



## مطالعات زمین‌شناسی و کانه‌زایی مواد پرتوزا در منطقه فلزای بافق - ساغند (زریگان)

احسان ترابیان، محمد فخرالدین آقاخانپور، محمدجواد دارایی\*

دفتر اکتشاف و استخراج، شرکت تولید سوخت هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران-ایران

**چکیده:** منطقه اکتشافی زریگان در ۵۰ کیلومتری شمال شهرستان بافق در شرق استان یزد واقع است. این منطقه جزئی از سیستم کافت درون قاره‌ای ایران مرکزی در پرکامبرین می‌باشد. فرایندهای ماگمایی متعلق به ۵۰۰ میلیون سال پیش با ترکیب اسیدی-کالک آلکالی در بروز انواع متاسوماتیسم بارور در این منطقه نقش داشته‌اند؛ به تبع فعالیت‌های تکتونیکی، بخشهای کانه‌دار به وسیله محلول هیدروترمالی دارای Fe، K، Si، Na با روند کلی شرقی-غربی تشکیل شده‌اند. کانی‌سازی با بخشهای آلبیتی، آلپیت-اپیدوت-آمفیبولی و سیلیسی مرتبط است و در مجاورت دایک‌های دیابازی که با توفی اسیدی در بر گرفته شده‌اند، جای گرفته است. این بخشها دارای ضخامت متوسط ۰/۳ تا ۲ متر می‌باشند. کانی‌های اصلی در بخشهای کانه‌دار شامل تیتانومگنتیت، پیتچبلند و در بعضی بخشها دیویدایت با پیریت و ... می‌باشند که با فراوانی متوسط ۳-۵٪ و شیب ۳۵°-۳۰° به سمت شمال بصورت افشان، رگچه‌های نامنظم و تجمعی تشکیل شده‌اند. عناصر رادیوآکتیو U، Th به ترتیب با فراوانی ۵۰۰-۵۰ و ۵۰۰-۵۰ گرم در تن دیده می‌شوند مطالعه زمین‌شناسی عمقی نشان می‌دهد که پرتوزایی در این بخشها پیوسته نبوده و در اعماق کمتر از ۴۰ متر وجود دارد. میزان فراوانی عناصر فرعی Ce، Ti، Zr و اکسید اصلی Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در این مجموعه قابل توجه است.

**واژه‌های کلیدی:** اورانیوم، تورنیوم، هیدروترمال، تیتانومگنتیت، دیویدایت، پیتچبلند، کانی‌های پرتوزا، کانی‌سازی، سیستم‌های گرمایی، زریگان

## Geology and Mineralization Studies of Radioactive Minerals in Bafgh-Saghand Metalogenic Zone (Zarigan)

E. Torabian, M.F. Aghajanzpour, M.J. Daraei\*

Exploration & mining Affair, Exploration and Prepration of Raw Materials for the Nuclear Industry Co. AEOI, P.O.Box:14155-1339, Tehran-Iran

**Abstract:** Zarigan Prospect Area is located at 50 km North of Bafgh, East of Yazd Province. This area is a part of central Iran intercontinental drift, formed during pre-Cambrian. Calc-alkaline magmatic process (500Ma) with felsic composition has brought about different types of metasomatism. Radioactive mineralized zone was associated with "Na-K-Fe-Si" rich hydrothermal fluid that intruded following the tectonic activities with E-W trend. Mineralization is related to albite, albite-epidote-Amphibole and silicified zones that emplaced in the margin of Diabasic Dykes trending E-W. The main host rock is felsic Tuff. The thickness of mineralization is between 0.3-2 meters, dipping 30-35°N. Main minerals in the active zone are: Ti-magnetite, Davidite, pitchblend, and other radioactive minerals, quartz and some sulfide minerals such as pyrite (3-5%), which are found mainly as disseminated, irregular veinlets and dispersed lenses. Uranium and thorium grade varies between 50-2500 ppm and 50-5000ppm, respectively. Subsurface geological studies show that the activity is discontinued in zones and radiation is related to shallow to intermediate depths (40>m). The contents of Ce, Ti and Zr (Trace Els.) and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (major Oxide) are also high and notable in this system.

**Keywords:** Uranium, Thorium, Hydrothermal, Titanomagnetite, Davidite, Pitchblend, Radioactive Minerals, Mineralization, Hydrothermal Systems, Zarigan



## ۱- مقدمه

محدوده اکتشافی زیریگان در ۵۰ کیلومتری شمال شهرستان بافق در استان یزد و در غرب دهکده متروک زیریگان، در مرکزیت چهار گوشه نقشه‌های آبریز- زیره‌خان- چاه‌دق- سه‌چنگون واقع شده است. راههای اصلی ارتباطی به این منطقه معدنی، جاده آسفالتت یزد- بافق- بهاباد و جاده خاکی بافق- زیریگان می‌باشند. وجود مواد رادیوآکتیو در این منطقه نخستین بار توسط دفتر اکتشاف و استخراج سازمان انرژی اتمی و بکارگیری روشهای ژئوفیزیک هوایی (رادیومتری- مغناطیس‌سنجی) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در سال ۱۳۶۶ ثبت و تأیید گردید.

مراحل مطالعه شامل: پی‌جوئی، فاز مقدماتی و قسمتی از فاز نیمه تفصیلی به شرح ذیل بوده است:

- پردازش تصاویر ماهواره‌ای با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰.
- مطالعه نقشه‌های پرتوسنجی هوائی شامل: U، Th، K، Mag (مغناطیس‌سنجی) با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- مطالعه پرتوزائی منطقه با استفاده از سنتیلومتر و اسپکترومتر و تهیه نقشه‌های پرتوزائی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰.
- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۵۰۰ و ۱:۲۰۰۰ و بررسی ژئوشیمی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ به همراه بررسی نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده و ترسیم نقشه پراکندگی  $\frac{U}{Th}$ ، U و Th.
- حفر تعدادی ترانشه، حفاری ۶۱ چال به عمق متوسط ۶۰ متر و ۸ گمانه حفاری به عمق متوسط ۱۵۰ متر به منظور ردیابی بخشهای پرتوزا در عمق.
- ترسیم نیمرخ‌های زمین‌شناختی در امتداد چال‌ها و گمانه‌ها به منظور ردیابی بخشهای پرتوزا در عمق زمین.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

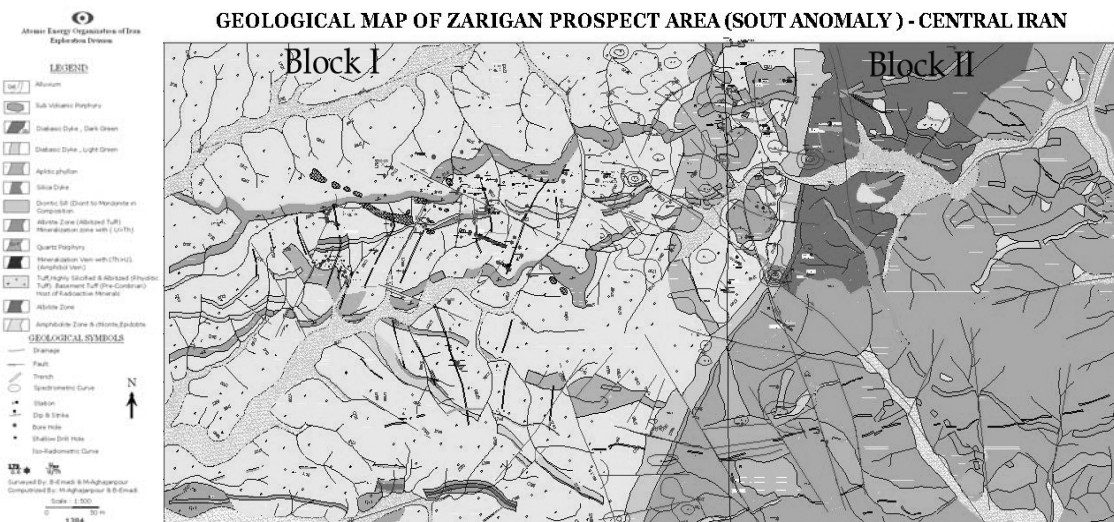
منطقه مورد بررسی بخشی از پوسته قاره‌ای ایران مرکزی است که کهن‌ترین واحدهای سنگی آن سنگ‌های رسوبی سازند تاشک می‌باشد [۱] که با توجه به مطالعات انجام شده

توسط باباخانی و مجیدی [۲] و پرتوسنجی [۳] مربوط به پرکامبرین پایانی می‌باشد و به تبع آن ماگماتیسم قلیایی- آلکالن طی پدیده تکتونو- ماگمایی مربوط به کافت درون قاره‌ای در این منطقه در حدود ۸۰۰ میلیون سال پیش شروع شده است. تشکیل منطقه‌های متاسوماتیسم Si و Na دار، وابسته به ماگماتیسم اسیدی می‌باشد که حدود ۵۸۰-۵۱۵ میلیون سال پیش [۳] در ایران مرکزی فعال شده است. فعالیت‌های تکنونیک شدید در این منطقه با روند اصلی شمالی- جنوبی و انشعابهای پر مانند آن (شرقی- غربی) باعث این ماگماتیسم در منطقه شده و محلول هیدروترمال وابسته به آن، منطقه‌های متاسوماتیت Si، Na دار، لوکومتاسوماتیت‌ها و آلیت‌ها را به وجود آورده است.

فاز نهایی فعالیت‌های ماگمایی در منطقه با محلول گرمابی غنی از Si همراه بوده که در مهاجرت و تجمع عناصر تأثیر داشته است. بطور کلی، به لحاظ سن تشکیل و تقدم و تأخر شکل‌گیری مجموعه‌های سنگی، سری‌های مختلفی از سنگهای متاسوماتیت، طبقات رسوبی، گدازه‌ها و ساب ولکانیک‌های مربوط به فعالیت‌های ماگماتیسم آلکالن- کالک آلکالن را به وجود آورده است. علاوه بر این توف‌های فلسیک و دایک‌های بازی دیوریتی و دیابازی بخش عمده‌ای از سنگ‌شناسی محدوده نابهنجاری<sup>(۱)</sup> را در بر می‌گیرد. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این منطقه اورانیوم با متاسوماتیسم آلیتی و توریم با آلیت- اپیدوت- آمفیبول همراه است. رخنمون‌های پراکنده‌ای از دگرسانی آلیت- اپیدوت- آمفیبول در نیمه شرقی مشاهده می‌شود که در فواصل دورتر از نابهنجاری اصلی به بخشهای آپاتیت‌دار تبدیل می‌گردد. بررسی ماهیت سنگ‌های آذرین منطقه با نرم‌افزار Ispetwin [۴]، همخوانی سنگ‌های محدوده را با ماگماتیسم درون قاره‌ای نشان می‌دهد (شکل ۲).

## ۳- کانی‌سازی و ژئوشیمی

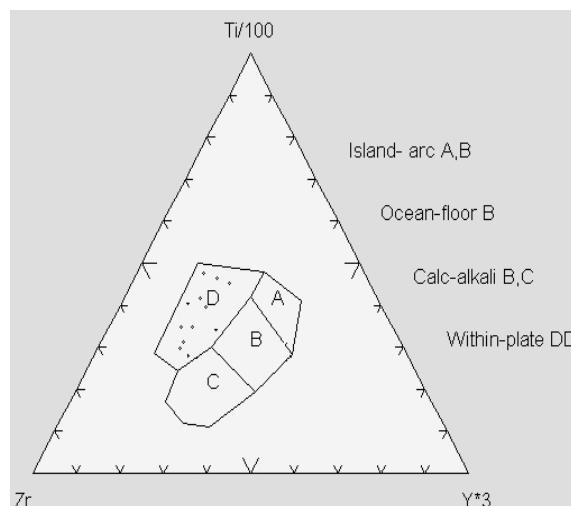
کانه‌زائی در منطقه زیریگان از نوع U، Th، REE، Ti است که مدل پیشنهادی تشکیل این کانسار در اثر نفوذ محلول



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (زریگان)، روند بخش‌های کانه‌دار با مقیاس ۱:۵۰۰.

دیابازی به صورت سد ژئوشیمیایی عمل کرده است. کانی‌سازی به تبعیت از سیستم تکتونیکی به صورت افشان و استوک‌ورک و تجمعی دیده می‌شود و با ترکیبات آهن‌دار نظیر تیتانومگنتیت و هماتیت در منطقه همراه است. محصولات ثانویه حاصل از اکسیداسیون این ترکیبات باعث تشکیل هماتیت، لیمونیت و گوتیت شده است. علاوه بر این پیروکلروگویت، روتیل و تورمالین نیز در بخشهای پرتوزا به چشم می‌خورد. علاوه بر کانی‌سازی‌های نامبرده، مقادیر اندکی از سولفیدهای اولیه و ثانویه حاصل از دگرسانی، کانی‌سازی را در بعضی نقاط بصورت انتشاری<sup>(۲)</sup> همراهی می‌کند. بطور کلی بخشهای پرتوزا که مورد بررسی قرار می‌گیرند از ویژگیهای زیر برخوردارند:

- منطقه‌های کانه‌دار به تبع رژیم تکتونیکی منطقه با روند شرقی- غربی و شیب ملایم حدود ۳۵-۳۰ به سمت شمال و ضخامت متوسط ۲-۳/۰ متر در سطح رخنمون دارند.
- بخشهای پرتوزا به لحاظ امتداد و جنس رگه در سطح و در عمق یکنواخت نیستند. تبعیت تکرار فعالیت‌های گرمایی از تکتونیک و شکستگی‌های منطقه، نفوذ دایک‌های مافیک، حرکات تکتونیکی جدیدتر عواملی هستند که بر عدم یکنواختی این بخشها و بهم ریختگی



شکل ۲- بررسی موقعیت تکتونیکی مجموعه‌های دارای رخنمون آذرین منطقه.

گرمایی دارای Si, Na, K است که در همبری با گرانیت زریگان (مجموعه اسیدی آلکالی) می‌باشد.

بطور کلی این مجموعه که بیشتر شامل Qtz-Alb-Plag می‌باشد باعث برجای گذاری کانی‌زائی U, Ti, REE, Th در منطقه شده است. اورانیوم و تورنیوم به عنوان عناصر پرتوزا در کانی‌هایی نظیر تیتانومگنتیت و احتمالاً دیویدایت و ... دیده می‌شود. زایش این کانی‌ها با حضور Fe در چرخه هیدروترمال و تشکیل دگرسانی هماتی، همانند آنچه در سایر ذخایر مشابه این نوع در جهان وجود دارد [۵ و ۶] و آهن موجود در دایک



نمونه از چال‌های کم عمق و ۱۲۰ نمونه از مغزه گمانه‌های حفاری برداشت شده، که مجموعاً ۲۳۰ عدد می‌باشد. از این تعداد ۱۰۷ نمونه برداشت شده در مراحل مختلف صرفاً برای بررسی عیاری U و Th آنالیز شده است.

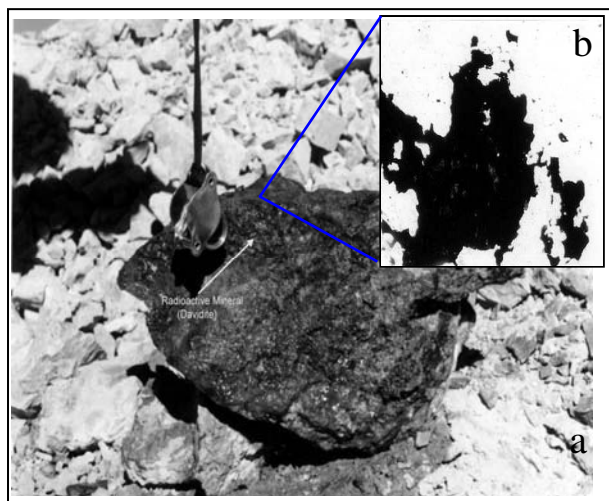
این نمونه‌ها به روش تکه‌برداری<sup>(۳)</sup> برداشت و به وسیله دستگاه XRF تجزیه شده‌اند و میزان عناصر Ti, Ce, Co, Cr, Cu, As, Rb, Sr, Y, Zr, Zn, Pb, Nb, Ba, K, Th, U مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار فراوانی عناصر Rb, Cu, Ni, Co, Pb, Mo و Ni اندک و در حد چند گرم در تن می‌باشد که فاقد ارزش اقتصادی است. میزان فراوانی عنصر رادیوآکتیو دارای تغییراتی در حدود ۲۵۰۰-۵۰ ppm می‌باشد و میانگین نسبی آن در حدود ۳۰ ppm است. همبستگی عناصر فرعی Zr, Ce و اکسیدهای اصلی  $TiO_2$  و  $Fe_2O_3$  (۶۳ نمونه از سطح و عمق) با عنصر اورانیوم بررسی شده است. عناصر فرعی و اکسیدهای اصلی نامبرده به ترتیب با حداکثر فراوانی ۱۱۹۷ و ۵۹۸۷ (ppm) و ۴۴/۶٪ و ۳۰/۷۴٪ تعیین شده‌اند که بطور نسبی ارتباط متقابل و منظمی را با کانه‌زایی اورانیوم بیان می‌کند. نمودار شکل ۴ ارتباط U,  $TiO_2$  و  $Fe_2O_3$  را نشان می‌دهد که حاکی از همراهی نسبی این عناصر با اورانیوم می‌باشد. بطوری که در این نمودار نشان داده شده، ارتباط مقادیر زیاد Ti با  $Fe_2O_3$ ، مؤید کانی‌سازی تیتانومگنتیت است که مطالعات صحرائی نیز نشان‌دهنده حضور U به همراه این ترکیبات می‌باشد. عناصر Zr و Ce که فراوانی چند صد ppm در بخشهای پرتوزا دارند از همخوانی مستقیمی با مواد رادیوآکتیو برخوردارند و نشان‌دهنده تشکیل و حضور Zr در منطقه‌های کانه‌دار به همراه U می‌باشد.

علاوه بر اورانیوم، توریم نیز مهمترین عنصر پرتوزا می‌باشد که به وسیله محلول کانه‌دار بر جای گذاشته شده است. فراوانی Th در قسمت‌های شرقی محدوده معدنی (شکل ۱) بیشتر از اورانیوم می‌باشد، به همین جهت بخش کانه‌دار که دارای روند شرقی- غربی است بر مبنای نسبت تغییرات اورانیوم به توریم ( $Th/U > 1$ ) به دو بلوک مطالعاتی تقسیم شده است؛ لازم به ذکر است که اهمیت اقتصادی اکتشاف

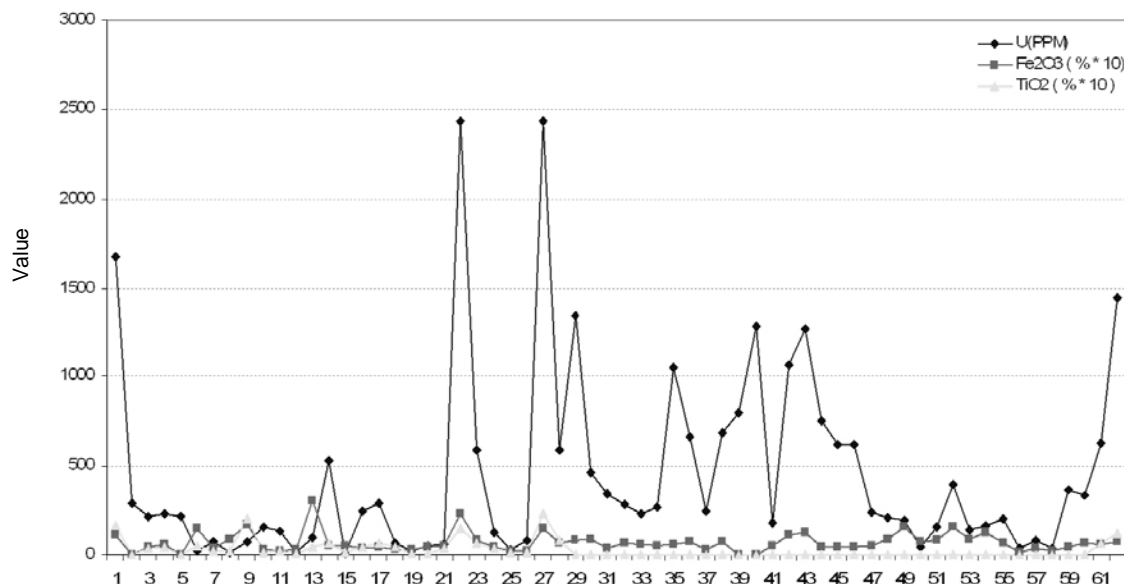
آنها اثرگذار بوده‌اند. عیار اورانیوم در بخشهای کانه‌دار و پرتوزا دارای تغییراتی در حدود ۲۵۰۰-۵۰ ppm و میانگین نسبی در حدود ۳۰ ppm می‌باشد.

- منطقه‌های نامبرده با ماهیت آلبیتی، همچنین آلیت- اپیدوت- آمفیبول با ترکیبات Fe, Ti, Si مرتبط است.
- کانی‌سازی به سه صورت انتشاری، رگچه‌های نامنظم و تجمعی دیده می‌شود و دارای فراوانی متوسط ۳ تا ۵ درصد می‌باشد.
- ابعاد میزالی کانی‌های پرتوزا نظیر دیویدایت در منطقه بطور متوسط بین ۲۵۰۰-۱۰۰۰ میکرون متغیر می‌باشد که در بعضی از موارد تجمعاتی در حدود ۵-۲ Cm نیز دیده می‌شود. شکل ۳ (a و b) به ترتیب کانی دیویدایت را در نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی نشان می‌دهد [۷].

در بررسی منطقه‌های آکتیو، میزان پراکندگی عناصر پرتوزا و سایر عناصر فلزی همراه، تعداد ۴۰۰ نمونه در فازهای مختلف اکتشافی از بخشهای آلبیتی و سایر سنگهای اطراف نظیر: توف‌های آلبیتی، توف‌های سیلیسی، رگه‌های کوارتز پورفیری و سنگ‌های آلیت- اپیدوت- آمفیبولی شده برداشت شده است. از این تعداد ۵۰ نمونه از ترانشه‌ها، ۶۰



شکل ۳- بخش آلیت متاسوماتیسم با تجمع اکسیدهای آهن حاوی کانی‌سازی اورانیوم در نمونه دستی (a) و مقطع میکروسکوپی (b)، (10× ppl).



شکل ۴- رابطه ژئوشیمیایی عناصر اورانیوم - تیتانیوم و اکسید آهن در بخش‌های پرتوزا.

برخورداراست ( $\geq 300 \text{ ppm}$ )، میزان وجود Th در منطقه نیز چشمگیر می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

پیدایش کانی‌سازی مواد رادیوآکتیو در ایران مرکزی و منطقه زیرگان ریشه در تشکیل کافت درون قاره‌ای در عصر پرکامبرین دارد. ماگماتیسم مرتبط با کافت درون قاره‌ای در حدود ۸۰۰ میلیون سال پیش و به تبع آن ماگماتیسم اسیدی مربوط به ۵۰۰ میلیون سال پیش، عامل کانه‌زایی در منطقه بوده‌اند [۳].

- کانی‌سازی در منطقه مرتبط با مجموعه آلپیتی: آلپیت-

اپیدوت-آمفیبولی است و حاکی از تأثیر محلول گرمابی غنی از Si، Ti، Na، Fe می‌باشد.

- بخش‌های پرتوزا، روند شرقی- غربی دارند؛ زیرا در مجاورت دایک‌های دیابازی، عناصر رادیوآکتیو پایدار شده و بر جای مانده‌اند.

اورانیوم در کانی دیویدیت شناسایی شده است. به غیر از تیتانومگنتیت، کوارتز و اکسیدهای آهن، سایر کانی‌ها نظیر پیریت، روتیل و تورمالین، از فراوانی بالایی برخوردار نیستند (۴-۵/۰٪).

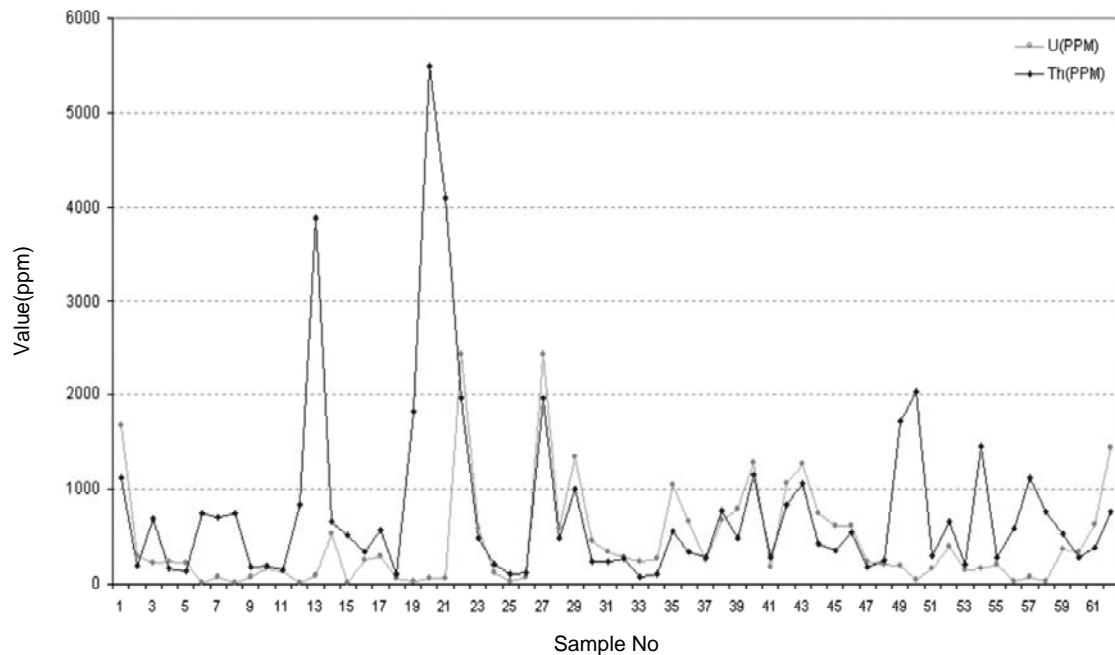
مواد رادیوآکتیو، متمرکز در بخش‌هایی است که اورانیوم از حداقل مقدار اقتصادی برخوردار بوده، علاوه بر این،  $\frac{U}{Th} > 1$  می‌باشد. علت تغییر در میزان U و Th در این بلوک‌ها نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد، ولی با توجه به مستندات و مطالعات صحرائی، تا بحال دو دلیل برای این تغییرات پیشنهاد شده است:

- فراوانی Th در بخش شرقی منطقه کانه‌دار مربوط به

حرارت بالاتر زمان تشکیل می‌باشد، زیرا کانه‌زایی Th دار مرتبط با بخش‌های آلپیت- اپیدوت- آمفیبول می‌باشد و پاراژنز کانی‌شناسی ذکر شده حاکی از درجه حرارت بالاتر از حد پایداری اورانیوم است.

- قابلیت تحرک بیشتر عنصر اورانیوم را می‌توان عاملی بر جابجایی این عنصر در نابهنجاری، به وسیله محلول تأخیری غنی شده از Si و بر جای گذاری و نهشت آن در فواصل دورتر (بلوک I) دانست. در این بلوک اورانیوم مرتبط با بخش آلپیتی Si-Fe و Na دار است.

بطوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود U و Th دارای ارتباط و همراهی نسبی می‌باشند. علت فراوانی U در برخی از نمونه‌ها (شماره ۲۱-۴۹) و افزایش Th در نمونه‌های دیگر، برداشت نمونه‌ها از بلوک‌های I (اورانیفر) و II (تورینفر) بوده، و در مجموع مشاهده می‌شود، هر چند U در منطقه از حد مناسبی



شکل ۵- رابطه ژئوشیمیایی عناصر اورانیوم و توریوم نمونه های برداشتی از بلوک‌های I و II.

## References:

1. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آرئیز (۱۳۷۹).
2. ع. باباخانی، ج. مجیدی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساغند (۱۳۶۷).
3. ب. سامانی، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران ۱-۱۴ شماره ۱۷ (۱۳۷۱).
4. J.A. Pearce and J. Cann "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses," *Earth and Planet.Sci.Lett.*, **19**, 290PK (1973).
5. J. Franz Dahlkamp, "Uranium ore deposits," 122-127., 460 (1991).
6. A.K. Miguta, *Geology of ore deposits*, **43**. No.2, "Uranium deposit of the Elkon ore district in Aldan shield," 116-135 (2001).
7. م. آقاجانپور، ب. عمادی، ا. ترابیان، "مطالعات زمین‌شناسی سطح‌الارضی منطقه اکتشافی زیرگان".

- بخشهای کانه‌دار دارای ضخامت متوسط ۲-۰/۳ متر بوده‌اند که عناصر اقتصادی و کانی‌های پرتوزا در آنها دارای پرتوزایی متوسط ۴۰۰-۵۰۰۰ cps و تغییرات عیاری ۲۵۰۰-۵۰ ppm می‌باشند و از فراوانی حدود ۳ تا ۴ درصد برخوردارند. بافت‌های کانی‌سازی به ترتیب اهمیت عبارتند از: افشان، رگچه‌های نامنظم و تجمعی.
- مجموعه عناصری که همراهی نسبی با U، Th دارند و حضور آنها در محلول هیدروترمال با مطالعات صحرائی و آنالیز مشخص شده است عبارتند از: Ce، Fe، TiO<sub>۲</sub>، Si، Zr

## پی‌نوشت‌ها:

- ۱- Anomaly
- ۲- Disseminated
- ۳- ChipComposite