



## معرفی کانی‌زایی اورانیم آتشفشان‌زاد با استفاده از شاهد‌های زمین‌شناختی، دگرسانی، کانی‌شناختی و ژئوشیمیایی در خاور بم (جنوب - خاوری ایران)

محمد گودرزی\*<sup>۱</sup>، حسن زمانیان<sup>۱</sup>، علیرضا جوانشیر<sup>۲</sup>، محمدرضا رضوانیان‌زاده<sup>۳</sup>، محمدرضا قادری<sup>۴</sup>  
۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لریستان، صندوق پستی: ۶۸۱۵۱-۴۴۳۱۶، لریستان - ایران  
۲. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳، تهران - ایران  
۳. پژوهشکده‌ی مواد و سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران  
۴. دانشکده فنی، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳، تهران - ایران

**چکیده:** منطقه‌ی مطالعاتی در خرده- قاره‌ی ایران مرکزی، بخش جنوبی بلوک لوت و ۴۵ کیلومتری خاور شهرستان بم واقع شده است. واحدهای اصلی منطقه از توالی سنگ‌های آذرآواری و لایه‌های گدازه‌ای به سن اتوسن با روند کلی شمال باختری- جنوب خاوری و متشکل از ماگمای کالک‌آلکانل پتاسیم- بالا هستند که تشکیل آن‌ها مرتبط با محیط زمین‌ساختی قوس ماگمایی و حوزه‌ی فرورانش است. ناحیه‌های دگرسانی رسی، سیلیسی، هماتی، زئولیتی و کلریتی در ارتباط با کانی‌زایی اورانیم در منطقه مشاهده می‌شوند. مجموعه‌های ژئوشیمیایی مرتبط با حضور اورانیم در محدوده‌ی مورد مطالعه عبارت‌اند از مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های اسیدی و حدواسط شامل U-W-As-Mo-S-Cu-Ag و مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های آذرین بازیک که شامل U-Ni-V-Ag-Co-W-Mo-Cr-Cu-S هستند. ساختارها و بافت‌های اصلی مشاهده شده در منطقه شامل استوک‌ورک، رگه‌رگچه، خوردگی، شعاعی، انتشاری و غشای حاشیه‌ای هستند. عمده کانی‌زایی منطقه شامل کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم شامل بُلِتودیت، فسفرانلیت و کارنوتیت، منگنز اکسیدها، آهن اکسیدها و هیدروکسیدها، مقدار کمی سولفید (پیریت)، کانی‌های گروه زئولیت و سایر گروه‌های کانی‌ها هستند که غالباً در اثر فرایندهای گرمایی و پرون‌زاد بعدی تشکیل شده‌اند. بر اساس مقایسه‌ی الگوی کانی‌زایی منطقه و تطبیق آن با شرایط زمین‌شناختی، دگرسانی و ژئوشیمیایی کنسارهای اورانیم، محتمل‌ترین گزینه برای گونه‌ی کانی‌زایی در منطقه، کانی‌زایی اورانیم آتشفشان‌زاد معرفی شد.

**کلیدواژه‌ها:** کانی‌زایی اورانیم، آتشفشان‌زاد، دگرسانی، بم

## The Introduction of Volcanogenic Uranium Mineralization Using Geological, Alteration, Mineralization and Geochemical Evidence at East Bam (South - East of Iran)

M. Goudarzi\*<sup>1</sup>, H. Zamanian<sup>1</sup>, A. Javanshir<sup>2</sup>, M.R. Rezvanianzadeh<sup>3</sup>, M.R. Ghaderi<sup>4</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, P.O. Box: 68151-44316, Lorestan, Iran

2. Department of Geology, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, P.O. Box: 1439951113, Tehran, Iran

3. Materials and Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

4. Faculty of Engineering, University of Tehran, P.O. Box: 1439951113, Tehran, Iran

**Abstract:** The studied area is located in the central Iran micro-continent, in the southern part of Lut block, 45 kilometers east of Bam Township. The main units of the area are mostly intercalation of pyroclastic rocks and lava layers in the age of Eocene, with the general trend of southwest- northeast and include high potassium calc- alkaline magma that their formation are related to the tectonic environments of magmatic arc and subduction zone. Argillic, silica, hematite, zeolite and chlorite alteration are observed in the area in relationship with uranium mineralization. The geochemical complexes related to uranium presence were identified in the study area. They are: complexes in relation with acidic and moderate rocks, including U-W-As-Mo-S-Cu-Ag, and complexes related to the basic igneous rocks, including U-Ni-V-Ag-Co-W-Mo-Cr-Cu-S. The main observed structures and textures in this area involve stock work, vein veinlet, corrosion, radial, release and peripheral membrane. The main mineralization in the area includes uranium secondary minerals contains Boltwoodite, Phosphuranylite and carnotite, manganese oxides, iron oxides and hydroxides, a few sulfide, zeolite mineral group and other minerals groups which mostly are formed under the influence of hydrothermal and late supergene processes. Based on a comparison pattern of mineralization in the area and its adjustment with the geological, alteration and geochemical conditions in uranium deposits, the most possible choice for mineralization type in the area has been introduced as volcanogenic uranium mineralization.

**Keywords:** Uranium Mineralization, Volcanogene, Alteration, Bam

\*Email: goudarzi.mo@fs.lu.ac.ir



## ۱. مقدمه

مدل توصیفی کانسارهای اورانیم آتشفشان‌زاد توسط ناش و همکاران [۱] ارائه شد. هم‌چنین توسط پلانت و همکاران [۲] این کانسارها به عنوان محصول سیال‌های گرمایی ماگمایی مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی معرفی شدند. پژوهش حاضر بر روی بخشی از نوار آتشفشانی رسوبی با روند شمال باختری- جنوب خاوری در خاور شهرستان بم که عمدتاً از توالی سنگ‌های آذرآواری و لایه‌های گدازه‌ای به سن ائوسن تشکیل و از لحاظ تقسیم‌های زمین‌ساختی در خرده قاره‌ی ایران مرکزی و در بخش جنوبی بلوک لوت واقع شده است [۳] به انجام رسید. منطقه‌ی مورد مطالعه در خاور شهرستان بم و در جنوب خاوری استان کرمان قرار دارد. این منطقه در ۴۵ کیلومتر جاده بم- زاهدان واقع شده و از جاده‌ی آسفالت اصلی بم- زاهدان دارای ۱۵ کیلومتر جاده‌ی دسترسی خاکی و شوسه است (شکل ۱). آب و هوای منطقه، گرم و کویری و بخشی از ناحیه‌ی بیابانی لوت زنگی احمد است و دارای ریخت‌شناسی و توپوگرافی ملایم و در بعضی نقاط کوه‌های بلند و نسبتاً خشن است. در این پژوهش با توجه به معیارهای مختلف از قبیل مطالعه‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناختی، ساختاری و بافتی و ژئوشیمیایی به بررسی نحوه‌ی کانی‌زایی اورانیم در منطقه پرداخته شد.

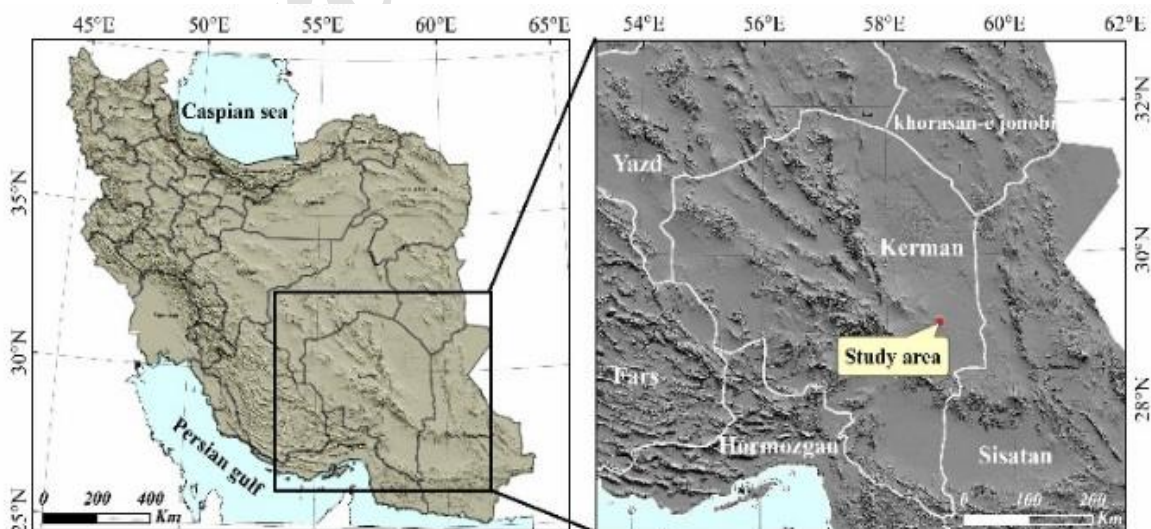
## ۲. هدف‌ها و روش کار

هدف اصلی این پژوهش بررسی ناهنجاری‌های اورانیم منطقه‌ی خاور بم و ارتباط آن با فرایندهای زمین‌شناسی و کنترل‌کننده‌ی

کانی‌سازی به منظور شناخت الگوی تشکیل و مقایسه‌ی آن با انواع

شناخته شده‌ی جهانی، و شامل مرحله‌های زیر است:

۱. مطالعه‌های صحرایی برای تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی همراه با بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی و انتخاب بهترین نمایه‌ها برای مطالعه‌ی رگه‌ها و ارتباط آن با سنگ‌دیواره‌ی نمونه‌برداری از سنگ‌های دگرسان‌نشده، سنگ‌دیواره‌ی دگرسان‌شده و رگه‌های کانی‌سازی در امتداد نمایه‌های انتخابی؛
۲. مطالعه‌های کانی‌شناسی و بررسی ساختار و بافت (۲۶ نمونه برای پراش پرتو ایکس، ۱۵۳ نمونه برای مقطع نازک، ۱۱ نمونه برای مقطع نازک صیقلی و ۲ نمونه برای میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از منطقه برداشت شد و به آزمایشگاه‌های سازمان انرژی اتمی، شرکت زراآما و دانشگاه لرستان ارسال و مورد تجزیه‌ی عنصری قرار گرفت)؛
۳. مطالعه‌های ژئوشیمیایی برای مشخص نمودن عنصرهای همراه اورانیم و ژئوشیمی سنگ‌های منطقه (تعداد ۶۱۶ نمونه برای طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده‌ی القایی (ICP-MS) و ۱۹ نمونه برای فلورسانسی پرتو ایکس (XRF) از منطقه برداشت و در آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی و شرکت زراآما مورد تجزیه‌ی عنصری قرار گرفتند)؛
۴. تعبیر و تفسیر یافته‌های صحرایی، کانی‌شناسی، کانه‌نگاری، ساختاری و بافتی و ژئوشیمی؛
۵. تحلیل نرم‌افزاری؛
۶. تلفیق یافته‌ها و مقایسه با مدل‌های نوعی کانی‌سازی.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.



### ۳. زمین‌شناسی منطقه

دریا در منطقه نیست. به نظر می‌رسد که در بخش‌هایی به صورت محدود این نهشته‌ها در یک محیط نیمه دریایی تشکیل شده‌اند. بر روی توالی فوق، نهشته‌های بازالتی و آندزیت بازالتی تا آندزیتی قرار دارند که رنگ سیاه تا خاکستری تیره دارند و عموماً دارای بافت ریزپورفیری با فنوکریست‌های پلازیوکلاز و اولیوین‌های ایدنگسیتی شده هستند. واحد گدازه‌ای آخرین تظاهر حالت آتشفشانی ائوسن در منطقه است. در داخل نهشته‌های فوق دایک‌های متعددی نفوذ نموده‌اند که معمولاً بازالتی-دیابازی هستند و روند آن‌ها از شمال باختری- جنوب خاوری تا شمال خاوری- جنوب باختری در تغییر است که منطبق بر روند شکستگی‌های موجود در منطقه است. مطالعه‌های سنگ‌شناختی بر اساس نمودار Rb/Y+Nb در محدوده‌ی گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG)، و نمودار Nb/Y در محدوده‌ی گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی و گرانیتوئیدهای برخوردی (VGA+syn-COLG) (شکل ۳) نشان‌گر حضور ماگمای کالک‌آلکانل پتاسیم- بالا و محیط زمین‌ساخت قوس ماگمایی مرتبط با حوزه‌ی فرورانش در منطقه است [۶].

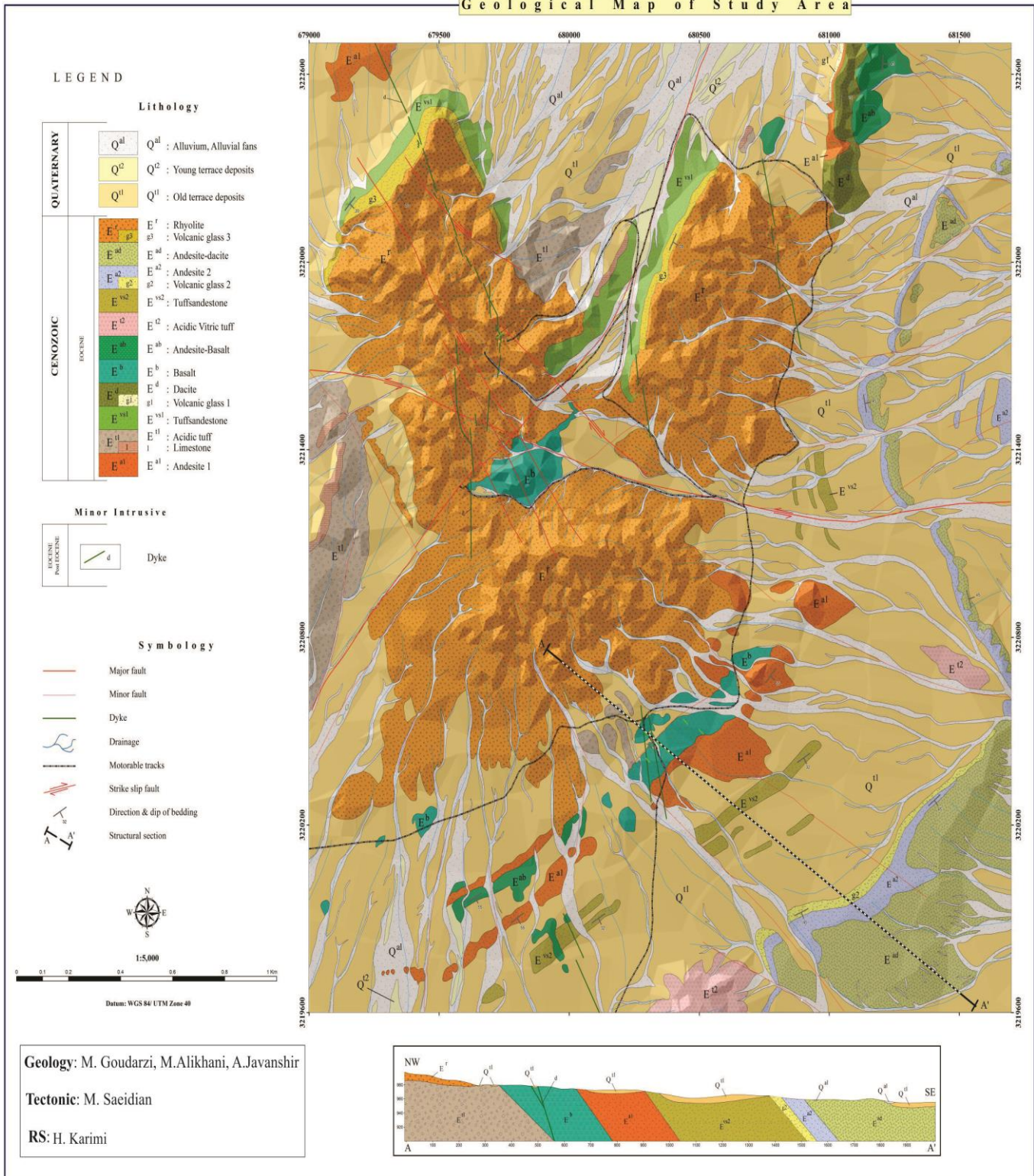
### ۴. دگرسانی

حوزه‌های دگرسانی از لحاظ ژنتیکی ارتباط خاصی با حوزه‌های کانی‌سازی دارند. در منطقه‌ی مورد مطالعه، دگرسانی‌های گسترده‌ای در مشاهده‌های صحرایی، بررسی‌های سنجش از دور و مطالعه‌های میکروسکوپی تشخیص داده شد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت از رسی، گروه آهن اکسیدها و هیدروکسیدها، سیلیسی، کربناتی، کلریتی و زئولیتی هستند.

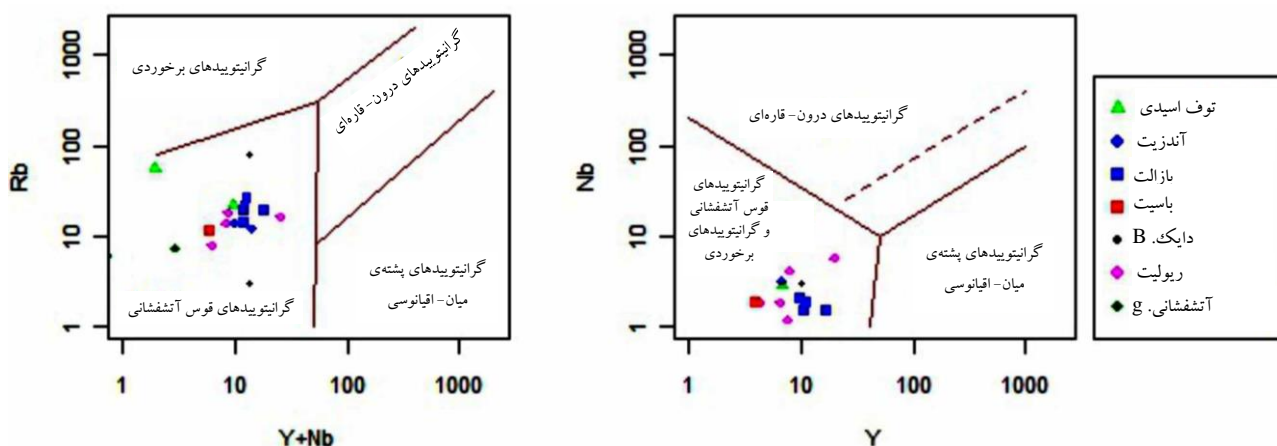
منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب خاوری نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ الله‌آباد [۴] واقع شده است. بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ تهیه‌شده از محدوده‌ی مورد مطالعه [۵] (شکل ۲)، رخنمون‌های ائوسن موجود در محدوده به دو دسته‌ی عمدی آذرآواری و گدازه‌ای قابل تفکیک هستند. هم‌چنین این نهشته‌ها شامل سری عمدی مافیک و اسیدی هستند و نهشته‌های حد واسط نیز در منطقه قابل مشاهده‌اند. نهشته‌های فوق توسط دایک‌های متعددی با روند تقریبی شمال‌خاوری- جنوب باختری قطع شده‌اند که این دایک‌ها را می‌توان به بعد از ائوسن نسبت داد. قدیمی‌ترین رخنمون‌های موجود در منطقه را نهشته‌های رسوبی- آتشفشانی با ماهیت آذرآواری تشکیل می‌دهند که به صورت توالی، سیلتستون، توف آندزیتی و لاپیلی توف هستند. بخش زیرین این نهشته‌ها مشخص نبوده و بخش بالایی به نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌های اسیدی ختم می‌شود. در بین نهشته‌های فوق گدازه‌های آندزیتی تا تراکی آندزیتی دیده می‌شوند و در توالی فوق چندین لایه از این گدازه‌ها دیده می‌شوند. این سنگ‌ها بافت پورفیری و ریزپورفیری دارند و با توجه به مقاومشان در مقابل فرسایش از سنگ‌های مجاور برجسته‌تر دیده می‌شوند. نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌ی اسیدی که ترکیب ریوداسیتی تا ریولیت دارند با حجم عظیم در منطقه دیده می‌شوند. این نهشته‌ها، طیفی از توف دانه‌ریز، ایگنمبریت، لاپیلی توف و آگلومرا را شامل می‌شوند که قطعه‌های مختلف با ترکیب عمومی داسیت تا ریولیت در بخش‌های دانه درشت‌تر را دارا هستند. در بخش بالایی توالی آذرآواری، در بخش‌هایی به صورت محدود، رخنمون‌هایی از سنگ‌های آهکی دیده می‌شوند ولی این واحد در همه‌جا حضور نداشته و نشانگر پیشروی گسترده‌ی



### Geological Map of Study Area



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه [۵].



شکل ۳. نمودارهای نشان‌دهنده جای گاه زمین‌ساختی قوس ماگمایی سنگ‌های منطقه [۷].

هماتیته شدن سنگ دیواره ویژگی خاص اکثر کانسارهای گرمابی اورانیم مهم دنیا است. ولی، در همه‌ی کانسارهای اورانیم، گرمابی ویژگی خاص نیست [۹]. نهشت هماتیت هیپوزن رگه‌ای و یا هماتیت ثانویه به صورت دگرسانی سنگ دیواره معمولاً قبل یا همراه با نهشت پیشبلاند صورت می‌گیرد [۹].

#### ۳.۴ دگرسانی سیلیسی

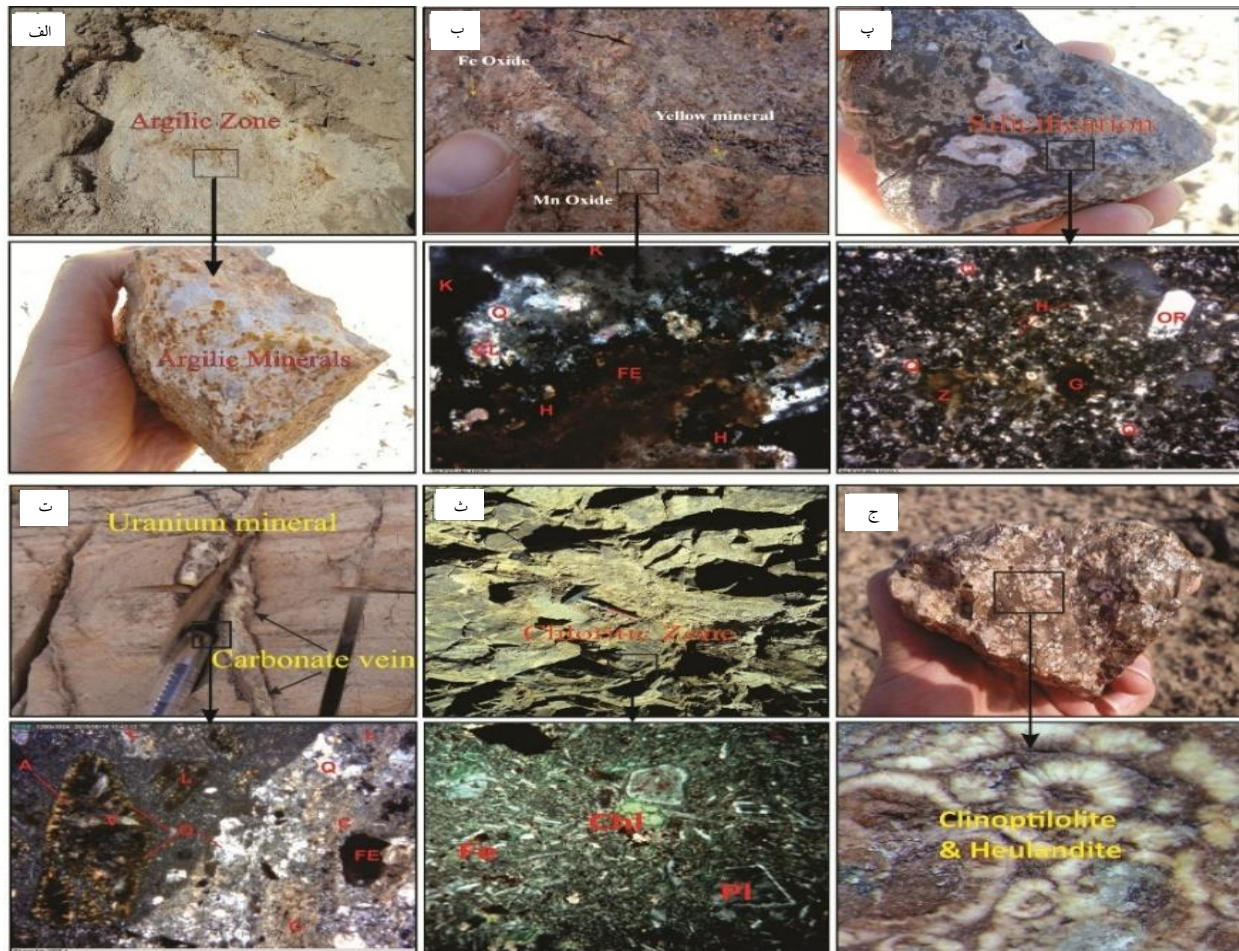
محلول‌های گرمابی غنی از سیلیس در شرایط مناسب، سیلیس خود را برجای می‌گذارند و کوارتز، چرت و کالسدونی به وجود می‌آورند. این دگرسانی در ادامه‌ی دگرسانی رسی پس از خروج یون‌های K، Ca، Na، Mg و Al رخ می‌دهد. سیلیسی شدن از دو راه صورت می‌گیرد: اضافه شدن  $\text{SiO}_2$  به سنگ توسط محلول‌های ماگمایی یا گرمابی و بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر سنگ [۱۱]. درجه‌های مختلف سیلیسی شدگی را می‌توان در منطقه‌ی مطالعاتی خاور بزم به وضوح مشاهده کرد. سیلیسی شدن در اکثر واحدهای منطقه به صورت‌های مختلفی مثل رگه‌های سیلیسی، کلسدونی، آگات و پرشدگی فضاهای خالی دیده می‌شود که در بعضی بخش‌ها وجود آهن اکسیدهای همراه آن‌ها نشان‌دهنده‌ی تأثیر محلول‌های آهن و منیزیم‌دار بر این بخش‌ها است که در فضاهای خالی بین قطعه‌های سیلیس جای‌گزین شده‌اند. حضور سیلیس آمورف نشان‌دهنده‌ی غلظت‌های بسیار بالای آن در طی ته‌نشست سنگ‌های آتشفشانی [۱۲] و سیلیس بلورین نشان‌گر تشکیل آن در حین سرد شدن سیال‌های گرمابی است [۱۳]. در بخش‌های جنوبی و باختری منطقه، سیلیسی شدن شدیدی در اثر کاهش دما و فشار محلول‌های گرمابی غنی از سیلیس به صورت ژئود، آگات و نودول‌های سیلیسی در واحدهای حدواسط و اسیدی دیده می‌شود (شکل ۴ پ).

#### ۱.۴ دگرسانی رسی

دگرسانی رسی با تجزیه و تخریب فلدسپات‌ها، کلریت و کانی‌های فرومنیزین، تشکیل کانی‌های رسی و سریسیت، تغییر رنگ سنگ‌ها به سفید تا کرم مایل به زرد، آزاد شدن آهن و سست شدن ساختار سنگ مشخص می‌شود. هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیم‌دار (محیط اسیدی) موجب تشکیل کانی‌های رسی از جمله کائولینیت می‌شود. طبق نظر والکر [۸] دگرسانی رسی غالباً بیش‌تر از سایر دگرسانی‌ها برای کانسارهای گرمابی اورانیم گزارش شده است [۹]. توسعه‌ی این دگرسانی معمولاً در واحدهای توفی، توف‌های اسیدی و ریولیت‌های منطقه رخ داده است؛ همراه با این دگرسانی، آغستگی به آهن اکسیدهای قرمز و قهوه‌ای و در برخی نقاط دگرسانی کلریتی توسعه یافته است. با تأثیر این دگرسانی رنگ این واحدها به کرم تا سفید متمایل گشته و قابل تفکیک هستند. طبق بررسی‌های صحرایی و تجزیه‌ی پراش پرتو ایکس، مقطع‌های فرایندهای دگرسانی رسی در جنوب و شمال - باختر منطقه شدت بیش‌تری داشته و کانی‌های شاخص دگرسانی رسی در آن، مونت‌موریونیت، کائولینیت و ایلیت هستند (شکل ۴ الف).

#### ۲.۴ دگرسانی آهن اکسیدها و هیدروکسیدها

این نوع دگرسانی با فرایندهای اکسایش - کاهش در ارتباط است که در آن سیال‌های اکسند با درجه شوری زیاد در مجاورت یک سنگ میزبان کاهنده‌تر قرار می‌گیرد یا با سیال‌های کاهنده‌تر مخلوط می‌شود. سیال‌های اکسند منجر به تشکیل کانی‌هایی با نسبت  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  بالا، به ویژه هماتیت و لیمونیت، می‌شوند [۱۰]. این دگرسانی تقریباً به مقدار زیادی در منطقه و معمولاً همراه با دگرسانی رسی رخ داده است. هم‌چنین در مرز دایک‌های بازیک نیز می‌توان عملکرد این دگرسانی را مشاهده نمود (شکل ۴ ب).



شکل ۴. الف) دگرسانی فراگیر رسی به همراه آهن اکسیدها، ب) دگرسانی آهن اکسید به همراه منگنز در حاشیه‌ی رگه‌ی پرتوزا، پ) دگرسانی سیلیسی در واحدهای ریولیتی، ت) حضور رگه‌ها و رگچه‌های کربنات و همراهی با کانی‌های اورانیم، ث) دگرسانی کلریتی در واحدهای آندزیتی منطقه، ج) دگرسانی زئولیتی در منطقه‌ی مطالعاتی، (مقطع‌ها،  $\times 50$ ).

#### ۴.۴ دگرسانی کربناتی

کانی‌های کربناته هم به صورت رگه- رگچه‌ای و هم به شکل پرکننده‌ی فضای برش‌های گسلی در منطقه دیده می‌شوند. کلسیت به صورت رگچه، پرکننده‌ی فضاهای خالی و میانبار در پلاژیوکلاز تظاهر یافته است و در مناطقی که منگنز هیدروکسید و هماتیت حضور دارند معمولاً قابل مشاهده است (شکل ۴ ت). این دگرسانی به صورت محدود در منطقه مشاهده می‌شود. همراهی رگه‌های کربناتی با کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم بیان‌کننده‌ی این است که انتقال اورانیم احتمالاً به صورت کربنات اورانیل صورت گرفته است. این دگرسانی در پی ناپایداری کمپلکس‌های کربناتی اورانیم به وجود می‌آید. در اثر ناپایداری کمپلکس کربناتی اورانیم، یون  $(UO_2^{2+})$  آزاد شده و می‌تواند با  $Fe^{2+}$  موجود در محلول و یا کانی‌های فرومنیزیم واکنش داده و کانی پرتوزای اورانیم و هماتیت تولید نماید [۱۴].

#### ۵.۴ دگرسانی کلریتی

این دگرسانی حالت خاصی از منطقه‌ی پروپلیتیک است و در موقع‌هایی که درصد کلریت در سنگ زیاد باشد به کار برده می‌شود. محلول‌های گرمابی با pH اسیدی در سنگ‌های آذرین و در دمای مناسب باعث می‌شوند که کانی‌هایی مانند هورنبلند و بیوتیت که غنی از آهن و منیزیم هستند به کلریت تبدیل شوند. در نتیجه‌ی این عمل، پتاسیم موجود در بیوتیت نیز آزاد می‌شود. پتاسیم آزاد شده از بیوتیت با پلاژیوکلاز سریست می‌سازد و کلسیم آزاد می‌شود این مقدار کلسیم آزاد شده می‌تواند در تشکیل اپیدوت و کلسیت مصرف شود [۱۱]. در محیط‌های اکسیدی سیستم‌های آتشفشانی کم‌عمق لیگندهای کربناتی و کلریدی و احتمالاً حاوی فلورید برای انتقال عنصرها کافی هستند. در کانسار اورانیم دریاچه‌ی پلایا، سیال‌های حاوی اکسیدها، سولفات‌ها، کلرید شرایط مطلوبی را برای شسته شدن و انتقال

## ۵. ساختار و بافت

مطالعه و بررسی بافت و ساختار کانی‌ها و کانه‌ها، مجموعه اطلاعات ارزشمندی از داده‌های ژنتیکی را به دست می‌دهد و در تعیین چگونگی تشکیل، توالی تشکیل و نوع کانی‌زایی اهمیت به سزایی دارد. مهم‌ترین بافت و ساختارهای قابل مشاهده در منطقه که مورد بررسی قرار گرفته‌اند به ترتیب عبارت از استوک‌ورک، رگه-رگچه‌ای، برشی، شعاعی، غشای حاشیه‌ای، قشری، انتشاری، اسفرولیتی، خوردگی و انواع بافت‌های مرتبط با آگات‌های منطقه از جمله ژئودی، نواری، کلوفرمی، شانه‌ای و گل کلمی هستند.

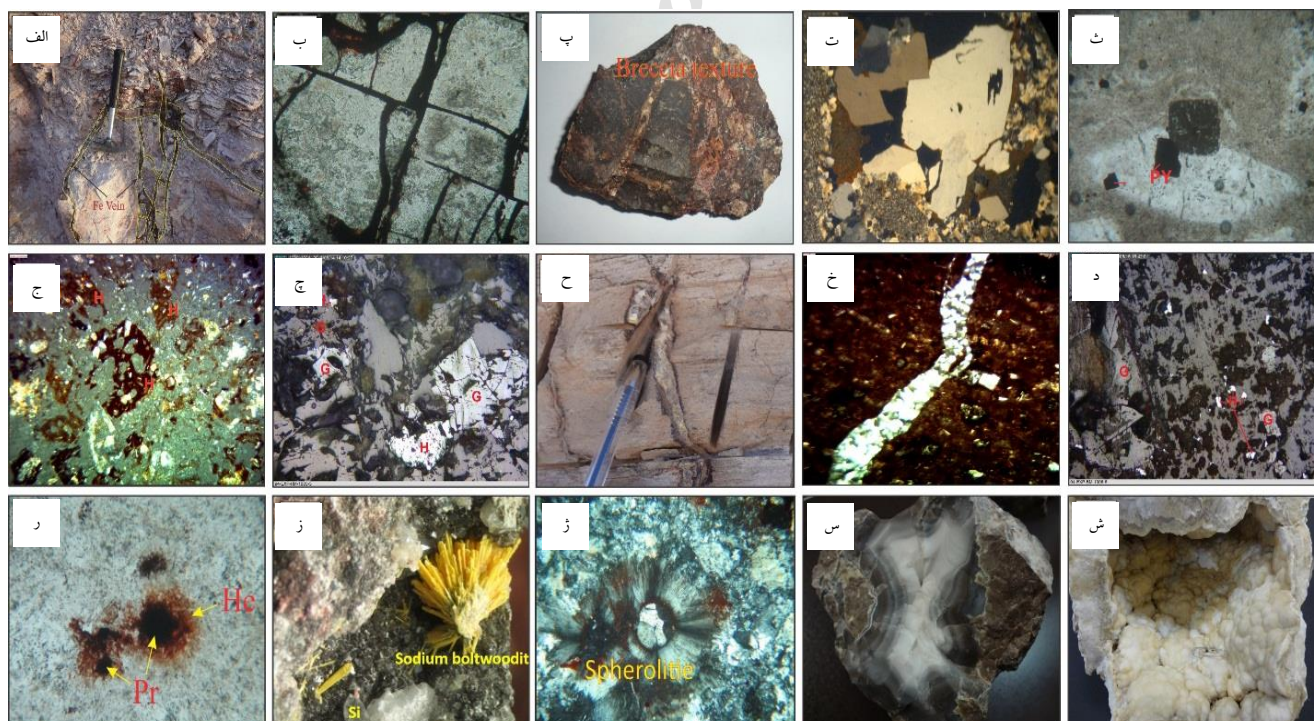
### ۱.۵ ساختار و بافت استوک‌ورک

بررسی این ساختار در منطقه نشان می‌دهد که روند این ساختار عمدتاً منطبق بر روند درزه‌ها و شکستگی موجود در منطقه است. تحت تأثیر فرایندهای گرمایی و هم‌چنین فشار هیدرواستاتیکی حاصل سیال‌ها، پرشدگی رگه-رگچه‌ها به وسیله کلسیت، سیلیس، آهن و منگنز اکسیدها و هیدروکسیدها به وجود آمده است و در بعضی از آن‌ها شرایط مناسب برای نهشت کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم فراهم شده است (شکل ۵ الف و ب).

اورانیم فراهم نموده‌اند [۱۵]. در منطقه‌ی مورد مطالعه این نوع دگرسانی بیش‌تر در واحدهای آندزیتی و آندزیت-بازالتی مشاهده می‌شود که عموماً ارتباطی با منطقه‌های کانی‌سازی شده ندارد و به مقدار محدودی در منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۴ ث).

### ۶.۴ دگرسانی ژئولیتی

کانی‌های شاخص دگرسانی ژئولیتی منطقه عبارت از کلینوپتیولیت و هیولاندیت هستند. در دمای پایین و pH خنثی محلول‌های گرمابی در سنگ‌های آذرین موجب جابه‌جایی و تحرک K، Na، Ca در نقطه‌های خاصی می‌شود؛ این، موجبات تشکیل کانی‌های خانواده‌ی ژئولیت را فراهم می‌آورد. گسترش انواع کانی ژئولیتی در محیط آلکالن نشان‌گر انحلال خرده‌های آلومینوسیلیکاته در pH بالا است [۱۶]. در کانسار دره ویرجین نوادا توف‌های دگرسان شده به ژئولیت، مونتموریونیت و اپال توسط محلول‌های گرمابی دما-پایین (کم‌تر از ۱۵۰ درجه‌ی سلسیوس) به مقدار زیادی دیده می‌شوند [۱۵]. کانی‌های کلینوپتیولیت و هیولاندیت از گروه ژئولیت به وفور در واحدهای اسیدی منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۴ ج).



**شکل ۵.** الف و ب) ساختار و بافت استوک‌ورک، پ و ت) بافت و ساختار برشی، ث، ج و چ) بافت شکل‌دار در پیریت و نیمه شکل‌دار در هماتیت‌های منطقه، ح و خ) بافت رگه-رگچه‌ای، د) بافت خوردگی در بلورهای هماتیت و گوئتیت، ر) بافت غشای حاشیه‌ای در اثر تبدیل پیریت به هماتیت، ز) بافت شعاعی در کانی سدیم پلتودیت، ژ) بافت اسفرولیتی در ژئولیت‌ها، س و ش) نمونه‌ای از بافت‌های مربوط به آگات‌های منطقه.



## ۲.۵ ساختار و بافت برشی

برشی شدن از شاخصه‌های معمول در نهشته‌های معدنی است و با نوع‌های مختلفی از کانسارها با منشاء درون‌زاد یا برون‌زاد چه در محیط‌های خشکی و چه دریایی همراه است [۱۷]. تشکیل این بافت نشان‌دهنده‌ی فشار بیش‌تر سیال‌های لیتواستاتیک است [۱۸]. واحدهای برشی منطقه از نقطه نظر پرتوزایی اورانیم حایز اهمیت‌اند. برش‌های گسلی سیلیسی و هماتیسی شده با ترکیب اسیدی به طور گسترده‌ای در بخش مرکزی منطقه پراکنده شده‌اند. چندین ناهنجاری پرتوزایی اورانیم در برداشت‌های رادیومتری در شمال‌غرب منطقه با بیشینه‌ی پرتوزایی ۱۳۰۰ شمارش بر ثانیه (cps) منطبق بر واحدهای اسیدی توف برشی شده همراه با منگنز اکسیدها مشاهده می‌شوند که نشان‌گر حضور کانی‌های اورانیم در این توف‌های برشی است (شکل ۵ پ و ت).

## ۳.۵ ساختار و بافت رگه-رگچه‌ای

این ساختار به دو شکل شکافه پراکن و جانشینی در منطقه دیده می‌شود. رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی، کربناتی و آهن و منگنز اکسیدها به ضخامت چند میلی‌متر تا چند ده سانتی‌متر عموماً منطبق بر روند درزه‌ها و گسل‌های غالب منطقه تشکیل شده‌اند. رگه‌های کربناته گاه‌ها همراه با کانی‌های اورانیم‌دار ثانویه مثل کارنوتیت<sup>(۱)</sup> در واحدهای ریولیتی و توف‌ها مشاهده می‌شوند و نشان از تأثیر کمپلکس‌های کربناتی در ته نشست اورانیم در منطقه دارند. هم‌چنین منگنز و آهن اکسیدها در غالب درزه‌ها تشکیل رگه‌های باریک داده است (شکل ۵ ح و خ). رگچه‌های ظریفی از پیریت نیز در مطالعه‌ی مغزه‌های حفاری شناسایی شده است.

## ۴.۵ بافت‌های ریخت‌شناختی و انتشاری

این نوع بافت‌ها در منطقه در اثر توزیع کانی پیریت و گاه‌ها منیتیت به صورت پراکنده و به صورت شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل در متن سنگ میزبان کانی‌زایی و تقریباً در تمام ریولیت‌های منطقه قابل رویت است. کانی‌هایی که این بافت را به وجود می‌آورند خود به صورت تک‌کانی، دارای بافت شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار هستند (شکل ۵ ت و ج و چ). با توجه به شکل تقریباً کامل مکعبی بلورهای پیریت در منطقه دمای تقریبی تشکیل آن‌ها از سیال کانه‌دار ۲۵۰ درجه است [۲۷].

## ۵.۵ بافت شعاعی

این بافت در نتیجه‌ی چرخش آب‌های جوی درون شکاف‌های باز و در کانی‌هایی که در دیواره‌ی حفره‌ها و شکستگی‌ها رشد می‌کنند و فضای خالی مورد نیاز رشد برای آن‌ها وجود دارد، دیده می‌شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم (سدیم بولتودیت<sup>(۲)</sup>) دارای بافت شعاعی هستند و در درزه‌ها و شکستگی‌ها به همراه دیگر کانی‌های ثانویه نهشته شده‌اند (شکل ۵ ز).

## ۶.۵ بافت اسفرولیتی

عموماً اسفرولیت‌ها در اثر پدیده‌ی شیشه‌زدایی<sup>(۳)</sup> در محیط‌های آرام و ساکن به وجود می‌آیند [۱۹]. در منطقه این بافت تقریباً به مقدار زیادی در واحدهای اسیدی دیده می‌شود و از اجتماع کانی‌های طویل ساخته شده است (شکل ۵ ژ). این کانی‌ها به صورت مجموعه‌های شعاعی و یا شاخه‌ی شعاعی دور هم جمع شده و مجموعاً به شکل شعاع‌های یک کره دور هم در می‌آیند. گاهی به صورت هم‌مرکز دیده می‌شوند. در ریولیت‌ها گاهی ابعاد آن‌ها تا یک سانتی‌متر می‌رسد. در این حالت به آن پیرومید<sup>(۴)</sup> می‌گویند [۱۹].

## ۷.۵ بافت غشای حاشیه‌ای

این بافت که به بافت واکنش حاشیه‌ای نیز معروف است ممکن است در نتیجه‌ی تبلور، نامیختگی و یا واکنش حاشیه‌ای ایجاد شود. در صورتی که واکنش حاشیه‌ای باشد، این بافت نشان‌گر تقدم و تأخر تشکیل کانی‌ها نسبت به یک‌دیگر است. در این صورت کانی‌ای که در حاشیه تشکیل شده است جوان‌تر است (شکل ۵ ر). این بافت در منطقه به صورت محدود در اثر تبدیل پیریت به هماتیت تحت تأثیر فرایندهای رسوب‌دار در واحدهای اسیدی مشاهده می‌شود.

## ۸.۵ بافت خوردگی

این بافت توسط خوردگی یک کانی توسط کانی دیگر مشخص می‌شود. این بافت در منطقه در کانی‌های هماتیت و گوئیتیت به وفور مشاهده می‌شود (شکل ۵ چ).





## ۹.۵ بافت‌های مربوط به آگات‌های منطقه

تشکیل این بافت از محلول‌های غنی از سیلیس بستگی به عامل‌هایی چون تغییر Eh-Ph، کاهش دما و فشار دارد. سیلیس کلوییدی به وسیله‌ی محلول‌ها حمل و به صورت ژل ته‌نشین می‌شود. در جریان ته‌نشینی که به کندی صورت می‌گیرد، با تغییر شرایط محیطی، تغییر رنگ در مواد نهشته شده و حالت نواری در کوارتز نهان بلورین به وجود می‌آید. بخش بزرگ کالسدونی تشکیل شده در طبیعت خاستگاه آذرین دارند. فازهای باقی‌مانده‌ی ناشی از تبلور سنگ‌های اسیدی که از سیلیس اشباع شده‌اند، ضمن حمله به سنگ‌ها، شکاف‌ها و حفره‌های موجود در آن‌ها را اشغال کرده و با کاهش دما به صورت کوارتز رشته‌ای (کالسدونی) در درون آن‌ها سرد شده و در نتیجه آگات تشکیل می‌شود [۲۰]. دگرسانی به ویژه دگرسانی سیلیسی در پیرامون رگه‌های کانی‌سازی و انباشت‌های رگچه‌ای در نزدیکی سطح زمین از شواهد حوزه‌های تخلیه و نفوذپذیر بالا محسوب می‌شود [۲۱]. در منطقه‌ی مورد مطالعه انواع مختلفی از بافت‌های مربوط به آگات‌ها گاهاً در نزدیکی مناطق کانی‌سازی شده مشاهده می‌شود. این بافت‌ها شامل گل‌کلمی، ستاره‌ای، شعاعی، اسفرولیتی و کلوفرمی می‌شوند (شکل ۵ س و ش) [۲۲]. دگرسانی هماتی، آرژیلیتی، کربناتی و کلریتی به عنوان انواع اصلی دگرسانی در کانسارهای اورانیم گرمابی معرفی شده است. هم‌چنین والکر [۸] در بررسی دگرسانی سنگ دیواره‌ی همراه با رگه‌های اورانیم در ایالات متحده‌ی آمریکا، دگرسانی سیلیسی و پیریتی را برای این کانسارها معرفی کرده است.

## ۶. کانی‌شناسی

کانی‌شناسی یک کانسار نقش کلیدی در تعیین ارزش اقتصادی و راهبردی یک کانسار ایفا می‌کند. پتانسیل کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل چندین ناهنجاری اورانیم است که در بخش‌های مختلف عموماً در ارتباط با درزه‌ها و دایک‌های بازیک منطقه مشاهده می‌شوند. براساس شاهدهای صحرائی، نتیجه‌های حاصل از بررسی‌های میکروسکوپی (تعداد ۱۵۳ مقطع نازک، ۱۱ مقطع نازک- صیقلی، ۲ برش میکروسکوپی الکترون پویشی و ۲۶ نمونه‌ی پراش پرتو ایکس)، گروه‌های مختلفی از کانی‌ها از قبیل کانی‌های اکسیدی، سیلیکاتی، سولفیدی، فسفاتی، کربناتی، واناداتی و تبخیری در منطقه تشخیص داده شد. از آنجایی که هدف پژوهش

حاضر تمرکز بر کانی‌زایی اورانیم در منطقه است ابتدا به بررسی کانی‌های اورانیم موجود در منطقه و سپس سایر کانی‌های فلزی و غیرفلزی مرتبط با حضور اورانیم به تفکیک فراوانی آن‌ها خواهیم پرداخت. حضور اورانیم در منطقه به صورت کانی‌های ثانویه اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده‌ی محیط اکسند در هنگام ته‌نشست این کانی‌ها است. سایر کانی‌های مشاهده شده در منطقه شامل مجموعه کانی‌های فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاته و کربناته، فسفات، سولفات و تبخیری) است.

## ۱.۶ کانی‌های اورانیم

مطالعه‌ی کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم به دلیل قابلیت انحلال و مناسب نبودن آن‌ها برای تهیه‌ی مقطع، با بهره‌گیری از روش پراش پرتو ایکس انجام شد که براساس آن مهم‌ترین گروه کانی‌های اورانیم موجود در منطقه عبارت از اورانیم سیلیکات (سدیم بوتوئیدیت)، اورانیم فسفات (فسفرانلیت<sup>(۵)</sup>) و اورانیم وانادات (کارنویت) هستند که همگی به صورت ثانویه و در شکستگی‌های منطقه مشاهده می‌شوند.

### اورانیم سیلیکات (سدیم بوتوئیدیت)

سدیم بوتوئیدیت، اورانیم سیلیکات پتاسیم هیدراته با فرمول  $(\text{H}_2\text{O})_{1.5}(\text{SiO}_4)(\text{UO}_2)\text{HK}$  است. این کانی بر اثر اکسایش و دگرسانی کانی‌های اولیه‌ی اورانیم شکل می‌گیرد. رخداد این کانی معمولاً با کانی‌های اورانینیت، فسفرانلیت (اورانیم فسفات)، بسکوئرلیت، فورماریریت، ژپیس و فلوریت است [۶]. این کانی به صورت ثانویه معمولاً در درز و شکاف‌ها در اثر دگرسانی سیلیسی اورانینیت یافت می‌شود (مانند کانسار مک درمیت کالدر-ناپل I<sup>(۶)</sup>). براساس نتیجه‌های بررسی‌های پراش پرتو ایکس، حضور این کانی در منطقه اثبات شد. هم‌چنین مشاهده‌ها در نمونه‌های دستی نشان‌دهنده‌ی حضور گسترده‌ی این کانی به صورت ثانویه در منطقه‌های شکستگی و درزه‌های منطقه و رشد آن به صورت بافت شعاعی است (شکل ۶).

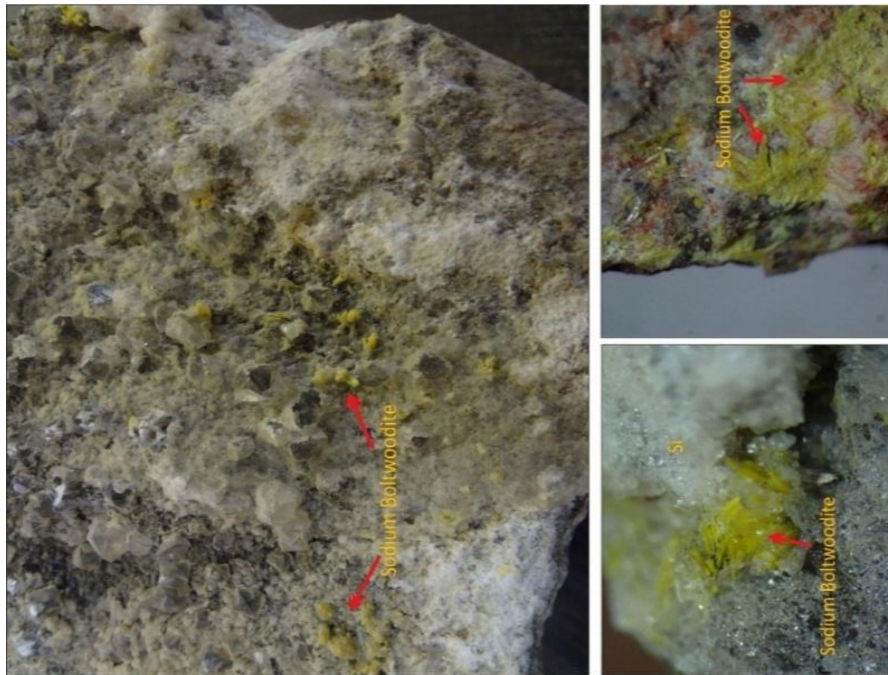
### اورانیم فسفات (فسفرانلیت)

کانی فسفرانلیت از گروه کانی‌های فسفات حضور گسترده‌ای در منطقه دارد و در بررسی توسط پراش پرتو ایکس نیز شناسایی شد. این کانی با فرمول  $(\text{H}_2\text{O})_{0.8}\text{F}_4(\text{PO}_4)_2(\text{UO}_2)(\text{KCa})$  یک کانی ثانویه است که معمولاً در حوزه‌های هوازدگی سنگ‌های اسیدی، در شکستگی‌ها و دگرسانی‌های نزدیک

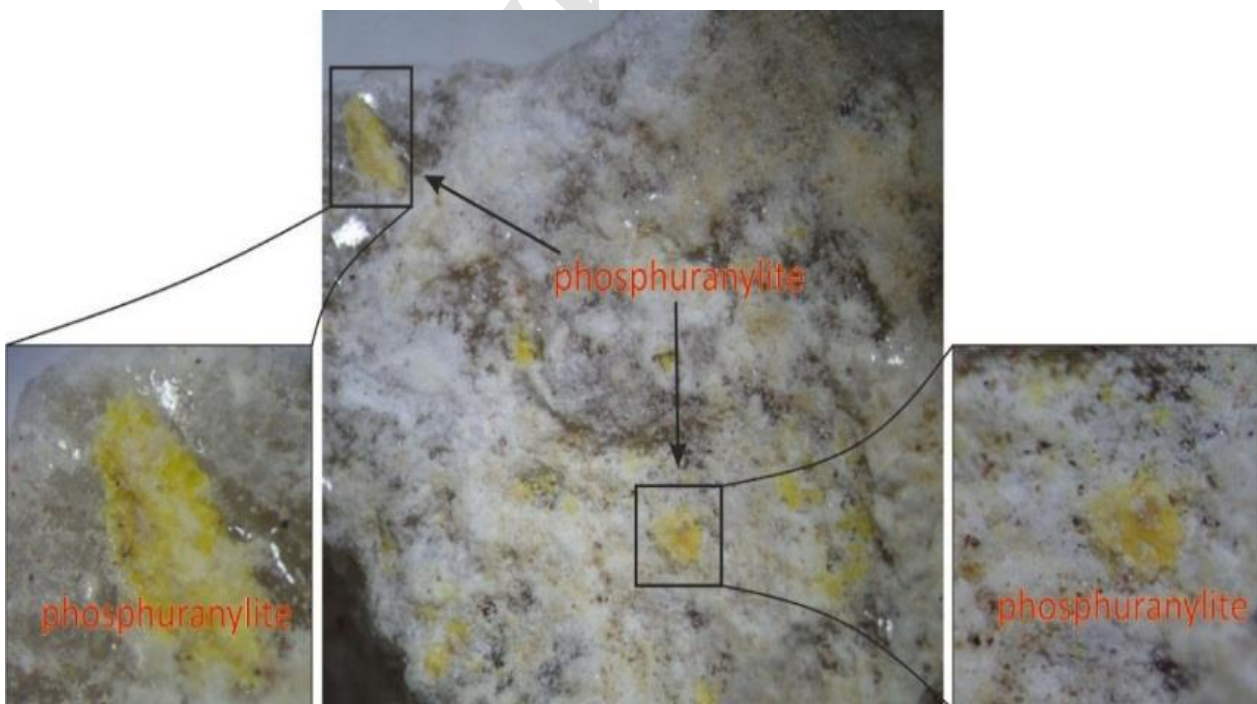


این‌که با هم تداخل کنند. این کانی در منطقه در حوزه‌های شکستگی به همراه کوارتز، سلسین و کانی‌های تبخیری (شکل ۷) یافت می‌شود [۶].

نهشته‌های پشیلاند یافت می‌شود. بیش‌ترین فراوانی آن در هاله‌های دگرسانی اطراف پشیلاند و اورانینیت در گرانیت‌های پگماتیستی است. فسفرانیلیت زرد تیره ممکن است به عنوان پوششی در سطح شکستگی‌های اطراف اورانینیت سیاه نیز یافت شود. کانی‌های گروه اتونیت ممکن است در اطراف فسفرانیلیت یافت شوند و یا



شکل ۶. حضور کانی سدیم بلتوودیت به همراه کوارتز در شکستگی‌های منطقه.



شکل ۷. کانی‌سازی پراکنده‌ی اورانیم فسفات در منطقه (تجزیه توسط پراش پرتو ایکس).

**اورانیم وانادات (کارنوتیت)**

از میان این کانی‌ها هماتیت و لیمونیت با بافت‌های رگه‌ای و جانیشینی به وفور در منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۱۰). کانی منیتیت به مقدار کم و به طور پراکنده مشاهده می‌شود و در تجزیه‌ها توسط پراش پرتو ایکس نیز مشخص شد که کانی لپیدوکروزیت در مقطع‌های صیقلی به همراه گوتیت نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). گوتیت و هماتیت از کانی‌هایی هستند که در اثر فرایندهای سوپرژن جانشین سایر کانی‌های آهن‌دار می‌شوند. سولفید آهن، پیریت و مارکازیت در ذخیره‌های اورانیم آتشفشان‌زاد شایع است. مقدار آهن سولفید ممکن است مربوط به ترکیب سنگ میزبان باشد [۲۵]. مطالعه‌ها [۲۶] نشان داده است که رگه‌های غنی از اورانیم، مولیبدن و آهن در دمای ۲۰۰ تا ۲۷۰ درجه‌ی سلسیوس از محلول‌های شور با ۰ تا ۲٫۶ درصد NaCl نهشته شده‌اند.

**پیریت**

پیریت تنها کانی سولفیدی شناخته شده در منطقه است. کانی‌سازی پیریت در منطقه به صورت محدود و به شکل افشان در واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود و با توجه به شکل مکعبی بلورهای پیریت در منطقه دمای تقریبی تشکیل آن‌ها از سیال کانه‌دار ۲۵۰ درجه‌ی سلسیوس است [۲۷]. در بعضی از پیریت‌ها آثار هوازدگی به صورت منیتیت قابل مشاهده است (شکل ۱۱).

**روتیل**

روتیل یکی از پلی‌مورف‌های معدنی  $TiO_2$  است و در طبیعت به شکل‌های گوناگونی تشکیل می‌شود. این کانی معمولاً با پلی‌مورف‌های خود یعنی آاناتاز و بروکیت در پلاسماهای آبرفتی و به صورت عنصرهای فرعی سنگ‌های آذرین (مانند سینیت و بندرت گرانیت) و یا در پگماتیت، رگه‌های گرمابی، دگرگونی (شیست‌های متبلور) و سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود. گاهی این کانی به صورت بسیار ریز موئین در سایر کانی‌ها به ویژه کوارتز نیز مشاهده می‌شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه، روتیل به صورت بلورهای سوزنی و موئین ریز به همراه کوارتز تحت تأثیر محلول‌های گرمابی (احتمالاً حاوی آپاتیت) و اورانیم در شکستگی‌های منطقه تشکیل شده است (شکل ۱۲).

کارنوتیت، اورانیم وانادات پتاسیم‌دار با فرمول شیمیایی  $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$  است. مقدار آب آن متغیر و حاوی اندکی کلسیم، باریم، سدیم، آهن و منیزیم است. رنگ این کانی زرد روشن و یکی از کانی‌های پرتوزایی مهم در تشکیل کانسارهای اورانیم است [۶]. سیستم تبلور این کانی مونوکلینیک و منشأ تشکیل آن سوپرژن است. از نظر کانی‌شناسی پاراژنزهای آن عبارت‌اند از آن مارگاریتازیت-کوپاپیت-تیویامونیت-آسفالت-وانادینیت و غیره. در منطقه‌ی مورد مطالعه، کارنوتیت به صورت ثانویه در محیط اکسند در درزه و شکستگی‌های سطحی زمین به صورت کاملاً پراکنده و در اثر تماس با آب‌های فرورو تشکیل شده است. این کانی معمولاً همراه رگه‌های کربناته و در شکستگی‌ها گاهاً با منگنز مشاهده می‌شود که گویای تأثیر کمپلکس‌های کربناته در انتقال آن است (شکل ۸).

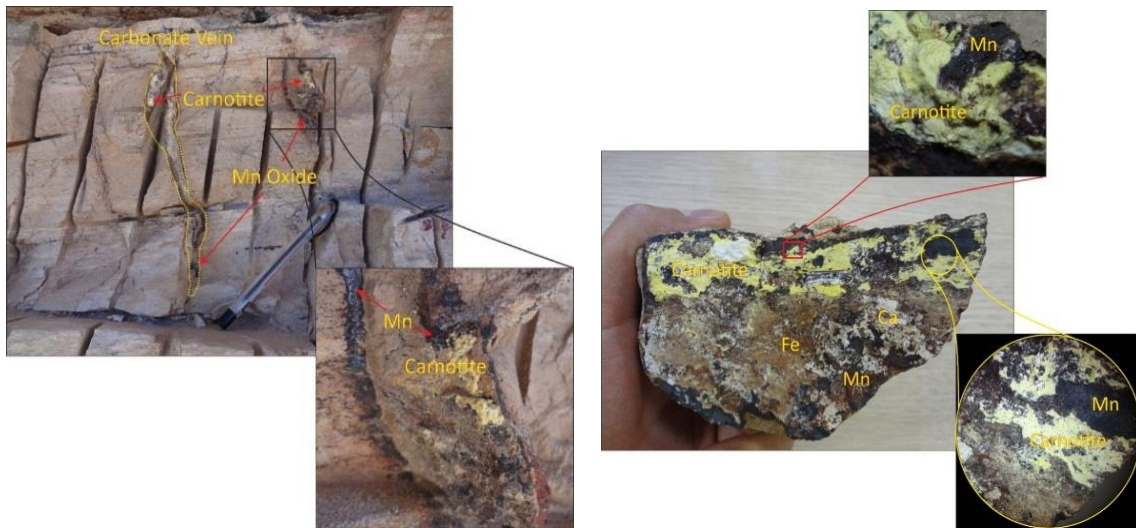
**۲.۶ کانی‌های فلزی****منگنز اکسیدها (پیرولوزیت، پسولوملان)**

کانی‌زایی منگنز در منطقه‌ی مطالعاتی عمدتاً توسط کانی‌های پیرولوزیت و پسولوملان صورت گرفته است که به مقدار محدودی در سطح سنگ‌ها به خصوص رگه‌های سیلیسی و در درزه‌ها و شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. هم‌چنین منگنز اکسیدها به همراه آهن اکسیدها در شکستگی‌ها به عنوان جاذب اورانیم در توف‌های فلسیک اسیدی دیده می‌شوند [۲۳، ۲۴].

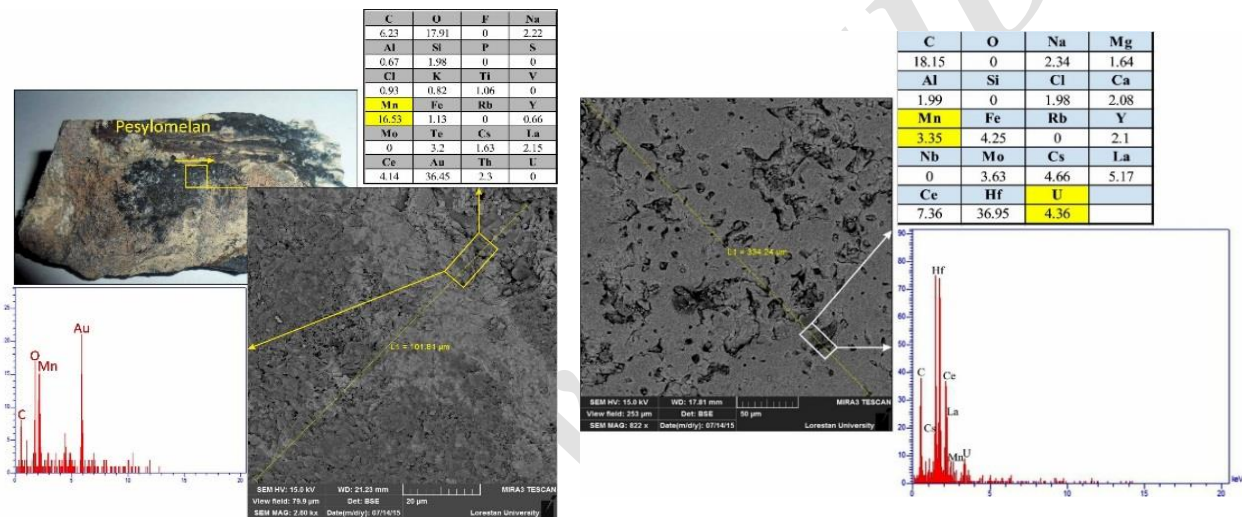
بافت عمده‌ی منگنز در منطقه به صورت رگه-رگچه‌ای است. بررسی‌های ژئوشیمیایی همبستگی خوبی بین اورانیم و منگنز نشان می‌دهند. هم‌چنین مطالعه‌های انجام شده توسط میکروسکوپی الکترون پویشی وجود همبستگی مثبت بین کانی‌زایی منگنز و اورانیم را مشخص نموده است (شکل ۹).

**آهن اکسیدها و هیدروکسیدها (منیتیت، گوتیت، لیمونیت، هماتیت، لپیدوکروزیت)**

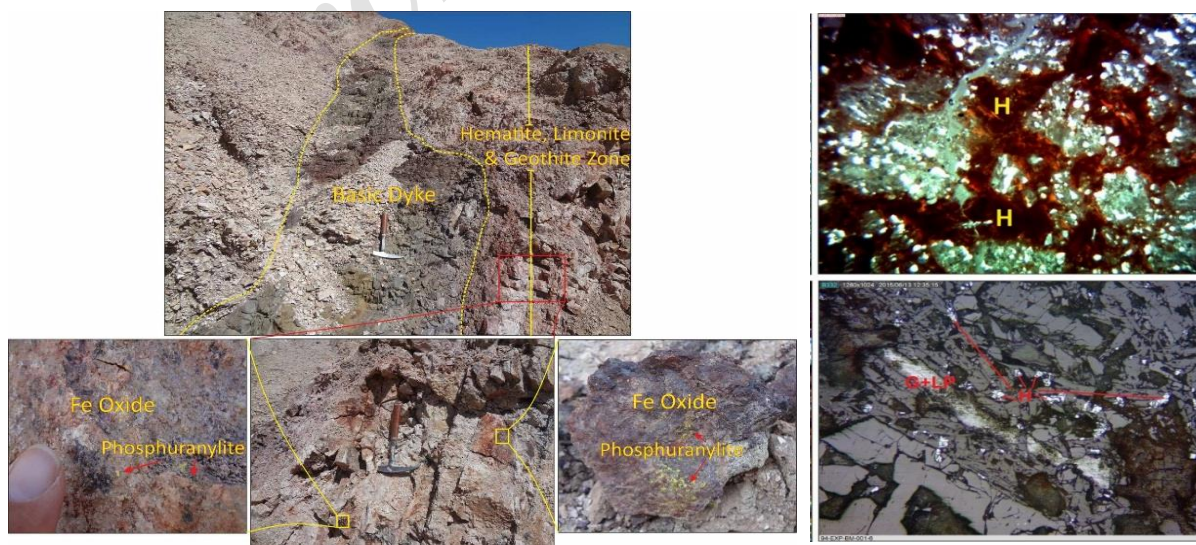
اکسیدها و هیدروکسیدهای ثانویه‌ی آهن از مهم‌ترین محصولات دگرسانی برون‌زاد در منطقه بوده و گاهاً در ارتباط با اکسایش کانی‌های سولفیدی (پیریت) دیده می‌شوند. این کانی‌ها به طور عمده شامل هماتیت ( $Fe_2O_3$ )، لیمونیت ( $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ )، گوتیت ( $Fe_2O_3 \cdot 1/2H_2O$ ) و لپیدوکروزیت ( $FeOOH$ ) هستند.



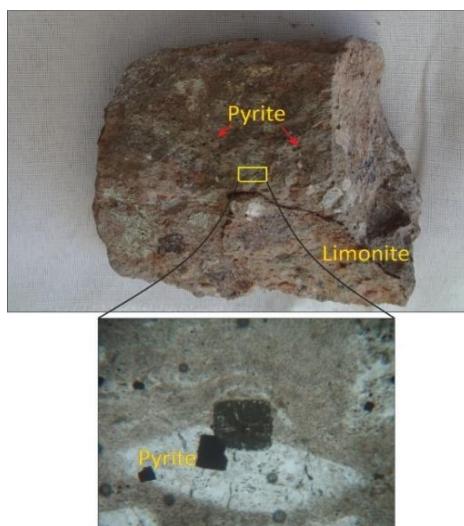
شکل ۸. کانی‌سازی کارنوتیت به همراه منگنز اکسیدها و حضور رگه‌ی کربناتی در شکستگی‌های منطقه.



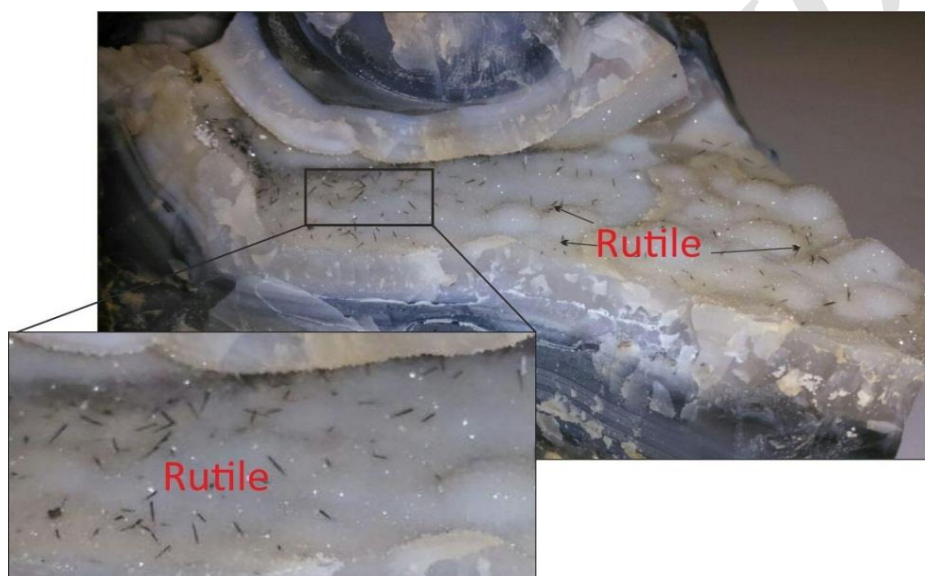
شکل ۹. حضور کانی‌های منگنز در نمونه‌ی دستی و مقطع تهیه شده برای میکروسکوپ الکترونی پوششی.



شکل ۱۰. حوزه‌ی اکسیدان در حاشیه‌ی دایک بازیک و حضور کانی‌های اکسیدی در آن و کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن در مقطع‌های نازک و صیقلی، (مقطع‌های ۵۰X).



شکل ۱۱. کانی‌سازی پراکنده‌ی پیریت در منطقه، (مقطع  $\times 50$ ).



شکل ۱۲. بلورهای سوزنی روتیل بر سطح ژنود سیلیسی.

### ۳.۶ سایر گروه‌های کان‌بایی

مهم‌ترین گروه‌های کان‌بایی غیرفلزی موجود در منطقه عبارت‌اند از کانی‌های گروه ژئولیت، کانی‌های رسی، کربناتی، تبخیری و سولفات‌ها که در ادامه به معرفی آن‌ها خواهیم پرداخت.

کانی‌های کلینوپتیلولیت و هیولاندیت از گروه ژئولیت‌ها به وفور در منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۱۳). کلینوپتیلولیت همراه با هیولاندیت در رگه‌ها و حفره‌های سنگ‌های بازالتی مشاهده می‌شوند [۲۸]. به نظر می‌رسد محیط تشکیل ژئولیت‌های منطقه، دریاچه‌ای شور بوده است که با تشکیل توف‌ها و به دنبال آن فعل و انفعال‌های آب‌های قلیایی حاوی  $\text{Na}$ ،  $\text{K}$  در این محیط و چرخش این آب‌ها در یک سیستم بسته، ژئولیت‌ها را تشکیل داده است.

طبق بررسی‌های کانی‌شناختی میکروسکوپی و پراش پرتو ایکس، کانی‌های رسی شناخته‌شده در منطقه‌ی مورد مطالعه عبارت‌اند از کائولینیت، مونتموریونیت، کلریت، ایلیت، مسکویت، اسمکتیت و ورمیکولیت (هیدرومیکا) که در این بین مونتموریونیت فراوان‌تر از سایر کانی‌ها است. از بین کانی‌های فوق مونتموریونیت، ایلیت و مسکویت در بررسی‌های پراش پرتو ایکس و کائولینیت، اسمکتیت، ورمیکولیت و کلریت در بررسی مقطع‌های نازک و صیقلی تشخیص داده شدند (شکل ۱۳). حضور کانی‌های رسی در اغلب کانسارهای اورانیم آتشفشان‌زاد مشاهده می‌شود [۲۹].



شکل ۱۳. گروه‌های مختلف کان‌یابی در ارتباط با کانی‌زایی اورانیم در منطقه‌ی مورد مطالعه (گروه زئولیت، کانی‌های رسی، کربناتی، تبخیری و سولفاتی).

کلریت، سریسیت، کربنات، کانی‌های رسی (ایلیت، کائولینیت و مونتموریونیت) و هیدرومیکا، روتیل و گروه زئولیت (کلینوپتیلولیت، هیولاندیت) و گاهاً با میان‌راهی از دانه‌های ریز اپیدوت و اسفن و هم‌چنین تشکیل دانه‌های پراکنده‌ی آپاتیت و فلوریت دنبال شده است.

شروع کانی‌سازی گرمابی مثل ریزدانه‌های پراکنده‌ی هماتیت، پیریت و کانی‌های اصلی اورانیم (فسفرانلیت، سدیم بلتودیت و کارنوتیت) به اواخر مرحله‌ی گرمابی مربوط می‌شود. تأثیر فرایندهای اکسایش موجب تشکیل کانی‌های آهن هیدروکسیدی نظیر گوئیت شده که از حاشیه و مرز شکستگی‌ها به طور بخشی‌جانشین پیریت شده است. برای شناخت کانی‌های اولیه‌ی اورانیم مانند پشیلاند بررسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی انجام شد ولی این کانی مشاهده نشد.

**مرحله‌ی سوپرژن:** در منطقه‌ی مورد مطالعه ضخامت حوزه‌ی سوپرژن تقریباً تا عمق ده‌متر از سطح توسعه یافته است. کانی‌های نمایان‌گر حوزه‌ی اکسایش کانی‌های آهن و منگنز اکسیدی و هیدروکسیدی (هماتیت، گوئیت، لیمونیت و لپیدوکروزیت)، منگنز اکسیدی و هیدروکسیدها (پیرولوسیت، پسولوملان) هستند که نمایان‌گر تأثیر فرایندهای اکسایش در منطقه هستند.

مهم‌ترین کانی کربناتی مشاهده شده در منطقه کلسیت و مهم‌ترین کانی‌های تبخیری مشاهده شده ژپس و هالیت هستند. هم‌چنین از بین گروه کانی‌های سولفاته کانی سلستین با فرمول شیمیایی SrSO<sub>4</sub> به مقدار محدودی همراه با ژپس و هالیت مشاهده می‌شود (شکل ۱۳).

## ۷. توالی هم‌بود (پاراژنتیک)

در منطقه‌ی مطالعاتی (خاور بم) بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی برای کانی‌زایی سه مرحله مشخص شد که عبارت‌اند از:

**مرحله‌ی آتشفشانی (بایمدال):** در طی این مرحله آتشفشانی‌های اسیدی، شیشه‌های آتشفشانی، ریولیت و توف از ریوداسیت و هم‌چنین کمپلکس‌های بازیک شامل بازالت، دایک و توده‌هایی با ترکیب غیرسیلیسی تشکیل شده‌اند. اکثر ناهنجاری‌های اورانیم مشاهده شده به حاشیه‌ی این دایک‌های بازیک مرتبط است. در این مرحله (حالت آتشفشانی اسیدی) تبلور ریزدانه‌هایی<sup>(۷)</sup> مثل منیتیت و کوارتز صورت گرفته است.

**مرحله‌ی گرمابی:** پس از اتمام مرحله‌ی ماگمایی فرایند گرمابی درجه‌ی حرارت متوسط رو به پایین با تشکیل کانی‌های کوارتز،



در این مرحله تشکیل کانی‌های ثانویه‌ی اورانیم مانند کارنوتیت، سدیم پلوتودیت و فسفرانیت نیز ادامه پیدا کرده است. کانی‌سازی با شکل‌گیری هیدرومیکا و کانی‌های رسی همراه است و رگچه‌های منفرد گچ قابل ردیابی هستند. آخرین نمود کانی‌سازی در منطقه حضور تبخیری‌ها است. ژپس و انیدریت ممکن است در سطح زمین، زیر آب و در خشکی رسوب کنند، با وجود این در هنگام دفن تا اعماق بیش از چند صدمتر، تمام

CaSO<sub>4</sub> موجود به صورت انیدریت است و معمولاً در هنگام بالا آمدن انیدریت به ژپس تبدیل می‌شود. بر پایه‌ی مطالعه‌های انجام شده در مقیاس صحرایی، نمونه‌های دستی و میکروسکوپی و با توجه به ارتباط ساختار و بافت کانه‌ها و کانی‌های سنگ درونگیر، توالی هم‌بود (پاراژنتیک) منطقه رسم و در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

مرحله کانی‌ها	آتشفشان بی‌مدال		گرمایی	بیرونی
	اسیدی	بازیک		
Olivine		—————		
Plagioclase	.....	—————		
pyroxene		.....		
Hornblende	.....	—————		
Biotite	—————	—————		
Albite	—————			
K-feldspar	—————			
Diopside	—————			
Quartz	—————		.....	
Chlorite			.....	
Sericite			.....	
Zeolite			.....	
Calcite			.....	
Celestite			.....	
Epidote			.....	
Rutile			.....	
Apatite			.....	
Flourite			.....	
Magnetite		—————		
Pyrite			.....	
Mn Oxide				.....
Pyrolusite				.....
Psilomelane				.....
Fe Oxide				.....
Hematite				.....
Geothite				.....
Limonite				.....
Lepidocrocite				.....
Clay				.....
Illite				.....
Kaolinite				.....
Montmorionite				.....
U Minerals	.....		.....	.....
Pitchblende				.....
Carnotite				.....
Phosphuranylite				.....
Na-Boltwoodite				.....
Gypsum				.....
Halite				.....

شکل ۱۴. توالی پاراژنتی کانی‌ها در منطقه‌ی مطالعاتی خاور بم.



## ۸. ژئوشیمی عنصرهای اصلی و ردیاب

با هدف بررسی ژئوشیمیایی الگوی رفتاری عنصرهای شاخص کانی‌زایی گرمایی در منطقه و به منظور تعیین غنی‌شدگی‌های محلی و ناحیه‌ای اورانیم در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تعداد ۶۱۶ نمونه‌ی لیتوژئوشیمیایی به‌صورت غیرمنظم از منطقه با اهداف مطالعه‌های طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده‌ی القایی (ICP-MS) برداشت (شکل ۱۵) و مورد تجزیه و تحلیل‌های تک متغیره (جدول ۱) و پس از حذف مقادیرهای خارج از رده و جای‌گزینی داده‌های سنسورد با روش لگاریتمی بهنجارسازی‌شده (شکل ۱۶) مورد تجزیه و تحلیل چند متغیره قرار گرفتند.

مطالعات آماری چند متغیره با استفاده از تحلیل ضریب‌های همبستگی (جدول ۲)، تحلیل خوشه‌ای و هم‌چنین تحلیل عاملی (جدول ۳) بر روی داده‌های ژئوشیمیایی بهنجار شده‌ی منطقه انجام پذیرفت که بر این اساس ویژگی ژئوشیمیایی اصلی منطقه ارتباط و همبستگی بالا میان اورانیم و عنصرهای شیمیایی نوع بازی و فرابازی است. مجموعه‌های ژئوشیمیایی تعقیب‌کننده‌ی کانی‌سازی اورانیم در سنگ‌های رسی که در محدوده‌ی مورد مطالعه شناسایی شد عبارت‌اند از: مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های اسیدی و حدواسط شامل U-W-As-Mo-S-Cu-Ag و مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های آذرین بازیک که شامل U-Ni-V-Ag-Co-W-Mo-Cr-Cu-S هستند (شکل ۱۷). بیش‌ترین میزان همبستگی اورانیم با عنصرهای Be, Cd, Co, Cu, Mn, Mo, Na, Ni, Sc, Se, Tl, V, Y, Zn, Zr, Ga, Ge, Hf دیده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی ارتباط پاراژنتیکی این عنصرها با هم است. هم‌چنین چهار گروه عنصر به دلیل داشتن همبستگی ژئوشیمیایی با اورانیم می‌توانند مورد توجه خاص قرار گیرند که عبارت‌اند از:

عنصرهای خاکی نادر: Y, La, Ce;

عنصرهای چند فلزی: Sr, Se, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ba, Sb, As;

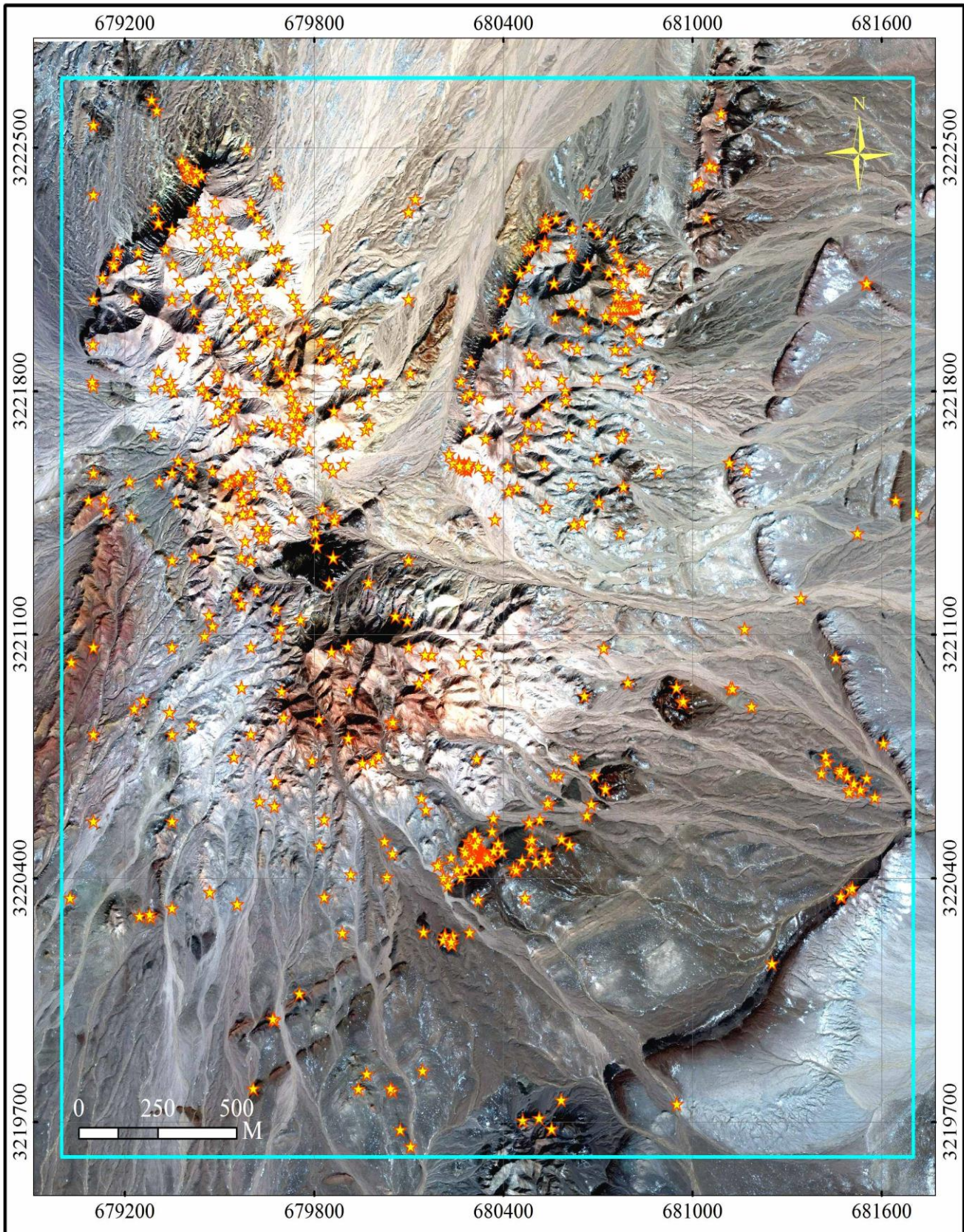
عنصرهای مرتبط با آتشفشان‌های اسیدی: Zr, W, Mo, Be;

عنصرهای مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی بازیک: V, Ni, Cr, Co. براساس بررسی نقشه‌های ناهنجاری ژئوشیمیایی عنصرهای ردیاب اورانیم در منطقه (شکل ۱۸) مشاهده شد که عنصرهای W, Mo, As, Mn, Sb, Tl, Pb, Be و Cd دارای روند غنی‌شدگی منطبق بر ناهنجاری‌های اورانیم هستند و در میان عنصرهای ردیاب در درجه‌ی اول اولویت قرار دارند.

براساس نتیجه‌های حاصل از بررسی‌های آماری و تفسیر نقشه‌ی ناهنجاری ژئوشیمیایی مربوط به عنصر اورانیم، حد غنی‌شدگی برای این عنصر ۵,۶۷ ppm در نظر گرفته شده است و مقادیرهای زمینه و حد آستانه‌ای به ترتیب برابر با ۲,۹۳ ppm و ۴,۳ ppm محاسبه شده است (جدول ۴). با انطباق منحنی‌های هم‌تراز اورانیم بر روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، می‌توان مشاهده نمود که این ناهنجاری‌ها منطبق بر واحدهای توف ریولیتی (داسیت توف و توف‌های ریولیتی)، واحدهای حدواسط، حوزه‌های خردشدگی، همراه با دگرسانی‌های آرژیلیتی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و در بعضی نقاط همراه با دگرسانی کربناتی و کانی‌زایی منگنز هستند. هم‌چنین با مطابقت روند گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه با حوزه‌های ژئوشیمیایی خواهیم دید که در بیش‌تر نقاط این روندها بر هم منطبق هستند. در منطقه‌ی مورد مطالعه حوزه‌های اورانیم‌دار معمولاً به حوزه‌های حاشیه‌ای و کنتاکت دایک‌های بازیک (سدهای ژئوشیمیایی) محدود می‌شوند و اغلب دایک‌های منیزیم‌دار شعاع ناهنجاری بیش از ده متر دارند.

با مقایسه پاراژنهای به دست آمده برای عنصر اورانیم در منطقه و الگوی ژئوشیمیایی مشاهده شده با نوع‌های مختلف کانسارهای اورانیم شناخته شده‌ی دنیا، محتمل‌ترین گزینه برای نوع کانی‌زایی در منطقه نوع اورانیم آتشفشان‌زاد است.



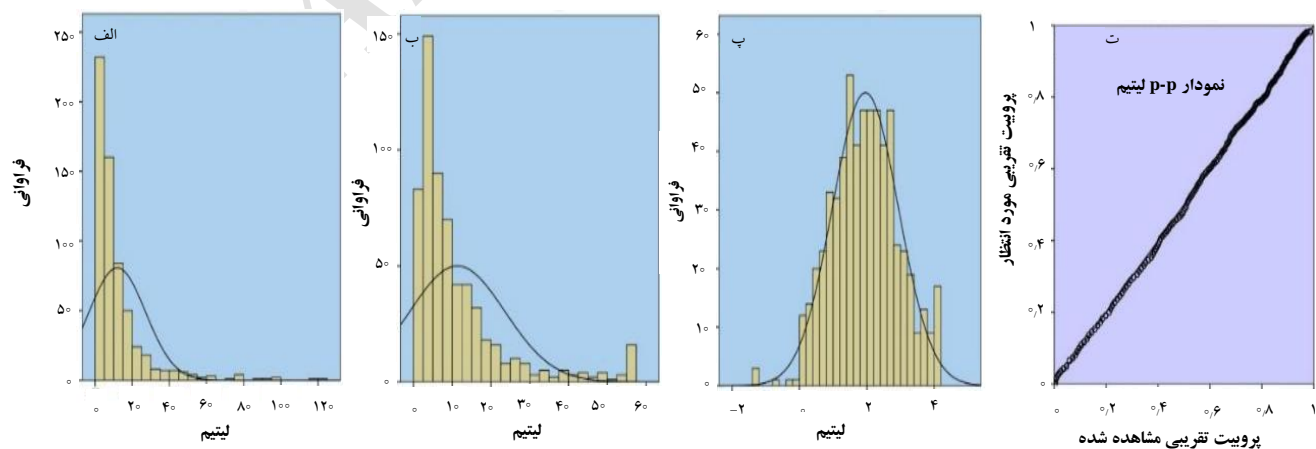


شکل ۱۵. موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده از منطقه‌ی نرماشیر.



جدول ۱. پارامترهای آماری داده‌های طبیعی منطقه‌ی مورد مطالعه

آمار توصیفی													
عنصر (ppm)	N	محدوده	کم‌ترین	بیش‌ترین	جمع	میانگین	انحراف معیار	واریانس	میزان انحراف	خطای معیار	میزان تیزی	خطای معیار	خطای معیار
	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار	آمار
Ag	616.00	4.41	-5.30	-0.89	-1680.97	-2.73	0.03	0.83	0.68	0.17	0.10	0.45	0.20
Al	616.00	8.96	2.56	11.48	5743.42	9.32	0.04	1.04	1.09	-0.52	0.10	0.02	0.20
As	616.00	6.65	-1.39	5.26	1594.74	2.59	0.06	1.50	2.24	-0.11	0.10	-0.41	0.20
Ba	616.00	5.05	1.06	6.11	2660.29	4.32	0.04	0.97	0.94	0.03	0.10	-0.06	0.20
Be	616.00	3.71	-2.30	1.41	-254.91	-0.41	0.04	0.89	0.79	0.07	0.10	-0.18	0.20
Ca	616.00	6.79	5.53	12.32	5633.40	9.15	0.50	1.20	1.60	0.00	0.00	-0.30	0.19
Cd	616.00	3.84	-3.69	0.15	-1769.68	-2.87	0.04	1.02	1.04	1.14	0.10	0.54	0.20
Ce	616.00	106.81	0.19	107.00	23732.85	38.53	0.80	19.79	391.55	1.41	0.10	3.27	0.20
Co	616.00	6.11	-2.30	3.81	378.05	0.61	0.06	1.59	2.53	0.45	0.10	-1.03	0.20
Cr	616.00	4.53	0.00	4.53	1449.95	2.35	0.04	1.08	1.17	0.02	0.10	0.01	0.20
Cs	616.00	6.32	-3.00	3.33	678.79	1.10	0.04	1.08	1.17	-0.10	0.10	0.33	0.20
Cu	616.00	4.64	0.10	4.74	1270.15	2.06	0.04	1.07	1.14	0.73	0.10	-0.43	0.20
Fe	616.00	4.81	6.59	11.40	5715.05	9.28	0.04	0.95	1.10	0.51	0.10	-0.80	0.20
Ga	616.00	4.99	-1.90	3.09	764.81	1.24	0.03	0.84	0.70	-0.28	0.10	-0.11	0.20
Ge	616.00	3.40	-3.69	-0.29	-1481.79	-2.41	0.04	0.96	0.92	0.23	0.10	-0.97	0.20
Hf	616.00	5.54	-4.61	0.93	-409.21	-0.66	0.03	0.72	0.52	-0.85	0.10	2.25	0.20
K	616.00	13893.00	107.00	14000.00	2550646.00	4140.66	106.79	2650.42	7024733.28	1.77	0.10	3.92	0.20
La	616.00	60.56	0.12	60.68	12537.55	20.35	0.42	10.39	108.04	1.35	0.10	3.70	0.20
Li	616.00	5.43	-1.39	4.05	1205.79	1.96	0.04	0.98	0.97	-0.03	0.10	-0.06	0.20
Mg	616.00	6.50	3.76	10.26	4743.38	7.70	0.05	1.32	1.73	0.04	0.10	-0.59	0.20
Mn	616.00	4.90	3.33	8.23	3815.10	6.19	0.05	1.20	1.44	-0.04	0.10	-0.71	0.20
Mo	616.00	4.43	-3.00	1.44	60.29	0.10	0.03	0.77	0.60	0.16	0.10	-0.12	0.20
Na	616.00	5.98	5.37	11.35	5443.12	8.84	0.05	1.30	1.68	0.37	0.10	-0.67	0.20
Nb	616.00	5.61	-3.69	1.92	12.31	0.02	0.07	1.62	2.62	-1.36	0.10	0.73	0.20
Ni	616.00	3.76	0.00	3.76	1001.67	1.63	0.04	1.04	1.09	0.51	0.10	-0.42	0.20
P	616.00	7.06	0.92	7.98	2824.95	4.59	0.07	1.84	3.39	0.01	0.10	-1.00	0.20
Pb	616.00	5.16	-1.61	3.56	1175.86	1.91	0.03	0.81	0.66	-0.05	0.10	0.50	0.20
Rb	616.00	101.25	0.05	101.30	14626.55	23.74	0.71	17.59	309.24	1.78	0.10	4.04	0.20
S	616.00	6.95	3.22	10.17	4745.52	7.70	0.05	1.35	1.83	-0.76	0.10	0.75	0.20
Sb	616.00	5.40	-3.00	2.41	-114.07	-0.19	0.06	1.52	2.32	0.17	0.10	-0.85	0.20
Sc	616.00	4.38	-0.69	3.69	676.58	1.10	0.05	1.17	1.38	0.23	0.10	-0.87	0.20
Se	616.00	3.95	-3.69	0.26	-1167.91	-1.90	0.05	1.15	1.33	-0.08	0.10	-0.69	0.20
Sn	616.00	2.10	0.10	2.20	498.60	0.81	0.01	0.31	0.10	0.74	0.10	2.64	0.20
Sr	616.00	5.46	1.53	6.98	3003.42	4.88	0.04	1.10	1.21	-0.19	0.10	-0.37	0.20
Th	616.00	25.19	0.01	25.20	5826.52	9.46	0.20	4.91	24.11	0.01	0.10	-0.50	0.20
Ti	616.00	6.86	1.61	8.47	3427.44	5.56	0.05	1.33	1.77	0.24	0.10	-0.69	0.20
Tl	616.00	3.00	-3.00	0.00	-1146.82	-1.86	0.04	0.97	0.94	0.61	0.10	-0.74	0.20
U	616.00	6.00	-1.77	4.23	962.74	1.56	0.06	1.37	1.87	0.67	0.10	-0.23	0.20
V	616.00	6.12	0.00	6.12	1900.66	3.09	0.06	1.56	2.44	0.08	0.10	-0.97	0.20
W	616.00	4.16	-3.00	1.16	-514.27	-0.83	0.04	1.02	1.05	0.20	0.10	-0.37	0.20
Y	616.00	37.07	0.06	37.13	7065.96	11.47	0.32	7.90	62.42	1.78	0.10	3.29	0.20
Zn	616.00	7.42	-2.30	5.12	2030.29	3.30	0.04	0.96	0.92	-0.80	0.10	3.24	0.20
Zr	616.00	5.5	-0.7	4.8	1790.3	2.9	0.0	0.8	0.7	-0.3	0.1	1.0	0.2



شکل ۱۶. نمودار ستونی داده‌های عنصر Al در حالت خام (الف)، بعد از حذف داده‌های خارج از ردیف (ب)، بعد از بهنجارسازی (پ) و نمودار P-P آن (ت).



## جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین اورانیم و سایر عناصرها در منطقه

Ag	1																								
Al	-.124**	1																							
As	.441**	.023	1																						
Ba	.249**	-.154**	.241**	1																					
Be	-.332**	-.496**	.514**	-.398**	1																				
Ca	-.158**	-.493**	.022	.202**	.166**	1																			
Cd	.177**	-.320**	.266**	.407**	-.527**	-.424**	1																		
Ce	-.332**	-.415**	.409**	.297**	-.539**	-.109**	.292**	1																	
Co	-.083*	.722**	-.076	.375**	-.484**	.665**	-.583**	.284**	1																
Cr	.248**	.237**	.144**	.253**	.318**	.234**	-.360**	.181**	-.487**	1															
Cs	.052	-.644**	.130**	.189**	-.547**	-.266**	.301**	-.388**	.515**	.248**	1														
Cu	.044	-.633**	.082*	-.359**	.475**	-.550**	-.564**	-.252**	.892**	.625**	.486**	1													
Fe	-.077	-.757**	.079	-.349**	.489**	-.590**	.519**	-.370**	.900**	.403**	-.508**	.824**	1												
Ga	.094*	.839**	.238**	-.360**	.719**	-.419**	.497**	-.594**	.748**	-.326**	.644**	.665**	.760**	1											
Ge	-.012	-.677**	.158**	-.397**	.561**	-.546**	.571**	-.390**	.866**	-.391**	-.508**	.789**	.908**	.772**	1										
Hf	.172**	.472**	-.094*	.216**	-.403**	.152**	-.296**	.611**	-.335**	.211**	-.311**	.285**	-.421**	.542**	-.405**	1									
K	.336**	-.291**	.266**	.311**	.417**	-.038	.152**	-.601**	.146**	-.156**	.478**	.156**	-.212**	.414**	-.210**	.339**	1								
La	-.329**	.370**	.404**	-.264**	.506**	.076	.271**	.964**	.212**	-.128**	-.360**	.177**	-.294**	.553**	-.328**	.566**	.602**	1							
Li	-.157**	-.677**	-.027	.227**	.352**	-.572**	.354**	-.310**	.654**	-.177**	.492**	.554**	.628**	.642**	.620**	-.398**	.102*	.278**	1						
Mg	-.297**	.742**	-.090*	.176**	.292**	.748**	.344**	.183**	.766**	-.191**	.496**	.614**	.713**	.661**	.675**	.275**	.034	.134**	.781**	1					
Mn	.126**	.226**	.175**	.625**	.471**	.412**	.617**	-.253**	.528**	-.307**	.261**	.483**	.452**	.419**	.504**	.256**	.071	.212**	.395**	.342**	1				
U	.261**	.333**	.379**	.275**	.586**	.194**	.535**	.293**	.459**	.371**	-.360**	.457**	-.392**	.484**	.441**	.439**	.137**	.240**	.264**	.232**	.438**	1			
	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	K	La	Li	Mg	Mn	U			

Correlation	
منفی	>0
بسیار پایین	0.0-0.2
پایین	0.2-0.4
متوسط	0.4-0.6
بالا	0.6-0.8
بسیار بالا	0.8-1

\*\* همبستگی در سطح ۰٫۰۱ معنی دار است.

\* همبستگی در سطح ۰٫۰۵ معنی دار است.

Mo	1																								
Na	-.056	1																							
Nb	.087*	-.350**	1																						
Ni	.108**	.403**	-.400**	1																					
P	.010	.465**	-.521**	.648**	1																				
Pb	.399**	-.049	.236**	-.045	-.031	1																			
Rb	.054	.171**	.103*	.102*	.175**	-.458**	1																		
S	.210**	-.299**	-.092*	.151**	.143**	.228**	.137**	1																	
Sb	.546**	-.184**	.248**	-.055	-.163**	.582**	.299**	.238**	1																
Sc	.037	.525**	-.468**	.617**	.736**	.004	.185**	.232**	-.184**	1															
Se	.241**	.454**	-.262**	.346**	.412**	.098*	.114**	.377**	.089*	.327**	1														
Sn	-.030	.181**	.128**	.109**	.204**	.187**	.401**	.108**	-.047	.338**	.087*	1													
Sr	.240**	.136**	-.185**	.492**	.468**	.183**	.038	.377**	.121**	.397**	.285**	-.051	1												
Th	.062	-.204**	.489**	-.317**	-.372**	.525**	.369**	.163**	.351**	-.242**	-.110**	.334**	-.166**	1											
Ti	-.149**	.485**	-.233**	.527**	.758**	-.158**	.174**	.050	-.364**	.764**	.263**	.431**	.359**	-.266**	1										
Tl	.548**	-.067	.138**	.157**	.007	.547**	.412**	.146**	.581**	.048	.135**	.044	.202**	.166**	-.161**	1									
U	.417**	.430**	-.138**	.444**	.303**	.296**	.157**	.376**	.274**	.404**	.444**	.115**	.304**	.007	.191**	.410**	1								
V	.204**	.531**	-.458**	.726**	.806**	.129**	.171**	.235**	.034	.710**	.506**	.149**	.563**	-.314**	.622**	.173**	.529**	1							
W	.407**	-.275**	.560**	-.171**	-.325**	.508**	.078	.093*	.578**	-.229**	-.045	.017	.045	.347**	-.253**	.433**	.228**	-.083*	1						
Y	.363**	.276**	.087*	.336**	.399**	.479**	.402**	.267**	.343**	.474**	.388**	.383**	.369**	.287**	.403**	.380**	.562**	.540**	.328**	1					
Zn	.268**	.426**	-.088*	.501**	.595**	.409**	.424**	.207**	.228**	.601**	.428**	.340**	.444**	.011	.583**	.330**	.503**	.723**	.161**	.734**	1				
Zr	.019	.322**	.134**	.299**	.380**	.124**	.290**	.142**	-.008	.447**	.220**	.457**	.217**	.179**	.603**	.010	.406**	.360**	.108**	.621**	.541**	1			
	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr			

Correlation	
منفی	>0
بسیار پایین	0.0-0.2
پایین	0.2-0.4
متوسط	0.4-0.6
بالا	0.6-0.8
بسیار بالا	0.8-1

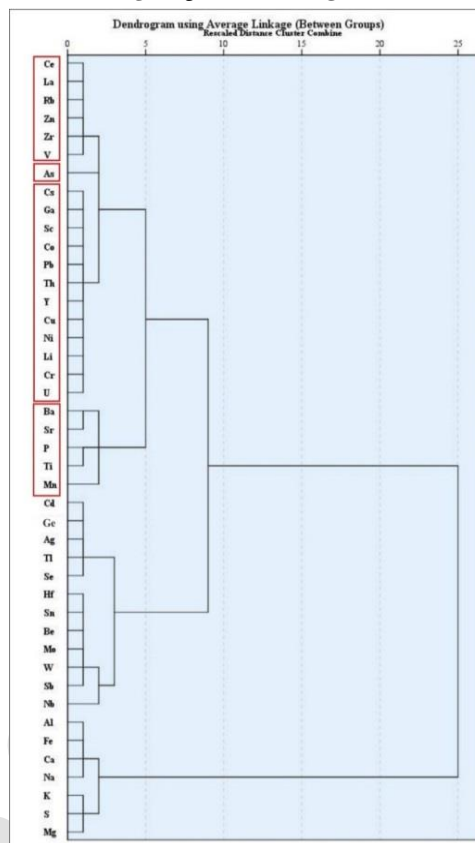
\*\* همبستگی در سطح ۰٫۰۱ معنی دار است.

\* همبستگی در سطح ۰٫۰۵ معنی دار است.



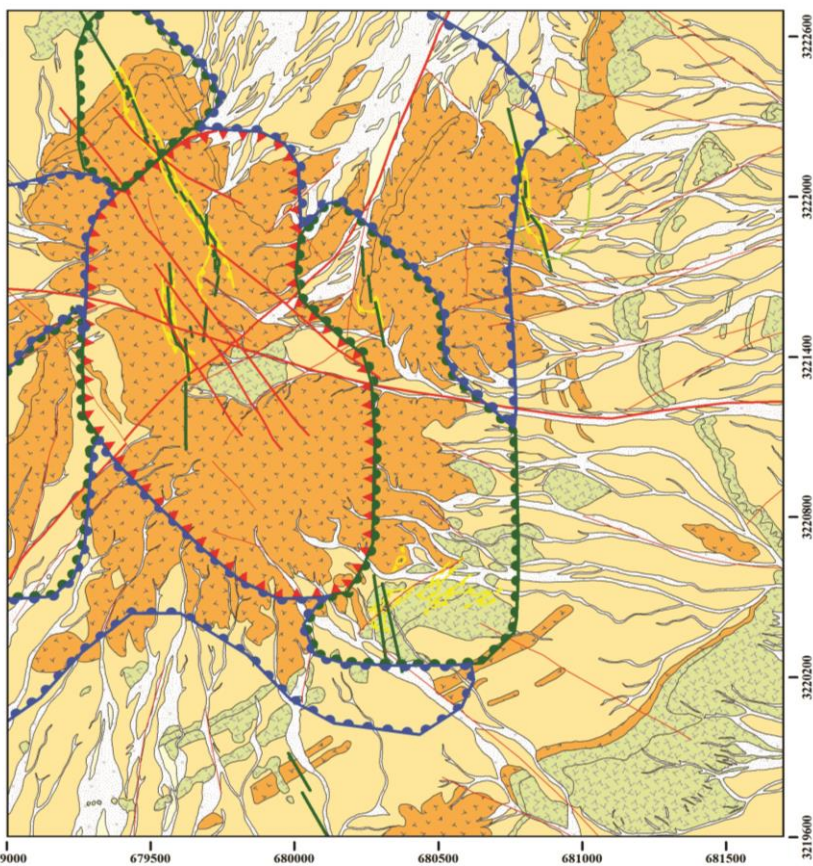
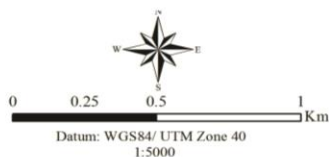
جدول ۳. نتیجهی تحلیل عاملی بر روی دادههای نرمال منطقه بعد از دوران عاملها و نمودار درختی حاصل از ارتباط عنصرها

	Rotated Component Matrix*							
	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	-.25	.47	.18	.24	.19	.01	.42	.11
Al	.79	-.04	.26	.29	-.15	.16	-.06	.02
As	.03	.90	-.02	.12	-.01	-.01	.02	.16
Ba	.25	.18	.04	.21	.77	-.05	.05	.10
Be	.42	.56	-.17	.35	.21	-.25	.03	-.08
Ca	.72	-.09	-.04	-.12	.11	-.16	.06	.54
Cd	.51	.34	.06	-.04	.42	.18	.13	-.02
Ce	.26	.45	.59	.45	.01	-.18	-.11	.07
Co	.92	.04	.06	.04	.16	.11	.20	.03
Cr	.35	.16	.07	.06	.06	.00	.79	.00
Cs	.52	.03	.07	.60	.02	.22	.03	-.08
Cu	.82	.08	.03	.07	.13	.10	.41	-.04
Fe	.90	.06	.19	.08	.10	.09	.12	-.05
Ga	.74	.24	.32	.33	.06	.19	-.04	.00
Ge	.86	.16	.17	.07	.18	.10	.08	-.07
Hf	.26	.06	.86	.11	.09	.16	.05	.06
K	.04	.17	.22	.88	.10	.00	.09	.05
La	.20	.45	.56	.47	-.01	-.21	-.16	.08
Li	.74	-.10	.22	.09	.09	-.02	-.19	.14
Mg	.87	-.19	.05	.04	-.01	.01	-.14	.22
Mn	.43	.20	.08	-.05	.75	.05	.03	.02
Mo	.04	.73	.00	-.14	.21	.12	.12	.01
Na	.49	-.16	.12	.18	-.06	.66	-.06	.12
Nb	-.65	.10	.44	.07	.21	-.14	.15	-.06
Ni	.75	.03	-.01	.01	.07	.09	.48	.09
P	.88	-.08	.09	.05	.06	.02	.06	.06
Pb	-.05	.62	.22	.40	.33	-.09	-.15	.08
Rb	.10	.15	.23	.88	.03	.03	.06	.00
S	.08	.20	.10	.07	.01	.29	-.01	.84
Sb	-.15	.85	.04	.17	.03	-.02	.07	.04
Sc	.77	-.13	.26	.07	.12	.18	.04	.07
Se	.44	.27	.08	-.03	-.06	.44	-.06	.29
Sn	.13	-.09	.64	.32	-.09	.04	.02	-.04
Sr	.53	.18	-.01	-.04	.36	-.23	.20	.51
Th	-.42	.32	.52	.36	-.14	-.20	-.17	.18
Ti	.70	-.39	.44	.04	.14	.05	.10	-.02
Tl	-.02	.59	-.10	.38	.44	.13	.19	-.05
U	.31	.42	.22	-.02	.19	.60	.21	.13
V	.86	.17	.09	.02	.17	.16	.11	.08
W	-.37	.51	.27	-.07	.50	.01	.03	-.04
Y	.38	.44	.61	.14	.26	.10	.04	.06
Zn	.65	.31	.41	.23	.28	.12	.00	-.05
Zr	.30	-.05	.80	.00	.12	.17	.13	.03

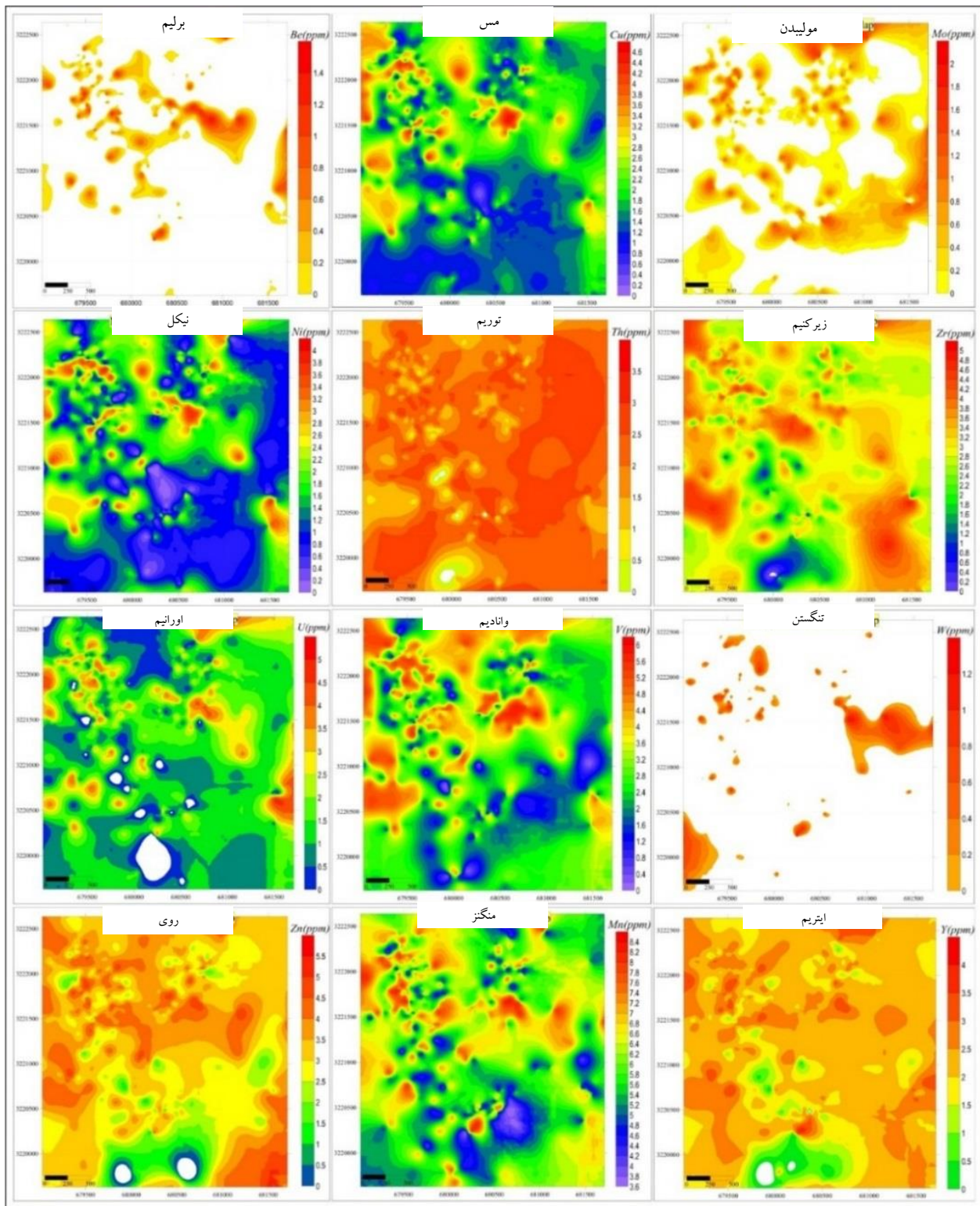


حوزه‌های ژئوشیمیایی اصلی در منطقه نرماشیر

- آبرفت، مخروط افکنه
- نهشته‌های تراشی جدید
- نهشته‌های تراشی قدیمی
- واحدهای سنگی اسیدی
- واحدهای سنگی اسیدی و حدواسط
- دایک
- گسل‌های اصلی
- گسل‌های فرعی
- آرسنیک، بیسموت، اورانیم، مولیبدن، تنگستن، تلوریم، منگنز
- اورانیم، مولیبدن، آرسنیک، آنتیمون، کادمیم، روی
- آرسنیک، مس، آنتیمون، نقره، اسکاندیم، سرب، جیوه
- حوزه‌ی اورانیم



شکل ۱۷. حوزه‌بندی ژئوشیمیایی عنصرها در ارتباط با توده‌های سنگی اسیدی و بازی در منطقه.



شکل ۱۸. نقشه‌ی ژئوشیمیایی اورانیم و عنصرهای همراه آن در منطقه.

جدول ۴. مقدارهای حد زمینه، حد آستانه و ناهنجاری قطعی اورانیم و عنصرهای همراه آن در منطقه بر حسب (ppm)

عنصر	U	Th	Mo	W	Ni	Na	Mn	Pb	Be	Cd	Zn	Zr	Cu	V	Y
مقدارهای زمینه	<2.39	<14.37	<0.87	<0.19	<2.67	<1.14	<7.39	<2.72	<0.48	<-1.87	<4.26	<3.7	<3.13	<4.65	<19.37
مقدارهای حد آستانه‌ای	4.3	19.28	1.64	1.25	3.71	11.14	8.59	3.53	1.37	-0.83	5.22	4.5	4.2	6.21	27.27
مقدارهای ناهنجاری قطعی	>5.67	>24.19	>2.41	>2.23	>4.75	>12.74	>9.79	4.34	>2.26	>0.19	>6.18	>5.3	>5.27	>7.77	>35.1



## ۹. نتیجه گیری

کانی‌سازی اورانیم معمولاً به صورت کانی‌های ثانویه‌ی زرد رنگ اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده‌ی اکسندگی بودن محیط در هنگام ته نشست این کانی‌ها است. طی بررسی‌های انجام شده در منطقه علاوه بر ناهنجاری‌های اورانیم، غنی‌شدگی‌هایی از عناصر آرسنیک، آنتیموان، مولیبدن، سرب، روی، منگنز و آهن مشاهده شد. هم‌چنین با توجه به غنی‌شدگی اندک بیسموت و آرسنیک و آنتیموان و بروز برش‌های سیلیسی امکان کانی‌زایی طلا در منطقه دور از انتظار نیست که نیازمند بررسی‌های تکمیلی است. کمربند آتشفشانی خاور بم با ماهیت کالک آلکان و موقعیت زمین‌ساختی جزیره‌ی قوسی و ترکیب سنگ‌شناسی اسیدی تا حدواسط بیش‌ترین انطباق را با کانسارهای اورانیم گرمابی مرتبط با شرایط آتشفشانی دارد. حضور عنصرهای ردیاب کانی‌های اورانیم آتشفشان‌زاد نیز یکی دیگر از دلایل‌های ارتباط کانی‌زایی منطقه با این نوع کانسارها است. با مقایسه‌ی پاراژنهای به دست آمده برای عنصر اورانیم در منطقه و الگوی ژئوشیمیایی مشاهده شده با نوع‌های مختلف کانسارهای اورانیم شناخته شده‌ی دنیا، محتمل‌ترین گزینه برای نوع کانی‌زایی در منطقه نوع اورانیم آتشفشان‌زاد است (جدول‌های ۵ و ۶).

براساس نتیجه‌های حاصل از مطالعه‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی، محل روند کانی‌سازی اورانیم گرمابی در خاور بم، در حوزه‌های دگرسانی از نوع رسی اتفاق افتاده است. افزایش پرتوزایی و مقدار قطعه‌های کانسنگ در نزدیکی تماس با توده‌های بازیک نشان می‌دهد که افزایش پرتوزایی و فرایندهای تشکیل کانسنگ در توده‌های اسیدی و حدواسط منطقه در ارتباط با دایک‌های بازیک است که به عنوان سد ژئوشیمیایی برای رسوب اورانیم و دیگر عنصرها عمل کرده‌اند. با توجه به دگرسانی گسترده‌ی رسی و سیلیسی و حضور انواع توف، سنگ‌های پیروکلاستیکی با ترکیب اسیدی تا حد واسط و توده‌های نفوذی که به صورت دایک در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده و رگه‌های آپالین، کالسدونی و برش‌های منگنز-سیلیس که در منطقه حضور دارند وجود کانی‌زایی گرمابی آتشفشان‌زاد در منطقه دور از انتظار نیست. این ناحیه دارای ساختارهای گسلی مناسبی برای نهشت کانی‌های اورانیم است و حضور گسل‌های متقاطع، حضور دگرسانی هماتی و لیمونیتی و دایک‌های بازالتی، از مشخصه‌های مناسب این ناحیه برای اکتشاف اورانیم هستند.

جدول ۵. مهم‌ترین پاراژنهای U در نوع‌های مختلف از کانسارهای اورانیم [۳۰]

نوع کانسار اورانیم	عنصرهای پاراژنتر U در هر تیپ
۱ اورانیم ماسه سنگی	V, C, Mo, Se, Cu, Ag
۲ اورانیم آتشفشان‌زاد	As, W, Ag, Hg, Mo, F, Sb, Ba, Li, REE
۳ برشی اورانیم نوع تنوره	Pb, Ni, Zn, Co, Cu, Zr, REE
۴ اورانیم طلای دگرشیمی	Mg, P
۵ مهم‌ترین پاراژنهای U در منطقه	Pb, W, Zn, La, Sc, Zr, Cu, Y, Ce, La, Mo, Sb, As, Cd, Be,

جدول ۶. مقایسه کانی‌زایی اورانیم در منطقه‌ی خاور بم با کانسارهای اورانیم آتشفشان‌زاد [۳۰]

کانسارهای اورانیم آتشفشان‌زاد		منطقه‌ی مطالعاتی (شرق بم)	مشخصه‌ها
نوع استوک و رک	مرتبط با کمپلکس‌های آتشفشانی اسیدی	حوزه‌ی فروانش	کنترل‌کننده ساختاری
حوضه‌های زمین‌ساختی، مناطق فرسایشی، نقاط داغ	حوضه‌های فروانش، نقاط داغ، ریف‌ها، حوضه پشت قوسی	ریولیت اینگمبریت، ریولیت برشی، داسیت سنوزونیک (اوسن)	سنگ منشاء
آندزیت، ریولیت، گرانیت	ریولیت اینگمبریت، ریولیت برشی، داسیت	رگه‌ای، استوک و رک، حوزه‌های خردشدگی، شکستگی‌ها	شکل ماده‌ی معدنی
پرکامبرین تا سنوزونیک	پرکامبرین تا سنوزونیک	رگه، رگچه، استوک و رک، انتشاری، شعاعی	یافت
رگه‌ای، استوک و رک، چینه‌ای تا بولار	چینه‌سان، حوزه‌ی خرد شده، درزه‌ها، فضا‌های خالی	آرژیلیتی، کلریتی، سیلیسی، هماتی، زنونلیتی	دگرسانی
رگه، رگچه، استوک و رک، لایه‌ای، انتشاری، توده‌ای	آلیت، فلدسپات پتاسیم، سریسیتی، آرژیلیتی، کلریتی، کربناتی، هماتی	پاراژنهای ژئوشیمیایی	کانی‌زایی و ژئوشیمی
Mo-Fe-Pb-Li-Sb-Sn-W-Ag	Fe-Mo-Pb-REE-Zn-Zr-Other Sulfides	As-Sb-Zr-Zn-REE-Mo-Cd-Br-Pb-La	
پشیلاند، کافینیت، اورانیل (سیلیکات، فسفات، وانادات)	اورانیل (سیلیکات، فسفات، وانادات)	سیلیس، کربنات، فیلسیلیکات‌ها، فلوریت (۹)، باریت (۹) آهن اکسید و هیدروکسید	کانی‌های اورانیم
سیلیس، کربنات، آلپیت، فلوریت، فیلسیلیکات‌ها	سیلیس، کربنات، باریت، فلوریت، آهن اکسید و هیدروکسید	منطقه‌های خردشدگی، گسل‌های متقاطع، حوزه‌های گسلی، درزه‌ها و دایک‌ها	کانی‌های باطله
گسل‌های کم‌عمق، شکستگی‌ها و برشی شدن در شیب‌های تند گسلی	گسل‌های متقاطع، حوزه‌های خردشدگی	منطقه‌ی مورد مطالعه (خاور بم)	کنترل‌کننده‌ی کانی‌سازی
استرلنوسوک کالدر (۹)	مک درمیت کالدر. ناپل 1/ سیرادوینا پلانکا (۸)	گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴	مثال
دالکام (۲۰۱۰)	دالکام (۲۰۱۰)		منبع



## پی‌نوشت‌ها

1. Carnotite
2. Sodium Boltwoodite
3. Devitrification
4. Pyromeride
5. Phosphuranylite
6. McDermitt Caldera- Napal I
7. Micrograins
8. Sierra De Pena Blanca
9. Streltsovsk Caldera

## تشکر و قدردانی

از سازمان انرژی اتمی ایران، معاونت اکتشاف شرکت اسکام و کارشناسان پروژه‌ی لوت- جازموریان این شرکت که انجام این پژوهش تحت حمایت و همکاری آن‌ها صورت گرفته است سپاس‌گزاری می‌کنیم.

## مرجع‌ها

- [1] J.T. Nash, H.C. Granger, S.S. Adams, Geology and concepts of genesis of important types of uranium deposits, in Economic Geology Seventy-Fifth Anniversary Volume, (1981) 63-116.
- [2] J.A. Plant, P.R. Simpson, B. Smith, B.F. Windley, Uranium ore deposits products of the radioactive Echo Bay U-Ni-Ag-Cu deposits, North West Territories, Canada. Economic Geology., 68 (1999) 635-656.
- [3] S.A. Aghanabati, Geology of Iran. published by Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran, (2004).
- [4] J. Eftekharnjad, N. Samimi, S. Ershadi, 1: 250000 Geological Map of Allahabad. Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran, (1993).
- [5] M. Goudarzi, A. Javanshir, M. Alikhani, M. Saidian, H. Karimi, 1: 5000 Geology map of Narmashir region. Exploration Deputy Director of Skam company, Atomic Energy Organization of Iran, (2014).
- [6] M. Goudarzi, Genesis of Uranium Mineralization in the East of Bam region, Economic Geological master's thesis, Lorestan University, (2015).
- [7] J.A. Pearce, N.B.W. Harris, A.G. Tindle, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, Journal of petrology, 25 (1984) 956-983.
- [8] G.W. Walker, Host rocks and their alteration as to uranium-bearing veins in the conterminous United State. U.S. Geol. Survey Prof. P 455-C, (1963) 37-53.
- [9] R.A. Rich, H.D. Holland, U. Petersen, Hydrothermal uranium deposits, Elsevier Scientific Publishing Co., (1977). Amsterdam, New York, 264 (1977) Dfl. 85.00.
- [10] L.J. Robb, Introduction to ore forming processes, Blackwell Publishing, (2005) 373.
- [11] M. Karimpour, A. Malekzadeh, M.R. Heidarian, Exploration of Natural Reserves. published by Ferdowsi University of Mashhad. (2005) 636.
- [12] R.A. Zielinski, Experimental Leaching of volcanic glass Implications for evaluation of glassy volcanic rocks as sources of uranium, in Goodell, P.C., and Waters, A.C., eds., Uranium in Volcanic and volcanoclastic rock: American Association of Petroleum Geologist Studies in Geology, 13 (1981) 1-11.
- [13] R.O. Fournier, The behaviour of silica in hydrothermal solutions B.R. Berger, P.M. Bethke (Eds.), Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Reviews in Economic Geology, Society of Economic Geologists, (1985) 45-61.
- [14] R.W. Boyle, Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits in Developments in Economic Geology 16. Elsevier Scientific Pub. Comp., (1982) 498.
- [15] J.T. Nash, Volcanogenic uranium deposits— Geology, geochemical processes, and criteria for resource assessment: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1001, (2010) 99.
- [16] M. Hejazi, M. Qorbani, Geology of Iran: Bentonite – Zeolite. published by the Geological Survey of Iran, (1994) 20.
- [17] M. Jebrak, Hydrothermal breccias in vein type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. Ore geology Rev., 12 (1997) 111-134.



- [18] H.A. Gahlan, S. Arai, A.H. Ahmed, Y. Ishida, Y.M. Abdel-Aziz, A. Rahimi, Origin of magnetite veins in serpentinite from the Late Proterozoic Bou-Azzer ophiolite, Anti-Atlas, Morocco: An implication for mobility of iron during serpentinization, *Journal of African Earth Science*, 46 (2006) 318- 330.
- [19] A. Darwishzadeh, *Igneous lithology*. Shalizar Publishing House, (2007) 254.
- [20] G.E. Harlow, L'Origine de jade jadéite. *Revue de Gemmologie A.F.G.V* 150, (2004) 7-11.
- [21] C.E.J. De Ronde, P. Blattner, Hydrothermal Alteration, Stable Isotopes, and Fluid Inclusions of the Golden Cross Epithermal Gold-Silver Deposit, Waihi New Zealand. *Society of Economic Geologists.*, 83 (1988) 895-917.
- [22] R.W. Boyle, *Exploration Geochemistry*, in Background papers on the earth sciences in Canada (C. H. Smith, editor), *Canada Geol Survey Paper.*, 69-56 (1970) 254-261.
- [23] C.D. Henry, T.W. Duex, Origin of the mineralization at the Mammoth mine, Buckshot Ignimbrite, Trans-Pecos Texas (abstract). *Geological Society America program with abstracts*, 13, 5 (1981) 239.
- [24] R.A. Zielinski, D.A. Lindsey, J.N. Rosholt, The distribution and mobility of uranium in glassy and zeolitized tuff, Keg Mountain area. *Utah, U.S.A: Chemical Geology*, 29, 1 (1980) 139-162.s.
- [25] M.W. Roper, A.B. Wallace, Geology of the Aurora uranium prospect, Malheur County, Oregon, in Goodell, P. C., and Waters, A. C., eds., *Uranium on volcanic and volcanoclastic rocks: American Association of Petroleum Geologist Studies in Geology no.*, 13 (1981) 81-88.
- [26] C.G. Cunningham, J.D. Rasmussen, T.A. Steven, R.O. Rye, P.D. Rowley, S.B. Romberger, J. Selverstone, Hydrothermal uranium deposits containing molybdenum and fluorite in the Marysvale volcanic field, west-central Utah: *Mineralium Deposita*, 33 (1998b) 477-494.
- [27] H. Qatmiri, Determination of the temperature range of Mineralization in a four-dome copper mine Using Morphology of Pyrite Crystals, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 2 (2006) 295-304.
- [28] D. Jillett, N.D. Coombs, Clinoptilolite in the Ashley mudstone, Waihao River section, south Conterbury, New Zealand., 38 (1995) 253-256.
- [29] F.J. Dahlkamp, *Uranium Deposits of the World -Asia*. Springer-Verlag, (2010) 493.
- [30] A.A. Hassani Pak, M. Sharaf al-Din, *Exploratoion Data Analysis*. Tehran University Press. First Edition (2001).