



کانی‌زایی رادیوآکتیو در منطقه چاه‌گز و تفسیر زمین‌شناسی آن

اکبر شکوری*

امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

چکیده: در این کار پژوهشی ارتباط زایشی عناصر پرتوزا با پدیده‌های روی داده در منطقه چاه‌گز (در ایران مرکزی) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک و صیقلی سنگهای منطقه چاه‌گز نشان می‌دهند که هاله‌های متحدالمرکز ناشی از تابش رادیوآکتیو، کانیهای مقاومی مانند زیرکن را احاطه کرده‌اند. وجود این هاله‌ها با رنگهای رنگین‌کمان بیانگر این است که در این سنگها پدیده کانی‌سازی پرتوزا از نوع چندزادی^(۱) رادیوآکتیو و پرتوزاد^(۲) اتفاق افتاده است. این نوشتار گزارشی تحقیقی است که در رابطه با نحوه جایگزینی عناصر رادیوآکتیو در منطقه چاه‌گز صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌زایی، چندزادی، پرتوزاد، هاله‌های چندرنگ، مقاطع صیقلی، فروشکن

Petrogenetic Affiliation between Radioactive Elements (From Chah-e-Gas Area) and Geological Phenomena.

A. Shakouri*

Exploration & Mining Division, AEOL, P.O. Box: 14155-1339, Tehran - Iran

Abstract: In this research, petrogenetic affiliation between radioactive elements (from Chah-e-Gas area) and geological phenomena has been discussed. Microscopic examination of thin and polished sections of rocks from Chah - e - Gas area exhibits more distinguished concentric haloes, surrounding exotic radioactive minerals (i.e. zircon). Haloes with different luminous colours, confirm polygenetic radioactive and radiogenic elements concentrations.

This research paper has also discussed the replacement of radioactive elements in Chah-e-Gas area, Central Iran.

Keywords: mineralization, polygenetic, radiogenic, pleochronic haloes, cataclastic

*- e-mail: Bsamani@seai.neda.net.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۱/۳/۲۸

۱- مقدمه

درصدی از این عناصر به همراه عناصر دیگر مانند REE, Rb, K, Zr به وسیلهٔ محلولها حمل شده و با غلظت بیشتر درون سنگهای میزبان جای گرفته‌اند. کانیهای سیلیکاتهٔ تورنیوم و اورانیوم‌دار (مانند زیرکن) در اثر عملکرد محلولها تجمع بیشتر پیدا کرده و فراوانتر شده‌اند. تزریق محلولها با فعالیتهای زمینساختی همراه بوده است و در هر فعالیت زمینساخت امکان دارد که حلقه‌ای از عناصر پرتوزا در اطراف این کانیها جای گرفته باشند. عناصر پرتوزای درون این حلقه‌ها، پرتوهای تخریبی ساطع می‌کنند. این پرتوها در اثر برخورد با نور لامپ میکروسکوپ به صورت «هاله‌های چندرنک» دیده می‌شوند [۵].

برای تشکیل این هاله‌ها تعداد کثیری از اتمهای رادوآکتیو لازم است. علاوه بر این باید درصد بالایی از این اتمها در تک‌بلور هسته مرکزی و در حلقه‌های اطراف آن تجمع یافته باشند. آزمایش‌های ما نشان می‌دهند که این پدیده به نحو مطلوب در منطقه چاه‌گز و در ایران مرکزی اتفاق افتاده و از کیفیت زمینساخت و فعالیت محلولهای همراه آن متابعت کرده است.

اگر تودهٔ سنگی درون زمین مورد هجوم محلولهای داغ قرار گیرد، مقداری از مواد این محلولها در سنگ جایگزین موادی می‌شوند که بطور همزمان از چرخهٔ ترکیبی سنگ خارج می‌گردند. این محلولها معمولاً قادر به تخریب کانیهای مانند زیرکن نیستند، بلکه بر عکس، با ایجاد هاله‌هایی در اطراف آنها موجبات رشدشان را فراهم می‌سازند.

۳- روش کار

۳-۱- پرتونگاری از مقاطع نازک

پرتونگاری اشعهٔ آلفا یکی از روشهای آزمایشگاهی است که برای اکتشاف اورانیوم در سنگها از آن استفاده می‌شود. در این روش فیلمهای ویژه‌ای، به نام پلاک هسته‌ای بکار می‌رود که غلظت برومور نقره در آنها ده برابر فیلمهای معمولی است. مسیر ذرات آلفا، پس از خروج از هسته اتم پرتوزا، بر روی فیلم ضبط و ظاهر می‌شود.

در این روش ابتدا از سنگ مورد نظر پلاک نازکی تهیه و سطح آن را صیقلی می‌کنند و در تاریکخانه بر روی فیلم

هسته‌های عناصر اورانیوم و تورنیوم جزو هسته‌های خیلی سنگین هستند؛ این عناصر پرتوگاما و ذرات آلفا و نوترون از خود ساطع می‌کنند که از سنگها و کانیهای محتوی اورانیوم و تورنیوم خارج شده و بر فیلم حساسی که در مسیر آنها قرار گیرد اثر می‌گذارد. به این طریق می‌توان کانیهای پرتوزا را از کانیهای غیر پرتوزا تشخیص داد. نوسانات پرتوزایی در سنگها و کانیها از میزان تغییرات اورانیوم و تورنیوم در آنها تبعیت می‌کند و نحوهٔ جایگزینی این عناصر در سنگها و کانیها به عوامل متعددی بستگی دارد [۱ و ۲].

در این مقاله شمه‌ای از نحوهٔ تجمع مواد پرتوزا در سنگهای آذرین بیان گردیده و چند روش آزمایشگاهی برای تشخیص کانیهای پرتوزا به اختصار شرح داده شده است، در ضمن پدیدهٔ هاله‌های چندرنک^(۳) به عنوان یک روش تشخیص مورد بحث قرار گرفته است.

۲- نظری اجمالی به زمین‌شناسی منطقه

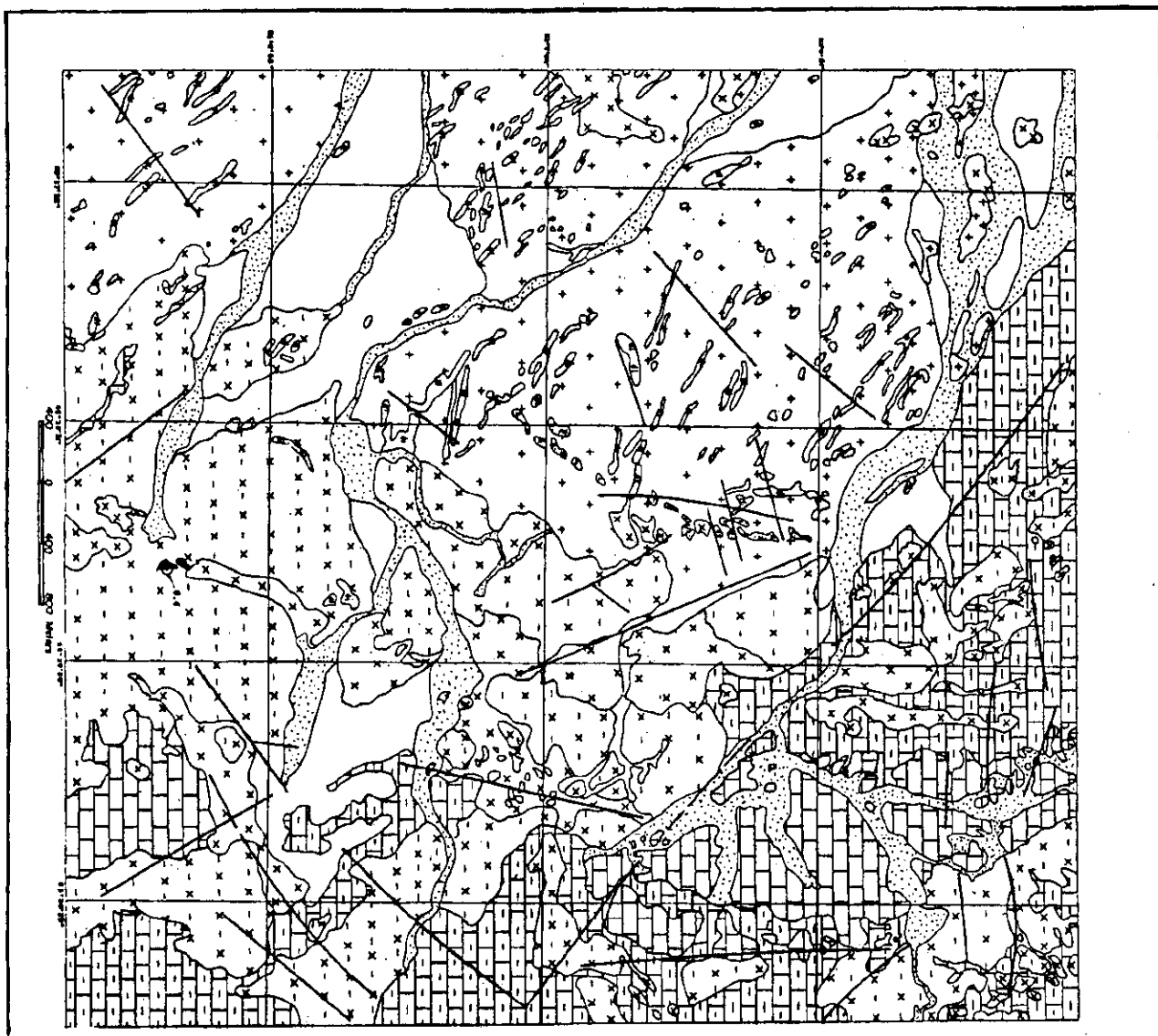
نواحی مورد مطالعه در منطقه عملیاتی کانسار آهن چاه‌گز و در منطقه بافق، ۴۳ کیلومتری شمال معدن چغارت، در عرض جغرافیایی ۳۲° ۸' شمالی و طول جغرافیایی ۵۵° ۲۹' شرقی قرار دارند (نقشه زمین‌شناسی پیوست).

این منطقه در همبری توده گرانیت زیرگان کشیده شده که در غرب محدود به توده بزرگ گرانیتوئید و در شرق محدود به دیوریت‌های نفوذی و لایه‌های آندزیتی و بازالت پورفیری است. در این منطقه سازندهای کامبرین زیرین گسترش فراوان دارند که با یک کمپلکس ولکانیک رسوبی مشخص می‌شوند.

سنگهای آذرین اسیدی و میانه و توفهای هم‌ارز آنها با «میان لایه‌هایی» از سنگهای کربناته و مساه سنگ، تشکیل‌دهندگان اصلی این کمپلکس محسوب می‌شوند [۶].

فعالتهای ماگمایی از محصولات متاسماتیسیم بی‌بهره نبوده‌اند. پدیده متاسماتیسیم با فرایندهای آلبیت‌زایی و آمفیبول‌زایی همراه است. پرتوزایی در سنگهایی با متاسماتیسیم آلبیت - آمفیبولیت مشاهده می‌شود.

جای‌گیری سیلیکاتهای آهن و منیزیوم‌دار در سنگهای آذرین با آزادسازی اورانیوم و تورنیوم همراه بوده است.



Map prepared by:
 M. Rezaei

Paleozoic		Cretaceous		Tertiary	
				Quaternary	
[Symbol]	Q1: Recent Alluvium	[Symbol]	Q2: Dolomite and micrometachertic shales	[Symbol]	Q3: Siliceous veins and opacities
[Symbol]	Q4: Quartz porphyry veins and dark quartz (metapelite metamorphism)	[Symbol]	Q5: Quartzite (siliceous veins and opacities, locally granitoid)	[Symbol]	Q6: Gypsiferous massive limestone with dense structure, containing Algae and Mycolite
[Symbol]	Q7: Crystallization of green calcareous shale, well bedded gray and black limestone, thin bedded marly limestone	[Symbol]	Q8: Dark volcanic rocks (basalt, diabase), highly metamorphosed	[Symbol]	
[Symbol]		[Symbol]		[Symbol]	

Fault
 Fe: Iron
 Sample Location

LEGEND

Atomic Energy Organization of Iran
 Exploration Division

SAMPLE LOCATION MAP
CHAH GAZ

Author: A. Shakeri
 Draw No. 2948
 Date: 1/7/2000
 Ref. No. 1/70000/Dat/Expl/07/08



شکل ۲- ثبت اثر پرتوهای ساطع شده از نمونه سنگ پرتوزای منطقه چاه‌گر، ایران مرکزی بر فیلم پرتونگاری (بزرگنمایی ۴) این عکس از مقطع صیقلی نمونه G.4 تهیه شده است. (فتورادیوگرافی: توسط خانم شهرستانی، ۱۳۷۶)

۲) میکروسکوپ معمولی که کانیهای موجود در سنگها را با آن مطالعه می‌کنند؛ در بخش کانی‌شناسی واحد اکتشاف برای مطالعه کانیها از این نوع استفاده می‌شود.

برای تهیه تصویر از ساختار بلوری، از میکروسکوپ تشخیص مواد در بخش لیزر سازمان استفاده شده است (۵). شکل ۳ نمونه‌ای از ساختار بلورین این کانیها را نشان می‌دهد.

۳-۳ بررسی مقطع صیقلی با دستگاه الکترون میکروپروب

برای حصول اطمینان از این یافته‌ها، نمونه (G.4) با دستگاه الکترون میکروپروب به شرح زیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت:

آنالیز نقطه‌ای این نمونه کانی، وجود عناصر Th و Si را مشخص می‌سازد (نمودارهای ۱ و ۲ و ۳). مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که سنگ میزبان شبه‌گرانیت است. با توجه به بافت ریز بلور سنگ، محتمل است که این سنگ از نوع رگه‌ای و نیمه عمیق باشد و با توجه به اینکه

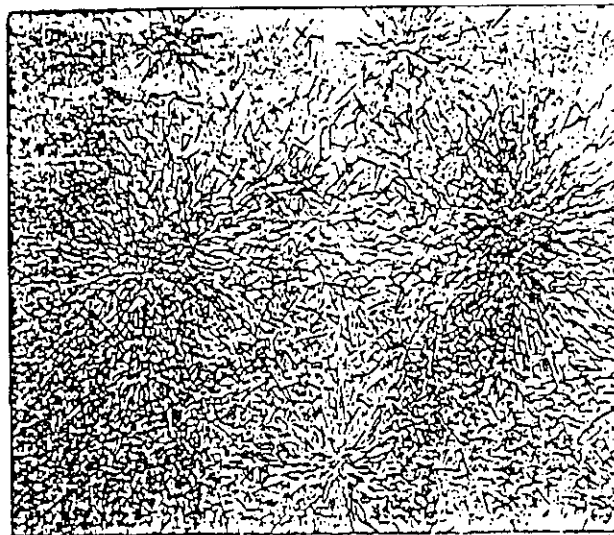
(پلاک هسته‌ای) قرار می‌دهند. پس از گذشت مدتی (که بسته به میزان پرتوزایی سنگ، از چند ساعت تا حداکثر سه هفته متغیر است) فیلم را در محلولهای ظهور و ثبوت ظاهر می‌کنند. نقاط برخورد ذرات آلفا با فیلم در زیر میکروسکوپ به صورتی در می‌آید که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ دیده می‌شود.

۲-۳ پرتونگاری از مقاطع صیقلی

برای تعیین مکان کانی پرتوزا در سنگ، می‌توان از سنگهای مورد نظر مقطع‌های صیقلی تهیه کرد و آنها را با فیلمهای رادیوگرافی در مدت مناسب تماس داد، سپس فیلمها را با داروهای ظهور و ثبوت ظاهر نمود. از مشاهده اثرهای نقاط پرتوزا بر روی فیلم به وجود کانی رادیوآکتیو و مکان آن پی می‌برند (شکل ۲) (۴).

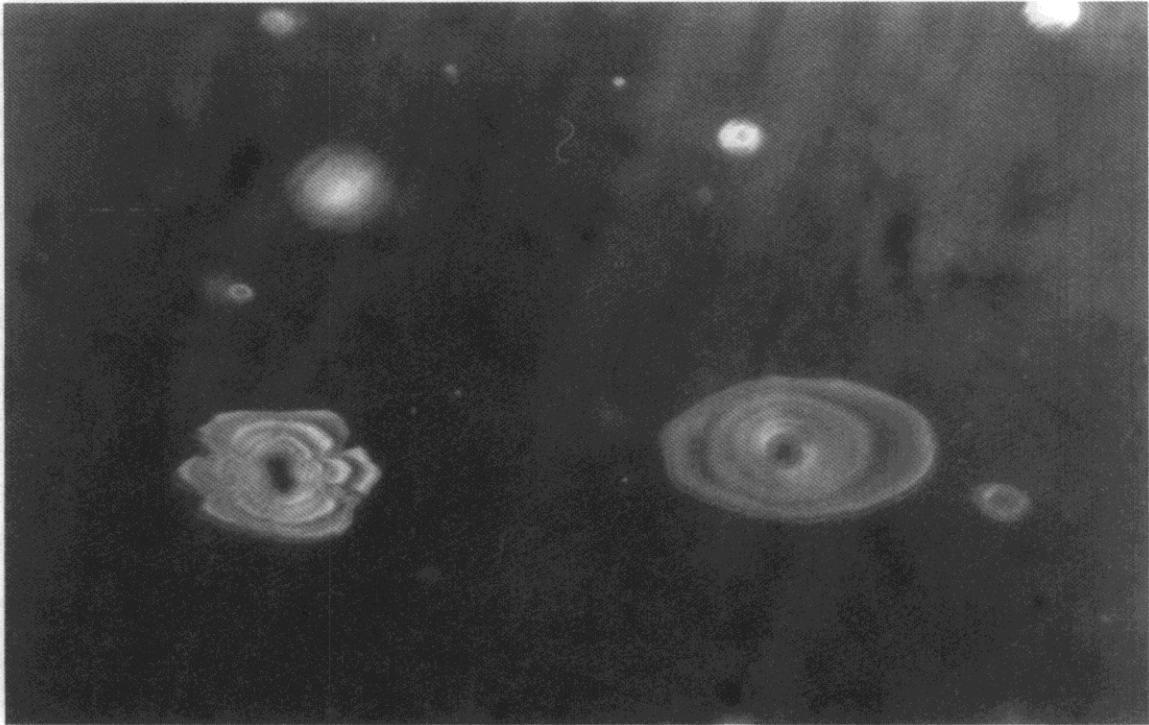
با استفاده از این روش می‌توان گروه نمونه‌های پرتوزا را از گروه غیرپرتوزا جدا کرد: برای این منظور از محلّ برش صیقلی مقاطع نازکی تهیه کرده و آنها را به وسیله دو نوع میکروسکوپ بررسی و مطالعه کرده‌ایم:

۱) میکروسکوپی که ساختار ماده را با آن مطالعه می‌کنند؛ هاله‌های چند رنگ کانی پرتوزا با این نوع میکروسکوپ مطالعه شده است (بخش لیزر سازمان به این نوع میکروسکوپ مجهز است).



x164

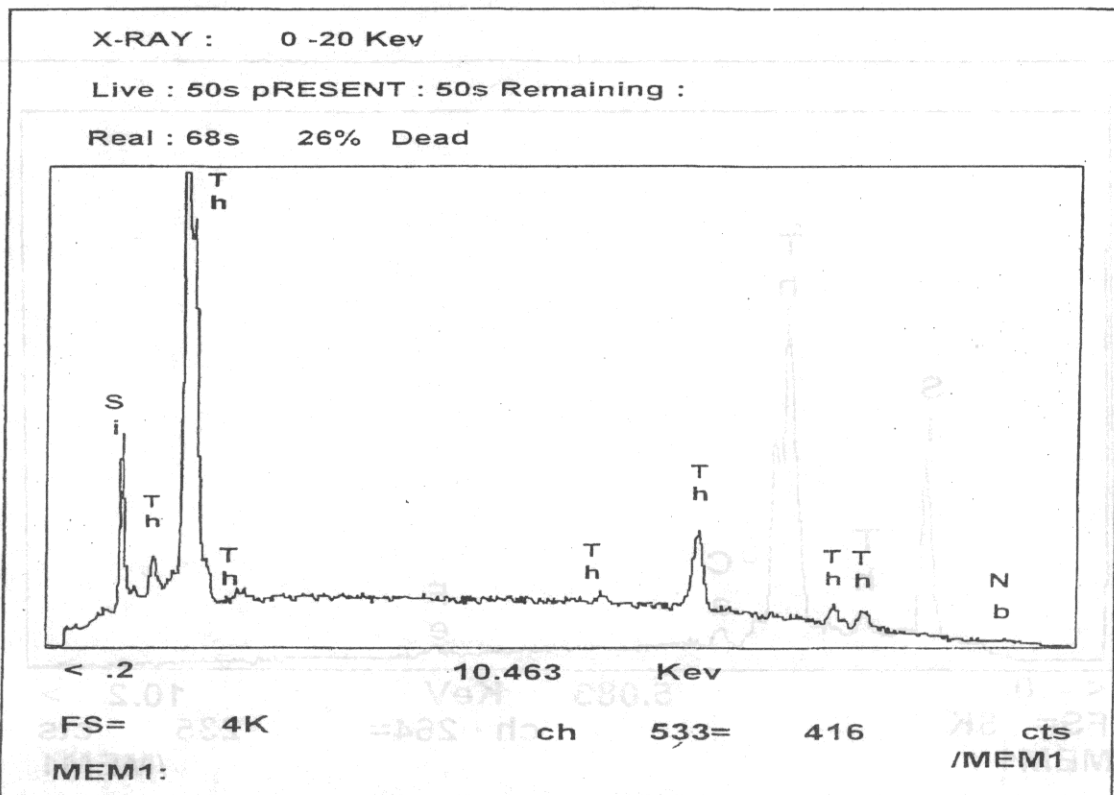
شکل ۱- اثرهای تخریبی ناشی از تابش ذرات آلفا که به روش خود پرتونگاری بر روی فیلم برومور نقره ثبت شده‌اند. این ذرات از عناصر پرتوزا در کانیهای رادیوآکتیو ساطع می‌شوند.



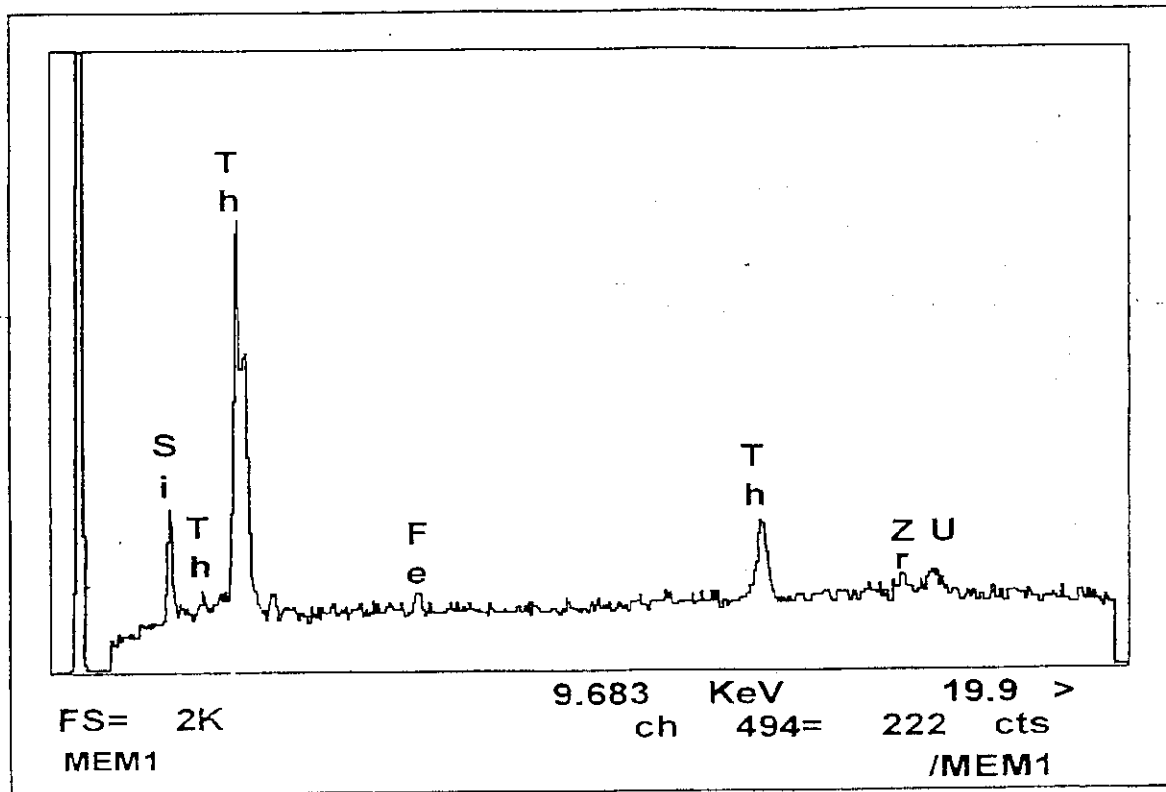
شکل ۳- هاله‌های پرتوزاد اطراف کانی توریت - منطقه چاه گز - ایران مرکزی

(بزرگنمایی ۱۰ × ۳۲، نور LP)

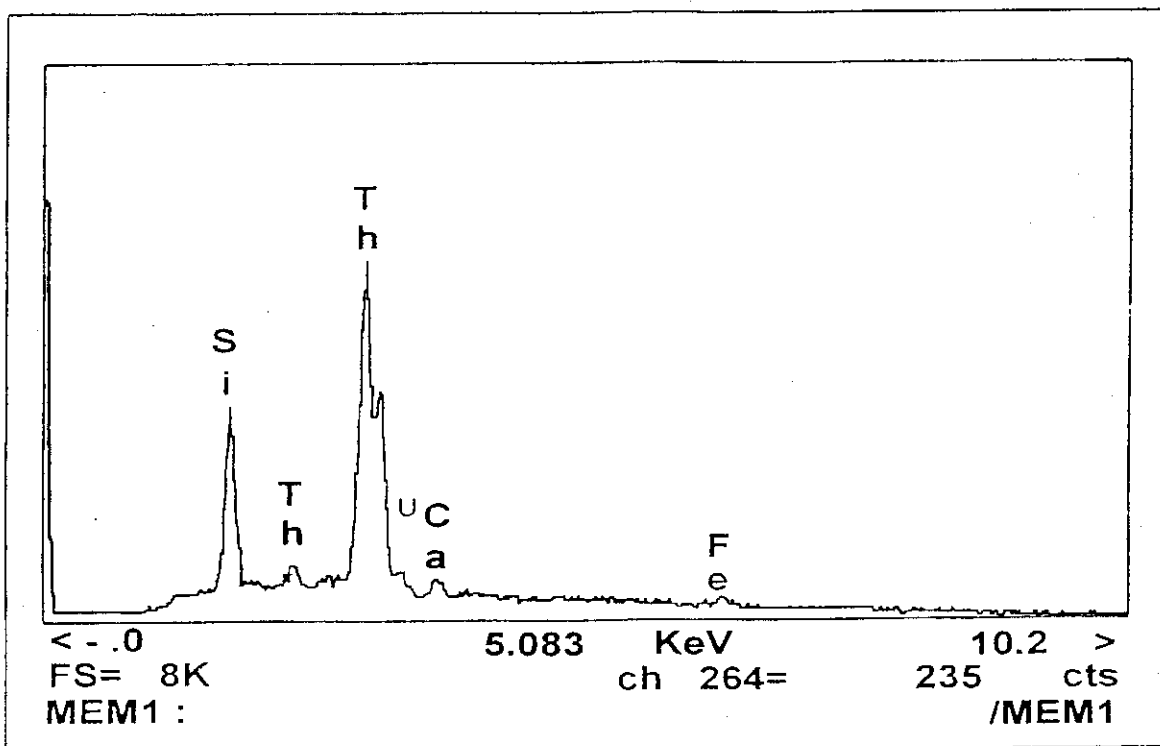
این عکس از مقطع نازک نمونه G.4 توسط خانم صدیقه جلالی - مرکز تحقیقات لیزر تهیه شده است.



نمودار ۱- آنالیز نقطه‌ای قسمت‌های روشن درون دانه‌های توریت (کانیهای رادیوآکتیو، مقطع صیقلی نمونه G.4) با دستگاه الکترون میکروپروب



نمودار ۲- آنالیز دانه توریت (کانیهای رادیوآکتیو در مقطع صیقلی نمونه G.4) با دستگاه الکترون میکروپروپ



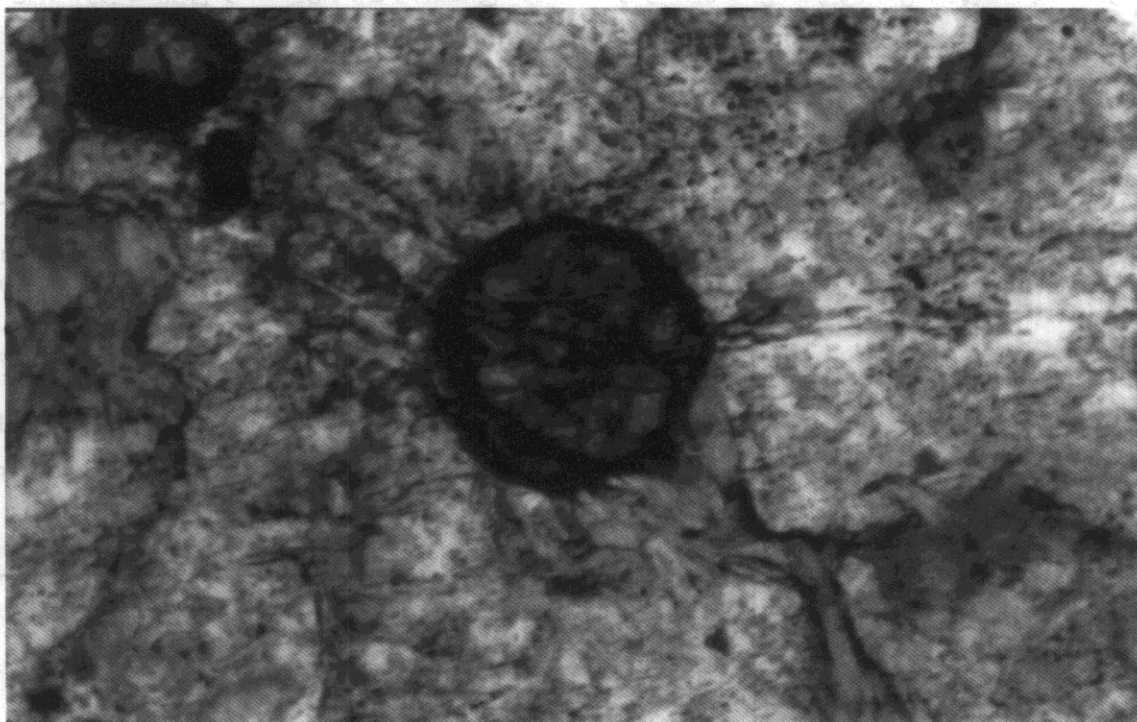
نمودار ۳- آنالیز دانه توریت (کانی رادیوآکتیو مقطع صیقلی نمونه G.4) با دستگاه الکترون میکروپروپ



راديو آکتیو ساطع شده‌اند نشان می‌دهند و معرف توزیع مکانی عنصر راديو آکتیو در نمونه و فراوانی آنند. مقاطع نازک نمونه با میکروسکوپ معمولی نیز مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۴). این شکل نشان می‌دهد که کانیهای مورد مطالعه شکل اصلی خود را از دست داده و شبکه بلوری آنها تخریب شده است و آثار تخریبی بیشتر در حاشیه این کانیها قابل رویت می‌باشند. (آثار تخریبی ناشی از تابشهای راديو آکتیو پرنانرژی را متمایکتیزاسیون^(۷) نامیده‌اند).

۴- غنی شدگی مواد راديو آکتیو در سنگ میزبان کانیهای مقاوم درون سنگهای آذرین اولیه به صورت بلورهای بسیار ریزی هستند که با میکروسکوپ معمولی قابل رویت نمی‌باشند.

توریوم جزو عناصر دارای شعاع اتمی و یونی بزرگ بوده و در گروه عناصر فروریز^(۶) دسته‌بندی می‌گردد، می‌توان گفت که اضافه شدن این عنصر به همراه مقدار کمی اورانیوم، در نهایی ترین فازهای انجماد ماگما اتفاق افتاده و کانی توریوم را تشکیل داده است و چون سنگ ساختار رگه‌ای و ریز بلور دارد، قاعدتاً باید در مراحل پایانی تشکیل شده باشد. برای شناسایی این کانیها، پس از تشخیص آثار راديو آکتیویته علاوه بر روشهای متعارف، از روشهای تشخیص کانیهای غیرمتعارف نیز استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا نمونه سنگ صیقلی (G.4) در اطاق تاریک به مدت دو هفته روی فیلم پرتونگاری قرار داده شد. اثر پرتوهای ساطع شده از نمونه پس از ظهور فیلم، به صورتی است که در شکل ۲ دیده می‌شود. خالهای سفیدی که در متن سیاه‌رنگ دیده می‌شوند اثر پرتوهای گاما را که از کانی



شکل ۴- ثبت آثار تخریبی در اطراف کانی توریوم (حاشیه قهوه‌ای تیره). تابش عناصر پرتوزا باعث طبیعی کانی میزبان را برهم زده است (این کانی با دستگاه الکترون میکروپروپ شناخته شده است).

تصویر از مقطع تیغه نازک نمونه G.4، به وسیله میکروسکوپ نوری (نور LN)، بزرگنمایی ۱۰ × ۱۰.

پیوست مشخص شده است. این نقشه رخساره‌های متعددی از فعالیت‌های ماگمایی را در محل نشان می‌دهد. در شکل‌های ۳ و ۵ تصاویری از هاله‌های چند رنگ در اطراف کانیه‌های پرتوزا نشان داده شده‌اند و این پدیده نخستین بار است که از منطقه چاه‌گز گزارش داده می‌شود. در تشخیص هاله‌های پرتوزای حقیقی، روش‌های مطالعاتی خاصی بکار گرفته می‌شوند که در مطالعه کانیه‌های معمولی کاربرد ندارند. یکی از این روش‌ها، ثبت پرتوهای گامای ساطع شده از کانیه پرتوزا است. در این روش اثر پرتوهای گاما بر فیلم پرتونگاری ثبت می‌شوند. شکل ۲ اثر پرتوهای گامای ساطع شده از نمونه سنگ منطقه چاه‌گز (G.4) را به صورت خال‌های سفیدرنگ نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که کانیه‌های پرتوزا در این نمونه از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردارند. این تصویر ضمناً وضعیت کانیه‌های پرتوزا را نیز در مقطع نمونه مشخص می‌کند. تصویر میکروسکوپی این کانیه‌ها در شکل ۴ دیده می‌شود. این تصویر از مقطع نمونه G.4 و از همان محل تصویر شکل ۲ تهیه شده است و هاله‌های پرتوزا (شکل ۳) دقیقاً از این کانیه‌ها ساطع می‌شوند.

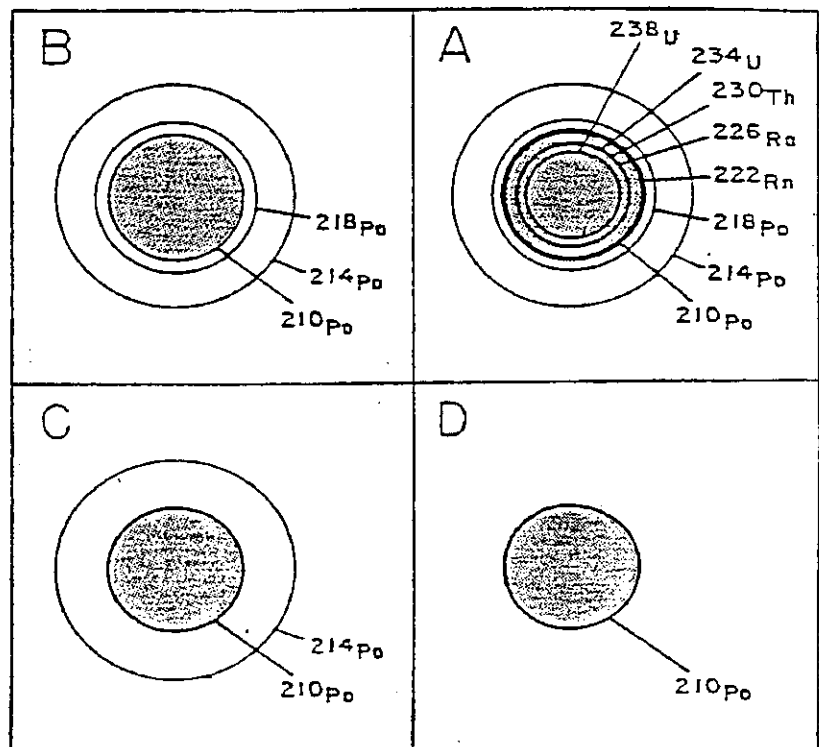
فعالیت محلول‌های گرمابی شرایط جدیدی در سنگ‌های آذرین بوجود آورده‌اند که در آن شرایط کانیه‌های مقاوم بیشتر و فراوانتر شده‌اند. بعضی از این کانیه‌ها و سنگ میزبان، درصد نسبتاً بالایی از عناصر پرتوزا (نظیر اورانیوم و تورنیوم) را در خود جای داده‌اند و از تجزیه هسته‌های عناصر پرتوزا، عناصر پرتوزادی حاصل می‌شوند که پس از تجزیه اورانیوم و تورنیوم در سنگ میزبان باقی مانده و در چرخه ترکیبی مواد رادیوآکتیو شرکت می‌کنند. افزایش عناصر پرتوزا در محلول‌های گرمابی با افزایش مقدار سیلیس همراه است. بنابراین همزمان با فعالیت این محلول‌ها، ضمن اینکه ترکیب سنگ به سوی ترکیب سنگ شبه گرانیت میل می‌کند، بطور همزمان ترکیبات سیلیکاته اورانیوم و تورنیوم در اطراف کانیه‌های مقاوم مانند زیرکن ته‌نشین می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۵).

۴-۱- نحوه تجمع مواد پرتوزا در رابطه با فعالیت محلول‌های گرمابی

شکل ۳ تصویری طبیعی از مصادیق نظری را نشان می‌دهد که در شکل ۵ دیده می‌شود. این تصویر از نمونه سنگ G.4 تهیه شده است. محل برداشت نمونه در نقشه زمین‌شناسی

شکل ۵:

- A - طرحی ساده از هاله‌های عناصر مختلف پرتوزا
 - B - طرحی ساده از هاله‌های عنصر Po^{218}
 - C - طرحی ساده از هاله‌های عنصر Po^{214}
 - D - طرحی ساده از هاله‌های عنصر Po^{210}
- اقتباس از (Prof. Lorence G. Collins, 1988)





از نمودارهای ۱ و ۲ و ۳ چنین استنباط می‌شود که توریت، این کانی پرتوزا، بترتیب در کناره‌ها سیلیسیوم (Si) و توریوم (Th)، در مرکز زیرکن (Zr) و در میان آهن (Fe) و نیوبیوم (Nb) را در خود جای داده است، ضمن اینکه می‌دانیم در این کانیها، جایگزینی عناصر از نظم ژئوشیمیایی خاص خود پیروی کرده است [۴].

۵- نتیجه‌گیری

پی‌جویی آثار کانیهای پرتوزا در منطقه ایران مرکزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که مشخصات آنها، پس از ثبت این آثار روی فیلم پرتونگاری، در این مقاله به رشته تحریر در آمده است. برای تشخیص کانیهای پرتوزا از روشهای خاصی استفاده شده که در تشخیص کانیهای متعارف کاربردی نداشته‌اند و فقط در مورد کانیهای پرتوزا به کار رفته‌اند. این پژوهش نشان می‌دهد که تجمع و تبلور مواد پرتوزا با شرایط محیطی منطقه چاه گز کاملاً سازگار بوده و تکرار حوادث زمین‌شناختی بیانگر این واقعیت است که ظهور هر پدیده زمین‌شناختی حلقه‌ای از مواد پرتوزا را در حاشیه کانیها بر جای می‌گذارد و تعداد این حلقه‌ها نیز نشانگر تکرار پدیده‌هاست. هر یک از این حلقه‌ها را جداگانه می‌توان مورد مطالعه قرار داد و سن آنها را نیز تعیین نمود.

افزایش سیلیسیوم در محلولهای عمل‌کننده، باکانی‌سازی توریوم و اورانیوم همراه بوده است. تجمع کانیهای رادیوآکتیو در امتداد درزها و شکافهای سنگها، بیانگر آن است که محلولهای فعال در محیطی فروشکن عمل کرده‌اند و محلولهای عمل‌کننده، کانیهای مقاوم (همچون زیرکن) را کمتر تحت تأثیر قرار داده‌اند.

اثرهای تخریبی این پرتوها در تصاویر میکروسکوپی کانیها به سهولت مشاهده می‌شوند. در شکل ۴، کمربندی از ناحیه تخریب (به رنگ قهوه‌ای تیره) پیرامون کانی پرتوزا ظاهر شده است.

از مطالعه هاله‌های پرتوزا مفاهیم گوناگونی درک می‌شوند و در این رابطه به تجزیه و تحلیل‌های بسیار دقیق نیاز است. این هاله‌ها ممکن است از یک نوع اتم پرتوزا بوجود آمده باشند. (به شکل ۵ و تصاویر B, C, D مراجعه شود) یا اینکه اتمهای مختلف در تشکیل آنها شرکت داشته باشند (شکل ۵، تصویر A).

تکرار فعالیت محلولهای گرمایی، نوسانات و تغییرات فاحشی را در شکل حلقه‌های پرتوزا بوجود می‌آورد. حوادث ناموزون آهنگ تشکیلات پیشین را از یکساختی خارج می‌سازند: در شکل ۳، در تصویر سمت چپ، کانی پرتوزایی دیده می‌شود که هاله چند رنگ آن در امتداد خطوط گسستگی قطع شده است. این نتایج، مشاهدات روی زمین را مورد تأیید قرار می‌دهند، بطوریکه در سطح زمین هم مشاهده می‌شود عوامل زمینساخت سنگهای منطقه چاه گز را شدیداً تحت تأثیر قرار داده‌اند (نقشه زمین‌شناسی پیوست) و بافت فروشکن^(۸) به وفور در آنها یافت می‌شود. این بافت در فرآیند پدیده متاسماتیسیم از اساسی‌ترین اصول شمرده می‌شود [۳].

تجزیه کانی برای تعیین نام و ترکیب آن به وسیله دستگاه الکترون میکروپروب سازمان زمین‌شناسی انجام گرفته است. این تجزیه نشان داد که سیلیسیوم (Si) و توریوم (Th) از اساسی‌ترین ترکیبات در این کانی می‌باشند (نمودارهای ۱ و ۲ و ۳). براساس با این یافته‌ها و به دلایل مشهود دیگر است که این کانی را توریت (thorite) معرفی کرده‌ایم.

صورت تجزیه نمونه G-4 از منطقه مطالعاتی چاه‌گز

شماره نمونه	U (ppm)	Th (ppm)	Fe _۲ O _۳ (ppm)	SiO _۲ (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)
G-4	۱۰	۳۷۷	۷۹/۹	۳۵/۸	۷	۱۴

References

۱. بهرام سامانی، "فلززائی پرکامبرین در ایران مرکزی"، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۱۷، صفحات ۱-۱۶ (۱۳۷۷).
۲. بهرام سامانی، "فلززائی عناصر نادر خاکی در پرکامبرین ایران مرکزی"، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی، شماره ۲۰، صفحات ۳۱-۱۵ (۱۳۷۸).
3. Alan Spry, "Metamorphic textures," pp: 162 - 186. Pergamon press Ltd. (1969), Reprinted (1976).
4. John, B. Brady, "Metamorphic rocks," Geochemical et Cosmochemica Acta. 41, pp: 113-125 Pergamon press printed in Great Britain (1977).
5. Lorence G. Collins, "Hydrothermal differentiation and myrmekite - a clue to many geologic puzzles," pp: 227 - 236. Geologic Sciences Department, California State University, Northridge. (1988). Northidge, California, 91330 U.S.A
- ۱.۶. جعفرزاده، م. قربانی، م. پزشکپور، "زمین‌شناسی ایران: کانسارهای آهن"، سازمان زمین‌شناسی کشور. صفحات ۶۰-۵۰ (۱۳۷۴).

کانی زیرکن از کانیه‌های مقاوم محسوب می‌شود که در مرکز حلقه‌های رشد جای گرفته و به نظر می‌رسد که این کانی با آنکه در فرآیند تغییرات شرکت داشته است، تقریباً سالم مانده و موجبات رشد حلقه‌های کانی توریت (thorite) را در اطراف خود فراهم ساخته است. محتمل است که این کانی منشأ ماگمایی اولیه را داشته باشد. محلولهای عمل‌کننده ضمن عبور از درون سنگ میزبان، کانیه‌های مقاوم را حمل کرده و بدون اینکه تبدیلی در آنها بوجود آورد، آنها را با فراوانی نسبتاً بیشتری در یک محیط جدید جایگزین نموده است و در نهایت، این محلولها ترکیبات سیلیسی و مواد رادیوآکتیو را در اطراف کانیه‌های مقاوم بر جای گذاشته‌اند. تکرار این حوادث تناوبی، از حلقه‌های رشد کانی توریت را بوجود آورده است. از این مطالعات چنین نتیجه می‌گیریم که سنگهای آذرین منطقه چاه گز متأثر از محلولهای ماگمایی هستند و کانیه‌های اولیه توریم در اثر فعالیت محلولهای ماگمایی در سنگ میزبان تشکیل شده‌اند.

تشکر و قدردانی

تسهیلاتی که آقای مهندس بهرام سامانی جهت مطالعه روی این کانی در اختیار اینجانب قرار دادند مورد تشکر و قدردانی است. همچنین از خانم صدیقه جلالی و خانم طیبه شهرستانی که در تهیه تصاویر پرتوزا و خودپرتونگاری ما را یاری کرده‌اند و از خانم احمدی‌زاده که تایپ این مقاله را بعهدہ داشتند سپاسگزارم.

پی‌نوشت‌ها:

۱-polygenetic

۲-radiogenic:

(در رابطه با اتمهایی که در اثر تجزیه هسته‌ای اتمهای U و Th به‌وجود می‌آیند.)

۳- pleochroic halos

۴- این قسمت از کارهای آزمایشگاهی به توسط خانم مهندس شهرستانی در واحد اکتشاف و استخراج سازمان انجام گرفته است.

۵- این کار در بخش لیزر سازمان توسط خانم صدیقه جلالی انجام گرفته است.

۶-incompatible

۷-metamictization

۸- Cataclastic