

مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوشیمیایی عناصر پرتوزا در حوضه اورانیوم‌دار شمال غرب، محدوده اکتشافی کلیبر (۱) شمال اهر

جلیل ایرانمنش^{۱*}، حمید رحمانی^۲، حمید مداحی^۳

۱- استادیار گروه پژوهشی اکتشاف و استخراج، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای،

سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

۲ و ۳- کارشناس گروه پژوهشی اکتشاف و استخراج، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای،

سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

(*عهده دار مکاتبات - JIranmanesh@aeoi.org.ir)

چکیده

محدوده اکتشافی کلیبر (۱) در شمال شهرستان اهر، استان آذربایجان شرقی و در زون ساختاری البرز- آذربایجان قرار گرفته است. سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی تا آندزیتی با سن اوسن و توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی با فراوانی کمتر، سنگ‌های عمده در منطقه کلیبر را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های اخیر عمده کانی‌سازی را در خود جای داده است. محدوده کلیبر (۱) طی اکتشافات زمین‌شیمیایی ناحیه‌ای برگه اهر (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) به عنوان یک منطقه با پتانسیل کانی‌سازی معرفی شده است. در این پژوهش، مجموع ۸۰۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای برای عناصر U و Th و عناصر ردیاب مانند As, Nb, Bi, Mo, Pb, Cu, Fe, Co, Ni, Sr, Ce برداشت و به روش ICP تجزیه شد. محدوده کلیبر یک بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی است که در آن محتوای عناصر پرتوزای نمونه‌ها به طور غیرعادی بالاتر از مقدار زمینه می‌باشد. "مقادیر زمینه" برای عناصر U و Th 4.9 ppm و 22.4 ppm تعیین شد. صحت آنومالی‌های زمین‌شیمیایی با مشاهدات صحرائی تأیید شده است. مشاهده رگه‌های سیلیسی کانه‌دار همراه با دگرسانی گرمایی گسترده در گرانیت‌های میزبان کانی‌سازی، نقش سیال‌های گرمایی را در ایجاد ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی و بنابراین کانی‌سازی اورانیوم نشان می‌دهد. ارتباط نزدیک رگه‌های سیلیسی کانه‌دار با نمودهای ساختاری در منطقه، نشان می‌دهد که شکستگی‌ها احتمالاً به عنوان گذرگاهی برای نفوذ سیال‌های گرمایی حاوی اورانیوم عمل کرده‌اند. همبستگی بالای U و Th با عناصر Fe, Na, Cd و Nb, La می‌تواند نشانگر یک منشأ مشترک برای دو عنصر U و Th در منطقه باشد. با توجه به قابلیت بالای اورانیوم در مقابل فرایندهای هوازدگی و فرسوی و نفوذپذیری نسبتاً بالای سنگ‌های میزبان کانی‌سازی، کاوش برای وجود کانی‌سازی سوپرژن در منطقه می‌تواند امیدبخش باشد.

واژگان کلیدی: کلیبر، آنومالی، کانی‌سازی، اورانیوم، سیال‌های گرمایی، دگرسانی.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسایل جامعه بشری جهت ادامه حیات، پیشرفت و توسعه محیط اطراف خود تأمین انرژی است. در حال حاضر عمده‌ترین منبع تولید نیرو را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهند. با توجه به پایان پذیر بودن این منبع و آلودگی زیست محیطی ناشی از چرخه تولید و مصرف آن، لزوم تولید انرژی‌های نوین و جایگزینی آن‌ها به جای سوخت فسیلی و پرداختن به فناوری سوخت هسته‌ای به عنوان منبع نیرویی پاک، ارزان و نوین، بیش از پیش روشن می‌گردد. چرخه سوخت هسته‌ای سلسله فرآیندهای پیچیده‌ای است که اولین حلقه‌های آن را اکتشاف و استخراج اورانیوم تشکیل می‌دهد (قنادی مراغه، ۱۳۸۸). یکی از روش‌های اساسی جهت شناسایی و اکتشاف کانسارهای اورانیوم،

مطالعات ژئوشیمیایی است. تا به امروز، در بسیاری از نواحی ایران مطالعات و فعالیت‌هایی متعدد در راستای شناسایی و اکتشاف این ماده معدنی با ارزش صورت گرفته است. از این‌رو، در این مطالعه به شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر پرتوزا موجود در محدوده اکتشافی کلیبر I پرداخته شده است.

محدوده اکتشافی کلیبر I، در شمال شهرستان اهر واقع شده است و براساس نتایج حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر کشف و جهت ادامه اکتشافات در مقیاس بزرگتر معرفی گردیده است. این محدوده از نظر پهنه بندی تکنیکی در زون ساختاری البرز- آذربایجان قرار دارد (آقناباتی، ع، ۱۳۷۹). با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر از امامی (۱۹۹۹)، واحدهای رخنمون یافته در محدوده مورد بررسی مربوط به مزوزوئیک و سنوزوئیک بوده و قدیمی‌ترین واحد نیز به سن کرتاسه است. بخش اعظم محدوده اکتشافی توسط ولکانیک‌های ائوسن با ترکیب مختلف از ریولیت و داسیت تا آندزیت و بازالت پوشیده شده است. همچنین توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیتی و گرانودیوریتی با سن اولیگوسن به لحاظ فراوانی در رده دوم قرار دارند. در بررسی‌های ژئوشیمیایی اولیه مشخص شد که مقادیر عناصر پرتوزا در نمونه‌های برداشت شده از این محدوده بسیار بالا می‌باشد. در این پژوهش با بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه به لحاظ ژنز محتمل کانه‌زایی عناصر پرتوزا، یک شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی طراحی و سپس نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و دو منطقه امید بخش شناسایی و معرفی گردید.

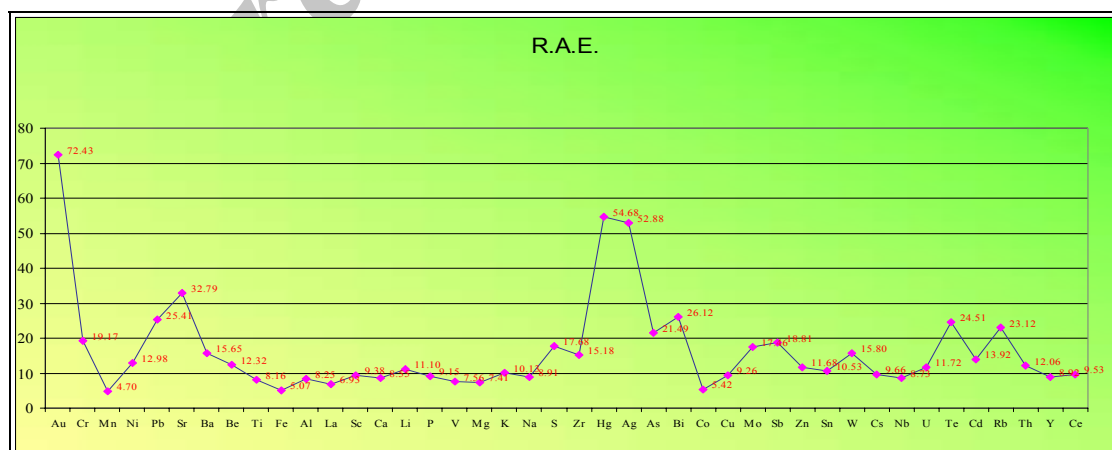
۲- روش مطالعه

بطور کلی هدف از بررسی‌های اکتشافات ژئوشیمیایی تعیین مناطق امید بخش برای مراحل بعدی اکتشاف می‌باشد. با در نظر گرفتن وسعت محدوده تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی به روش هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه نمی‌توانست مورد استفاده قرار گیرد. لذا محیط‌های در برگیرنده هاله‌های ثانویه تحت پوشش عملیات اکتشافی قرار گرفت. اساس این مطالعات بر بررسی هاله‌های پراکنده ثانویه عناصر در محیط‌های سطحی مانند خاک‌ها، آبرفت‌ها، رسوبات رودخانه‌ای، یخرفت‌ها، شیب رفت‌ها و غیره که ضمن هوازندگی سوپرژن کانسارها تشکیل می‌شوند استوار است. هاله پراکندگی ثانویه، منطقه ایست که در آن تمرکزهای غیر عادی از عناصر معینی که معرف کانی‌سازی می‌باشند وجود دارد. این منطقه شامل مواد سنگی سخت نشده‌ای است که رخنمون توده‌ای کانسار و حتی هاله‌های اولیه، آن را احاطه و یا می‌پوشاند. در ژئوشیمی اکتشافی به روش مطالعه هاله‌های ثانویه، بررسی رسوبات رودخانه‌ای جزء معمول‌ترین روش‌ها است و در حوضه‌های آبریز تحت شرایط آب و هوایی گوناگون به ویژه با بارندگی متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش هر نمونه می‌تواند معرفی از ترکیب شیمیایی مواد بالا دست خود باشد. به طور خلاصه پوشش وسیع یک نمونه، آسانی نمونه‌برداری و آماده‌سازی، سادگی اجرا و وجود هاله‌های پراکندگی وسیع از امتیازات مثبت این روش می‌باشد. بالا بودن احتمال آلودگی، تغییر وضعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها، فعال بودن پدیده رسوبگذاری مجدد در رسوبات رودخانه‌ای و در نتیجه مشکل شدن تفسیر داده‌ها و ارتباط آن‌ها با منبع تولید آنومالی از امتیازات منفی این روش است. برای توزیع بهینه نمونه‌ها و حصول نتایج مطلوب از داده‌های حاصل از هر نمونه، طراحی اولیه نقاط نمونه‌برداری بر اساس تعیین مرکز ثقل آبراهه‌ها بوده است. برای این منظور ابتدا نقشه آبراهه‌های ناحیه با توجه به نقشه توپوگرافی و عکس ماهواره‌ای تهیه شد. در مرحله بعد با توجه به اینکه روش مذکور تابع تعداد آبراهه‌های فرعی در یک حوضه آبریز است و از آنجا که برخی از آبراهه‌ها در نقشه‌های توپوگرافی مشخص نشده‌اند، لذا با در نظر گرفتن مقیاس کار و با تطبیق نقشه توپوگرافی و عکس‌های هوایی تا حد امکان شبکه نمونه‌برداری اصلاح گردید. در طی عملیات نمونه‌برداری پس از یافتن محل نمونه‌ها با استفاده از نقشه توپوگرافی، عکس‌های هوایی و GPS از نقاط تعیین شده بر روی نقشه و از جدیدترین رسوبات آبراهه‌ای، نمونه برداشت شد. با توجه به عرض کم آبراهه‌ها در ناحیه اکتشافی امکان برداشت جزء نمونه‌ها به صورت دایره‌ای نبود لذا به جمع‌آوری نمونه‌ها به صورت یکسری جزء نمونه از

نقاط مناسب برای تجمع رسوبات در فواصل چند متری تا چند ده متری در طول آبراهه اقدام گردید. پس از انجام عملیات نمونه‌برداری، کلیه نمونه‌های ژئوشیمیایی با الک ۸۰- مش غربال گردیدند و حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم از نمونه‌ها به منظور ارسال به آزمایشگاه آماده‌سازی شد. از بخش پودر شده، نمونه‌های مناسب انتخاب و برای آنالیز عناصر به آزمایشگاه زرآرما ارسال گردید. در این پژوهش ۸۰۱ نمونه برای آنالیز ۴۴ عنصر مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. برای بررسی دقت آنالیز به ازاء هر ۱۵-۱۰ نمونه ژئوشیمیایی یک نمونه تکراری (حدود ۱۰٪ کل نمونه‌ها) به صورت کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. بعضی از عناصر به علت دارا بودن مقادیر بالای سنسورد در نمونه‌های تکراری ممکن است که درصد خطای بالایی از خود بروز دهند، اما راه عملی بررسی خطای اینگونه عناصر استفاده از نمونه‌هایی است که عیار عنصر در آن‌ها ۱۰ یا ۱۵ برابر حد تشخیص دستگاهی باشد. لذا جهت محاسبه خطای نمونه‌های تکراری در این مطالعه از فرمول زیر استفاده شده است:

$$\% R.A.E. = \frac{2}{n} \sum \frac{|X_1 - X_2|}{X_1 + X_2} \times 100$$

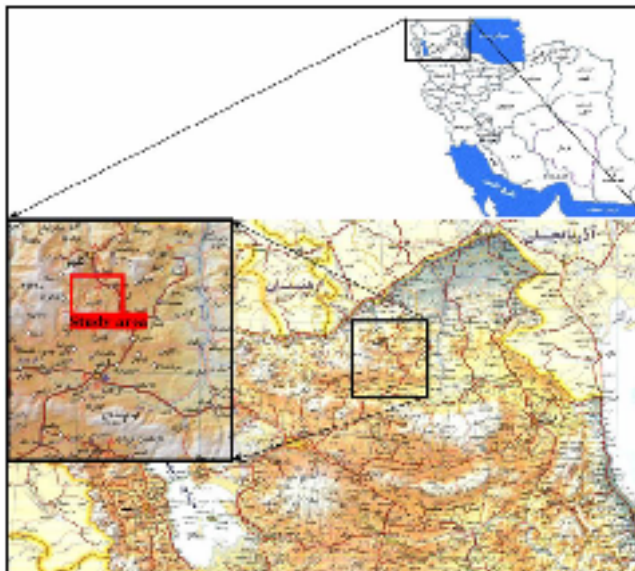
در این فرمول؛ %R.A.E (Relative Analytical Error) برابر با خطای نسبی، n تعداد نمونه‌ها و X_1 و X_2 مقادیر نمونه‌های اصلی و تکراری می‌باشند. بر این اساس کمترین خطا مربوط به عناصر Mn, Fe, Al, La, Sc, U, Ca, P, V, Cs, Cu, Co, Ce, Y, Nb, Mg, Na با حد زیر ۱۰٪ و بیشترین خطا مربوط به عنصر Au به مقدار ۷۲٪ است. در مورد عناصر Bi, Cr, Th, Ni, Pb, As میزان خطای آنالیز بین ۱۰ تا ۲۵ درصد می‌باشد (شکل ۱). عناصری که بیش از ۸۰٪ داده‌هایشان سنسورد بوده از پردازش حذف و عناصر دیگر مانند Au, Pb, S, Hg, Ag, Bi, Sb, Te, Cd، که مقدار داده‌های سنسورد آن کمتر از ۸۰٪ بود با مقدار ۳/۴ حد پایینی جایگزین شدند. ادامه نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی، با استفاده از نرم‌افزارهای مانند SPSS, Surfer و GIS مورد پردازش قرار گرفتند. علاوه بر تهیه نمودارهای انتشار عناصر، گروه‌بندی آنومالی‌ها با استفاده از پارامترهای آماری تهیه شده و در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. محاسبات تک متغیره شامل محاسبه پارامترهای آماری، رسم هیستوگرام‌ها، جدایش ناهنجاری‌ها و رسم نقشه‌های تک عنصری و چند متغیره شامل Correlation Matrix و همبستگی خطی Liner Correlation، آنالیز خوشه‌ای Cluster Analysis و محاسبات چند عاملی Factor Analysis نیز انجام شد.



شکل ۱: نمودار کنترلی خطای آنالیز

۳- موقعیت جغرافیایی

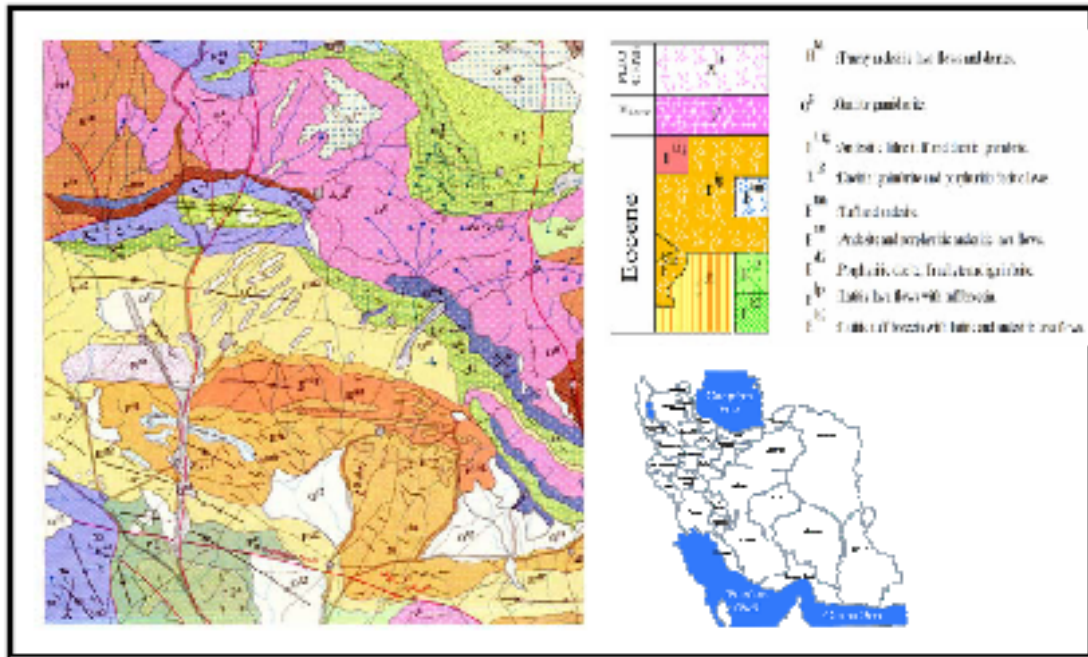
محدوده اکتشافی کلیبر (۱)، به لحاظ تقسیمات کشوری در استان آذربایجان شرقی و در شمال شرق شهرستان تبریز قرار گرفته است. این محدوده با وسعت ۱۶۰ کیلومترمربع در نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ آرپزان و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ قلندر و یوزبند واقع شده است. در (شکل ۲) موقعیت محدوده مطالعاتی مشخص شده است.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی کلیبر (منبع ۱)

۴- زمین‌شناسی

بیشترین وسعت محدوده اکتشافی مورد نظر توسط سنگ‌های ولکانیکی ائوسن پوشیده شده است. فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای است که به طور عمده دارای سن ائوسن میانی می‌باشند. این واحدها خود با سنگ‌های آتشفشانی لوتسین پیشین- ائوسن بالایی پوشیده شده‌اند. جنبش‌های کوهزایی پیرنه که در اواخر ائوسن و اوایل اولیگوسن رخ داده است تأثیر عمده‌ای بر زمین‌شناسی منطقه داشته که یکی از پیامدهای آن، گسترش محیط‌های خشکی و سنگ‌های متشکل از ریولیت، داسیت، آندزیت و تراکی آندزیت، لاتیت و بازالت است. فعالیت‌های آتشفشانی با فرآیندهای ماگماتیسم درونی دنبال شده که نتیجه آن تزریق توده‌های نفوذی آلکالن با سن الیگوسن میانی و ترکیب مختلف گرانیات تا سینیت (اشباع تا تحت اشباع) بوده است. تزریق این توده‌ها سبب ایجاد سیالات گرمایی در منطقه شده که نتیجه آن ایجاد آلتراسیون‌های گسترده در سنگ‌های ولکانیکی بوده است. طبق بررسی‌های زمین‌شناسی انجام شده در ورقه کلیبر توسط امامی (۱۹۹۹)، سه فرآیند اصلی موجب کانی‌سازی شده است. بخش عمده کانی‌سازی مربوط به فعالیت‌های نفوذی با ترکیب دیوریت تا گرانیات، در بخش غربی ورقه به صورت پدیده اسکارن و در جنوب کلیبر به صورت توده نفیلین سینیتی و همچنین در همبری واحدهای رسوبی آتشفشانی و توده‌های نفوذی می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه نیز رگه و رگچه‌های پگماتیستی متعددی قابل رویت است. (شکل ۳) نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی)

۵- بحث و بررسی

۵-۱- امکان سنجی کانه‌زایی عناصر پرنوزا

در بحث اکتشاف اورانیوم اولین نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود موقعیت محدوده مورد نظر به لحاظ قرارگیری در ایالات ژئوشیمیایی اورانیوم است. شاید بهترین ایالت مستند ژئوشیمیایی اورانیوم، ایالت بیر (Bear) در سیر کانادا باشد که تمرکز اورانیوم در ۱۲۰۰ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای آن به طور میانگین 5.3 ppm بوده است. اورانیوم‌دارترین بخش این ایالت دارای بستر گرانیتی است که شاید تا حدی غنی‌شدگی اورانیوم را توجیه کند. در این منطقه دو کانسار اورانیوم؛ پارت‌رادیوم (Part Radium) و ری‌راک (Ray Rock) وجود دارند. مثال‌های مشابه و متعددی را می‌توان در روم‌جانگل (Rum Jungle) استرالیا، سنگ‌های گرانیتی ماسیف سنترال فرانسه، سنگ‌های گرانیتی در نزدیکی کانسارهای رگه‌ای در کرنوال (Cornwall) در انگلستان و... نام برد (DuLetian et al., 1990). بنابراین بالا بودن میزان زمینه اورانیوم اولین و مهمترین پارامتر اکتشافی این عنصر است. حتی درصد کم اورانیوم به صورت محلول می‌تواند در مراحل آخر فرآیندهای ماگمایی یا بعد از آن به آسانی متحرک و زمینه ساز کانه‌زایی اورانیوم شود.

کانسارهای اورانیوم همراه با نفوذی‌های اسیدی در واقع با گرانیت‌هایی همراه هستند که ریشه عمیقی در لیتوسفر دارند. در مقابل، بعضی شواهد دیگر نشان می‌دهند که تشکیل کانسارهای گرمابی اورانیوم در مقایسه با تشکیل گرانیت‌ها، ثانویه بوده و مستقل از پترولوژی گرانیت‌ها به وجود آمده است. تشکیل کانسارهای گرمابی اورانیوم حاصل تمرکزهای اولیه اورانیوم می‌باشد. فراگردهای اصلی کانی‌سازی اورانیوم شامل ۱- پرمایگی چینه‌ای U که مهمترین پیش شرط برای کانی‌زایی ناحیه‌ای اورانیوم می‌باشد ۲- انتقال و تمرکز در ماگما و توده‌های ماگمایی ۳- تمرکز در زون‌های آلتراسیون ۴- غنی‌شدگی اقتصادی در رگه‌ها است. توده گرانیتی بارور با چند مرحله‌ای بودن نفوذ و دارا بودن چندین رویداد نفوذی مثل توده نفوذی اصلی، نفوذی‌های فرعی و نفوذ دایک‌های رگه‌ای در هر دوره مشخص می‌شوند. کمپلکس موجود در اثر تفریق کامل ماگمایی بوجود می‌آید و تحت تأثیر اتومتامورفیسم و آلومتامورفیسم شدید قرار می‌گیرد و ساختمان داخلی باتولیت به دلیل نفوذ چند دوره‌ای بسیار پیچیده است در نتیجه کنتاکت بین توده‌های گرانیتی مختلف و رگه‌های سیلیسی و آپلیتی ممکن است تله‌های خوبی برای جادادن

کانسارهای اورانیوم باشند. تعداد زیادی رگه‌های کوارتزی بزرگ و زون‌های عظیم سیلیسی شده هم درون گرانیتهای بارور قرار دارند. این رگه‌ها و زون‌ها در برگیرنده شبکه ساختمانی اصلی کانسارهای اورانیوم هستند و درون آن‌ها رگه‌های کوارتزی و زون‌های سیلیسی شده فرعی‌تری در اندازه‌های متوسط و کوچک وجود دارد. گرانیتهای حوضه‌های اورانیوم معمولاً خرد شده هستند و دچار دگرسانی‌های گرمابی هیدرومیکایی، پیریتی، کلریتی شده‌اند. این گرانیتهای از نظر توزیع اورانیوم و شدت پرتوزایی ناهمگن هستند. با توجه به مطالب ذکر شده در مورد کانسارهای گرمابی همراه با نفوذی‌های گرانیتهای و به دلیل شباهت‌های بسیار زیاد کانی‌سازی منطقه در همراهی با واحدهای گرانیتهای با منشأ پوسته‌ای (رجوع به بخش زمین شناسی) و همچنین بر اساس وجود آلتراسیون‌های موجود در منطقه و نوع کانی‌سازی که همگی شباهت زیادی با کانسارهای گرمابی همراه با نفوذی‌های اسیدی دارند می‌توان گفت که منطقه از لحاظ کانی‌سازی عناصر پرتوزا بسیار مستعد است.

۵-۲- بررسی‌های ژئوشیمیایی

در این پژوهش هدف از بررسی‌های ژئوشیمیایی، تعیین پتانسیل کانی‌سازی به صورت زون‌های آنومال در واحدهای مختلف سنگی است که بر اساس تجزیه نمونه‌های آبراه‌های طراحی گردیده است. با در نظر گرفتن وسعت محدوده تحت پوشش، اکتشافات ژئوشیمیایی به روش هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لذا محیط‌های در برگیرنده هاله‌های ثانویه، تحت پوشش عملیات اکتشافی قرار گرفت. اساس این مطالعات بر بررسی هاله‌های پراکنده ثانویه عناصر در محیط‌های سطحی مانند خاک‌ها، آبرفت‌ها، رسوبات رودخانه‌ای، یخرفت‌ها، شیب رفت‌ها و غیره که ضمن هوازگی سوپرژن کانسارها تشکیل می‌شوند، استوار است. پس از طراحی شبکه اکتشافی بر اساس آبراه‌ها و واحدهای سنگی، در مجموع ۸۰۱ نمونه از منطقه برداشت شد که برای U و Th و سایر عناصر ردیاب مانند As, Nb, Bi, Mo, Pb, Cu, Fe, Co, Ni, Sr, Ce و... به روش ICP مورد تجزیه قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی، با استفاده از نرم‌افزارهایی همچون SPSS، Surfer و GIS مورد پردازش قرار گرفت. علاوه بر تهیه نمودارهای انتشار عناصر، گروه‌بندی آنومالی‌ها با استفاده از پارامترهای آماری تهیه شده و در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. محاسبات تک متغیره شامل محاسبه پارامترهای آماری، رسم هیستوگرام‌ها، جدایش ناهنجاری‌ها و رسم نقشه‌های تک عنصری و چند متغیره شامل Correlation matrix نیز انجام شد. در جدول‌های (۱ و ۲) پارامترهای آماری داده‌های خام بعضی از عناصر مهم آورده شده است.

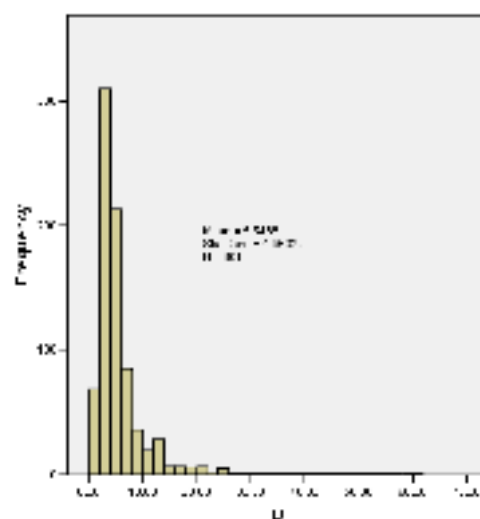
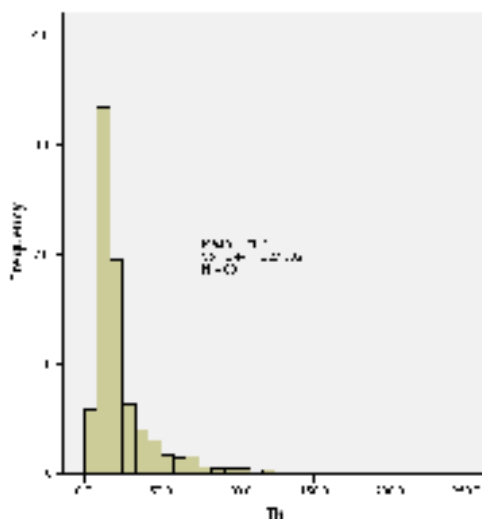
بر اساس هیستوگرام‌های ترسیم شده برای عناصر U و Th (شکل ۴)، میانگین اورانیوم در نمونه‌های تجزیه شده 4.9 ppm است که می‌توان گفت مقدار زمینه بالا و مطلوبی در منطقه می‌باشد. این مقدار برای توریوم 22.4 ppm است. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود اورانیوم با عناصر Fe, Na, Cd, Nb, La و Th همبستگی بالایی نشان می‌دهد. همبستگی بسیار بالای اورانیوم با توریوم نیز نشانه منشاء و زایش مشترک این دو عنصر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همبستگی با آهن را می‌توان به وجود اورانیوم در ساختار کانی‌های آهن‌دار مرتبط دانست که البته این موضوع خود به مطالعات کانی‌شناسی دقیق‌تری نیاز دارد. همبستگی سرب با عناصر Ag, Cd, Zn, Co نیز می‌تواند نشانگر وجود رگه‌های سرب و روی با نقره و کادمیوم بالا باشد که با توجه به مقادیر این عناصر و لیتولوژی منطقه، چندان دور از انتظار نیست. در شکل (۵) هیستوگرام فراوانی برخی عناصر مهم به همراه منحنی نرمال آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای آماری داده‌های خام

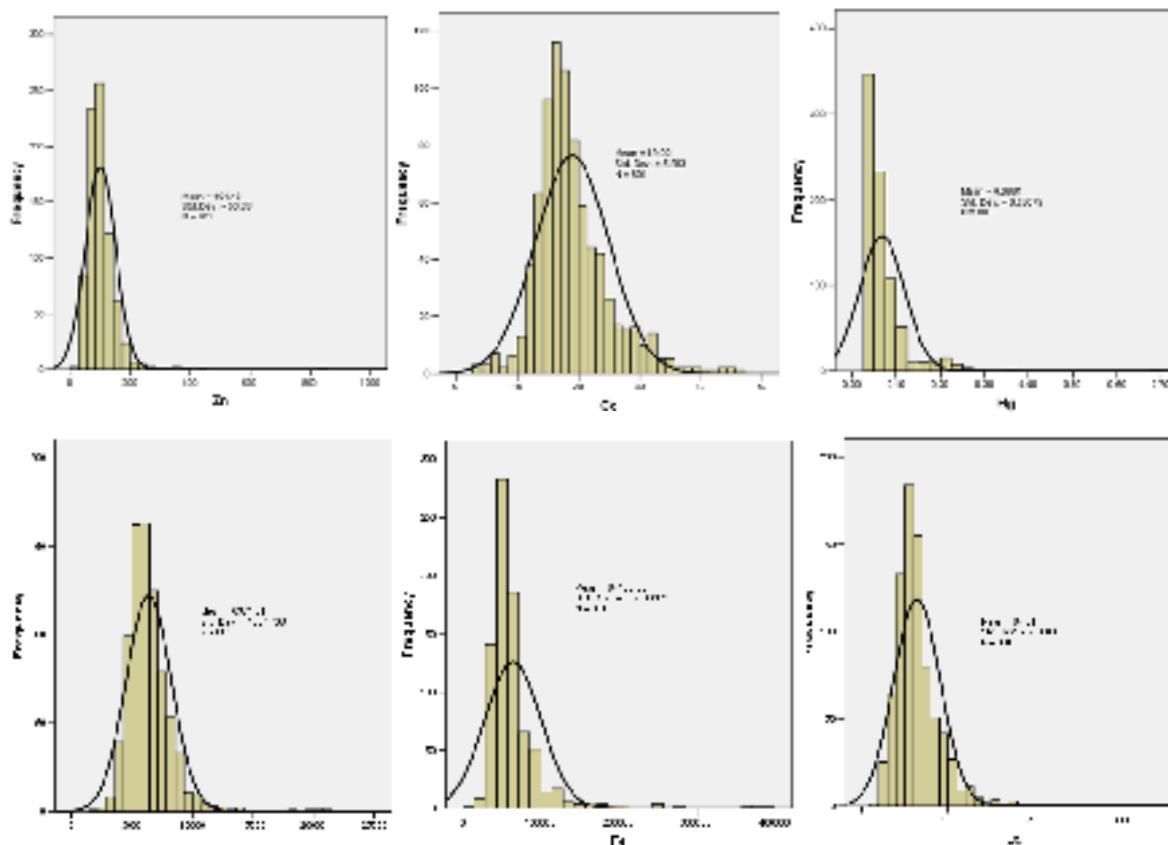
Statistics		Nb	U	Th	Ce	Ni	Pb	Bi	Co	Cu	Mo	Zr	Ag	As
N	Valid	801	801	801	801	801	801	801	801	801	801	801	801	801
	Missing	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mean		24.73	5.54	24.28	119.46	29.23	26.74	0.98	19.02	113.00	4.10	90.67	0.48	30.60
Median		22.8	4.19	16.8	112	27	20.5	0.6	17.8	67.2	3.5	71	0.39	24.7
Mode		22.4	3.410(a)	15.4	116	20	15.5	0.2	17.000(a)	54.300(a)	3.8	31	0.31	5.5
Std. Deviation		9.45	4.96	22.44	43.33	15.72	22.62	4.48	5.98	788.84	3.25	71.15	0.53	24.20
Variance		89.28	24.63	503.47	1877.81	246.98	511.74	20.06	35.79	622263.29	10.57	5062	0.28	585
Skew ness		1.218	4.043	3.753	2.477	1.443	4.103	26.084	1.159	27.888	8.261	2.406	11.071	1.264
Kurtosis		2.834	27.571	22.228	11.969	3.697	25.552	714.453	2.629	785.152	133.978	10.463	162.684	1.52
Minimum		4.9	0.91	4.02	28.1	2	0.15	0.1	3.3	9.5	0.5	9	0.008	2.3
Maximum		78	61.3	232	473	107	229	124	46.9	22300	62.8	637	8.86	142
Percentiles	25	18.55	2.88	12.55	18	15.35	0.3	15.2	51.3	2.4	0.29	11.2	425.5	93.75
	50	22.8	4.19	16.8	27	20.5	0.6	17.8	67.2	3.5	0.39	24.7	603	112
	75	29.4	6.16	26.85	38	30.5	0.9	21.7	91.2	4.9	0.54	41.85	786.5	135

جدول ۲: ضرایب همبستگی بین عناصر مهم

	Pb	Fe	La	Na	Hg	Ag	Bi	Co	Nb	U	Cd	Th
Pb	1	-0.091	-0.292	-0.260	-0.044	0.016	0.020	0.58	-0.258	-0.216	0.822	-0.204
Fe	-0.091	1	0.432	0.013	0.169	0.077	0.096	0.548	0.387	0.571	-0.133	0.530
La	-0.292	0.432	1	0.451	0.195	0.295	0.276	0.170	0.776	0.677	-0.298	0.636
Na	-0.260	0.013	0.451	1	0.047	-0.094	0.006	-0.173	0.510	0.327	-0.303	0.417
Hg	-0.044	0.169	0.195	0.047	1	0.048	0.056	0.174	0.136	0.193	-0.036	0.160
Ag	0.016	0.077	0.295	-0.094	0.048	1	0.543	0.159	0.098	0.137	0.071	0.002
Bi	0.020	0.096	0.276	0.006	0.056	0.543	1	0.125	0.001	0.189	0.039	0.050
Co	-0.058	0.548	0.170	-0.173	0.174	0.159	0.125	1	0.079	0.155	0.055	0.096
Nb	-0.258	0.387	0.776	0.510	0.136	0.098	0.001	0.079	1	0.716	-0.292	0.720
U	-0.216	0.571	0.677	0.327	0.193	0.137	0.189	0.155	0.716	1	-0.248	0.931
Cd	0.822	-0.133	-0.298	-0.303	-0.036	0.071	0.039	0.055	-0.292	-0.248	1	-0.258
Th	-0.204	0.530	0.636	0.417	0.160	0.002	0.050	0.096	0.720	0.931	-0.258	1



شکل ۴: هیستوگرام فراوانی عناصر اورانیوم و توریوم



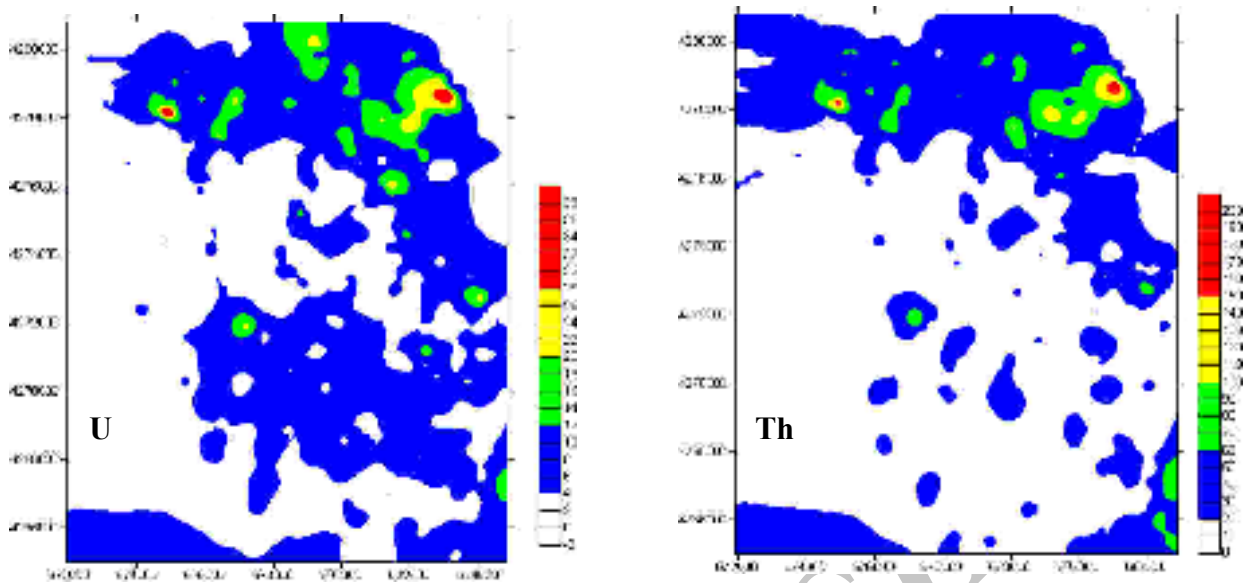
شکل ۵: هیستوگرام فراوانی بعضی از عناصر مهم

۵-۳- برآورد آنومالی‌های ژئوشیمیایی

در این پژوهش برای تعیین آنومالی‌های عناصر از روش حد آستانه‌ای استفاده شده است. بدین ترتیب که مقدار میانه به علاوه انحراف معیار مبنای تعیین آنومالی در نظر گرفته شده است (جدول ۳). بر این اساس نقشه ژئوشیمیایی اورانیوم منطقه مطالعاتی ترسیم گردید که نتایج جالبی در بر داشت. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود محدوده آنومالی‌های اورانیوم منطبق بر واحد گرانیتهی است. پس از رسم نقشه آنومالی‌ها و تهیه نقشه‌های چند عنصری و نهایتاً انطباق آن‌ها با هم، دو محدوده امید بخش برای عناصر پرتوزا در شمال و شمال غرب منطقه مورد مطالعه مشخص گردید و در مراحل بعدی جهت کنترل آنومالی‌ها مورد بازدید صحرایی قرار گرفت (شکل ۷).

جدول ۳: روش حد آستانه‌ای در برآورد آنومالی‌های عناصر

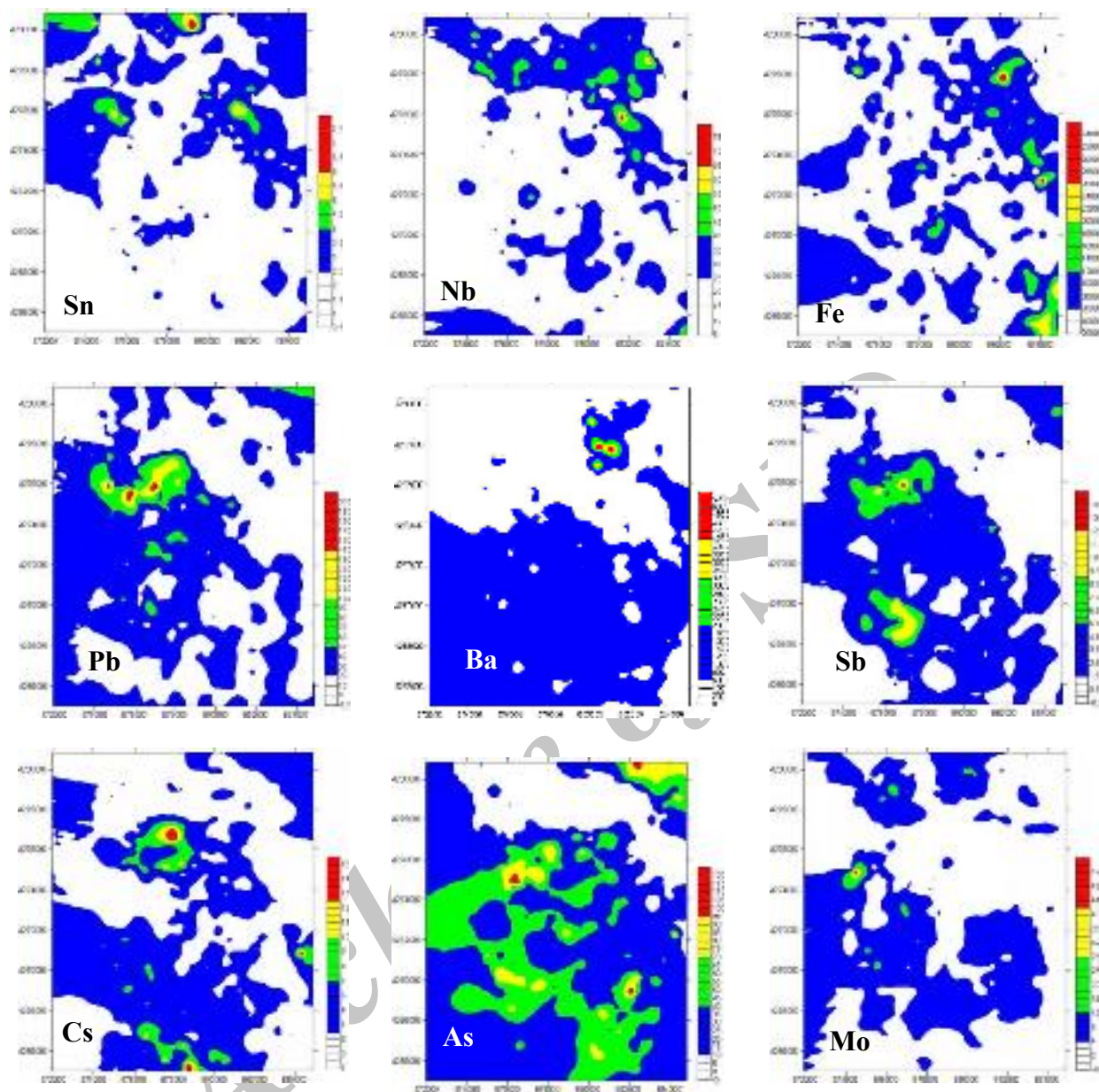
\bar{X}	مقادیر زمینه
$\bar{X} + S$	مقادیر حد آستانه‌ای
$\bar{X} + 2S$	مقادیر آنومالی ممکن
$\bar{X} + 2S <$	مقادیر آنومالی احتمالی
$\bar{X} + 3S <$	مقادیر آنومالی قطعی



شکل ۶: نقشه ژئوشیمیایی اورانیوم و توریوم (بر حسب ppm). آنومالی‌های اورانیوم و توریوم بیشتر در شمال شرقی محدوده قرار دارند که محل رخنمون واحدهای گرانیتی است.

۶- عملیات صحرائی و کنترل آنومالی‌ها

پس از انجام بررسی‌های ژئوشیمیایی و رسم نقشه‌های چند عنصری و تلفیق آن‌ها با داده‌های زمین‌شناسی، چند نقطه جهت کنترل زمینی انتخاب و مورد پیمایش قرار گرفت. همانطور که در شکل‌های (۸ و ۹) ملاحظه می‌شود در بازدید صحرائی صحت آنومالی‌های ژئوشیمیایی با مشخص شدن رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌سازی سولفیدی و آلتراسیون گرمابی گسترده تأیید گردید. بدین ترتیب، می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه مستعد وجود کانسارهای گرمابی اورانیوم می‌باشد. تابعیت کانی‌سازی سولفیدی از شکستگی‌های موجود و امتداد گسل‌های منطقه و زون‌های برشی نشان دهنده نفوذ سیالات کانی‌ساز در مناطق کم فشار است (شکل ۱۰). جهت بررسی‌های بیشتر چند نمونه از رگه‌های سیلیسی و آلتراسیون‌های موجود در منطقه برای آنالیز ژئوشیمیایی برداشت گردید که میزان اورانیوم آن‌ها بین 50-80ppm بدست آمده است. همچنین نمونه‌های برداشت شده جهت مقطع صیقلی کانه‌زایی مگنتیت و کالکوپیریت را نشان می‌دهد (شکل ۱۱). بر اساس مطالعات انجام شده آلتراسیون‌های گرمابی گسترده، رگه و رگچه‌های سیلیسی در سنگ‌های گرانیتی، کانه‌زایی سولفیدی فلزات پایه و... پدیده‌های زمین‌شناسی غالب در منطقه هستند. بنابراین به نظر می‌رسد عنصر اورانیوم در یک فاز فیزیکی ژئوشیمیایی در کانی‌های مذکور تشکیل و برای تعیین فاز شیمیایی و کانی‌شناسی نیاز به مطالعات عمقی‌تر و آنالیزهای دقیق‌تر به روش میکروپروب دارد. شایان ذکر است اورانیوم عنصری است که به شدت به هوازدگی و فرسایش حساس بوده و با توجه به هوازدگی و تخلخل قابل توجه رگه‌ها به نظر می‌رسد که بررسی‌های عمقی و شناسایی زون‌های سوپرژن در منطقه مناسب باشد. برای ادامه اکتشاف حفر ترانشه و بررسی‌های عمقی‌تر به منظور بررسی دقیق کانه‌زایی اورانیوم در منطقه پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۷: نقشه ژئوشیمیایی برخی عناصر مهم (بر حسب ppm). همانطور که مشاهده می‌شود آنومالی‌های ژئوشیمیایی اکثر عناصر با هم انطباقی نسبی دارند



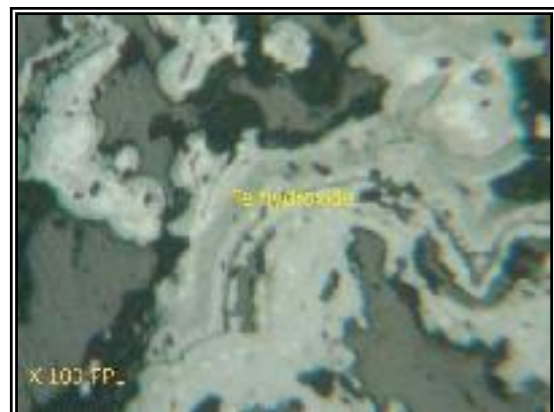
شکل ۹: آلتراسیون های آرژیلیکی گسترده در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸: رگه‌های سیلیسی حاوی اکسید آهن در واحد گرانیتی



شکل ۱۰: آلتراسیون و کانه‌زایی در امتداد گسل و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های گرانیتی منطقه



شکل ۱۱: مقاطع صیقلی رگه‌های سیلیسی کانه‌دار

۷- نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات انجام شده و هیستوگرام‌های ترسیم شده برای عناصر U و Th، میانگین اورانیوم در نمونه‌های تجزیه شده 4.9 ppm بدست آمد که می‌توان گفت زمینه مطلوبی برای این عنصر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

این مقدار برای تورنیوم 22.4 ppm است. همچنین در تحلیل‌های آماری صورت گرفته، مشخص شد که اورانیوم با عنصر Th و عناصر Fe, Na, Cd و La, Nb, Cd همبستگی بالایی داشته که همبستگی اورانیوم و تورنیوم می‌تواند نشانه منشأ و زایش مشترک این دو عنصر در منطقه باشد. همبستگی با آهن را می‌توان به وجود اورانیوم در ساختار کانی‌های آهن‌دار مرتبط دانست که البته این موضوع خود به مطالعات کانی‌شناسی دقیق‌تری نیاز دارد. همبستگی سرب با عناصر Ag, Cd, Zn, Co نیز می‌تواند نشانگر وجود رگه‌های سرب و روی با نقره و کادمیوم بالا باشد که با توجه به مقادیر این عناصر و لیتولوژی منطقه، چندان دور از انتظار نیست. در بازدیدهای صحرایی و نمونه برداری‌های سنگی صورت گرفته از مناطق آنومال، صحت آنومالی‌های ژئوشیمیایی تأیید گردید. رگه‌های سیلیسی آلترا شده و کانه‌دار، آلتراسیون گرمایی گسترده به همراه ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی منطبق بر واحد گرانیته با منشأ پوسته‌ای از شواهد وجود کانسارهای گرمایی اورانیوم در منطقه هستند. همچنین تابعیت فازهای کانی‌سازی سولفیدی موجود در رگه‌های سیلیسی حاوی عناصر پرتوزا از روند ساختاری منطقه و همبستگی عناصر U و Th با فلزات موجود در این کانی‌ها همگی مؤید این نظر است که عنصر اورانیوم در یک فاز فیزیکی‌شیمیایی در کانی‌های سولفیدی تشکیل گردیده است. محدوده آنومالی‌های اورانیوم منطبق بر واحد گرانیته است. پس از رسم نقشه آنومالی‌ها و تهیه نقشه‌های چند عنصری و نهایتاً انطباق آن‌ها با هم، دو محدوده امید بخش برای عناصر پرتوزا در شمال و شمال غرب منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. همچنین تابعیت کانی‌سازی سولفیدی از شکستگی‌های موجود و امتداد گسل‌های منطقه و زون‌های برشی نشان دهنده نفوذ سیالات کانی‌ساز در مناطق کم فشار است. شایان ذکر است اورانیوم عنصری است که به شدت به هوازگی و فروشویی حساس بوده و با توجه به هوازگی و تخلخل قابل توجه رگه‌ها به نظر می‌رسد که بررسی‌های عمقی و شناسایی زون‌های سوپرژن در منطقه مناسب باشد.

۸- منابع

۱. امامی، م.ه.، ۱۳۷۹، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلپیر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲. ایرامنش، ج. و قنبری، ی.، ۱۳۸۲، مقایسه دو روش محاسبه میانگین، انحراف معیار و روش محاسبه میانه و درصد‌های فراوانی تجمعی جهت جدایش زمینه از آنومالی، گزارش اکتشافی سازمان انرژی اتمی ایران.
۳. حسنی‌پاک، ع.، ۱۳۷۰، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۹۸۰ صفحه.
۴. قنادی مراغه، م.، ۱۳۸۸، چرخه سوخت هسته‌ای، انتشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران.
۵. گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلپیر، ۱۳۸۱، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۴۰۰ صفحه.
6. Arthure, W.R. and Robert, J.W., 1999, Uranium exploration model, Congress publication.
7. Barton, M.D. and Johnson, D.A., 1996, An evaporitic – source model for igneous – related Fe oxide (- REE-Cu-Au-U) mineralization: Geology. Vol. 24, PP. 259-262.
8. Daliran, F., 1990, The magnetite – apatite deposit of Mishdovan, East Central Irna, and alkali rhyolite hosted “Kiruna type” occurrence in the Infracambrian Bafq metallotect, Heidelberg Geowissenschaftliche Abhandlungen 37, P. 248.
9. DuLetian, Essential features of ore formation with particular reference to alkaline metasomatism, th IAGEOD Symposium, pp.
10. NEA-OECD; Uranium : Resources, Production and Demand; A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, Vienna, pp.