



## بررسی کانی‌زایی اورانیوم و عناصر REE و فرایندهای مرتبط با آن در آنومالی ۶ منطقه خشومی ایران مرکزی

فرائدک حیدریان\*

واحد اکتشاف، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران- ایران

**چکیده:** کانی‌سازی اورانیوم در منطقه خشومی واقع در ایران مرکزی با میزان پرتوزایی ۳۰۰ الی ۱۵۰۰۰ cps و مقدار ۱۴ الی ۴۰۰۰ ppm آشکار شد. واحدهای سنگی منطقه شامل: میکاشیت، گنیس، گرانیت آتاتکسی و میگماتیت است که با رشته‌ای از رگه‌های پگماتیتی-آپلیتی (کوارتز-فلدسپات) متأثر شده‌اند. از واحدهای دیگر مشاهده شده در منطقه می‌توان به دایکهای با ترکیب اسیدی-بازی، واحدهای گرانودیوریتی، دولومیتی و مرمر اشاره نمود. دگرسانیهایی که واحدهای سنگی منطقه را در جریان کانی‌سازی تحت تأثیر قرار داده‌اند عبارتند از: آلیت‌زایی، کربنات‌زایی، فلدسپات‌زایی، ارژیلیت‌زایی، پروپیلیت‌زایی، سیلیس‌زایی و هماتیت‌زایی. کانی‌سازی اصلی U در طی فاز گرمایی و همراه با سایر عناصر Ni، Cu، Mo و Au در منطقه رخ داده است. کانیهای اولیه اورانیوم شامل پیچ بلند، اورانینیت، کوفینیت است و کانیهای ثانویه اورانیوم شامل اورانوفان و بولتودیت است. کانی‌سازی عناصر REE در طی مرحله پگماتیتی و توسط فاز پتاسیک صورت گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌زایی، اورانیوم، دگرسانی، کانی REE، پیچ بلند

## A Study on Mineralization U, REE and Related Processes in Anomaly No.6 Khoshomy Area Central Iran

F. Heidaryan\*

Exploration Department, AEOI, P.o. Box: 14155-1339, Tehran – Iran

**Abstract:** Uranium mineralization in Khoshomy prospect, located in central part of Iran, with 300-15000 (cps) and 14 to 4000 (ppm) released. The main rock types include: gneiss, granite, pegmatite and migmatite, that influenced by pegmatite-albitic veins (quartz-helidespatic). Acidic and basic dykes, granodioritic, units and dolomite and marble have been seen. The alteration associated with the mineralization is potassic, argillic, propylitic, carbonatization, silicification and hematization. Uranium mineralization occurred in a hydrothermal phase with Cu, Mo, Ni and Au elements. Uranium primary minerals include pitchblend, coffinite, uraninite; and uranium secondary minerals include uranophan and boltwodite. REE mineralization occurred by the potassic phase in pegmatitization process.

**Keywords:** mineralization, uranium, alteration, REE mineral, pitchblende

### ۳- فرایندهای مرتبط با کانی‌زایی در منطقه خشومی

شناخت این فرایندها به وسیله مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی بر روی نمونه‌های برداشت شده از منطقه اکتشافی و در جهت تعیین گسترش کانی‌سازی اورانیوم در منطقه بوده و اهم آنها به شرح زیر است:

#### ۳-۱ آلپیت‌زایی

این فرایند حاصل فاز گرمایی (دما بالای) منطقه است که بعد از فاز پگماتیتی در منطقه تأثیر کرده و باعث گسترش آلپیت‌زایی شده است. بدلیل گسترش شدید این فرایند در واحدهای مختلف منطقه، این واحدها به رنگ گوشتی درآمده‌اند و میزان پرتوزایی آنها بالا رفته است. همچنین پیدایش کانیهای زرد ثانویه اورانیوم بر سطح واحدهای سنگی افزایش یافته است. در مقاطع میکروسکوپی حضور این پدیده را می‌توان به صورت بلور و رگچه‌های ریز آلپیت در متن سنگ، و جانشینی فلدسپاتها توسط آلپیت مشاهده کرد. شکل ۱ گسترش این پدیده را در چاههای منطقه (آنومالی ۶) نشان می‌دهد.

#### ۳-۲ فلدسپات‌زایی

در این فرایند سنگها تحت تأثیر جانشینی یون  $K^+$  که با از دست دادن  $Na^+$  و  $Ca^{2+}$  همراه است قرار می‌گیرند. کانیهای شاخص این فرایند اورتوز، بیوتیت دانه‌ریز و کوارتزاند. این فرایند حاصل فعالیت‌های پگماتیتی در دمای بالا در این منطقه است که باعث کانی‌سازی عناصر REE و U به صورت کانیهایی فرعی مانند آلانیت، فروآلانیت، اگزوتیم و کانی مستقل REE شده است. نمودار این فرایند در منطقه خشومی معرف حضور



شکل ۱- گسترش فرایند آلپیت‌زایی در چاههای منطقه خشومی.

### ۱- مقدمه

ناهنجاری (آنومالی) ۶ در منتهی‌الیه گوشه جنوب شرقی رشته کوه خشومی ایران مرکزی و بر روی نقشه توپوگرافی شماره IV ۷۰۵۴ قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه بین طولهای جغرافیایی  $05^{\circ} 05'$  تا  $05^{\circ} 11'$  شرقی و عرضهای جغرافیایی  $32^{\circ} 20' 00''$  تا  $32^{\circ} 21' 30''$  شمالی واقع شده است [۱].

اجزای تشکیل‌دهنده منطقه عبارتند از میکاشیست، میگماتیت، گنیس و گرانیت آناتکسی، که سه جزء اخیر توسط یک رشته از رگه‌های پگماتیتی-آپلیتی (کوارتز-فلدسپاتی) مورد هجوم قرار گرفته‌اند. دایکهای با ترکیب اسیدی و بازی نیز واحدهای منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند [۲].

در مشاهدات صحرایی، راهنمای اکتشافی کانی‌سازی اورانیوم وجود کانیهای ثانویه زرد رنگ اورانیوم (بولتودیت) <sup>(۱)</sup> و اورانوفان، منطقه‌های غنی از بیوتیت با آکتیویته بالا، رگچه‌های سیاه‌رنگ و رگچه‌های آغشته به اکسید آهن با پرتوزایی بالا، منطقه‌های گوشتی رنگ آلپیتی، در واحدهای مختلف منطقه است که با حفاریهای ترانشه و چاه، منجر به اخذ نتایج قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با کانی‌سازی U در عمق شده است.

### ۲- روش مطالعه

به منظور انجام دادن مطالعات کانی‌شناسی و کانی‌زایی و شناخت فرایندهای مرتبط با آنها در منطقه خشومی، ابتدا در مقیاس ناحیه‌ای نمونه‌برداری از واحدهای مختلف آنومالی ۶ و پدیده‌های آن صورت گرفت [۳]، سپس برای مطالعات تفصیلی تر از چاههای منطقه نمونه‌برداری شد [۴]. نمونه‌برداری بر اساس پارامترهایی از جمله میزان پرتوزایی سنگها، تغییر جنس واحدهای سنگی و نوع دگرسانیهای مشاهده شده در منطقه بوده است. نمونه‌های برداشت شده به منظور آماده‌سازی و تهیه مقطع نازک و صیقلی، به آزمایشگاه کانی‌شناسی واحد اکتشاف سازمان انرژی اتمی ارسال شدند و در پایان، با مطالعات میکروسکوپی و میکروپروب در آزمایشگاههای این سازمان و در دانشگاه تربیت مدرس، به مطالعه و شناخت کانی‌زایی و فرایندهای مرتبط با آن در منطقه مورد نظر پرداخته شد.

محصولات دختر آن است [5]. در منطقه خشومی تعداد رگه‌های کوچک اکسید آهن در مناطقی که عیار کانی‌سازی بالایی دارند زیاد می‌شود.

### ۳-۵ آرژیلیت‌زایی

گسترش این نوع دگرسانی در سنگهای سیلیکاتی در اثر شرایط اسیدی ایجاد و باعث خروج تمام کاتیونهای قلیایی از سنگ می‌شود. چنانچه مقادیر محدودی Ca، K و Mg در سنگ باقی بماند صرف تشکیل مونتموریلونیت، ایلیت، هیدرومیکا و کلریت می‌گردد. در منطقه خشومی این نوع دگرسانی به رنگ سفید یا کرم روشن بر واحدهای منطقه اثر کرده است و پرتوزایی در بعضی از این واحدها به ۶۰۰ cps نیز می‌رسد که احتمالاً به علت جذب سطحی U در کانیهای رسی است. شکل ۴ گسترش این پدیده را در سنگهای منطقه نمایش می‌دهد.

### ۳-۶ پروپیلیت‌زایی

این دگرسانی توسط تشکیل کانیهای کلسیوم‌دار و منیزیم‌دار درون سنگهای آذرین مشخص می‌شود. گسترش این دگرسانی در منطقه خشومی باعث ایجاد رنگ سبز در واحدهای منطقه شده است. کانیهای این دگرسانی شامل آمفیبول از نوع ریکیت، آکتینولیت، کلینوسوزیت، اپیدوت، کربنات و سرسیت بوده و میزان این کانیها در قسمت‌های مختلف منطقه متغیر است. پرتوزایی درون این واحدهای دگرسان شده به ۱۱۰۰ cps نیز می‌رسد.



شکل ۴- گسترش فرایند آرژیلیت‌زایی در واحدهای منطقه خشومی.

کانیهای صورتی رنگ فلدسپات و رگه‌های کوچک فلدسپاتی در سنگ است. شکل ۲ گسترش این پدیده را در چاههای منطقه (آنومالی ۶) نشان می‌دهد.

### ۳-۳ کربنات‌زایی

گسترش این پدیده را در سنگهای منطقه می‌توان به صورت حضور رگه و رگچه‌های کربناتی و رشد بلورهای ریز کربنات در متن سنگ و درون سایر کانیها مشاهده کرد. شواهد صحرایی مؤید بالا بودن میزان پرتوزایی در واحدهای متأثر از این پدیده‌اند؛ که با توجه به این موضوع می‌توان عامل فوگاسیته CO<sub>2</sub> را در نقل و انتقال اورانیوم دخالت داد. شکل ۳ گسترش این فرایند را در واحدهای منطقه نشان می‌دهد.

### ۳-۴ هماتیت‌زایی

هماتیتی شدن، محصول اکسیداسیون کانیهای آهن فرودار در سنگهای دیواره در جریان کانی‌سازی است. هماتیت آجری رنگ شدید در مجاورت بعضی از کانه‌های عیار بالای U، نتیجه از دست دادن الکترون‌ها در طی تلاشی رادیوآکتیو اورانیوم و



شکل ۲- گسترش فرایند فلدسپات‌زایی در چاههای منطقه خشومی.



شکل ۳- گسترش فرایند کربنات‌زایی در واحدهای منطقه خشومی.



### ۳-۷ فرایند بروشی شدن

بررسی‌های صحرایی و نتایج بدست آمده از چاههای حفاری بیانگر بالا بودن میزان پرتوزایی در مناطق خردشده، برشی شده، میولینیتی و گسل‌های منطقه است. نتایج بدست آمده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی حضور رگه‌های کوچک کانی‌سازی شده را درون درزها و شکافها و شکستگی‌ها تأیید می‌کند.

### ۴- کانی‌زایی U و عناصر REE

نتایج حاصل از مطالعه مقاطع نازک و صیقلی و میکروپروب نمونه‌های اکتشافی از چاهها و ترانشه‌های منطقه نشان می‌دهند که کانی‌زایی در منطقه خشومی به صورت غنی‌سازی عناصر U، و به میزان کمتر: REE، Cu، Mo، Ni و در بعضی نقاط Th است که در فضاهای باز درون شکستگی‌ها و برشهایی که اساساً همراه با گسله‌های عمیق اصلی یا فرعی هستند ته‌نشین شده است. کانی‌زایی در منطقه خشومی در قالب سه بخش قابل بررسی است [۴]:

- **کانی‌سازی مرحله گرمایی:** که در مرحله بعد از فاز پگماتیستی در منطقه رخداده و به همراه کانی‌سازی عناصری چون U، Cu، Mo، Ni و Au به وقوع پیوسته است.
- **کانی‌سازی مرحله پگماتیستی:** که در طی فاز اصلی پگماتیستی و به همراه غنی‌شدن عناصر REE (La, Ce) و U در منطقه رخ داده است.
- **کانی‌سازی مرحله دیوتریک:** که در پایان تمام این مراحل عمل کرده و باعث دگرسانی کانیهای اولیه اورانیوم‌دار شده و با تحریک U و یونهای دیگر (Ni، Mo، Cu)، در طی این مرحله منجر به غنی‌سازی رگه‌های نابرجای اورانیوم‌دار و سایر عناصر در امتداد شکستگی‌ها و درزها گردیده است.

### ۵- کانی‌های اورانیوم‌دار

کانیهای اورانیوم‌دار در منطقه خشومی به سه صورت مشاهده می‌شوند:

**کانیهای ثانویه اورانیوم:** که به رنگ زرد قناری و به صورت بلورهای سوزنی و شعاعی در سطح سنگها و درون

شکستگیها نشسته‌اند؛ نتیجه مطالعات آزمایشگاهی (XRD) و کتابخانه‌ای آنها را اورانوفان و بولتودیت معرفی می‌نماید (شکل ۵).

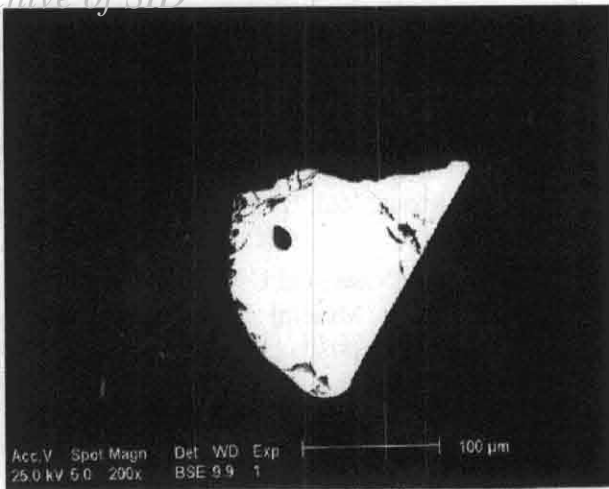
**کانیهای اصلی اورانیوم‌دار:** که در طی مطالعات میکروسکوپی و میکروپروب اورانینیت، پیچ بلند (اکسیدهای اصلی اورانیوم) و کوفینیت (سیلیکات اورانیوم) شناسایی شده‌اند. شکل ۶ نمای میکروسکوپی از این کانیها را که در مرحله گرمایی رخداده است نمایش می‌دهد.

**کانیهای فرعی اورانیوم‌دار:** این کانیها شامل زیرکن، زنوتیم، اسفن، آلانیت و آپاتیت است که اساساً به صورت انکلوژیونهای متامیکت شده درون کانیهایی همچون بیوتیت و فلدسپات دیده می‌شوند و حامل اندکی اورانیوم می‌باشند (شکل ۷).

کانیهای غیراورانیوم‌داری همچون نیکلین، آرسنوپیریت، طلائی طبیعی و هماتیت نیز به میزان کم در منطقه شناسایی شده‌اند که بیشتر به عنوان پارازنهای همراه کانی‌سازی اورانیوم در طی



شکل ۵- نمای میکروسکوپی از کانی‌های ثانویه اورانیوم اورانوفان (A) و بولتودیت (B).



شکل ۸- نمای میکروسکوپی از کانی REE در سنگهای منطقه خشومی.

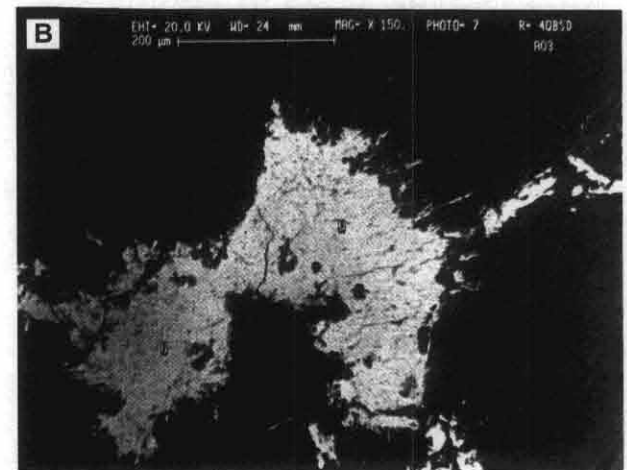
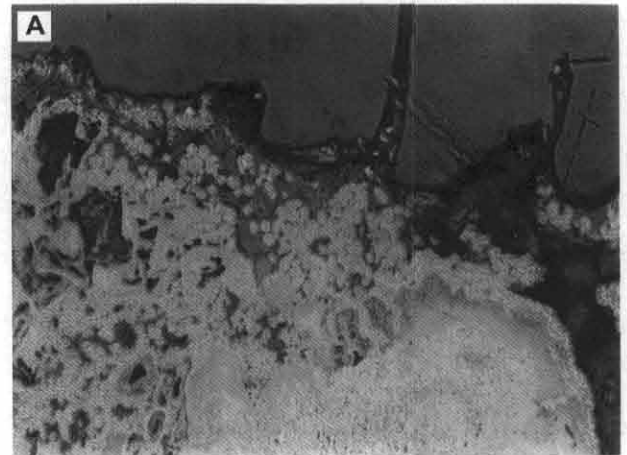
### ۶- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که کانی‌سازی اورانیوم در منطقه خشومی بیشترین تطابق را با فرایند آلپیت‌زایی و کربنات‌زایی دارد و میزان پرتوزایی و حضور کانیهای اورانیوم‌دار در این مناطق به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. میزان پرتوزایی در مناطق آرژیلیتی شده بیشتر به علت جذب سطحی اورانیوم توسط کانیهای رسی در مرحله سوپرژن است. کانی‌سازی منطقه خشومی در قالب سه بخش مرحله پگماتیتی شامل کانیهای REE (La, Ce دار)، کانیهای مرحله گرمابی شامل پیچ‌بلند، نیکلین، طلا، آرسنوپیریت و کانیهای مرحله دیوتریک صورت گرفته است و کانی‌سازی مرحله گرمابی مهمترین نوع این کانی‌سازی در منطقه است.

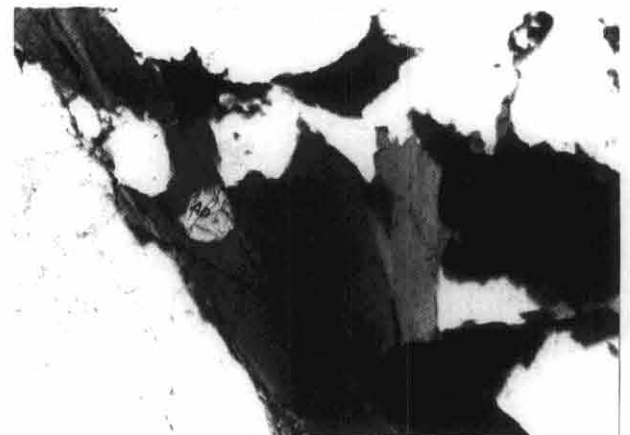
### پی‌نوشت‌ها:



مرحله گرمابی معرفی می‌شوند. کانی‌سازی عناصر REE بیشتر به صورت غنی‌شده این عناصر در کانیهای همچون فروآلانیت، زئوتیم و آپاتیت در طی مرحله پگماتیتی رخ داده است (شکل ۸).



شکل ۶- A,B نمای میکروسکوپی از کانی‌های اصلی اورانیوم به شکل پیچ بلند، و کوفینیت.



شکل ۷- نمای میکروسکوپی از کانی زیرکن واسفن به صورت ادخال در درون بیوتیت‌های منطقه خشومی.



**References:**

1. ا. شکوری، "شرحی بر نقشه زمین‌شناسی اورانیوم در مقیاس ۱:۲۰۰۰ در محدوده‌های از منطقه خشومی"، گزارش اکتشافی شماره ۸۰-۰۵۰۶ (۱۳۸۰).
2. ا. شکوری، عباس‌زاده، حاجیلری، "گزارش زمین‌شناسی سطح‌الارضی آنومالی ۶ منطقه خشومی"، گزارش اکتشافی شماره ۸۲-۰۵۹۷ (۱۳۸۲).
3. ف. حیدریان، "مطالعه و بررسی دگرسانی و کانی‌سازی اورانیوم در سنگهای منطقه اکتشافی خشومی آنومالی ۶"، گزارش اکتشافی شماره ۸۲-۰۶۰۳ (۱۳۸۲).
4. ف. حیدریان، "مطالعه و بررسی مینرالوژی و ژئوشیمیایی در چاههای ۶۱۱، ۶۱۲ و ۶۲۱ آنومالی ۶ منطقه اکتشافی خشومی، ایران مرکزی"، گزارش اکتشافی شماره ۸۳-۰۶۴۲ (۱۳۸۳).
5. J. Berening, E.R. Cook, S.A. Hiemstra, U. Hoffman, "The ROSSING uranium DEPOSIT," South West Africa, Vol. 71, 351-368 (1976).
6. R.H. McMillan, "Classical U Viens, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles," vol. 2 - Metallic Deposits (1996).
7. M.V. Soboleva and I.A. Pudovkina, "Minerals of uranium: Refrence Book," AEC-Tr-4487 (1961).

