Archive of SID

سومین همایش ملی کوهشناسی و بلورشناسی انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران
3rd National Symposium of Gemology and Crystallography of Iranian Society of Crystallography and Mineralogy
دانشگاه شهید بهشتی

کانی‌شناسی و ژئوشیمی آنومالی پنج ساغند، یزد

صالح دیمر*، دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، S_Deymar@sbu.ac.ir
محمد یزدی، عضو هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
محمدرضا رضوانیان‌زاده، عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
مهرداد بهزادی، عضو هیئت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

آنومالی پنج ساغند بخشی از منطقه پرتوزای ساغند است که در پهنه متالوژنی بافق-ساغند در خرده قاره ایران مرکزی واقع شده است. کانه‌زایی REE، U و Th از نوع متاسوماتیسم حرارتی سدیک-کلسیک و در مجموعه‌های آمفیبول-آلبیت متاسوماتیت بوقوع پیوسته است. کانی‌سازی REE-Ti-Fe-U(Th) در مجموعه متنوعی از کانی‌های کمپلکس شامل مگنتیت، ایلمنیت، تیتانومگنتیت، روتیل، اسفن، لوکوکسن، دیویدایت، برانریت، اورانینیت، توریت و پاریسیت صورت گرفته است. الگوی REEها در آنومالی پنج ساغند، غنی شدگی نسبی عناصر نادر خاکی سبک از جمله ایتریم (Y)، لانتانیوم (La) و سریم (Ce) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین را نشان می‌دهد. ضرایب همبستگی مثبت و بالای بین عناصر نادر خاکی (Y، La و Ce)، تیتانیوم و اوارنیوم، همراهی این عناصر در فازهای کانیایی یکسان و منشأ مشترک آنها با یکدیگر طی فرایند متاسوماتیسم و کانی‌سازی را اثبات می‌کند.

کلیدواژه: کانی‌شناسی، ژئوشیمی، عناصر نادر خاکی، آنومالی پنج، ساغند

مقدمه

منطقه ساغند در بخش میانی زون سنگ زمین ساختی پشت بادام در خرده قاره ایران مرکزی واقع شده است. بلوک پشت بادام یک ایالت متالوژنی/تکتونیکی به سن اینفراکامبرین است که مهم ترین ذخایر آهن±آپاتیت، کانسارهای روی-سرب نوع SEDEX، کانی‌سازی‌های اورانیوم-توریم و عناصر نادر خاکی ایران در آن واقع شده اند. ذخایر REE-U-Th ناحیه ساغند در زون‌های دگرسانی حاشیه توده‌های آهن تشکیل شده‌اند و انطباق معناداری با توزیع سنگ‌های متأثر از متاسوماتیسم قلیایی دارند (Khoshnoodi et al, 2015). فرایندهای متاسوماتیسم نقش ژئوشیمیایی مهمی در تمرکز کانه‌های REE-U-Th دار در مناطقی از دنیا دارند. متاسوماتیسم سدیک در میان انواع فرایندهای متاسوماتیسم نقش موثرتری در تمرکز چنین عناصری دارد. فرایندهای متاسوماتیسم و گرمابی که توسط محلوهای آبگین اتفاق می‌افتند، تنها فرایندهای درون زادی هستند که طی آنها غلظت عناصر رادیواکتیو و بویژه اورانیوم به تمرکز اقتصادی می‌رسد (Titayeva, 1994). بر اساس کینایرد (Kinnaird, 1985) متاسوماتیسم سدیک با تمرکز عناصر Fe، U، Th، Zr، Nb، Sn، Zn و HREE همراه است. همچنین سنگ‌های این نوع متاسوماتیسم در مقایسه با متاسوماتیسم پتاسیک در عناصر Rb، Th، Nb، La، Ce، Hf، Zr و Y غنی می‌شوند. کانی‌سازی عناصر نادر خاکی، اورانیوم و توریم در بلوک پشت بادام مرتبط با فاز کانی سازی آهن±اپاتیت معرفی شده است و در واقع غنی شدگی این عناصر یکی از ویژگی های ذخایر آهن این ناحیه است (Daliran, 1990). اگرچه غنی شدگی این عناصر عمدتا در کانی آپاتیت تجمع یافته است؛ اما در محدوده آنومالی

www.SID.ir

Archive of SID

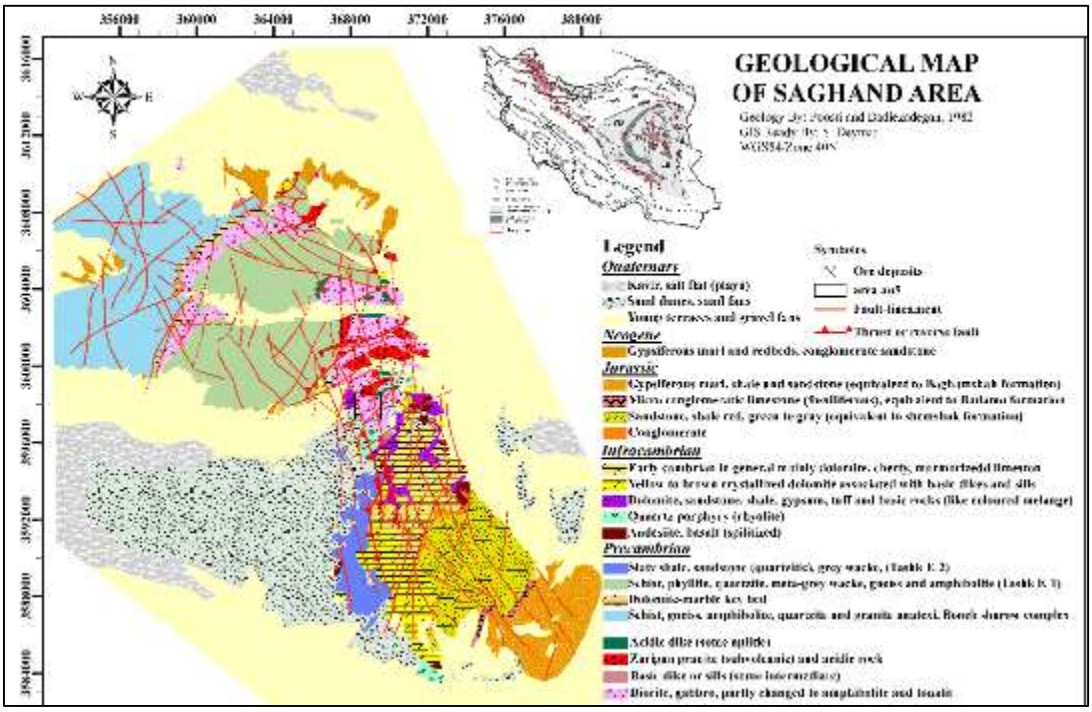
پنج ساغند در مجموعه‌ای از کانی‌های کمپلکس Ti-Fe-REE-U(Th) صورت گرفته است که در نوع خود مورد منحصر به فردی در ایران به حساب می‌آید. طی بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در محدوده آنومالی پنج، غنی شدگی عناصر نادر خاکی همراه با کانی‌سازی اورانیوم و توریم مشاهده شده است. با توجه به اهمیت استراتژیک این عناصر در صنایع مدرن و قیمت روزافزون این فلزات، بسیار حائز اهمیت است که کانه‌های میزبان، نوع و نرخ غنی شدگی این عناصر و بویژه ضرایب همبستگی آنها مشخص گردد.

زمین شناسی منطقه

منطقه ساغند در بخش میانی کمان تکتونوماگمایی کاشمر-کرمان در بلوک پشت بادام و در خرده قاره ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). آنومالی پنج ساغند یکی از چند آنومالی پرتوزا شناسایی شده در میدان معدنی ساغند است که در ۱۸۵ کیلومتری شمال شرق استان یزد در شرق روستای ساغند واقع شده است. در این ناحیه سنگ‌های پروتروزوئیک بالایی و کامبرین در زون ساختاری کمانی شکل کاشمر-کرمان در حدفاصل گسل‌های چاپدونی و کوه بنان رخنمون دارند. پی‌سنگ این ناحیه شامل سنگ‌های دگرگونی موسوم به کمپلکس‌های بنه شورو و پشت بادام با درجه دگرگونی متوسط تا بالا است (شکل ۱). این کمپلکس‌ها توسط سازند تاشک پوشیده شده‌اند که متعلق به پروتروزوئیک پسین است و تا درجه شیست سبز دگرگون شده است. روی سازند تاشک یک توالی از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی قرار گرفته‌اند که سامانی در مجموعه آنها سازند ساغند و سری‌های ریزو تا دزو را شناسایی کرده است (Samani, 1993). رمضانی و تاکر (۲۰۰۳) این مجموعه را تحت عنوان واحد آتشفشانی-رسوبی کامبرین نامگذاری کرده‌اند و سن آنها را کامبرین آغازین تعیین کرده‌اند. آنومالی پنج در سازند ساغند تشکیل شده است که شامل توالی از سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری مافیک تا اسیدی و رسوبی بویژه سنگ‌های کربناتی و تبخیری است. دایک‌های مافیک گسترده‌ای سازند ساغند را قطع کرده‌اند. رژیم تکتونیکی کامبرین آغازین در ناحیه بافق-ساغند توسط بربریان و کینگ (۱۹۸۱) بصورت ریفت تفسیر شده است؛ اما اخیرا رمضانی و تاکر بر اساس ویژگی‌های عناصر کمیاب توده‌های نفوذی گرانیتی و سنگ‌های آتشفشانی فلسیک پیشنهاد نمودند که این ناحیه یک حاشیه قاره‌ای فعال در امتداد اقیانوس تتیس آغازین بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه ساغند و محدوده آنومالی پنج بر روی آن

روش مطالعه

در این مطالعه ضمن استفاده از مشاهدات و روابط صحرایی، از مقاطع نازک، صیقلی و نازک صیقلی به منظور شناسایی کانی‌ها و روابط بافتی استفاده گردید. با توجه به ماهیت کانی‌سازی عناصر کمیاب و پرتوزا و لزوم استفاده از مطالعات میکروسکوپ‌های الکترونی، از تجزیه ریزکاوند الکترونی (EPMA) برای شناسایی فازهای کانی‌شناسی میزبان این عناصر استفاده شده است. از نتایج آنالیز ICP-MS و ICP-AES برای بررسی های ژئوشیمیایی استفاده شده است.

بحث و بررسی

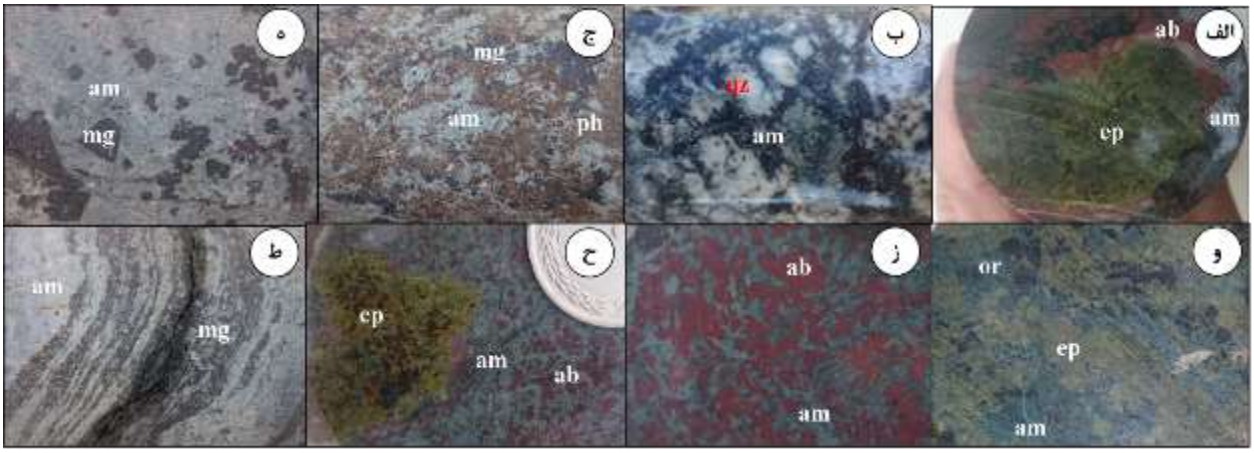
۱-کانی‌شناسی و کانه‌زایی

در منطقه مورد مطالعه پدیده متاسوماتیسم سنگ‌های آذرآواری زیردریایی و گدازه های بازیک و اسیدی را به سنگ‌های مختلف (بر حسب ترکیب اولیه) شامل آلبیتیت، آمفیبول-آلبیت متاسوماتیت، آمفیبول-سیلیس متاسوماتیت، فلوگوپیت-آمفیبول متاسوماتیت، آمفیبول-مگنتیت متاسوماتیت و توده‌های شبه گرانیتی تبدیل کرده است (شکل ۲). شدت، نحوه تغییرات و سنگ‌های حاصله تابع ترکیب و بافت سنگ میزبان، درجه حرارت و فشار محلول های متاسوماتوز کننده، موقعیت سنگ میزبان نسبت به حجره‌های حرارتی و گذرگاه‌های تکتونیکی و ساختاری می‌باشد. از نظر منطقه بندی می‌توان مناطقی با ویژگی‌های مشترک را تفکیک و روند تغییرات را پیگیری نمود. منطقه بندی تغییرات از مدل convection chamber تبعیت کرده است که مقیاس آن از ابعاد بزرگ تا حد متر و سانتیمتر تغییر می‌نماید (شکل ۲ الف). مرکز حجره حرارتی

www.SID.ir

Archive of SID

حداکثر تغییرات و کانی‌های حرارت بالا (آلبیت) را داشته و به سمت حاشیه به کانی‌های حرارت پایین‌تر بویژه اکتینولیت-ترمولیت تغییر می‌یابد (شکل ۲ الف). مناطقی که در آن شدت متاسوماتیسم کاهش می‌یابد و محلول‌ها حرارت پایین‌تری داشته است، اغلب متاسوماتیسم به صورت کلریتیزاسیون، اپیدوتیزاسیون و فلوگوپیتیزاسیون نمود کرده است (شکل ۲ و-ح). بنابراین توالی پاراژنزی مجموعه متاسوماتیسمی را به صورت آلبیت←اکتینولیت-ترمولیت←کلریت-اپیدوت-فلوگوپیت←سیلیس و کربنات می‌توان خلاصه کرد.

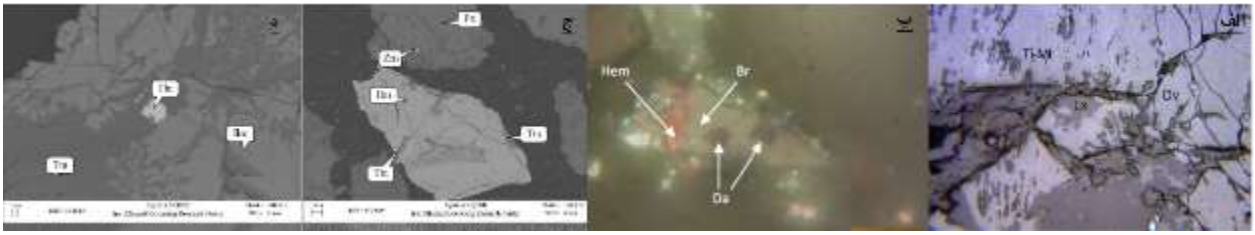


شکل ۲. انواع سنگ‌های متاسوماتیت و کانی‌سازی در آنها. الف) منطقه بندی متاسوماتیسم در یک حجره حرارتی از حاشیه به مرکز بصورت آلبیت←آمفیبول←اپیدوت، ب) آمفیبول-سیلیس متاسوماتیت، ج) فلوگوپیت-آمفیبول متاسوماتیت، د) آمفیبول-مگنتیت متاسوماتیت، و) آمفیبول-اپیدوت متاسوماتیت، ز) آلبیت-آمفیبول متاسوماتیت، ح) آمفیبول-آلبیت-اپیدوت متاسوماتیت، ط) آمفیبول-آلبیت-اپیدوت متاسوماتیت و ی) لامینه‌های مگنتیت در آمفیبول-مگنتیت متاسوماتیت.

کانه‌های شناسایی شده در مقاطع میکروسکوپی و مطالعات میکروسکوپ الکترونی EPMA شامل مگنتیت، هماتیت، ایلمنیت، تیتانومگنتیت، روتیل، اسفن، لوکوکسن و کانه‌های کمپلکس عناصر REE، U، Th و Ti شامل دیویدایت ($(La,Ce,Ca)(Y,U)(Ti,Fe^{3+})_{20}O_{38}$)، پاریسیت ($Ca(Ce,La)_2(CO_3)_3F_2$)، برانریت ($(U, Ca, Ce)(Ti, Fe)_2O_6$)، اورانینیت ($UO_2$) و توریت ($(Th,U)SiO_4$) هستند (شکل ۳). مگنتیت به صورت لامینه‌های موازی (شکل ۲ ط) و یا به صورت توده‌ای همراه با آمفیبول و یا به صورت پراکنده همراه با آمفیبول، فلوگوپیت (شکل ۲ ج-ه-و) و یا به صورت آگرگات و پراکنده همراه با کانی‌های تیتانیوم، اورانیوم و عناصر نادر خاکی دیده می‌شود (شکل ۲ و). ایلمنیت به صورت تیغه‌ای و بلورهای بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار وجود دارد و غالباً توسط تیتانیت، روتیل و یا لوکوکسن جانشین شده است (شکل ۳ ج-ه). دیویدایت کانه اصلی حامل عناصر REE-U-Th است که عمدتاً توسط لوکوکسن یا تیتانیت جانشین شده است (شکل ۳ الف-ب). برانریت (شکل ۳ ب)، اورانینیت، توریت و پاریسیت نیز در مقادیر کمتر دیده می‌شوند.

www.SID.ir

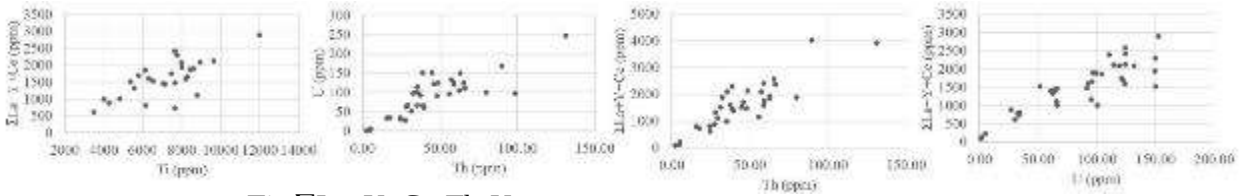
Archive of SID



شکل ۳. الف و ب) تصاویر میکروسکوپ انعکاسی: الف) بافت گرانولار تیتانومگنتیت و دیویدایت؛ و جانشینی دیویدایت با لوکوکسن ب) بلورهای نیمه شکل‌دار دیویدایت در داخل برانریت و جانشینی برانریت توسط هماتیت، ج و ه) . تصاویر Back-scattered electron مربوط به EPMA: ج) جانشینی ایلمنیت توسط تیتانیت و ه) جانشینی ایلمنیت توسط تیتانیت، بلوری از توریت در داخل تصویر دیده می‌شود.

۲-ژئوشیمی

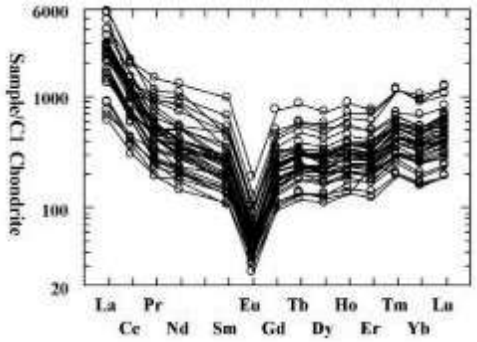
در مجموعه متاسوماتیسم آنومالی پنج غنی شدگی از REE، U، Th و Ti دیده می‌شود (شکل ۴). پدیده متاسوماتیسم پیشرونده سبب شستشو و خارج شدن Fe، Ti، U، REE و سایر عناصر فلزی و غیرفلزی از سنگ میزبان تحت واکنش شده، آنها را حمل و در میدان پایداری شیمیایی خاص هر یک مجدداً بر جای گذاشته است. از جمله ویژگی‌های الگوی REEها در آنومالی پنج ساغند، غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک از جمله Y، La و Ce نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین است که به وجود پیروکسن اولیه موجود در سنگ میزبان نسبت داده می‌شود که به آمفیبول (ترمولیت-اکتینولیت) دگرسان شده است (شکل ۵). ضرایب همبستگی مثبت و بالای بین عناصر نادر خاکی (Y، La و Ce) با اورانیوم، همراهی این عناصر در فازهای کانیایی یکسان و منشأ مشترک آنها با اورانیوم و توریم طی فرایند متاسوماتیسم و کانی‌سازی را اثبات می‌کند (شکل ۴). غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک حاصل غنی شدگی این عناصر در سیالات نشأت گرفته از گوشته و متاسوماتیسم حرارتی است (Samani, 1993). در مقابل برخی محققین دیگر معتقدند که غنی شدگی عناصر نادر خاکی، اورانیوم و توریم به همراه کانی سازی آهن به نفوذی های آلکالن مجاور این ذخایر و چرخه متاسوماتیسم حرارتی ناشی از این توده ها مرتبط است (Moore and Modaberi, 2003). به هر حال افزایش عناصر نادر خاکی به همراه آلبیت و آمفیبول در این توده های متاسوماتیتی بیانگر وابستگی محلولهای کانی‌ساز به منشأ ماگمایی بوده و نقش توده های بازیک در این متاسوماتیسم شناخته شده است (Taylor, 1982). بنابر مطالعات صورت گرفته توده‌های گرانیتی مجاور منطقه کانی‌سازی آنومالی پنج دارای ویژگی هایی است که منشأ آن را به گرانیتی شدن نوع متاسوماتیسم نسبت می‌دهد (سامانی، ۱۳۶۶). از جمله این ویژگی‌ها نبود مرز مشخصی بین گرانیت و بخش‌های متاسوماتیسمی و تغییر و تحول تدریجی آنها به یکدیگر، مشخص بودن آثار لایه بندی و رسوبگذاری اولیه در مجاورت گرانیت‌ها و نبود هاله یا عملکرد دگرگونی در اطراف گرانیتها و همچنین نبود تفریق مشخصی در خود گرانیتها می باشد.



شکل ۴. نمودارهای دوتایی بیانگر همبستگی بالا بین عناصر U، Th، ∑La+Y+Ce و Ti.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. الگوی عناصر نادر خاکی نرمال شده با کندریت C1 نمونه های متاسوماتیت آنومالی پنج

نتیجه گیری

روابط صحرایی، شواهد زمین‌شناسی ناحیه‌ای و مطالعات ژئوشیمیایی نظیر الگوهای عناصر نادر خاکی نشان می‌دهد که سنگ‌های میزبان کانی‌سازی حاصل ماگماتیسم درون قاره‌ای و موقعیت تکتونیکی ریفت کششی است که با کانی سازی هم سن و هم فاز هستند و منشأ ماگمایی این ذخایر را تأیید می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که ماگمای بازی و آلکالن که انشعابات و شاخه‌هایی از آن بصورت دایک‌های دیابازی، گابرو و سینیت‌های آلکالن دیده می‌شود، سبب متاسوماتیسم آلکالن مرحله اول و تولید ماگمایی با ماهیت گرانیتی آلکالن گردیده است. ماگمای گرانیتی ایجاد شده غنی از محلول‌های آبگین و عناصری نظیر سدیم، کلسیم، گاز کربنیک، بخار آب بوده که باعث متاسوماتیسم سنگهای آذرآواری و رسوبی میزبان شده است. طی متاسوماتیسم عناصر فلزی نظیر Fe، Ti، U، Th، REE بویژه Ce، La و Y از سنگ‌های میزبان رها و به حرکت درآمده است. این عناصر به تناسب شرایط فیزیکو-شیمیایی و میدان پایداری خاص خود از نظر درجه حرارت، PH، Eh بصورت کانی‌های مختلف تمرکز یافته است.

منابع فارسی

۱-سامانی، بهرام، ۱۳۶۶، پدیده های زمین شناسی و کانی سازی اورانیوم در منطقه ساغند، گزارش داخلی شماره ۲۲۰، سازمان انرژی اتمی ایران.

References

Berberian, M., and King, G. C. P., 1981, Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Science, v. 18, p. 210–265.

Daliran, F., 1990, The magnetite – apatite deposit of Mishdovan, east central Iran. An alkali rhyolite hosted "Kiruna-type" occurrence in the infracambrian Bafg metallotect; Ph.D. thesis, Univ. of Heidelberg. Geowiss. Abhandl. 37, 248 p.

Khoshnoodi, K., Yazdi, M., Gannadi-Maragheh, M., and Behzadi, M., 2016, Using of ASTER, ETM+ and Gamma Spectrometry Airborne Data to Find the Relationship Between the Distribution of Alkali Metasomatism and REE Mineralization in the Bafq Area, Central Iran, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 27, 65- 77.

Kinnaird J. A., 1985, Hydrothermal alteration and mineralization of the alkaline anorogenic ring complexes of Nigeria. J. African Earth Sci., 3, 229-252.

More, F.,Modabberi, S., 2003. Origin of Choghart iron oxide deposit, Bafq mining district, central iran: new isotopic and geochemical data. J. Sci. Islam. Repub. Iran 14, 259–269.

Ramezani, J. and Tucker, R.D., 2003, The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. American Journal of Science, 303, 622-665.

Samani, B., 1993. Saghand formation, a riftogenic unit of upper Precambrian in central Iran. J. Geosci. 6, 32–45.

Taylor, R. P and Fryer, B. J, 1982, metallization associated with acid magmatism, John wiley and sons, p: 357-365.

Titayeva, N. A., 1994, Nuclear geochemistry" CRC press 304p.

www.SID.ir