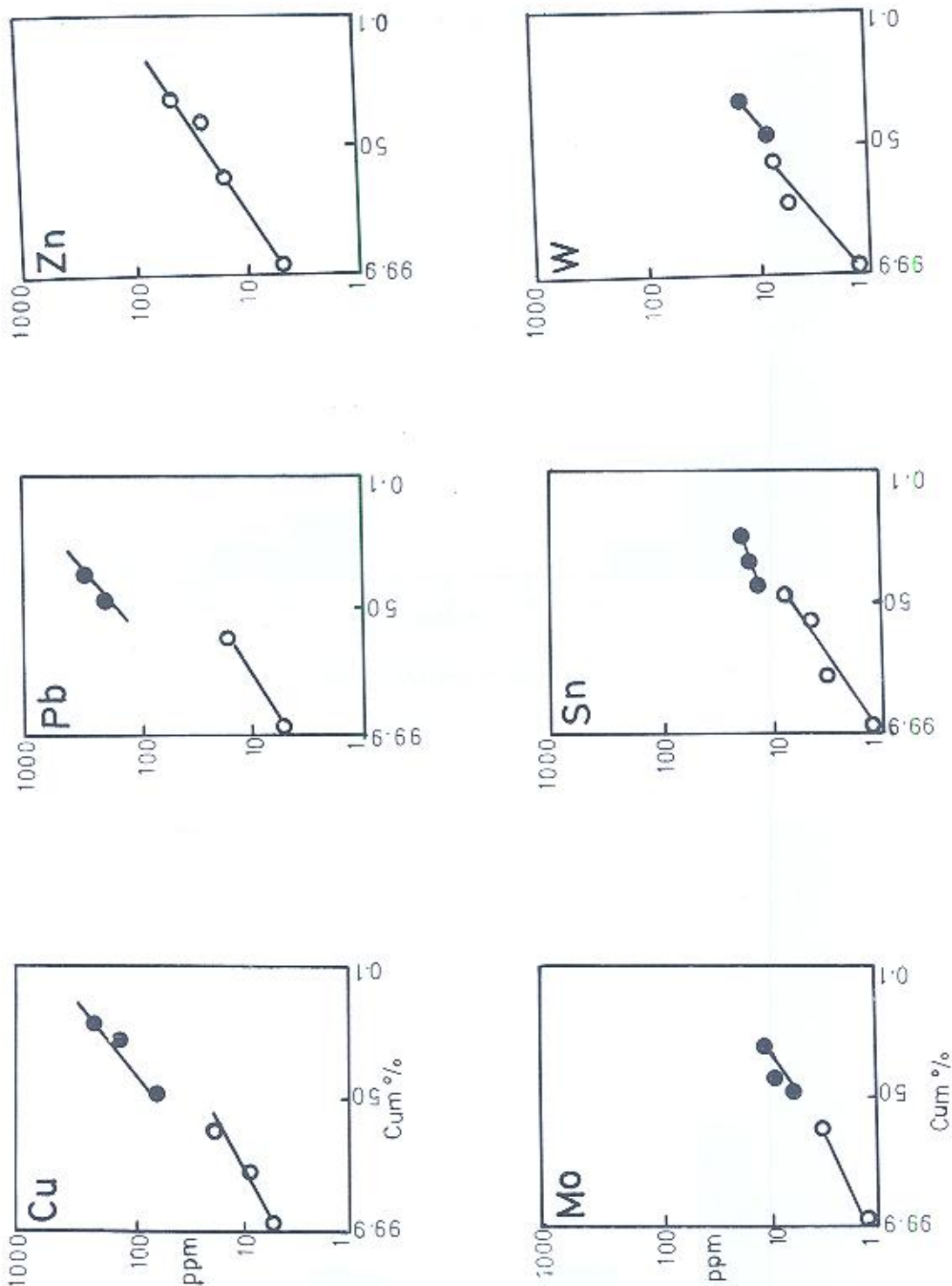
شکل ۲۱- هیستوگرام توزیع نقره در تورمالین های مناطق مورد مطالعه



شکل ۲۲- هیستوگرام توزیع باریم در تورمالین های مناطق مورد مطالعه

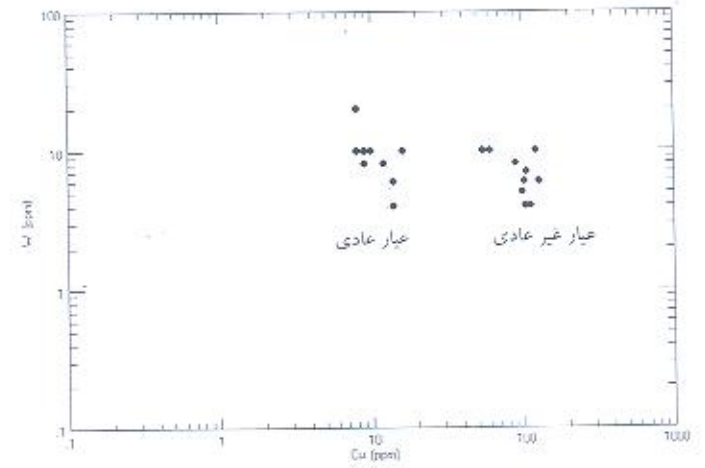
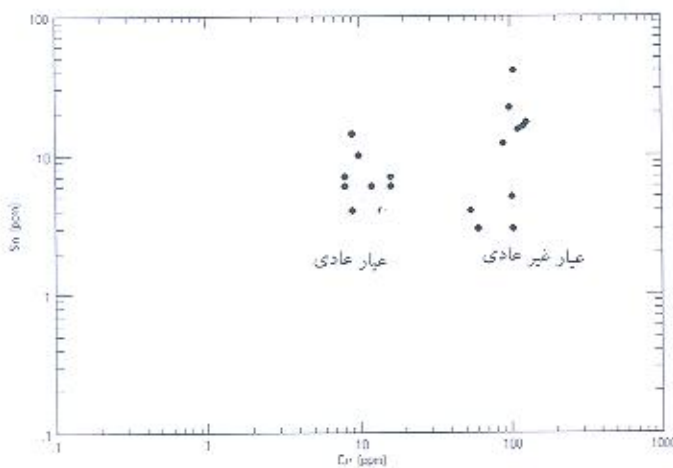
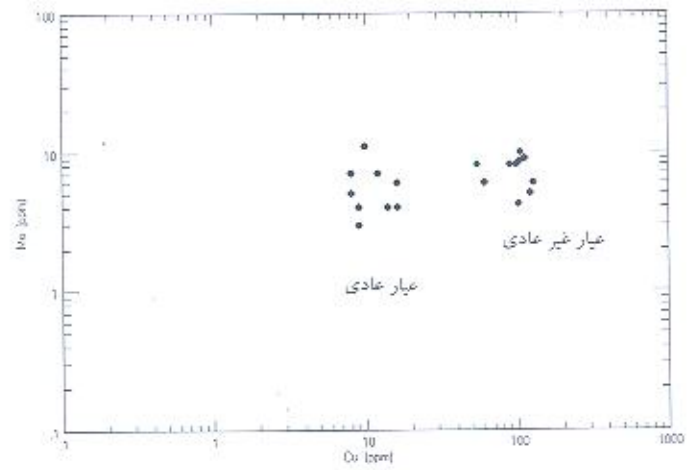
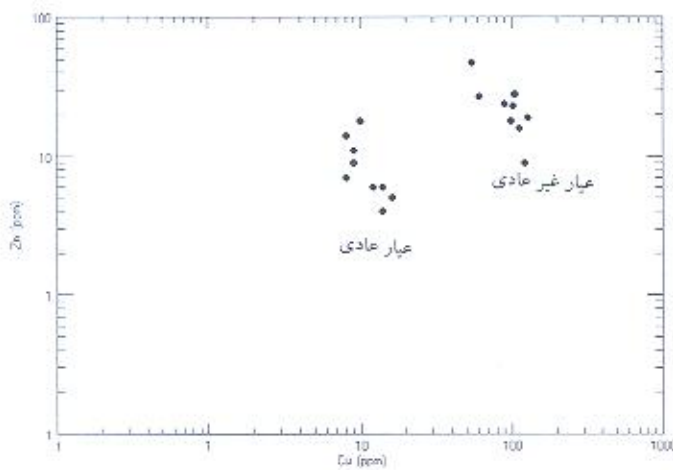
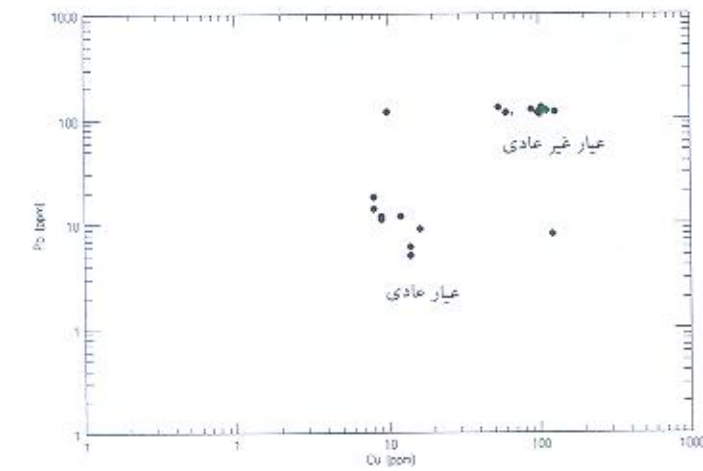


شکل ۲۳- هیستوگرام توزیع استرانسیم در تورمالین های مناطق مورد مطالعه

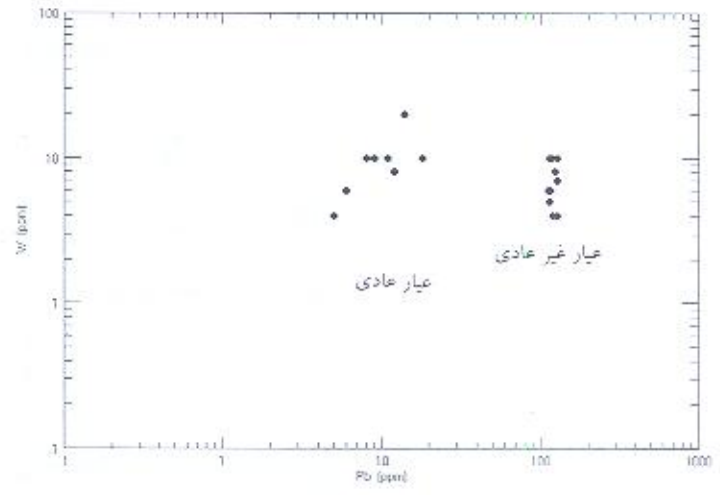
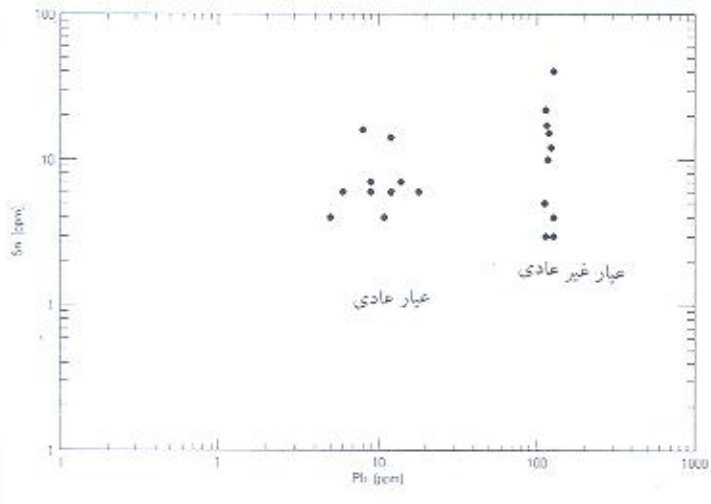
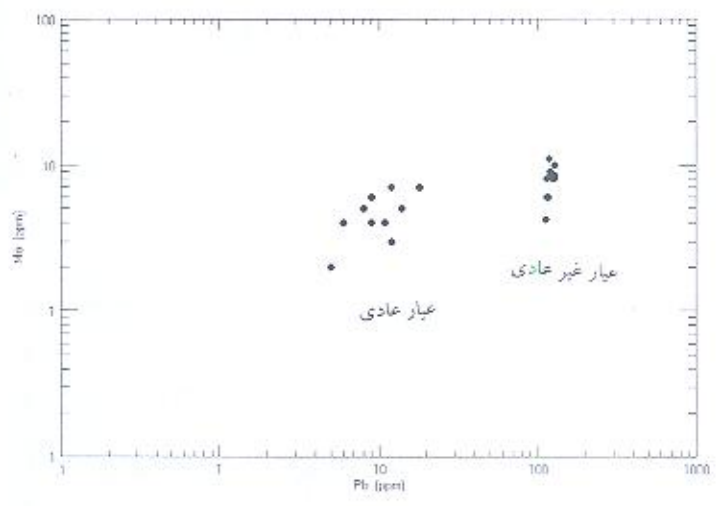
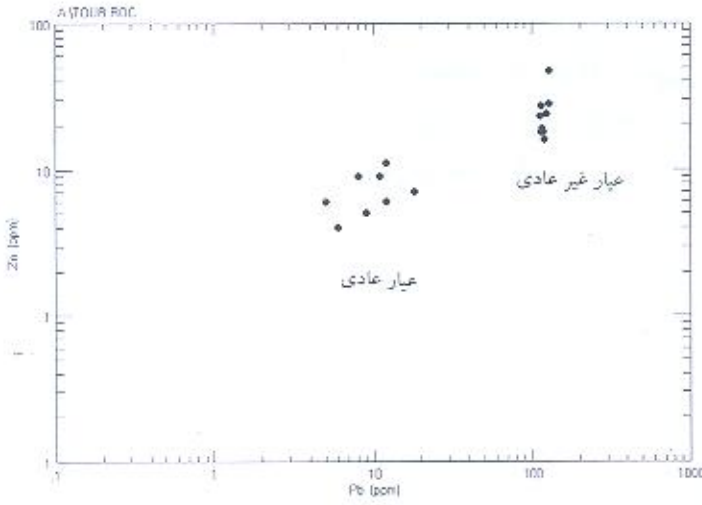


شکل ۲۴- بررسی نمودارهای تجمعی عناصر مختلف از تورمالینیت های مناطق مورد مطالعه (عیار عادی ۵۰ درصد تجمعی است).
 (○ عیار عادی، ● عیار غیر عادی)

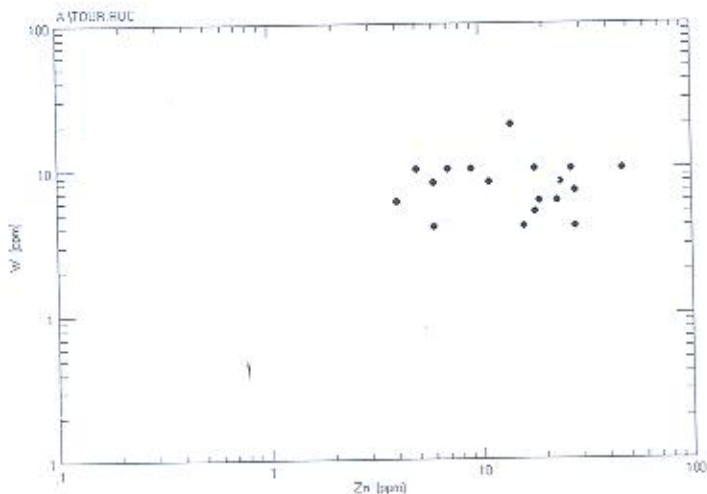
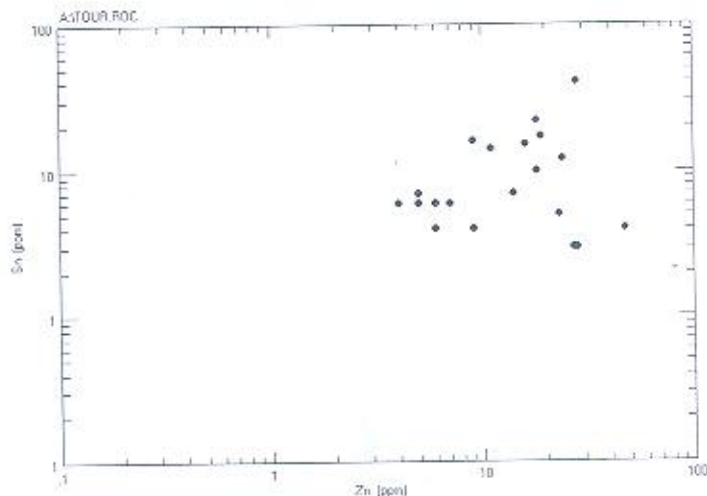
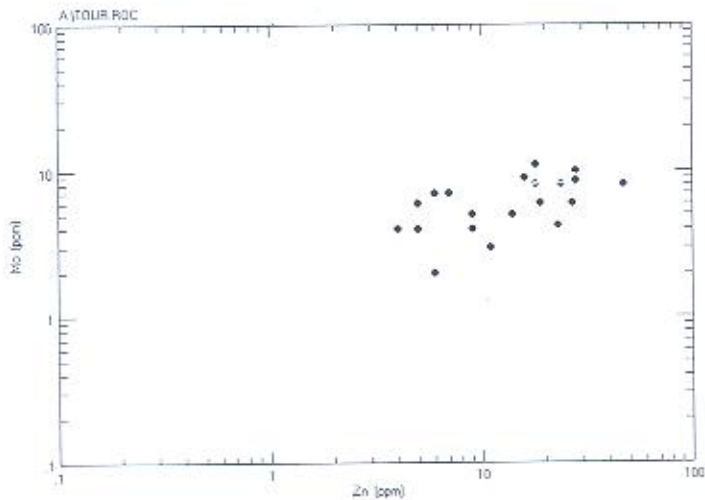
شکل ۲۵- پراکنندگی تورمالین های مناطق مورد مطالعه در نمودار الف) مس در مقابل سرب، ب) مس در مقابل روی و ج) مس در مقابل مولیبدن، د) مس در مقابل قلع و ه) مس در مقابل تنگستن



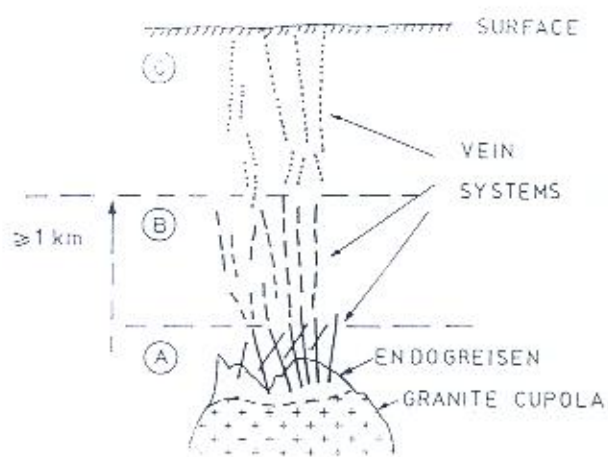
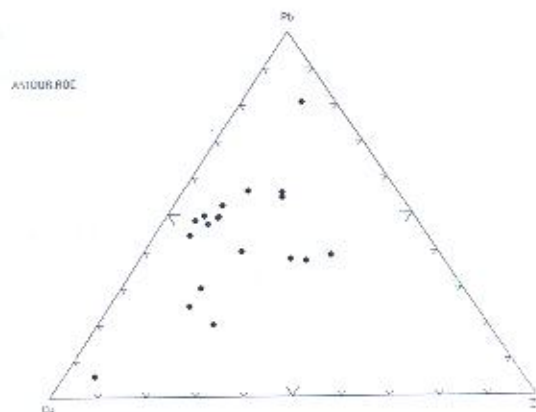
شکل ۲۶- پراکنندگی تورمالین های مناطق مورد مطالعه در نمودار الف) سرب در مقابل روی و ب) سرب در مقابل مولیبدن، ج) سرب در مقابل قلع



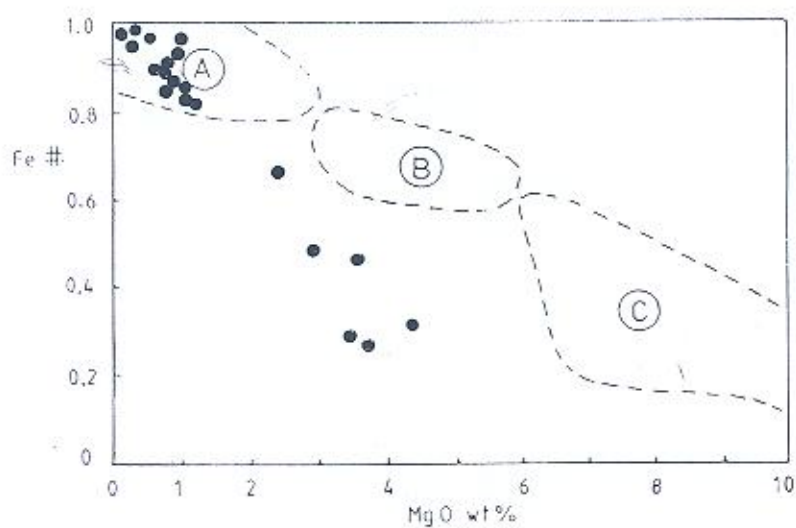
شکل ۲۷- موقعیت تورمالین های مناطق مورد مطالعه در نمودار الف) روی در مقابل مولیبدن ، ب) روی در مقابل قلع و ج) روی در مقابل تنگستن



شکل ۲۸- موقعیت تورمالین های مناطق مورد مطالعه در نمودار Cu-Pb-Zn



شکل ۲۹- موقعیت تورمالینیت ها نسبت به توده نفوذی (Plimer, 1986)



شکل ۳۰- نمودار دو محوری Fe#/Mg برای تورمالینیت های مناطق مورد مطالعه

کتابنگاری

عطاپور، ح. آفتابی، ع.، ۱۳۷۷- ویژگیهای ژئوشیمیایی تورمالین در پی جویی کانسارهای پورفیری و گرانیتوئیدی استان کرمان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۳۱۶-۳۱۴.

References:

- Bone, Y. 1988- The geological setting of tourmalinite at Rum Jungle, Australia: Genetic and economic implications: Mineral deposita, Vol. 23, PP: 34- 41.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1962 Rock- forming minerals, Vol.I-V, John Wiley and Sons, New york.
- Dimitrijevic, M.D., 1973- Geology of Kerman Region, Geological Survey of Iran. Rep. No.yu/52., 334P.
- Gabra, I., 1996- Tourmalinization related to Late Proterozoic and Early Paleozoic Iode gold mineralization in the Bin Yaari area , Nigeria: Mineral deposita, Vol.30. 30, PP: 235-245.
- Jingwen, M., 1995- Toumalinite from Northern Guangxi China: Mineral Depositata, Vol.30, PP:235-245.
- Levinson, A.A., 1980 - Introduction to exploration geochemistry, Apple. Pub. Co. 924 P.
- Pesquera and Velasco, 1997- Mineralogy, geochemistry and geological significance of tourmaline- rich rocks from the Palceozoic Cinco Villas Massif, Spain, Contrib, Mineral. Petrol., vol. 129, PP: 53-74
- Pirajno, F., Smithies, R.H., 1992- The FeO/FeO+ MgO ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite related hydrothermal mineral deposits: J.Geochem. Explor. Vol. 42, PP: 371-381.
- Plimer, L.R., 1986- Tourmalinites from the golden dome, Northern Australia, Mineral, depositata, Vol. 21.PP: 263-270

* مدیریت زمین شناسی منطقه جنوب خاوری (کرمان)

** بخش زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

* Geological Survey of Iran, Kerman Branch

** University of Shahid Bahonar, Kerman. Iran.