بررسی کانی سازی اورانیوم در گرانیتوئیدهای محدوده چاه جوله، ایران مرکزی و راهکارهای زیست محیطی آن

زهرا نوریان رامشه[۱]، محمد یزدی[۲]، سیده نرگس ساداتی[۳*]

۱،۲- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی

۳*- دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

Sadati_sn@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

چکیده

منطقه چاه جوله در شمال شرق شهرستان یزد و در زون ایران مرکزی قرار دارد. رخنمون های سنگی منطقه شامل لوکوگرانیت زریگان، توده کوارتز دیوریت و دایک های دیاباز می باشد. بخش هایی از لوکوگرانیت زریگان تحت تاثیر متاسوماتیسم سدیک قرار گرفته است و به آلبیتیت تبدیل شده است که میزبان کانی سازی اورانیوم شامل فازهای اکسیدی U- Ti (دیویدایت- تیتانومگنتیت) می باشند. طبق مطالعات ژئوشیمیایی آلبیتیت ها غنی شدگی از آلکالی ها, Al_2O_3, U, Th, Nb, REE نشان می دهند. نمودارهای عنکبوتی نیز غنی شدگی از Ba, Th, U, Zr, Sr, Nb, Ce و تهی شدگی از Rb, Pb, Zn, Cr, Ni را نشان می دهند، این غنی شدگی احتمالا نشان دهنده شرکت پوسته قاره ای در تکوین ماگمای مولد لوکوگرانیت می باشد. طبق مشاهدات صحرایی، مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی احتمالا رخداد کانه زایی اورانیوم در منطقه چاه جوله وجود دارد و این کانه زایی در ارتباط با آلبیتیت های پست- ماگماتیک می‌باشد. استخراج اورانیوم به ویژه در شرایط آب و هوای خشک و زهکشی ضعیف حاکم بر محدوده چاه چوله می تواند پیامدهای زیست محیطی داشته باشد و اقدامات زیست محیطی برای جلوگیری از آلودگی باید انجام شود.

کلمات کلیدی

" لوکوگرانیت "، " متاسوماتیسم "، " اورانیوم "، " ایران مرکزی "، " زیست محیطی "

۱- مقدمه

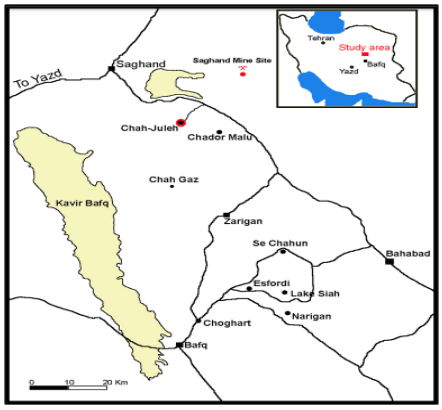
اورانیوم ماده خام اصلی برای تولید انرژی هسته ای است(قاسم شیرازی، ۱۴۰۱) و توسعه انرژی هسته ای به طور قابل توجهی استخراج اورانیوم را افزایش می دهد(Zheng et al., ۲۰۲۳)، از این رو توجه به این فلز و اثرات زیست محیطی حاصل از معدنکاری آن در کشور ما اهمیت بسزایی دارد. کانسارهای اورانیوم ایران اغلب در زون ایران مرکزی واقع شده اند(یزدی و همکاران، ۱۳۸۷). چندین نهشته در این زون شناسایی شده اند که از آن جمله آنومالی موجود در ۱۷۰کیلومتری شمال شرق شهرستان یزد می باشد. از نزدیکترین آبادی ها به منطقه، شهرک مربوط به کارمندان معدن چادرملو در فاصله ۱۰کیلومتری منطقه و روستای ساغند در فاصله ۳۰ کیلومتری از منطقه را می توان نام برد. مورفولوژی عمومی منطقه صخره ای و خشن می باشد. این منطقه اولین بار توسط پروازهای هوایی شناسایی شد، که طی آن دو آنومالی در شمال و جنوب منطقه مشخص گردید. آنومالی موجود در جنوب منطقه به دلیل عدم رخنمون سطحی پیگیری نشد.

توسعه انرژی هسته ای در چند دهه آینده به اوج خود خواهد رسید. از آنجایی که اورانیوم ماده اولیه اصلی انرژی هسته ای است، مشکلات زیست محیطی ناشی از استخراج معادن باید توسط سازمان های دولتی جدی گرفته شود.

۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

منطقه چاه جوله در شمال شرق شهرستان یزد و در شرق ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ آریز قرار دارد، از شمال به کویر ساغند، از غرب به کوه های خشومی، از شرق به معدن سنگ آهن چادرملو و از جنوب به منطقه زریگان محدود می شود (شکل۱).



شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه چاه جوله

•محدوده مورد مطالعه

منطقه چاه جوله در شمال شرق شهرستان یزد و در شرق ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ آریز قرار دارد، از شمال به کویر ساغند، از غرب به کوه های خشومی، از شرق به معدن سنگ آهن چادرملو و از جنوب به منطقه زریگان محدود می شود (شکل۱).

در این محدوده واحدهای زیر با سن پرکامبرین دیده می شوند: (شکل ۲- الف)

-سری کمپلکس دگرگونی بنه شورو در قسمت غربی منطقه شامل گنیس، آمفیبول شیست، میکاشیست با تناوبی از سنگ های آذرین متوسط تا بازیک

-سری دگرگونی ناتک شامل سرسیت شیست، مسکویت شیست، کوارتز مسکویت شیست

-کمپلکس تاشک شامل شیست، فیلیت، اسلیت، کوارتزیت و سنگ های ولکانیکی

- گرانیت زریگان که در قسمت مرکزی منطقه واقع شده است و در داخل کمپلکس ناتک نفوذ کرده است.

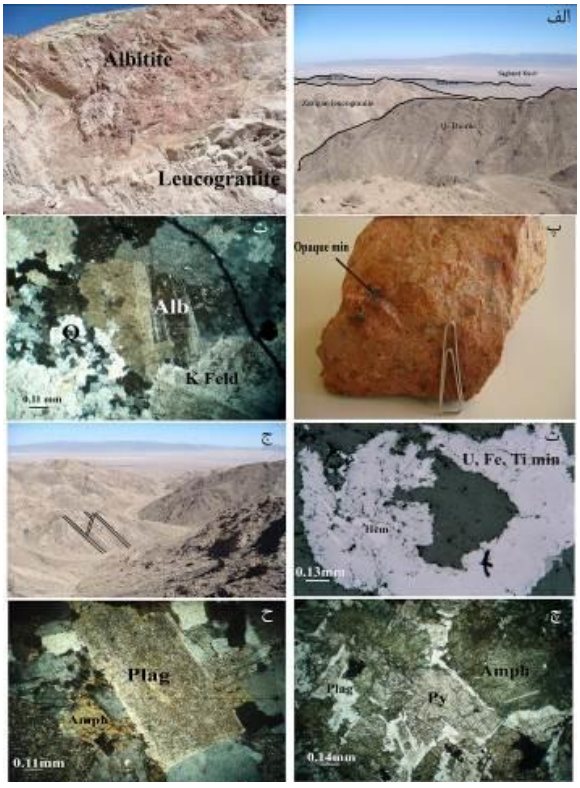
واحدهای سنگی منطقه شامل: لوکوگرانیت زریگان، توده کوارتز دیوریت و دایک های دیاباز می باشد.

لوکوگرانیت زریگان، یک گرانیت شیری رنگ بدون کانی فرومنیزین با کانی های اپاک کمتر از یک درصد می‌باشد۰(شکل ۲ب). این توده، بزرگترین رخنمون سنگی در محدوده ساغند می باشد (Haghipour, ۱۹۹۷) و به علت ماهیت شدیدا جانشینی، بیشتر یک لوکومتاسوماتیت است تا یک لوکوگرانیت (Naseri, ۲۰۱٤). در محدوده مورد مطالعه این توده به داخل سازند تاشک و واحدهای ولکانیکی- رسوبی کامبرین نفوذ کرده و سنگ های این‌واحدها را قطع کرده است. این لوکوگرانیت یک گرانیت کم عمق می باشد که تغییر رخساره ای از یک گرانیت متوسط دانه تا یک گرانیت پورفیر نشان می دهد. طبق مطالعات ژئوشیمیایی، فلدسپات ها در لوکوگرانیت زریگان شدیدا سدیک می باشند به همین علت این‌توده بیشتر ماهیت تونالیت- ترونجمیت دارد تا گرانیت. با استفاده از روش U-Pb سن ۲۲۵ میلیون سال برای این توده تعیین شده است (Ramezani, ۲۰۰۳). لوکوگرانیت زریگان در منطقه مورد مطالعه در بخش هایی تحت تاثیر متاسوماتیسم سدیک قرار گرفته و به آلبیتیت تبدیل شده است، این قسمت ها که به رنگ قرمز دیده می شود (شکل ۲- ب، پ)، دارای پرتوزایی می باشند و گاه با دستگاه سنتیلومتر شدت پرتوزایی ۲۵۰۰ cpsرا نشان می‌دهند و پرتوزایی آنها مربوط به کانی‌های اپاک موجود درآنها می باشد. این کانی های اپاک در اثر واپاشی مواد رادیواکتیو، هاله ای به رنگ قرمز تیره در اطراف کانی اپاک تشکیل می دهند که در نمونه دستی قابل مشاهده می باشد و یکی از شواهد پرتوزایی این کانی ها نیز می باشد (شکل ۲-پ). البته در منطقه آلبیتیت های سفید رنگ نیز دیده می شود که پرتوزایی خاصی نشان نمی دهند (Nourian et al., ۲۰۱۱).

طبق مطالعات پتروگرافی، لوکوگرانیت زریگان دارای بافت پورفیری تا گرانولار است و نمونه هایی که تحت تاثیر متاسوماتیزم قرار گرفته اند دارای بافت گرانولار درشت دانه می باشند. کانی های اصلی آن شامل: کوارتز، فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز می باشد. فلدسپات آلکالن در لوکوگرانیت زریگان شامل پرتیت و میکروکلین می باشد. در نمونه هایی که تحت تاثیر متاسوماتیسم قرار گرفته اند کانی آلبیت در اثر جانشینی به جای فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز کلسیک تشکیل شده است، این کانی دارای ماکلی موسوم به ماکل صفحه شطرنجی می باشد (شکل ۲-ت). آلبیت با ماکل صفحه شطرنجی از اختصاصات متاسوماتیسم سدیک می باشد (Sharifi, ۱۹۹۷, Masoudi et al., ۲۰۰۷). طبق مطالعات مینرالوگرافی کانی های اپاک آلبیتیت ها شامل تیتانومگنتیت- دیویدایت می باشد (شکل ۲-ث) که از آنها تحت عنوان فازهای اکسیدی U-Ti نام برده اند و رنگ قرمز آنها ها ناشی از وجود اکسیدآهن در ریزشکستگی های کانی آلبیت می داند(Dahlkamp, ۱۹۹۳). از کانی های فرعی موجود در لوکوگرانیت و آلبیتیت ها می توان به زیرکن، مونازیت، اسفن و روتیل اشاره کرد که اسفن و روتیل حاصل دگرسانی کانی های اپاک می باشد.دایک های دیاباز، این دایک ها با رنگ سبز تیره از دیگر واحدهای سنگی منطقه قابل تفکیک می باشند و دارای دو روند اصلی می باشند: یکی روند شمالغرب- جنوبشرق و دسته دیگر که دایک های دسته اول را قطع کرده اند دارای روند شمالی- جنوبی می باشند (شکل ۲-ج) که این پدیده دلیلی بر وجود دو فاز کششی در منطقه می باشد(Nouri Khankhedani and Sabzehi, ۲۰۱٤). به دلیل کنتاکت تدریجی دایک های سری اول با لوکوگرانیت زریگان، تزریق دایک های دیاباز همزمان یا کمی بعد از تشکیل لوکوگرانیت می باشد(Ramezani, ۲۰۰۳). این دایک ها از نظر میکروسکوپی کریستالین، ملانوکرات و بافت آنها ساب افیتیک و اینترگرانولار می باشد. کانی های اصلی آنها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن می‌باشد. پلاژیوکلازها شکل دار تا نیمه شکل دار، دارای زونینگ و ماکل پلی سنتتیک می‌باشند (شکل ۲-چ). پیروکسن ها شیری رنگ، نیمه شکل دار و دارای دو سیستم رخ عمود بر هم می باشند. آمفیبول ها نیز سبز تا قهوه ای رنگ، شکل دار تا نیمه شکل دار که بیشتر شامل ترمولیت و آکتینولیت

می‌باشد و در بین آنها احتمالا آمفیبول سدیک نیز دیده می شود. کانی های فرعی آنها نیز شامل کلریت و کانی های اپاک می باشد. بر طبق مطالعات مینرالوگرافی کانی های اپاک دایک های دیاباز شامل مگنتیت و پیریت می‌باشد که پرتوزایی خاصی نشان نمی دهد .

توده کوارتز دیوریت، این واحد سنگی به رنگ خاکستری تیره در شمال شرقی منطقه قرار دارد و قدیمی ترین فعالیت ماگمایی در منطقه می باشد(Haghipour, ۱۹۹۷)، ولی بر اساس این که درون لوکوگرانیت زریگان نفوذ کرده، باید از لوکوگرانیت زریگان جوانتر باشد. طبق مطالعات میکروسکوپی این توده کریستالین و دانه متوسط می باشد. کانی های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کوارتز می باشد. پلاژیوکلازها شکل دار با ماکل پلی سنتتیک که در بین آنها آلبیت نیز دیده می شود و به مقدار جزیی به کانی‌های رسی تبدیل شده اند. آمفیبول نیمه شکل دار و کوارتز نیمه شکل دار تا بی شکل با خاموشی موجی از دیگر کانی اصلی این توده می‌باشد (شکل۲-ح). این توده نیز پرتوزایی خاصی نشان نمی دهد. ولی به علت این که کانی آلبیت در مقاطع دیده می شود، احتمالا تحت تاثیر متاسوماتیسم قرار گرفته است .



شکل ۲-الف نمایی از واحدهای شمالی منطقه، ب تفکیک لوکوگرانیت و آلبیتیت به علت تفاوت رنگ، پ نمونه دستی از آلبیتیت های منطقه و کانی های اپاک آن، ت کانی آلبیت با ماکل صفحه شطرنجی، ث مقطع صیقلی از کانی های اپاک موجود در آلبیتیت ها، ج نمایی از دو روند دایک های دیاباز منطقه، چ مقطع نازک از دایک های دیاباز منطقه، ح مقطعی از توده کوارتز دیوریت موجود در منطقه

- روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

به منظور انجام مطالعات سنگ شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی حدود ۱۲۵ نمونه سنگی (۳۵ نمونه جهت تهیه مقطع نازک، ۲۳ عدد مقطع صیقلی، ۱۰ نمونه جهت آنالیز به روش پراش اشعه ایکس و حدود ۶۰ نمونه جهت آنالیز به روش فلوئورسانس اشعه ایکس از قسمت های مختلف منطقه بویژه نقاط کانی سازی شده برداشت و مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آن در زیر آمده است.

۳- نتایج

دگرسانی های موجود در سنگ های منطقه

از دگرسانی های موجود در منطقه می توان به هماتیتی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، سیلیسی شدن، کربناتی شدن و کائولینیتی شدن اشاره کرد.

هماتیتی شدن: مهمترین دگرسانی مرتبط با ذخایر اورانیوم هیدروترمال و متاسوماتیکی می باشد (Rich, ۱۹۹۷, Esmaily Vardanjani, ۲۰۱۲). در اثر ناپایداری کمپلکس کربناتی اورانیوم یون $(UO_2)^{2+}$ آزاد گردیده و می تواند با واکنش با Fe^{2+} موجود در محلول و یا کانی های فرومنیزین، بر طبق فرمول زیر کانی پرتوزای اورانیوم و هماتیت تولید نماید.

$$(UO_2)^{2+} + 2Fe^{2+} + 3H_2O \longrightarrow UO_2 + Fe_2O_3 + 6H^+$$

بنابراین توسعه این دگرسانی در رابطه مستقیم با زون های پرتوزای منطقه می باشد، به طوری که در منطقه هرجا توسعه دگرسانی هماتیتی شدن داریم، شدت پرتوزایی در آن محدوده بیشتر است.

کائولینیتی شدن: با غلبه شرایط اسیدی محلول، این دگرسانی توسعه می یابد. به دلیل ماهیت اسیدی محلول در طی دگرسانی، کانی های پرتوزای اورانیوم از محیط شسته شده و به همین علت در مناطقی که این دگرسانی را داریم، پرتوزایی خاصی نمی بینیم (Beskabadi et al., ۱۹۸۲, Naseri et al., ۲۰۱۴). سیلیسی شدن: با ورود محلول های سدیک به داخل سنگ، SiO_2 و K_2O از محیط شسته شده و SiO_2 شسته شده از داخل سنگ در فاصله دورتری رسوب می یابد. به دلیل خاصیت شدیدا اسیدی محلول های درگیر این نوع دگرسانی، اورانیوم از محیط شسته شده و لذا این زون پرتوزایی خاصی نشان نمی دهد.کلریتی شدن و اپیدوتی شدن که بیشتر مربوط به دایک های دیاباز منطقه می باشد، در اثر دگرسانی کانی

های فرومنیزین بوجود آمده است.کانه زایی اورانیوم و ارتباط با پدیده متاسوماتیسم براساس مطالعات فریچ (۱۹۸۶) سنگ های متاسوماتیک به سه دسته آلبیتیت های ماگمایی، آلبیتیت های اتومتاسوماتیک و آلبیتیت های متاسوماتیکی تقسیم می شوند. آلبیتیت های متاسوماتیکی خود شامل دو گروه آلبیتیت های ماگمایی پسین و آلبیتیت های غیر مرتبط با ماگماتیسم می باشند. براساس تیپ های ارائه شده فوق، رخساره های اورانیوم دار آلبیتیت شامل آلبیتیت های اتومتاسوماتیک همراه با نفوذی های آلکالن می باشد. متاسوماتیسم سدیم و تمرکز کانه های اورانیوم دار به طور همزمان با نفوذی های ماگمایی و یا کمی بعد از آن رخ می دهد. میزان اورانیوم از ppm ۱۰ < تا چند صد ppm و به طور محلی کمی بیش از ۱۰۰۰ ppm تغییر می کند (Dahlkamp, ۱۹۹۳).نهشته های اورانیوم متاسوماتیت براساس رخساره های سنگ به دو گروه گرانیت متاسوماتیت شده و متاسدیمنت های متاسوماتیت شده تقسیم می شوند، آلبیتیت ها، گرانیت ها و متاسدیمنت های متاسوماتیکی با آلبیت- اژرین، آلبیت- آرفدسونیت- اژرین و دیگر سیلیکات های سدیم همراه هستند(Dahlkamp, ۱۹۹۳). توزیع متاسوماتیت ها در طول زون های کاتاکلاستی در سنگ مادر رخ می دهد. گرانیت های متاسوماتیت شده، غنی شدگی در آلکالی ها،Al_2O_3, U, Th, Nb, REE را نشان می دهند. متاسوماتیسم سدیک بوسیله غنی شدگی در Na_2O و تهی‌شدگی در K_2O و SiO_2 مشخص می شود. در این تیپ کانسارها دگرسانی های آرژیلیتی شدن (معمولا به صورت ضعیف)، هماتیتی شدن (به صورت شدید) و کربناتی شدن دیده می شود. کانی های اصلی اورانیوم‌دار در این تیپ کانسارها شامل اورانینیت، اورانوتوریانیت، اورانوتوریت، توریت، ننادوویچیت، فازهای اکسیدی U-Ti (برانریت)، پیچ بلند و کوفنیت و کانی های فرعی نیز شامل: آلانیت، مونازیت، زنوتایم، زیرکن، آپاتیت، گالن، پیریت، مگنتیت می باشد (Dahlkamp, ۱۹۹۳).

همچنین برخی محققین دو تیپ اصلی کربنات متاسوماتیت و متاسوماتیت سدیک برای نهشته های اورانیوم متاسوماتیکی معرفی کرده اند(De Vivo, ۱۹۸٤). نهشته های اورانیوم سدیک (آلبیتیتی) در زون های متاسوماتیکی که در طول گسل های بزرگ وجود دارند، رخ می دهد. آلبیتیت های اورانیوم دار در گرانیت ها، گنیس ها، پگماتیت ها و نزدیک کنتاکت گسل ها یافت می شود. این نهشته ها و سنگ میزبان سنی مشابه (۲۰۰۰-۱۸۰۰ میلیون سال) دارند، در عمق کم تشکیل می شوند و به دماهای متوسط هیدروترمال مربوط هستند. در منطقه چاه جوله، محلول های متاسوماتیسم در راستای نقاط ضعف در سنگ نفوذ کرده اند و باعث تشکیل عدسی هایی از آلبیتیت های گوشتی رنگ در لوکوگرانیت شده اند و کانه زایی منطقه در ارتباط با این آلبیتیت‌ها می باشد. در منطقه ساغند نیز کانه زایی در ارتباط آلبیتزاسیون می باشد(Dimer and Yazdi., ۲۰۱٦). نکته قابل توجه آن است که در منطقه آلبیتیت های خاکستری و سفید رنگ نیز دیده می شود اما آنها از نظر کانی زایی عقیم هستند که این نشان دهنده وجود رابطه زایشی قوی بین کانی سازی و آلبیتیت های گوشتی رنگ می باشد که توسط محققین زیادی گزارش شده است(Wilde, ۲۰۱۳). طبق نتایج حاصل از تجزیه فلوئورسانس اشعه ایکس غنی شدگی از Na_2O و تهی شدگی از K_2O و SiO_2 را نشان می دهند. لوکوگرانیت زریگان یک گرانیت فقیر از کانی های فرومنیزین می باشد به همین علت در لوکوگرانیت زریگان فقط کانی آلبیت دیده می شود و پاراژنز آلبیت- اژرین- آرفدسونیت دیده نمی شود، اما در دایک های دیاباز که کانی های فرومنیزین وجود دارد، در اثر نفوذ محلول های سدیک برخی از آمفیبول ها به آمفیبول سدیک (آرفدسونیت) تبدیل شده اند. البته در کنتاکت لوکوگرانیت و دایک های دیاباز در مقاطع محدودی شاهد حضور اژرین- آرفدسونیت- آلبیت هستیم (Wilde, ۲۰۱۳). کانی های پرتوزا آلبیتیت ها شامل فازهای اکسیدی U- Ti (دیویدایت- تیتانومگنتیت) می باشد که به علت عدم دسترسی به آنالیز مایکروپروپ شناسایی دقیق آنها ممکن نیست. کانی های فرعی اورانیوم دار نیز شامل: مونازیت، زیرکن، آپاتیت می باشد. بنابراین طبق خصوصیات گفته‌شده طبق تقسیم بندی(Dahlkamp, ۱۹۹۳) آنومالی چاه جوله جز گرانیت های متاسوماتیت و طبق تقسیم بندی (De Vivo, ۱۹۸٤, Hajiler et al., ۲۰۰۱) جزو متاسوماتیت های سدیک می باشد.

برخی از پژوهش ها سنگ های متاسوماتیکی را با توجه به عمق تشکیل، دما و PH به ۹ رخساره تقسیم کرده‌اند(Bardina and Popov, ۱۹۹۲). در منطقه چاه جوله محلول های آلکالن مسبب اصلی متاسوماتیسم بوده اند. این محلول ها دمای بالایی داشته و غنی از Na, Fe- Ti, CO_2 و Mg هستند. کمپلکس‌های کربناتی از جمله $[UO_2(CO_3)]^{2-}$ و $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$ جز مهمترین کمپلکس های انتقال دهنده اورانیوم در این محلول ها می باشند، اما در محلول های متاسوماتیسم سدیک کمپلکس کربوکسی اورانیل سدیم اهمیت به سزایی در انتقال اورانیوم دارد. محلول فوق در مسیر حرکت خود و با رسیدن به زون های کاتاکلاستیکی منطقه دچار افت شدید

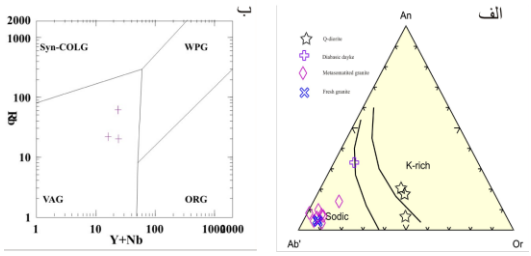
فشار شده و در نتیجه خروج گاز CO_2 و افت دما، کمپلکس کربوکسی اورانیل سدیم از حالت تعادل خارج گشته و شکسته می شود. بدین ترتیب CO_2 محلول در ترکیب با کلسیم تشکیل کلسیت داده و یون Na^+ آزاد شده طبق واکنش زیر جانشین K^+ در فلدسپات آلکالن شده و آلبیت را به وجود می آورد.

$$KAlSi_3O_8 \text{ (crys)} + Na^+\text{(sol)} \longrightarrow NaAlSi_3O_8\text{(crys)} + K^+\text{(sol)} \quad [۱۹]$$

تغییرات ژئوشیمیایی در این مرحله با غنی شدگی Na_2O و تهی شدگی K_2O و SiO_2 همراه است. در منطقه چاه‌جوله تشکیل آمفیبول و پیروکسن سدیک مربوط به این فاز می باشد. بنابراین پاراژنز کانیایی اصلی آن Alb+ Afd+ Agn می باشد و با کاهش دما، فازهای اکسیدی U-Ti همچون دیویدایت $[(Ca, La, U)_6 (Ti- Fe)_{15} (O-OH)]$ و تیتانومگنتیت در ادامه این فاز تشکیل می شوند. به این ترتیب براساس دیاگرام های (Bardina and Popvov, ۱۹۹۲) و با توجه به پاراژنز کانیایی موجود در آلبیتیت های منطقه، PH بین ۸-۷ و دمای ۵۰۰°C-۳۰۰ را می توان برای این فاز در نظر گرفت. محلول فوق در ادامه در واکنش با سنگ دیواره، خروج گاز CO_2 و کاهش دما خاصیت خنثی تا کمی اسیدی پیدا می کند. در این شرایط پاراژنز کانیایی اولیه به Alb+ Q+ Epi+ Chlo تغییر پیدا می کند. در پایان با کاهش قابل توجه PH و دما، دگرسانی های کائولینیتی و سیلیسی شدن سنگ دیواره را تحت تاثیر قرار می دهد. اورانیوم در کانسارهای اورانیوم تیپ متاسوماتیسم می‌تواند از سنگ میزبان منشا بگیرد و یا از منشا ماگمایی باشد (De Vivo et al., ۱۹۸۴) در منطقه مورد مطالعه نیز اورانیوم احتمالا توسط محلول های سدیک از داخل لوکوگرانیت زریگان شسته شده و در داخل همان سنگ به طور محلی ته نشست یافته است. دلیل این ادعا آن است که غلظت اورانیوم در سنگ های اسیدی بیشتر از سنگ های مافیک می باشد، بنابراین به طور طبیعی میزان اورانیوم در لوکوگرانیت زریگان بیشتر از دایک های دیاباز می باشد و گرچه دایک های دیاباز نیز تحت تاثیر متاسوماتیسم قرار گرفته است ولی پرتوزایی نشان نمی دهند، به همین دلیل منشا ماگمایی اورانیوم در مورد منطقه رد می شود.

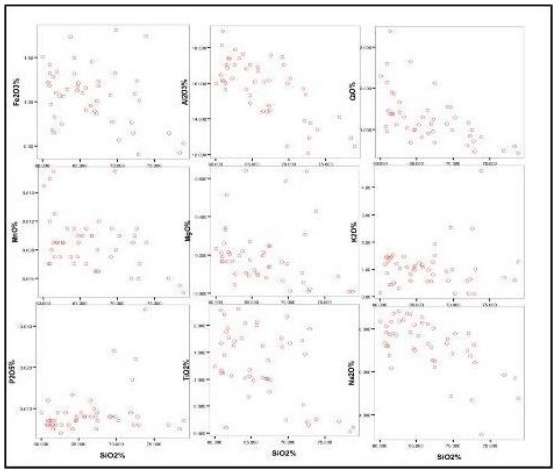
مطالعات ژئوشیمیایی

طبق نتایج حاصل از تجزیه حدود ۶۰ نمونه به روش فلوئورسانس اشعه ایکس، لوکوگرانیت زریگان یک سنگ لوکوکراتیک سیلیسی (SiO_2 W%: ۷۶,۹۴۴-۷۸,۹۳۶) پرآلومین(A>CNK) و سدیک می باشد (شکل ۳-الف) و طبق نمودارRb در برابر Y+ Nb محیط تکتونیکی آن مربوط به کمان های آتش فشانی(VAG) می باشد (شکل ۳-ب).



شکل ۳- الف جایگاه نمونه های برداشت شده در نمودار ایروین و باراگار(۱۹۷۱)، ب جایگاه تکتونیکی نمونه های لوکوگرانیت زریگان

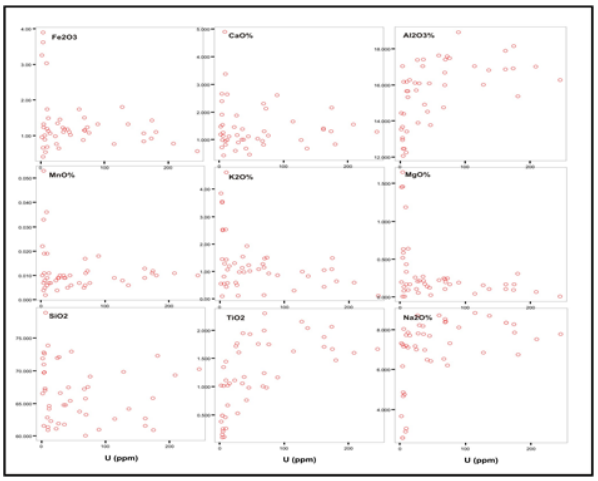
طبق نمودارهای هارکر اکسیدهای اصلی در مقابل سیلیس(شکل٤)، میزان $MnO, MgO, TiO_2, Fe_2O_3, Na_2O$ با افزایش مقدار سیلیس کاهش و میزان K_2O افزایش می یابد. از آنجا که Na^+ و K^+ هردو از عناصر ناسازگار و دارای خصوصیات ژئوشیمیایی تقریبا مشابه می باشند، انتظار می رود که هر دو عنصر با افزایش سیلیس افزایش یابند، ولیNa_2O رفتاری عکس را نشان می دهد که این امر تائید کننده پدیده متاسوماتیسم در منطقه و شاهد این مطلب است که با ورود محلول های سدیک به داخل سنگ SiO_2 از داخل سنگ شسته شده است.MnO, MgO نیز به دلیل این که در ساختمان کانی هایی که در ابتدای فرآیند تفریق تشکیل می شوند، شرکت کرده اند با افزایش روند تفریق و افزایش غلظت سیلیس، میزان آنها کاهش می یابند. TiO_2 وFe_2O_3 نیز به دلیل شرکت در ساختمان کانی تیتانومگنتیت هم بستگی منفی با سیلیس نشان می دهند.



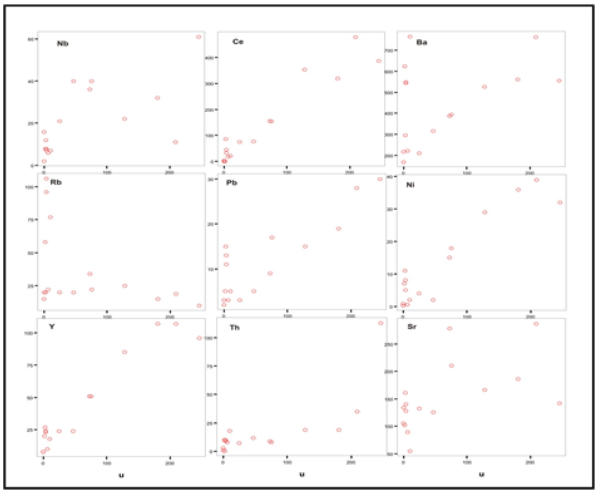
شکل٤- نمودار هارکر اکسیدهای اصلی در برابر سیلیس مربوط به نمونه های لوکوگرانیت زریگان

میزان اورانیوم نمونه های آلبیتیتی منطقه طبق نتایج حاصل از تجزیه به روش فلوئورسانس اشعه ایکس، ppm ۲٤٦-۲۵ می باشد، در حالی که میزان اورانیوم در لوکوگرانیت

زریگان حدود ppm ۷ می باشد. شکل(۵و۶) نمودارهای هارکر مربوط به اکسیدهای اصلی و عناصر در مقابل اورانیوم می باشد، این نمودارها هم بستگی مثبت و شدید اورانیوم با TiO_2, Na_2O, Ce, Th, Y, Ni, Nb و هم بستگی منفی با SiO_2, K_2O, Rb را نشان می‌دهند. چنین روندی در آنومالی شماره ٤ ساغند نیز گزارش شده است(Nourian et al., ۲۰۰۸) هم بستگی مثبت Na_2O با اورانیوم نشان دهنده ارتباط کانه زایی اورانیوم با Na_2O می باشد و همانطور که گفته‌شد کانه زایی اورانیوم در منطقه چاه جوله در ارتباط با آلبیتیت ها می باشد. هم بستگی مثبت Ce با اورانیوم را نیز می‌توان به حضور احتمالی کانی برانریت $(U, Ca, Ce)(Ti, Fe)_2O_6$ در منطقه نسبت داد. گرانیت‌های متاسوماتیت شده نسبت به عناصر نادر خاکی و Nb هم بستگی مثبت نشان می دهند، هم‌بستگی مثبت اورانیوم با Nb و Y نیز به همین علت است. هم بستگی منفی اورانیوم با K_2O و SiO_2، به علت شسته شدن K_2O و SiO_2 طی رخداد متاسوماتیسم و ته نشینی Na_2O به جای آنها، می باشد. Rb نیز به علت این که در کانی های پتاسیم دار جایگزین پتاسیم می شود، با شسته شدن پتاسیم از محیط طی فرآیند متاسوماتیسم، Rb نیز از محیط شسته شده و روند کاهشی نشان می دهد.

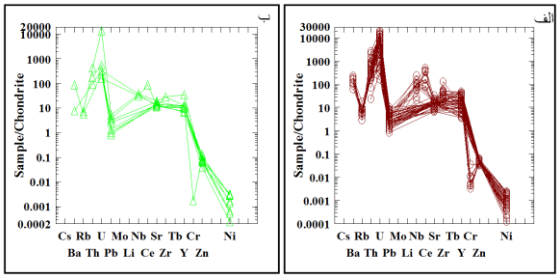


شکل۵- نمودارهای هارکر عناصر اصلی در برابر اورانیوم



شکل٦- نمودارهای هارکر عناصر در برابر اورانیوم

نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت، هم برای نمونه های مربوط به لوکوگرانیت و هم برای نمونه‌های مربوط به دایک های دیاباز، روند مشابهی را نشان می دهند که نشان دهنده منشا مشترک آنها می‌باشد(شکل۷-الف وب). این نمودارها غنی شدگی از Rb, Zn, Cr, Ba, Th, U, Nb, Sr, Zr و تهی شدگی از Pb را نشان می دهند. غنی شدگی از Ba, Th, U, Nb, Sr حاکی از دخالت پوسته قاره ای در تکوین ماگمای مولد و تهی شدگی از Zn و Cr به علت جدا شدن این عناصر در ابتدای فرآیند تفریق ماگمایی می باشد (Nourian et al., ۲۰۰۸).



شکل۷ الف- نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به کندریت (نمونه های مربوط به لوکوگرانیت زریگان)، ب نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به کندریت (نمونه های مربو ط به دایک های دیاباز)

راهکار زیست محیطی

در حال حاضر، روش های اصلی اصلاح معادن اورانیوم از کار افتاده، تضمین عدم تکثیر آلودگی است(قاسم شیرازی، ۱۴۰۱). روش های فیزیکی برای جداسازی منطقه آلوده برای جلوگیری از آسیب بیشتر به محیط اطراف استفاده می شود. حذف فیزیکی معمولی و شستشوی شیمیایی معمولاً گران است و به راحتی می تواند باعث آسیب ثانویه به محیط شود. گیاه پالایی اقتصادی و سازگار با محیط زیست است اما ناکارآمد و محدود به ظرفیت غنی سازی است (Gavrilescu et al., ۲۰۰۹). این عوامل، تجاری سازی چنین روش هایی را در

مقیاس وسیع دشوار می کند. آلودگی اورانیوم عمدتاً در آب های زیرزمینی متمرکز است .با توجه به تصفیه دشوار آب های زیرزمینی پس از آلودگی، تقویت حفاظت از آب های زیرزمینی در طول فرآیند استخراج ضروری است (Zheng et al., ۲۰۲۳). اقدامات را می توان در سه مرحله انجام داد. قبل از استخراج باید مشخصات هیدروژئولوژیکی و شاخص های شیمیایی آب های زیرزمینی در منطقه معدنی مورد بررسی دقیق قرار گیرد و بر این اساس برنامه احداث معدن و اهداف احیا تدوین شود .در طراحی حفاری معدن باید جهت جریان آب زیرزمینی و چیدمان چاه ها از بالادست به پایین دست در نظر گرفته شود که می تواند گسترش هاله آلودگی را به دو طرف کاهش دهد .در طول عملیات، حجم استخراج محلول لیچینگ باید بزرگتر از تزریق حلال در نظر گرفته شود .این می تواند منجر به فشار منفی در منطقه معدن شود و از انتشار آلاینده ها به بیرون جلوگیری کند .پس از اتمام معدن، باید یک سیستم مانیتورینگ در اطراف، به ویژه پایین دست، راه اندازی شود .یک برنامه پایش دوره ای باید برای تعیین محدوده انتشار هاله آلودگی تدوین شود(Zheng et al., ۲۰۲۳).

٤- نتیجه‌گیری

سنگ های منطقه دارای طیف ترکیبی لوکوگرانیت، کوارتز دیوریت و دایک های دیاباز می باشند. در اثر نفوذ محلول های آلکالن سدیک پست- ماگماتیک به درون بخش هایی از لوکوگرانیت که گسلی و خردشده هستند، فرآیند متاسوماتیسم سدیک رخ داده است. با نفوذ محلول های سدیک دما بالا در سنگ و جانشینی Na_2O در فلدسپات آلکالن و فرار K_2O و SiO_2 از آن، آلبیت، آمفیبول و پیروکسن سدیک تشکیل گردیده است، تشکیل کانی های پرتوزا در منطقه نیز به همین فاز مربوط است. از بین دگرسانی های موجود در منطقه، هماتیتی شدن با کانی زایی اورانیوم رابطه مستقیم دارد. مطالعات ژئوشیمیایی نیز تائید کننده رخداد متاسوماتیسم و کانی زایی اورانیوم در منطقه می باشد، به طوری که در نتایج حاصل از آنالیز نمونه های مربوط به آلبیتیت، میزان Na_2O و U بیشتر از لوکوگرانیت و میزان K_2O وSiO_2 کمتر از لوکوگرانیت را نشان می دهند. به طور کلی رخداد کانه زایی اورانیوم در منطقه چاه جوله را می توان با کانسارهای اورانیوم متاسوماتیسم آلبیتیتی پست- ماگماتیک در ارتباط دانست. معدن چاه چوله از لحاظ جغرافیایی در ناحیه خشک یا نیمه خشک با نفوذپذیری آبخوان ضعیف، سرعت جریان پایین آب زیرزمینی و شیب هیدرولیکی کم قرار دارند. شکل اصلی اورانیم در این کانسار اورانینیت، اورانوتوریانیت، اورانوتوریت، توریت، ننادوویچیت، فازهای اکسیدی U-Ti (برانریت)، پیچ بلند و کوفنیت و کانی های فرعی نیز شامل: آلانیت، مونازیت، زنوتایم، زیرکن، آپاتیت، گالن، پیریت، مگنتیت می باشد. شکل اصلی U در سنگ معدن UO_2 و در آب های زیرزمینی کربنات اورانیل است. با توجه به تصفیه دشوار آب های زیرزمینی تقویت حفاظت ضروری است. در حال حاضر توجه به اثرات زیست محیطی اورانیوم مراحل اولیه است. در آینده، محققان باید بر روی تأثیر معادن از کار افتاده بر محیطزیست، از جمله جمع‌آوری داده‌های بیشتر برای ارزیابی تصفیه و ارائه پشتیبانی داده‌های آماری برای بازیابی محیطزیست، تمرکز کنند.

منابع

- قاسم شیرازی، ب، ۱٤۰۱. اثرات زیست محیطی و بهداشتی استخراج اورانیوم، دومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب
- یزدی، م، خشنودی، خ، کاوند، م، آشتیانی، ع، ۱۳۸۷، اکتشاف ژئوشیمیایی رسوب های آبراهه ای اورانیوم در منطقه ناریگان استان یزد، نشریه :مجله علوم و فنون هسته ای، شماره ۱ ،دوره ٤، ۳۳-٤۲.

- Bardina N.Yu., Popov V.S., "Classification of metasomatic rocks and facies of shollow metasomatism". International Geology Review ۳٤ (۱۹۹۲) ۱۸۷-۱۹٦.
- Beskabadi A., Jalilian Tehrani H. "Uranium mineralization in connection with the occurrence of sodium metasomatism: radiological anomaly of Chah-e-Jouleh well (Central Iran) (in Persian)", Twenty-fifth Earth Science Conference, Tehran, ۲۰۰٦.ublishing Company, (۱۹۸۲) ٤۹۸ p.
- Dahlkamp F J., "Uranium ore deposit", Springer- Verlag, (۱۹۹۳) ٤٦۰ p.
- De Vivo B., Ippolito F., Capaldi G., Simpson P.R.,. "Uranium, geochemistary, mineralography, geology exploration and resources", Instituation of Mining and Metallurgy, London (۱۹۸٤) ٤۳-۸۸.
- Dimer P., Yazdi M., "Investigation of two types of metasomatism and mineralization of Fe-Ti-REE (U-Th) elements in Saghand region, Central Iran (in Persian)", ۳٤th Earth Sciences Conference, Tehran, ۲۰۱٦.

- Esmaily Vardanjani M., Shamsipour Dehkordi R., Mosaei F., Pazand K., "Uranium hydrogeochemical study in Ayrakan and Cheshmeh Shotori areas with emphesis on complexing agents and uranium minerals saturation index (in Persian)" , Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy ۲۰ (۲۰۱۲) ۳۱۹-۳۳۰.
- Gavrilescu, M.; Pavel, L.V.; Cretescu, I. Characterization and remediation of soils contaminated with uranium. J. Hazard Mater. ۲۰۰۹, ۱۶۳, ٤٧٥–٥١٠.
- Hajiler M., Marashi M., Noor Mohammadi M. "Preliminary exploration studies of Chah-e-Jouleh region (in persian)", Internal report of the Atomic Energy Organization.۲۰۰۱.
- Haghipour A., "Etude geologiqe de la region de Biabanak- bafgh (Iran Central), Petrologie et tectoniqe du scole Precambrian et de sa couverture": These, Universite scientifique et Medical de Grenoble, France (۱۹۹۷).
- Masoudi F., Jamshidi Badr M., Salehi Z., "Application of mineralogical and textural evidence for recognition of alkaline metasomatism in Dodebak granitoid stock (NE Mabalat) (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy ۱۵ (۲۰۰۷) ٤٥٣-٤٧٠.
- Naseri N., Mahmoudi Qaraei M.H., Ashrafi S., Bahreini Tusi M.T., Ghaemi F., Jahanbakhsh A., "Environmental investigation on radiation of Bauxite and Red Mud from bauxite processing in Jajarm Bauxite mine and calculation of red mud mixing ratio for using in construction material (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy ۲۱ (۲۰۱٤) ٦٧٧-٦٨٤.
- Nouri Khankhedani K., Sabzehi M. , "Geochemistry and geochronology of the Bondonogranite-gneiss (Bavanat, Fars) and comparison with central Iran granites (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy ۲۲ (۲۰۱٤): ۱۰۳-۱۱٤.
- Nourian Z., Yazdi M., Rasa A., Biscabadi A,. Ketabdari M., "Albite production in igneous rocks of Chah-e-Jouleh region (in Persian)", Journal of Basic Sciences, Azad University, ۸۱ (۲۰۱۱) ۱۲٥-۱٤۰.
- Nourian Z., Yazdi M., Rasa A., Biscabadi A., Ketabdari M "Geochemistry, mineralogy and genesis of uranium in Chah Jouleh region, Central Iran", Master Thesis, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, (۲۰۰۸)۱٤۰ p.
- Ramezani J., Tuker R., "The Saghand region Central Iran: U- Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics", American Journal of Science ۳۰۳ (۲۰۰۳) ٦٢٢-٦٦٥.
- Rich R. A., Holland H. D., Petersen U., "Hydrothermal uranium deposits", (۱۹۹۷) ۲٦٤p.
- Sharifi A, "Study of granitoids of Central Iran (Esfordi-Zarigan areas)(in Persian)" , Master Thesis, Department of Geology, Faculty of Science, University of Tehran, (۱۹۹۷) ۲۰۳ p.
- Seif R., Iranmanesh J., Ketabdari, M. R., "Collection and interpretation of geophysical and geochemical data for the exploration of radioactive materials in the anomalous area No. ٦ Saghand - Central Iran(in Persian)", Master Thesis, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahroud University of Technology, (۱۳۹۰)۱۲۰ p.
- Shmariovich Ye., Ashikhmin A. A., Modnikov I. S "Physicochemical of phase by phase nature of hydrothermal uranium process", International Geology Review (۱۹۹۰) ۷۳٤-۷٤٥.
- Wilde A.R., "Towards a model for albitite-type uranium". Minerals ۳ (۲۰۱۳) ۳٦p.
- Zheng, Fuxin, Yanguo Teng, Yuanzheng Zhai, Jingdan Hu, Junfeng Dou, and Rui Zuo. ۲۰۲۳. "Geo-Environmental Models of In-Situ Leaching Sandstone-Type Uranium Deposits in North China: A Review and Perspective" Water ۱٥, no. ٦: ۱۲٤٤. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱٥۰٦۱۲٤٤

Uranium mineralization in granitoids of Chah- Juleh area, Central Iran and its environmental solutions

Zahra Nourian Ramsheh[۱],Mohammad Yazdi[۲], Seyedeh Narges Sadati[۳*]

[۱,۲]– Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[۳*]– Associate professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

Introduction

Uranium is the main raw material for the production of nuclear energy. The development of nuclear energy significantly increases the extraction of uranium, therefore it is very important to pay attention to this metal and the environmental effects of its mining in our country. Iran's uranium deposits are mostly located in central Iran. Several deposits have been identified in this zone, one of which is the anomaly located ۱۷۰ kilometers northeast of Yazd city. Chah Juleh area is located in the northeast of Yazd city and in the east of the ۱:۱۰۰,۰۰۰ map of Ariz. It is bounded from the north by the Saghand desert, from the west by the Khashumi mountains, from the east by the Chadormello iron ore mine, and from the south by the Zarigan region (Figure ۱).The general morphology of the area is rocky and rough. This area was identified for the first time by aerial flights, during which two anomalies were identified in the north and south of the area. The anomaly in the south of the region was not followed due to the lack of surface outcrop.The development of nuclear energy will reach its peak in the next few decades. Since uranium is the main raw material of nuclear energy, the environmental problems caused by mining must be taken seriously by government agencies.

Methodology

In order to carry out lithology, mineralogy and geochemical studies, about ۱۲۵ rock samples (۳۵ samples for preparing thin sections, ۲۳ polished sections, ۱۰ samples for X-ray diffraction analysis and about ٦۰ samples for X-ray fluorescence analysis from the Different areas of the region, especially the mineralized points, were collected and studied **.**Among the alterations in the region, we can mention hematitization, chloritization, epidoteization, silicification, carbonateization, and kaolinization.Zarigan leucogranite in the studied area has been affected by Sodic metasomatism in some parts and has turned into albitite, these parts, which are seen in red color (Figure ۲-b, p), have radioactivity and sometimes with a scintillometer device show the radiation intensity of ۲۵۰۰ cps and their radiation is related to the opaque minerals in them. These opaque minerals form a dark red halo around the opaque mineral as a result of the radioactive decay, which can be seen in the hand sample and is one of the evidences of the radioactivity of these minerals (Figure ۲-P). Of course, white albitites can also be seen in the region, which do not show any special radioactivity.

According to petrographic studies, Zarigan leucogranite has a porphyry to granular texture, and the samples that have been affected by metasomatism have a coarse-grained granular texture. Its main minerals include: quartz, alkaline feldspar and plagioclase. Alkaline feldspar in Zarigan leucogranite includes perthite and microcline. In the samples affected by metasomatism, albite mineral was formed as a result of substitution instead of alkaline feldspar and calcic plagioclase. Albit with a checkerboard pattern is one of the specialties of Sodic's metasomatism.According to mineralogical studies, the opaque minerals of albitites include titanomagnetite-dividite (Figure ۲-e), which are named as U-Ti oxide phases, and their red color is due to the presence of iron oxide in the microfractures of the albite mineral. Among the secondary minerals found in leucogranite and albitites, we can mention zircon, monazite, sphene and rutile, which sphene and rutile are the result of alteration of opaque minerals.

At present, the main methods of remediation of decommissioned uranium mines are to ensure the non-proliferation of pollution (Gasem Shirazi, ۱٤۰۱). Physical methods are used to isolate the contaminated area to prevent further damage to the surrounding environment. Conventional physical removal and chemical washing are usually expensive and can easily cause secondary damage to the environment. Phytoremediation is economical and environmentally friendly, but inefficient and limited in enrichment capacity (Gavrilescu et al., ۲۰۰۹). These factors make it difficult to

commercialize such methods on a large scale. Uranium contamination is mainly concentrated in underground water. Considering the difficult treatment of groundwater after pollution, it is necessary to strengthen the protection of groundwater during the extraction process (Zheng et al., ۲۰۲۳).

According to the results of the analysis of about ۶۰ samples by X-ray fluorescence method, Zarigan leucogranite is a siliceous leucocratic rock (SiO_2 W%: ۷۶,۹۴۴-۷۸,۹۳۶), peraluminous (A>CNK) and sodic (Figure ۳-a) and according to the Rb diagram in Its tectonic environment is related to volcanic arcs (VAG) (Figure ۳-b). Environmental solution can be done in three steps. Before extraction, the hydrogeological characteristics and chemical indicators of underground water in the mining area are carefully examined and based on this, the mine construction plan and revitalization goals are established. In the mine drilling design, the direction of underground water flow and arrangement of wells from upstream to downstream should be considered, which can reduce the halo on both sides. During the operation, the extraction volume of the leaching solution should be considered larger than the solvent injection. This can lead to negative pressure in the area and prevent the release of pollutants. After completion, a monitoring system should be set up in the vicinity, especially downstream. A periodic monitoring program should be modified to determine the range of halo emissions (Zheng et al., ۲۰۲۳).

Conclusion

Chah- Juleh area is located in the northeast of Yazd city and in the central Iran zone. The local geological setting consists up Zarigan leucogranite, quartz diorite and diabasic dykes. The Zarigan leucogranite has pervasively influenced by Na- metasomatism and has converted to albitite. These albitites are main hosted of U mineralization. U mineralization consists of U- Ti Oxide phases (Dividite- Titanomagnetite). According to geochemical studies, albitites are enriched in alcalies, Al_2O_3, U, Th, Nb, and REE. Also, spider diagrams are shown enrichment in Ba, Th, U, Zr, Sr, Nb, Ce and depletion in zn, Cr, Ni, Rb, Pb, this enrichment reflect communion of continental crust in genesis of productive magma. Acording to field observations, petrography and geochemistry studies U- mineralization is supposed to be associated with late magmatic albitites. Uranium extraction, especially in dry weather conditions and poor drainage, can have environmental consequences, and environmental measures must be taken to prevent pollution.

Keywords

leucogranite; metasomatism; Uranium; Central Iran; environmental effects