J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 43, pp. 41-49, 2008
Archive of SID
مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۴۳، صفحات ۴۹-۴۱، ۱۳۸۷

مطالعات خواص‌سنجی و تعیین درجه آزادی کانسنگ اورانیوم معدن خشومی (بلوک یک)

مهدی پاکدل*[۱]، بهرام رضائی[۱]، رضا عسگری[۲]، کامران نظری[۲]
۱- دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۱۵۹۱۴، تهران-ایران
۲- دفتر اکتشاف و استخراج، شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران-ایران

چکیده: مطالعات خواص‌سنجی و تعیین درجهٔ آزادی کانسنگ‌ها اولین مراحل کانه‌آرائی می‌باشند. این مطالعات جهت تعیین شرایط بهینهٔ خردایش، انتخاب فرایندهای جدایش اولیه و تعیین روش‌های پرعیارسازی از اهمیت زیادی برخوردارند. کانسنگ اورانیوم معدن خشومی با عیار متوسط ۱۵۴۰ppm در حدود ۱۵۰ کیلومتری شمال شرقی یزد واقع شده است. مطالعات خواص‌سنجی و کانی‌شناسی بلوک یک این کانسنگ با روش XRD و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفت. درجه آزادی کانی‌ها نیز با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و محلول‌های سنگین تعیین شد. برای انجام مطالعات میکروسکوپی سه نمونهٔ پودری، دوازده مقطع نازک و دوازده مقطع صیقلی از نمونه‌های سنگی و فراکسیون‌های تجزیهٔ سرندی تهیه شد. بر اساس مطالعات انجام شده کانی‌های اصلی فلدسپات-آلکالن (اورتوز)، پلاژیوکلاز (آلبیت)، بیوتیت، کلریت، کربنات و کانی‌هایی فرعی اسفن، زیرکن، آپاتیت، اکتینولیت، تریمولیت، پیچ بلند و بتافیت که در حاشیهٔ و یا به صورت ادخال در برخی از کانی‌های اصلی همچون بیوتیت قرار داشتند، شناسائی شدند. همچنین بر اساس مطالعات میکروسکوپی و محلول‌های سنگین درجه آزادی کانی‌های اورتوز، آلبیت و بیوتیت به ترتیب ۳۲، ۲۹۰ و ۱۹۰ میکرون و درجه آزادی کانی‌های اورانیوم حدود ۱۱۰میکرون بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: خواص سنجی، درجهٔ آزادی، مقاطع میکروسکوپی، مایعات سنگین، اورانیوم و خشومی

Characterization and Determination of Liberation Degree of Khoshoomi Uranium Ore (Block 1)

M. Pakdel*[1], B. Rezaei[1], R. Asgari[2], K. Nazari[2]
1- Mining and Metallurgy Engineering Department, Amir Kabir University, P.O. Box: 15914, Tehran - Iran
2- Deputy of Exploration, Exploration and Preparation of Raw Material of the Nuclear Industry Company, AEOI, P.O. Box: 14155-1339, Tehran – Iran

Abstract: Characterization studies and determination of liberation degree are first stages of mineral processing. These studies are very important for determination of optimum comminution conditions, selection of preseparation process and determination of suitable processing methods. Khoshoomi mine with the average uranium grade of 1540ppm, is located at 150km northeast of Yazd. The characterization studies of this ore are made by XRD method and microscopic study, also degree of liberation studies are made by microscopic section. These studies are done by three powder samples, twelve thin sections and twelve polished sections. The major minerals such as Feldspar (Albite), Plagioclase (Orthoclase), Biotite, Chlorite, Carbonate and minor minerals such as Sphen, Zrconium, Actinolite, Tremolite, Pitchblende and Betafite were identified based on the results of these studies. Accordingly, by microscopic studies and heavy media method, the liberation degree of Orthoclase, Albite, Biotite and Uranium minerals were determined as 320, 290, 190 and 110 micron, respectively.

Keywords: ***Mineralogy, Degree of Liberation, Microscopic Sections, Heavy Media, Uranium and Khoshoomi***

*email: minpakdel@gmail.com
تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۶/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۹/۳

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

انرژی هسته‌ای حداقل برای ۵۰ سال آینده یکی از مهمترین بخش‌های انرژی ترکیبی در سرتاسر جهان خواهد بود. در سال ۱۹۹۹ حدود ۶۱۵۰۰ تن اورانیوم در صنعت هسته‌ای جهان مورد استفاده قرار گرفت. پیش بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ به طور متوسط ۱۷۷۰۰۰ تن اورانیوم برای تولید انرژی هسته‌ای مورد نیاز باشد. در این راستا مطالعه و بررسی روش‌های فراوری و تغلیظ اورانیوم بسیار ضروری است. روش‌های فراوری و تغلیظ اورانیوم شامل روش‌های ثقلی، مغناطیسی، الکترواستاتیکی، فلوتاسیون، لیچینگ، استخراج حلالی و غیره می‌باشند. استفاده از این روش‌ها به نوع کانی اورانیوم، کانی‌های همراه، نحوه درگیری کانی‌ها، درجه آزادی کانی‌ها و سایر پارامترهای کانسنگ بستگی دارد. در این موارد انجام مطالعات کانی‌شناسی و خواص‌سنجی از نخستین و مهمترین مراحل مطالعات تحقیقاتی است [۱و۲]. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریا حدود ۱۲۵۰ متر بوده و از نظر آب و هوایی در منطقه بیابانی گرم و خشک واقع شده است.

۲- مطالعات خواص‌سنجی

۲-۱ آماده سازی نمونه

جهت تهیه نمونه معرف برای انجام دادن آزمایش‌ها، یک نمونه معرف ۶۰ کیلوگرمی کانسنگ که در سازمان انرژی اتمی موجود بود، به روش چهار قسمتی ابتدا به دو نمونه ۳۰، سپس به دو نمونه ۱۵ کیلوگرمی تقسیم شد. در ادامه آزمایش، یکی از نمونه‌های ۱۵ کیلوگرمی به وسیله سنگ‌شکن استوانه‌ای تا ابعاد زیر ۵ میلی‌متر خرد شده و به وسیله جعبه تقسیم به سه نمونه ۵کیلوگرمی تقسیم شد [۳]. نمونه‌های ۵ کیلوگرمی برای انجام دادن آزمایشها ذخیره شدند.

۲-۲ خردایش و آنالیز سرندی

برای تعیین زمان خردایش مطلوب، بعد از خردایش نمونه به وسیله سنگ‌شکن استوانه‌ای تا زیر ۵ میلی‌متر، پنج نمونه به‌وسیله آسیای میله‌ای تر با سرعت ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه خرد شدند. سپس با سرندهای سری استاندارد ASTM و به روش تر تجزیه سرندی شدند. در شکل ۱، درصد تجمعی ذرات عبور کرده نشان داده شده است [۴].

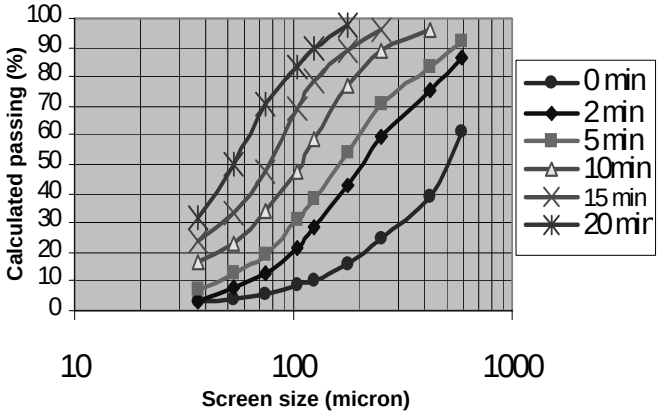
۲-۳ مطالعات آنالیز شیمیائی و عیارسنجی کانسنگ

برای مطالعات عیارسنجی و تعیین میزان عناصر موجود در کانسنگ از آنالیز XRF استفاده شد[۵]. نتایج آنالیز در جدول۱ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود عیار اورانیوم با کاهش ابعاد ذرات افزایش پیدا کرده و در ریزترین فراکسیون به بیشترین مقدار خود می رسد.

۲-۴ مطالعات کانی‌شناسی کانسنگ

۲-۴-۱ آنالیز XRD

جهت شناسایی فازها و کانی‌های موجود در نمونه ابتدا از آنالیز XRD استفاده شد[۵]. بر اساس نتایج آنالیز XRD کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز (آلبیت)، فلدسپات - آلکالن (اورتوز)، میکا (بیوتیت) و کلسیت شناسائی شدند. در آنالیز XRD با توجه به نوع کریستالیزاسیون کانی‌ها، چنانچه درصد آنها از یک حدی کمتر باشد، (۱ درصد برای کانی‌هایی با شبکه کریستالی خوب و ۳ تا ۵ درصد با شبکه کریستالی ضعیف) شناسائی نمی‌شوند [۴]. بنابراین کانی‌های اورانیوم‌دار و برخی دیگر از کانی‌های احتمالی موجود، به دلیل مقدار کم آنها با آنالیز XRD اولیه شناسائی نشدند. برای شناسائی این کانی‌ها نمونهٔ مورد نظر با استفاده از مایعات سنگین تغلیظ شده و بخش کنسانتره مجدداً به روش XRD آنالیز شد. بر اساس نتایج این آنالیزها کانی‌های بتافیت، کافینیت، زیرکن، آپاتیت، اسفن و تریمولیت نیز شناسائی شدند (شکل ۲).



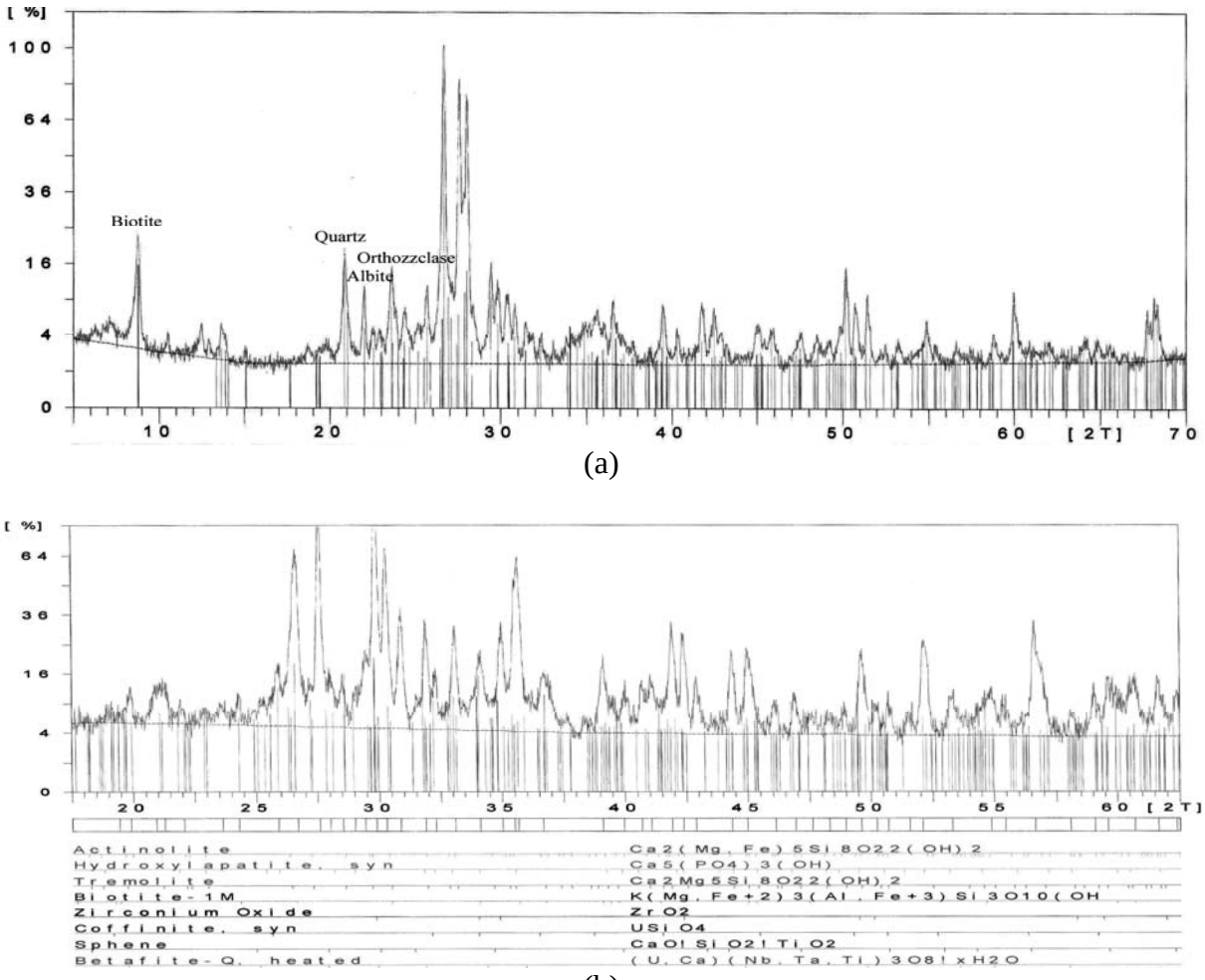
شکل ۱- نمودار درصد تجمعی ذرات عبور کرده از سرندها در زمان‌های مختلف.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- نتایج آنالیز XRF فراکسیون‌های تجزیهٔ سرندی.

ردیف	فراکسیون (میکرون)	جرم ٪	U	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	Na_2O	MgO	K_2O	P_2O_5	SiO_2	غیره
		٪												
۱	+۵۹۰	۷/۶۸	۰/۰۴۰۵	۱۵/۱۷	۳/۱۰	۰/۲۹	۰/۰۶	۳/۲۱	۲/۷۷	۱/۰۱	۵/۲۲	۰/۰۷	۶۸/۹۰	۰/۱۶
۲	-۵۹۰+۴۲۰	۸/۹۵	۰/۰۶۵۳	۱۴/۳۷	۳/۴۱	۰/۳۰	۰/۰۷	۳/۵۰	۲/۵۸	۱/۱۴	۴/۷۱	۰/۰۷	۶۹/۶۵	۰/۱۳
۳	-۴۲۰+۲۵۰	۱۲/۳۶	۰/۱۰۱۴	۱۴/۱۸	۴/۴۴	۰/۴۰	۰/۰۷	۴/۰۴	۲/۳۷	۱/۷۴	۴/۵۲	۰/۱۰	۶۷/۹۶	۰/۰۸
۴	-۲۵۰+۱۷۷	۱۷/۱۳	۰/۱۳۲۳	۱۳/۷۹	۵/۲۹	۰/۴۶	۰/۰۸	۴/۸۴	۲/۱۷	۲/۳۱	۴/۲۸	۰/۲۰	۶۶/۴۲	۰/۰۳
۵	-۱۷۷+۱۲۵	۱۵/۶۷	۰/۱۴۷۴	۱۳/۲۲	۵/۵۹	۰/۴۸	۰/۰۸	۵/۹۷	۱/۹۹	۲/۷۷	۴/۰۱	۰/۳۴	۶۵/۳۸	۰/۰۲
۶	-۱۲۵+۱۰۵	۷/۲۲	۰/۱۶۶۶	۱۲/۷۹	۵/۶۲	۰/۴۵	۰/۰۹	۶/۸۶	۱/۸۴	۳/۱۱	۳/۷۷	۰/۴۵	۶۴/۸۴	۰/۰۱
۷	-۱۰۵+۷۴	۱۲/۰۲	۰/۱۷۷۴	۱۲/۴۳	۶/۱۴	۰/۴۹	۰/۰۹	۷/۲۵	۱/۶۳	۳/۴۸	۳/۷۱	۰/۴۸	۶۴/۱۱	۰/۰۱
۸	-۷۴+۵۳	۶/۲۱	۰/۲۱۷۱	۱۲/۳۷	۶/۵۱	۰/۴۸	۰/۱۰	۷/۷۳	۱/۵۹	۳/۷۸	۳/۵۰	۰/۵۵	۶۳/۱۳	۰/۰۴
۹	-۵۳+۳۷	۵/۹۳	۰/۲۵۱۱	۱۲/۱۴	۶/۷۴	۰/۴۷	۰/۱۰	۸/۵۸	۱/۴۶	۳/۹۰	۳/۳۴	۰/۶۱	۶۲/۳۹	۰/۰۲
۱۰	-۳۷	۶/۸۳	۰/۴۶۶۸	۱۲/۱۴	۸/۵۰	۰/۵۳	۰/۱۱	۸/۷۹	۱/۴۲	۴/۳۳	۳/۰۷	۰/۴۶	۶۰/۱۵	۰/۰۳
کل	-	۱۰۰	۰/۱۵۴۰	۱۲/۳۰	۵/۵۲	۰/۴۸	۰/۰۸	۶/۱۸	۱/۶۵	۲/۷۰	۴/۰۱	۰/۲۵	۶۶/۶۷	۰/۰۱



شکل ۲ - آنالیز **XRD** کانسنگ بلوک یک خشومی.a: خاک اولیه؛b: بخش تغلیظ شده.

۲-۴-۲ *مطالعات میکروسکوپی*

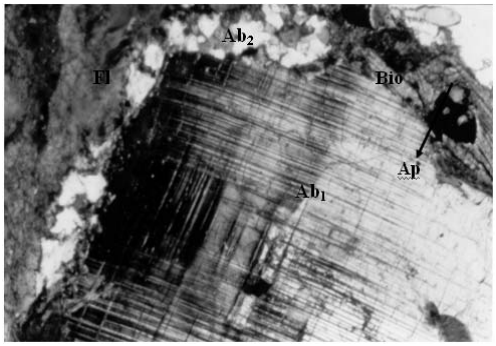
برای تکمیل مطالعات کانی‌شناسی، تعیین درصد و نحوه درگیری کانی‌ها، مقاطع صیقلی و نازک تهیه شد که به ترتیب مقـاطع صیقلی و نازک جهت مطالعه کانی‌های فلزی و غیـرفلـزی مـورد استفـاده گـرفتند. برای این منظور و با توجه به محـدودیت در تهیه مقاطع، ۷ مقطع صیقلی و ۷ مقطع نازک از

www.SID.ir

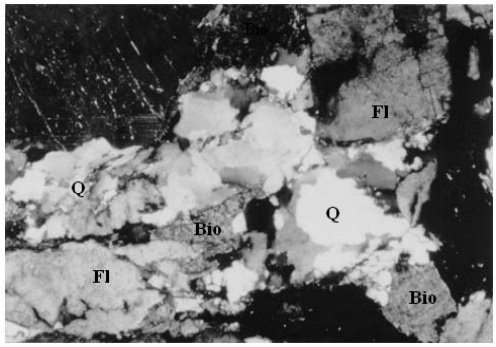
Archive of SID

فراکسیون‌های ۵۹۰+۸۴۰-، ۴۲+۵۹۰-، ۲۵۰+۴۲۰-، ۱۲۵+۲۵۰-، ۷۴+۱۲۵-، ۵۳+۷۴- و ۳۷+۵۳- میکرون و ۵ مقطع صیقلی و ۵ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی تهیه شد. نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی به شرح ذیل است. (شکل‌های ۳ تا ۸).

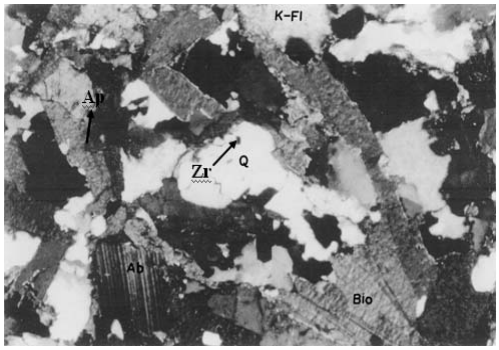
- کانی‌های اصلی تشکیل دهندهٔ کانسنگ شامل فلدسپات-آلکالن (اورتوز)، پلاژیوکلاز (آلبیت)، بیوتیت، کوارتز و کربنات (کلسیت یا کربناتیت) می‌باشند. در این مقاطع فلدسپات-آلکالن به صورت بلورهای درشت، پلاژیوکلاز به صورت بلورهای آلبیت ریز و درشت در مرز بلورهای فلدسپات-آلکالن، کوارتز به صورت اولیه و به صورت ثانویه در فضای بین بلوری، بیوتیت بصورت ادخال درون آلبیت و یا بصورت حاشیه‌ای در مرز بین فلدسپاتها و کوارتزها مشاهده می‌شوند. بیوتیت در برخی موارد در حال تبدیل شدن به کلریت است. در برخی از موارد اورانیوم به صورت جانشینی در درون شبکه بلوری بیوتیت‌ها قرار گرفته است.



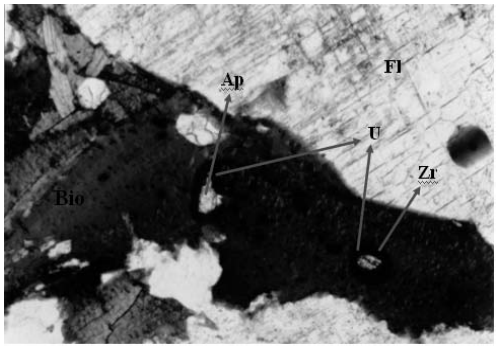
شکل ۳- آلبیت‌های اولیه (Ab_1) و ثانویه (Ab_2) در حاشیه و مرز فلدسپات-آلکالن درشت بلور و بیوتیت (۵۰*).



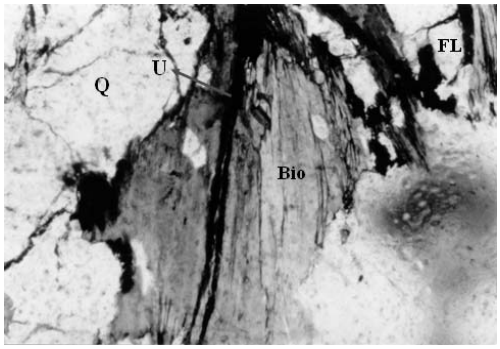
شکل ۴- کوارتز در حاشیه و مرز بیوتیت‌ها و بیوتیت‌ها در مرز و حاشیه فلدسپات‌ها (۵۰*).



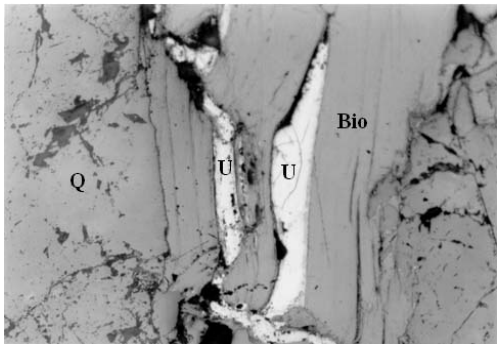
شکل ۵- بیوتیت با ادخال هائی از آپاتیت و زیرکن در مرز فلدسپات و آلبیت؛ کوارتز با ادخال هائی از زیرکن (۵۰*).



شکل ۶- ادخال کانی‌های فرعی زیرکن و آپاتیت با هاله‌های آکتیو به درون بیوتیت‌های هیدروترمال (۵۰*).



شکل ۷- کانی‌سازی آکتیو در امتداد رخ‌های بیوتیت در مرز بین فلدسپات-آلکالن و کوارتز (۵۰*).



شکل ۸- کانه تیره (اوپک) آکتیو (کانه سفید) در امتداد رخ‌های بیوتیت (۱۰۰*).

www.SID.ir

Archive of SID

- کانی‌های فرعی این کانسنگ شامل زیرکن، اسفن، آپاتیت و کانی‌های آکتیو (بتافیت، کافینیت و پیچ بلند) می‌باشند. این کانی‌ها به صورت پراکنده یا رگچه‌ای در امتداد مرز بین کانی‌های اصلی به ویژه در حاشیهٔ رخ‌های بیوتیت قرار گرفته‌اند.
- کانی‌های حاصل از آلتراسیون‌های مختلف شامل اپیدوت، کلریت، تریمولیت و اکتینولیت می‌باشند. این کانی‌ها به صورت رگچه‌ای، شعاعی و یا به صورت نقطه‌ای درون کانی‌های دیگر مشاهده می‌شوند. براساس مطالعات کانی‌شناسی، کانی‌های بیوتیت، اورتوز، آلبیت، کوارتز، کلسیت و کانی‌های فرعی دیگر به ترتیب حدود ۲۵، ۳۵، ۲۵، ۳، ۷ و ۵ درصد کانسنگ را تشکیل می‌دهند.

۳- تعیین درجه آزادی

یکی از اهداف تعیین درجه آزادی انتخاب نوع روش فراوری کانسنگ است. در این تحقیق هدف از تعیین درجه آزادی انجام مطالعات پیش فراوری (ثقلی، مغناطیسی، الکترواستاتیکی و غیره) و لیچینگ کانسنگ در مراحل بعدی بود. برای این منظور از دو روش برای تعیین درجه آزادی کانی‌ها استفاده شد. روش اول تعیین درجه آزادی به کمک تحلیل تصویری (شمارش ذره‌ای) بود که بر اساس آن درجه آزادی کانی‌های اورانیوم، همچنین کانی‌های باطله شامل اورتوز، آلبیت و بیوتیت تعیین شد. روش دوم استفاده از مایعات سنگین بود و در این روش درجه آزادی کانی‌ها به طور دقیق‌تر مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-۱ تعیین درجه آزادی به روش شمارش ذره‌ای

برای تجزیه و تحلیل میکروسکوپی کانی‌ها و شمارش ذرات آزاد یا درگیر، با توجه به نوع کانی‌ها از نظر فلزی یا غیرفلزی (مات یا شفاف) بودن، از مقاطع صیقلی و نازک استفاده می‌شود. معمولاً در مطالعات سیستماتیک برای شمارش ذرات به منظور تعیین درجه آزادی، از رابطه (۱) استفاده می‌گردد[۶]:

$$D = (100x) / [x + 0.5y] \qquad (۱)$$

D: درجه آزادی، x : تعداد ذرات با ارزش آزاد و y: تعداد ذرات با ارزش درگیر.

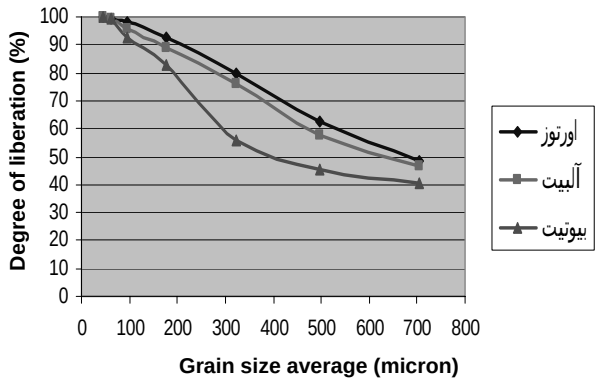
برای مطالعه و تعیین درجه آزادی کانی‌های غیرفلزی بیوتیت، اورتوز و آلبیت مقاطع نازک و برای مطالعه و تعیین درجه آزادی کانی‌های فلزی اورانیوم مقاطع صیقلی از فراکسیون‌های ۵۹۰+۸۴۰-، ۴۲۰+۵۹۰-، ۲۵۰+۴۲۰-، ۱۲۵+۲۵۰-، ۷۴+۱۲۵-، ۵۳+۷۴- و ۳۷+۵۳- میکرون تهیه و مورد مطالعه و شمارش قرار گرفت.

۳-۱-۱ مقاطع میکروسکوپی نازک

برای تعیین درجه آزادی کانی‌های اصلی بیوتیت، آلبیت و اورتوز که کانی‌های اورانیوم در حاشیه یا درون آنها، به ویژه بیوتیت قرار گرفته است، از فراکسیون‌های فوق مقاطع نازک تهیه و ذرات کانی‌های مختلف شمارش شد. با توجه به اینکه تعداد این کانی‌ها در مقاطع بسیار زیاد بود، لذا حدود ۲۰۰ ذره از هر کانی در هر مقطع بصورت آماری شمارش شد[۶]. در جدول ۲، تعداد ذرات کانی‌های اورتوز، آلبیت و بیوتیت ارائه شده است. بر اساس این جداول نمودار درجهٔ آزادی هر سه کانی رسم شده است (شکل ۹). با توجه به این نمودارها درجه آزادی کانی‌های اورتوز، آلبیت و بیوتیت به ترتیب ۳۲۰، ۲۹۰ و ۱۹۰ بدست آمد. در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ تصاویر مقاطع نازک نشان داده شده است.

۳-۱-۲ مقاطع میکروسکوپی صیقلی

برای تعیین درجهٔ آزادی کانی‌های فلزی اورانیوم از مقاطع صیقلی استفاده شد. برای این منظور از فراکسیون‌های قبلی مقاطع صیقلی تهیه و ذرات کانی‌های آن شمارش شد. در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ تصاویری از مقاطع فلزی فراکسیون‌های



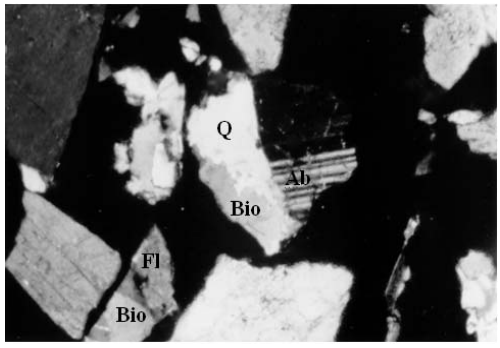
شکل ۹- تعیین درجه آزادی کانی‌های اورتوز، آلبیت و بیوتیت.

www.SID.ir

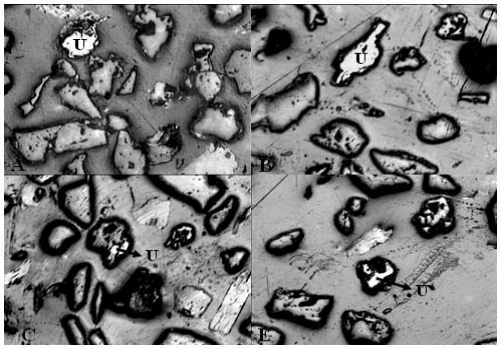
Archive of SID

جدول ۲- تعداد ذرات کانی‌های اورتوز، آلبیت و بیوتیت جهت تعیین درجه آزادی آنها.

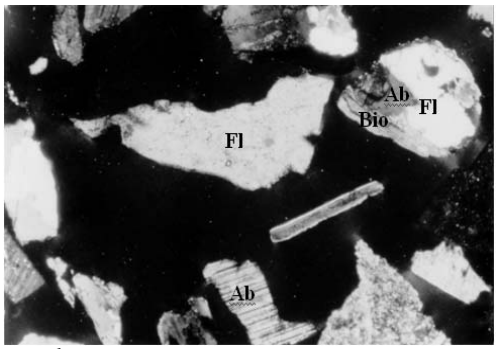
ابعاد		میانگین ابعاد (میکرون)	تعداد ذرات						درجه آزادی (با احتساب ۸۰ ٪)		
			اورتوز		آلبیت		بیوتیت				
میکرون	مش	$\sqrt{x_1 \times x_2}$	درگیر	آزاد	درگیر	آزاد	درگیر	آزاد	اورتوز	آلبیت	بیوتیت
-۸۴۰+۵۹۰	-۲۰+۳۰	۷۰۴	۱۰۲	۷۱	۱۱۲	۸۶	۸۷	۴۷	۴۸/۶۳	۴۶/۶۱	۴۰/۳۱
-۵۹۰+۴۲۰	-۳۰+۴۰	۴۹۸	۹۸	۱۰۵	۹۶	۱۰۴	۹۴	۶۳	۶۲/۳۶	۵۷/۵۲	۴۵/۵۹
-۴۲۰+۲۵۰	-۴۰+۶۰	۳۲۴	۴۷	۱۴۸	۶۰	۱۵۲	۷۸	۷۹	۷۹/۷۴	۷۶/۰۰	۵۵/۸۷
-۲۵۰+۱۲۵	-۶۰+۱۲۰	۱۷۷	۲۵	۱۸۶	۱۲	۱۷۳	۳۳	۱۲۹	۹۲/۵۲	۸۸/۹۰	۸۳/۰۱
-۱۲۵+۷۴	-۱۲۰+۲۰۰	۹۶	۵	۱۹۵	۴	۱۷۶	۶	۱۹۵	۹۷/۹۹	۹۵/۶۸	۹۲/۷۷
-۷۴+۵۳	-۲۰۰+۲۷۰	۶۳	۱	۱۹۱	۲	۲۱۱	۲	۱۸۶	۹۹/۵۸	۹۹/۲۵	۹۹/۱۵
-۵۳+۳۷	-۲۷۰+۴۰۰	۴۴	۰	۲۰۳	۰	۱۹۳	۰	۱۹۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



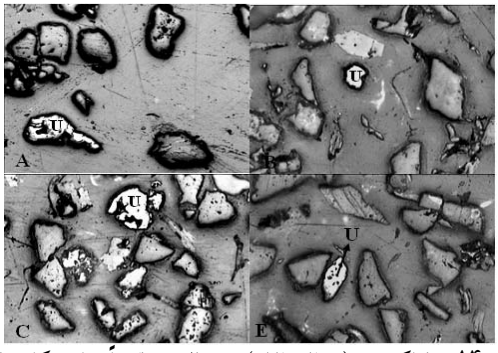
شکل ۱۰ - فراکسیون ۴۰+۳۰- مش نازک: کانی‌های بیوتیت، آلبیت و کوارتز و همچنین بیوتیت و اورتوز با هم درگیر می باشد (۵۰*).



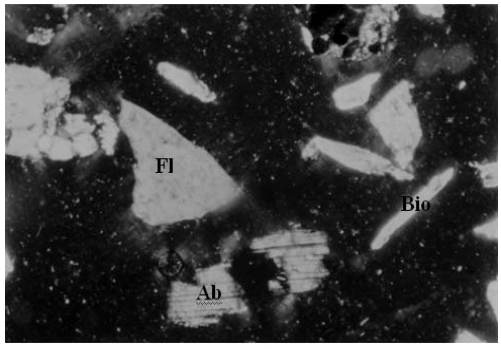
شکل ۱۳ - فراکسیون (۱۲۰+۶۰-) مش فلزی: تمامی کانی فلزی (**U**) با کانی‌های غیرفلزی آزاد، درگیر می‌باشد (۵۰*).



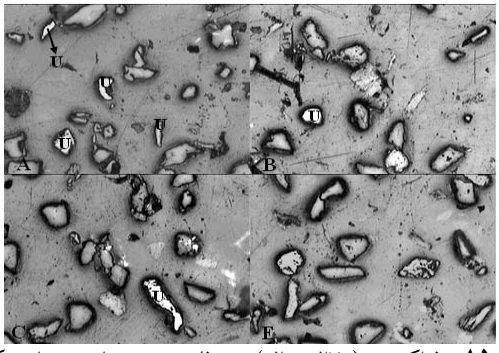
شکل ۱۱ - فراکسیون ۶۰+۴۰- مش نازک: اکثر بیوتیت‌ها درگیر با فلدسپات و پلاژیوکلاز بوده ولی اکثر فلدسپات‌ها و پلاژیوکلازها آزاد شده اند. (۵۰*).



شکل ۱۴ - فراکسیون (۲۰۰+۱۲۰-) مش فلزی: تقریباً تمامی کانی فلزی اورانیوم (**U**) آزاد می باشد(۱۰۰*).



شکل ۱۲ - فراکسیون ۱۲۰+۶۰- مش نازک: تمامی کانی‌های اورتوز، پلاژیوکلاز (آلبیت) و بیوتیت آزاد می باشند. (۱۰۰*).



شکل ۱۵ - فراکسیون (۲۷۰+۲۰۰-) مش فلزی: در تمامی تصاویر کانی فلزی و غیرفلزی (غیربراق) موجود آزاد می باشد (۱۰۰*).

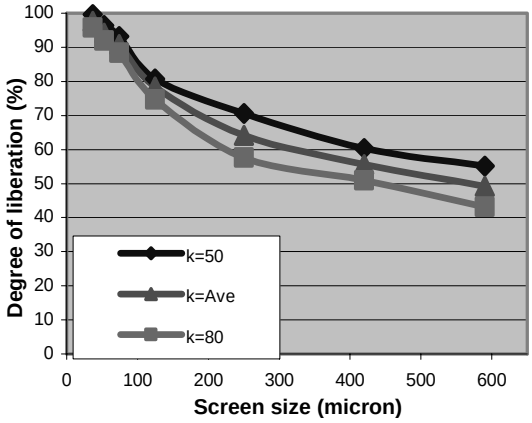
www.SID.ir

Archive of SID

مختلف نشان داده شده است. با توجه به اینکه تعداد ذرات اورانیوم در مقاطع محدود بود، لذا تمامی ذرات اورانیوم موجود در مقاطع شمارش شد. در جدول ۳ تعداد ذرات شمارش شده و درجهٔ آزادی کانی‌های اورانیوم ارائه شده است. شمارش و محاسبهٔ درجهٔ آزادی کانی‌های اورانیوم نیز طبق رابطهٔ (۱) انجام شد. بر اساس جدول۳ نمودار درجهٔ آزادی اوانیوم رسم شد (شکل ۱۶). با توجه به این نمودار درجه آزادی با احتساب ۵۰ و ۸۰ درصد به ترتیب ۱۳۰ (حدود ۱۲۰ مش) و ۱۰۰ میکرون (حدود ۱۴۰ مش) بدست آمد.

۳-۲ تعیین درجه آزادی به روش محلول‌های سنگین

جهت انجام مطالعات مایعات سنگین برروی نمونه‌های این کانسنگ، با استفاده از محلول‌های سنگین دی‌یدومتان ($3/3 gr/cm^3$)، تری برمومتان ($2/89 gr/cm^3$)، تتراکلرومتان ($1/59 gr/cm^3$) و استون ($0/79 gr/cm^3$) محلول‌هایی با جرم مخصوص مورد نظر تهیه و استفاده شد. به دلیل مشکل ته‌نشینی ذرات با ابعاد کوچک، برای جدایش فراکسیون ۷۴+۱۲۵- میکرون ضرورتاً از دستگاه سانتریفوژ استفاده شد. ولی جدایش فراکسیون‌های ۲۵۰+۴۲۰- ، ۱۲۵+۲۵۰- میکرون بوسیله قیف دکانتور انجام شد[۸]. برای این منظور محلول‌های سنگین با جرم مخصوص ۲/۶، ۲/۷، ۲/۸، ۲/۹ و $3/0 gr/cm^3$ (در این پروژه به دلیل عدم دسترسی به محلول هایی با جرم مخصوص بالا، حداکثر جرم مخصوص قابل تهیه ۳/۰ بود) تهیه شد. در جدول ۴ نتایج آزمایشهای غرق و شناور سازی ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با ریز شدن ابعاد ذرات درصد ذرات شناور شده در جرم مخصوص پائین کاهش یافته و درصد ذرات غرق شده در جرم مخصوص بالاتر افزایش پیدا می‌کند. این امر ناشی از این است که با خردایش ذرات، کانی‌های سنگین از کانی‌های سبک جدا شده و از بخش شناور به بخش غرق شده منتقل می‌شوند. همچنین طبق جدول ۴ مشاهده می‌گردد، با افزایش جرم مخصوص جدایش، عیار اورانیوم افزایش می یابد و این بیانگر این است که ذرات اورانیوم با کانی‌های سنگین همراه است. جهت تعیین درجه آزادی کانی‌های سبک (اورتوز و آلبیت) و کانی‌های سنگین (بیوتیت) شکل ۱۷ بر اساس جدول ۴ رسم شد. منحنی بالائی، وضعیت بخش شناور در جرم مخصوص $2/7 gr/cm^3$ و منحنی پایینی بخش غرق شده در جرم مخصوص $2/8 gr/cm^3$ و بین دو منحنی محصول حدواسط را نشان می دهد [۸]. کانی‌های سبک (با جرم مخصوص کمتر از ۲/۷) بین ۷۰ تا ۷۵ درصد و



شکل ۱۶- نمودار تعیین درجه آزادی کانی‌های اورانیوم.

جدول ۳ - تعیین درجه آزادی کانی‌های اورانیوم بر اساس شمارش ذرات.

ابعاد		تعداد کانی‌های اورانیوم				تعداد ذرات باطله	درجه آزادی اورانیوم (٪)		
		$K=50$		$K=80$		-	$K=50$	$K=80$	متوسط
میکرون	مش	آزاد	درگیر	آزاد	درگیر	-	r = ۰	r = ۰	-
-۸۴۰+۵۹۰	-۲۰+۳۰	۱۶	۲۶	۱۱	۲۹	۲۴۵	۵۵/۱۷	۴۳/۱۴	۴۹/۱۵
-۵۹۰+۴۲۰	-۳۰+۴۰	۱۶	۲۱	۱۴	۲۷	۳۳۵	۶۰/۳۸	۵۰/۹۱	۵۵/۶۴
-۴۲۰+۲۵۰	-۴۰+۶۰	۲۴	۲۰	۱۷	۲۵	۵۵۰	۷۰/۵۹	۵۷/۶۳	۶۴/۱۱
-۲۵۰+۱۲۵	-۶۰+۱۲۰	۴۲	۲۰	۳۱	۲۱	۹۲۵	۸۰/۷۶	۷۴/۷۰	۷۸/۴۲
-۱۲۵+۷۴	-۱۲۰+۲۰۰	۷۵	۱۱	۸۸	۲۳	۱۲۰۰	۹۳/۱۷	۸۸/۴۴	۹۰/۸۰
-۷۴+۵۳	-۲۰۰+۲۷۰	۱۰۸	۸	۱۲۰	۲۱	۱۵۵۰	۹۶/۴۳	۹۱/۹۵	۹۴/۱۹
-۵۳+۳۷	-۲۷۰+۴۰۰	۱۲۰	۱	۱۲۶	۱۱	۱۸۰۰	۹۹/۵۹	۹۵/۸۳	۹۷/۷۰

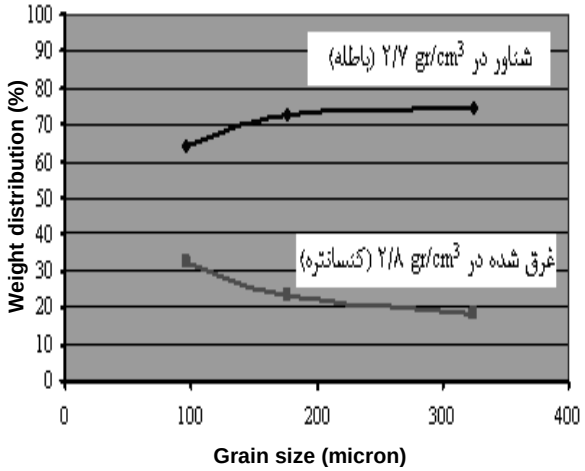
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ – نتایج آزمایشات غرق و شناورسازی کانسنگ اورانیوم خشومی.

فراکسیون (میکرون)	جرم مخصوص (gr/cm^3)	جرم شناور (٪)	عیار (٪)	جرم تجمعی شناور (٪)	توزیع (٪)	توزیع تجمعی (٪)
-۴۲۰+۲۵۰	۲/۶	۲۹/۱۲	۰/۰۵۰۲	۲۹/۱۲	۱۳/۱۶	۱۳/۱۶
	۲/۷	۴۵/۰۶	۰/۰۵۷۳	۷۴/۱۸	۲۳/۲۴	۳۶/۴۰
	۲/۸	۷/۳۶	۰/۱۸۱۲	۸۱/۵۴	۱۲/۰۰	۴۸/۴۰
	۲/۹	۴/۵۲	۰/۱۷۶۲	۸۶/۰۶	۷/۱۷	۵۵/۵۷
	۳/۰	۶/۳۵	۰/۱۲۶۳	۹۲/۴۱	۱۵/۷۹	۷۱/۳۶
	غرق در ۳	۷/۵۹	۰/۲۷۶۳	۱۰۰	۲۸/۶۷	۱۰۰
-۲۵۰+۱۲۵	۲/۶	۲۹/۲۳	۰/۰۴۰۱	۲۹/۲۳	۸/۶۵	۸/۶۵
	۲/۷	۴۳/۵۳	۰/۰۳۲۷	۷۲/۷۷	۱۰/۴۸	۱۹/۱۲
	۲/۸	۴/۰۳	۰/۲۰۲۷	۷۶/۸۰	۶/۰۳	۲۵/۱۵
	۲/۹	۴/۵۸	۰/۲۳۶۷	۸۱/۳۸	۷/۹۹	۳۳/۱۴
	۳/۰	۸/۱۸	۰/۳۳۲۵	۸۹/۵۷	۲۰/۰۵	۵۳/۱۹
	غرق در ۳	۱۰/۴۳	۰/۶۰۹۴	۱۰۰	۴۶/۸۴	۱۰۰
-۱۲۵+۷۴	۲/۶	۳۶/۷۲	۰/۰۳۰۷	۳۶/۷۲	۵/۹۷	۵/۹۷
	۲/۷	۲۷/۴۲	۰/۰۲۷۰	۶۴/۱۳	۳/۹۲	۹/۸۹
	۲/۸	۳/۴۲	۰/۱۴۱۳	۶۷/۵۵	۲/۵۶	۱۲/۴۵
	۲/۹	۵/۴۲	۰/۳۱۲۵	۷۲/۹۷	۸/۹۷	۲۱/۴۲
	۳/۰	۱۱/۳۲	۰/۴۲۳۶	۸۴/۲۸	۲۵/۳۹	۴۶/۸۱
	غرق در ۳	۱۵/۷۲	۰/۶۳۹۵	۱۰۰	۵۳/۲۴	۱۰۰

کانی‌های سنگین (بیشتر از ۲/۸) بین ۲۰ تا ۲۵ درصد نمونه را تشکیل می‌دهند. با در نظر گرفتن درصد کانی‌ها و بر اساس شکل ۱۷ مشاهده می‌شود در ابعاد حدود ۳۰۰ میکرون تقریباً ۷۵ درصد ذرات سبک شناور شده و در ابعاد حدود ۱۸۰میکرون تقریباً ۲۰ درصد ذرات سنگین غرق شده‌اند. به عبارت دیگر درجه آزادی کانی‌های سبک (اورتوز و آلبیت) حدود ۳۰۰ میکرون و درجه آزادی کانی‌های سنگین (بیوتیت) حدود ۱۸۰ میکرون بدست می‌آید که این نتایج، درجه آزادی بدست آمده از طریق مطالعات میکروسکوپی را تأیید می‌نماید.



شکل ۱۷– تعیین درجه آزادی با استفاده از محلول‌های سنگین.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- بحث و نتیجه‌گیری

- بر اساس شکل ۱ و با توجه به اینکه جرم بخش باقیمانده بر روی بالاترین سرند و همچنین جرم بخش عبور کرده از پائین‌ترین سرند نباید از ۵ درصد کل نمونه تجاوز کند[۴]، زمان بهینه خردایش مواد به وسیله آسیا جهت توزیع وزنی مناسب ذرات در فراکسیون‌ها، ۵ دقیقه در نظر گرفته شد.
- بر اساس نتایج جدول ۱ مشاهده شد، اورانیوم در تمامی فراکسیون‌ها پراکنده شده و توزیع منظمی ندارد، بنابراین به روش خردایش و دانه‌بندی نمی‌توان این کانسنگ را پرعیار کرد. همچنین عیار اورانیوم با کاهش ابعاد افزایش پیدا کرده و در ریزترین فراکسیون (۳۷- میکرون) به حداکثر مقدار خود می رسد. این توزیع اورانیوم ممکن است دلیلی بر ثانویه بودن کانی‌های اورانیوم در کانسنگ باشد که در نتیجهٔ خردایش سریعاً خرد شده و به ذرات بسیار ریز و نرمه تبدیل می‌گردند که در فرایندهای بعدی مشکل ساز خواهند بود.
- بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی شامل فلدسپات-آلکالن، پلاژیوکلاز، بیوتیت، کوارتز، آمفیبول وکربنات و کانی‌های فرعی شامل زیرکن، اسفن، آپاتیت و کانی‌های آکتیو (بتافیت، کافینیت و پیچ بلند) شناسائی شدند.
- براساس مطالعات میکروسکوپی درجه آزادی کانی‌های اورتوز، آلبیت، بیوتیت و کانی‌های اورانیوم به ترتیب ۳۲، ۲۹۰، ۱۹۰ و ۱۱۰میکرون بدست آمد. مطالعات مایعات سنگین این نتایج را تأیید نمود.
- بر اساس مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که کانی‌های با ارزش به صورت پراکنده یا رگچه‌ای در امتداد مرز بین کانی‌های اصلی به ویژه در حاشیهٔ رخ‌های بیوتیت قرار گرفته‌اند. در برخی موارد نیز اورانیوم به صورت جانشینی درون شبکه بلوری بیوتیت‌ها قرار گرفته است. کانی‌های فرعی اورانیوم‌دار بصورت ادخال و یا در حاشیه مرز بین کانی‌های اصلی دیده شدند.

References:

1. International Atomic Energy Agency, “The uranium production cycle and the environment,” International Symposium held in Vienna, 2- 6 October, 267–268 (2000).
2. T. Prasada Rao, P. Metilda, J. Mary Gladis, “Preconcentration techniques for uranium(VI) and thorium(IV) prior to analytical determination-an overview,” Talanta (2005).
3. International Atomic Energy Agency, “Uranium Extraction Technology,” echnical Report No. 359, pp. 39-66 (1993).
4. ح. نعمت اللهی، "کانه آرائی (جلد اول)،" انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، جلد اول، ۱۱-۱۳ (۱۳۷۶).
5. International Atomic Energy Agency, “Developments in Uranium Resources, Production, Demand and the Environment,” roceedings of a technical committee meeting held in Vienna, 15-18 June, pp. 166 (2005).
6. Andrew L. Mular, Doug N. Halbe, Derek J. Barratt, “Mineral processing plant design, practice, and control,” SME.Pub, Vol. 1, 949 (2002).
7. International Atomic Energy Agency, “Uranium Extraction Technology,” echnical Report No. 359, 39 - 66 (1993).
8. ب. رضائی، "تکنولوژی فرتوری مواد معدنی (روش‌های پرعیارسازی ثقلی)،" انتشارات دانشگاه هرمزگان (۱۳۷۷).

www.SID.ir