



شناسایی مناطق امیدبخش کانه‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی در حوضه ارومیه - نرده - مهاباد، شمال باختری ایران

محمد رضا هزاره*

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴، پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۷

چکیده

حوضه ارومیه - نرده - مهاباد، گستره‌ای از حوضه آبریز جنوب و باختر دریاچه ارومیه است که بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و حاشیه شمالی استان کردستان را پوشش داده است. پژوهش حاضر، تلفیقی از داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، دورسنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوایی برای دسته‌بندی حوضه‌های مستعد مرتبط با کانی‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی در ایران است. با توجه به وجود عوامل مثبت از قبیل سنگ منشأ، سنگ میزبان و الگوی هیدروژئولوژیکی این حوضه می‌تواند یکی از حوضه‌های مناسب برای تشکیل کانه‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی باشد. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی از نظر وجود سنگ منشأ، سنگ میزبان، محیط زمین‌ساختی، محیط رسوب‌گذاری، ویژگی‌های ژئوتکتونیک و غیره، منطقه مورد بررسی به سه زیر حوضه تحت عنوان حوضه‌های مستعد^۱، امیدبخش^۲ و احتمالی^۳ برای کانه‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی شناسایی و برای پژوهش‌های میدانی و در فازی پیشرفته‌تر برای بررسی‌های زیرزمینی، انتخاب و معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: اورانیوم، نوع ماسه‌سنگی، حوضه آبریز، حوضه‌های مستعد، ارومیه

مقدمه

لیتولوژیک^۶، کانال‌های قدیمه^۷ و صفحه‌ای^۸ تقسیم‌بندی کرد (Dahlkamp, 1993; Nuclear Energy Agency, 2010;) (Douglas et al., 2005).

در این پژوهش سعی شده است تا با به‌کارگیری تمام اطلاعات موجود اعم از داده‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های گوناگون نظیر انواع داده‌های ماهواره‌ای، ژئوشیمی، اطلاعات هیدرولوژی و ژئوفیزیک هوایی، مناطق با احتمال بالای کانی‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی در محدوده مهاباد مورد شناسایی قرار گیرد. این

امروزه اورانیوم به‌عنوان عنصری راهبردی در معادلات جهانی نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند و با کاهش منابع فسیلی اهمیت استفاده از این عنصر بیش از پیش احساس می‌شود؛ لذا اکتشاف اورانیوم به‌خصوص کانسارهای اورانیوم رسوبی نوع ماسه‌سنگی به‌عنوان یکی از منابع مهم و اصلی از ذخایر اورانیوم، در اولویت پروژه‌های ملی قرار گرفته است. کانسارهای اورانیوم ماسه‌سنگی را به‌طور کلی می‌توان در چهار دسته^۴، هلالی^۵، تکتونیک-

1. Favorable
2. Promising

3. Possible
4. sub type

5. Roll front
6. Tectonic-lithologic

7. Basal channel
8. Tabular

فیلیتی با سن پرکامبرین (پدید آورنده فرازمین‌های کهن) (Eftekharnjad, 1973) تشکیل شده است. این واحدها به وسیله سنگ‌های جوان‌تر پرکامبرین پسین تا عهد حاضر احاطه و یا پوشیده شده‌اند و تحت تأثیر چندین فاز دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده و به‌طور محلی در اثر فرآیندهای دگرشکلی دارای فابریک میلوئیتی شده‌اند. به عقیده محجل و همکاران (Mohajjel et al., 2003) حضور دگرشکلی متفاوت همراه با فابریک میلوئیتی، برگ‌وارگی، چین خوردگی، شکستگی و لایه‌بندی نشان از تأثیر چندین فاز دگرشکلی در حین دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیست سبز در منطقه دارد (شکل ۲).

گستره ارومیه-نقده-مهاباد در باختر گسل زرينه‌رود واقع شده است که دربرگیرنده رخنمون‌های گسترده‌ای از سنگ‌های دگرگون پرکامبرین و نبودن رسوب گذاری مهم و گاه طولانی در زمان پالئوزوئیک است، نبودن سنگ‌های مزوزوئیک در برخی نقاط نشان‌دهنده آن است که در مقاطع زمانی زمین‌شناسی (پرکامبرین-تریاس میانی) گستره یادشده در حال بالا آمدگی بوده است. پس از کوه‌زایی سیمین پیشین، این حوضه در طول ژوراسیک-کرتاسه به گودالی پویا و ژرف تبدیل شده و محل مناسبی را برای انباشت رسوبات ستبری از نوع سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی^۱ کربنات‌های آهکی، سنگ‌های آتشفشانی زیر دریایی، رسوبات ریزدانه از نوع شیل را فراهم کرده است. در قسمت محوری این گودال می‌توان بقایایی از پوسته‌های اقیانوسی در نوار مرزی ایران و ترکیه مشاهده کرد (شکل ۲).

حضور رخنمون‌های مولاس گونه با سن ترشیری در باختر دریاچه ارومیه بیانگر پایداری پی‌سنگ آن در اواخر کرتاسه و تشکیل حوضه‌های کم عمق رسوبی و میان‌کوهی است که محلی مناسب برای انباشت کنگلومرای و ماسه‌سنگ‌های ائوسن و به‌ویژه ماسه‌سنگ‌های میوسن حاصل از هوازدگی سنگ‌های دگرگون و ماگمایی کهن (پرکامبرین-کرتاسه) در محیط‌های سیلابی-دلتایی را فراهم کرده است.

تذکر لازم است که به دلیل کافی نبودن برخی از داده‌ها، به اطلاعات موجود اکتفا شده است.

حوضه‌ای که به نام ارومیه-نقده-مهاباد نام گذاری شده است، گستره‌ای از حوضه آبریز جنوب و باختر دریاچه ارومیه است که دارای مساحت تقریبی ۲۴۳۹۱ کیلومتر مربع، روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و حاشیه شمالی استان کردستان را پوشش داده است. این حوضه در بخش‌هایی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر، دگرگونی-ماگمایی سندج سیرجان با مختصات بین طول جغرافیایی ۲۲' ۴۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵°۴۱' و ۳۸°۰۳' درجه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از باختر به نوار مرزی ایران-ترکیه-عراق منتهی شده است. در محدوده این حوضه شش برگه ۱:۲۵۰,۰۰۰، سرو، ارومیه، مهاباد، تکاب، مریوان، و بانه و ۱۸ برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰، دوستان، گنگچین، ارومیه، سیلوانه، اشنویه، عجب شیر، مراغه، نقده، مهاباد، سقر، صائین قلعه، تخت سلیمان، آلتوت، میاندوآب، چاپان، تکاب، مریوان و باینچوب قرار می‌گیرند. راه‌های دسترسی به منطقه اغلب در حاشیه دریاچه ارومیه و پهنه‌های دشت گون مهاباد، میاندوآب جای دارند. بیشتر مناطق کوهستانی صعب‌العبور بوده و راه‌های دسترسی موجود محدود به انواع راه‌های نظامی هستند.

داده‌های مورد استفاده و روش کار

حوضه ارومیه-نقده-مهاباد یکی از حوضه‌های منتخب کانه‌زایی اورانیوم در ایران است که در این مقاله داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفته است و هرکدام از داده‌ها دارای ویژگی‌هایی به شرح زیر هستند.

زمین‌شناسی و تاریخچه تکوین

از نظر تقسیمات زمین‌شناختی این محدوده به‌عنوان بخشی از گستره ارومیه-نقده-مهاباد و پهنه سندج-سیرجان است و از مجموعه واحدهای سنگی دگرگون شامل سنگ‌های گنایس و

نشانگر تنش‌های مکرری است که بر این کلان حوضه تحمیل شده است (شکل ۲).

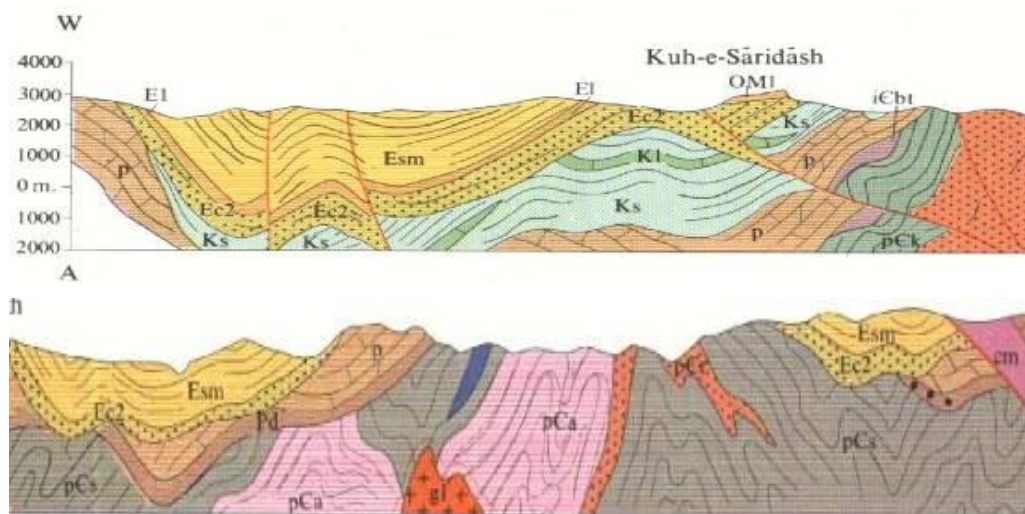
قرارگیری حوضه ارومیه-نقده-مهاباد در محل یکی شدن چند پهنه ساختاری-رسوبی ایران، نظیر ایران مرکزی، البرز باختری-آذربایجان، ارومیه-بزمان (سندج-سیرجان) سبب شده است تا درخصوص جایگاه راستین این حوضه اتفاق نظر وجود نداشته باشد.

برخلاف زمین‌ساخت نسبتاً آرام پالتوزوئیک-مزوزوئیک-سنوزوئیک، سنگ‌های دگرگون منسوب به پرکامبرین و نیز برون‌زدهای متعدد توده‌های نفوذی و روانه‌های آتشفشانی به سن پرکامبرین، توده‌های سینیتی پس از پرمین، نفوذی‌های متعدد از باتولیت‌های هم‌ارز گرانیت اشویه-قوشچی و حتی برون‌زدهای محدودی از کوله‌های خروجی پامیس-ایگنمیریت موجود،



شکل ۱. موقعیت و راه‌های دسترسی به حوضه ارومیه-نقده-مهاباد

Fig. 1. Location and access way of Mahabad-Naghadeh-Urmia Zone



شکل ۲. الگوی ساختاری ناودیس گونه آواری‌های سنوزوئیک (Ec2, Esm) واقع در باختر دریاچه ارومیه

Fig. 2. Syncline structural model of the Cenozoic detrial sediments (Ec2, Esm) located on the west of Urmia Lake

آشکارسازی دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتیک، و فلیک با استفاده از تصاویر ASTER در منطقه مورد بررسی استفاده شده است. برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی منطقه نیز از روش تفاوت نسبی بانده ۳ و تحلیل مؤلفه اصلی ۴ برای بارزسازی شکستگی‌ها استفاده شده است، (شکل ۵-A).

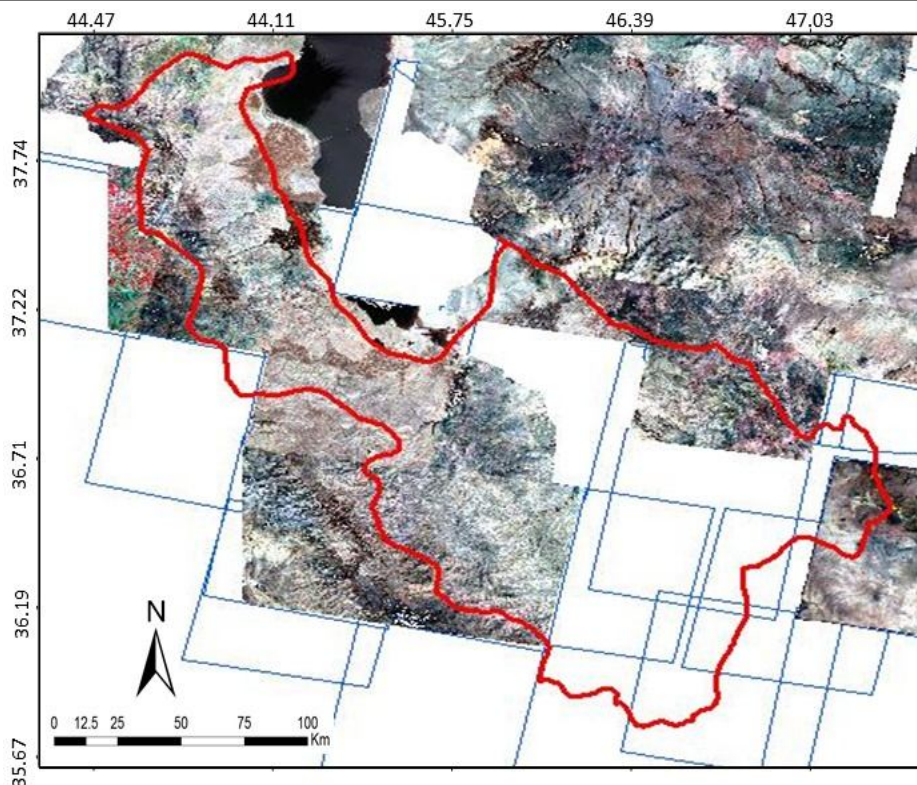
چنان‌که در شکل ۵-B دیده می‌شود، واحدهای آهک به‌همراه کمی مارن (سازند قم) به سن میوسن با رنگ سفید مایل به صورتی بخش‌های کنگلومرای و توفی به رنگ زرد و سنگ‌های آتشفشانی جوان (آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت) با رنگ آبی دیده می‌شود. در شکل ۵-A و B، دگرسانی‌های آرژیلیکی به رنگ قرمز و دگرسانی‌های پروپلیتیک به رنگ قهوه‌ای روشن دیده می‌شوند، همچنین در این شکل کرنات‌ها به رنگ زرد در اطراف زیرحوضه انتخابی (واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرای)، ماسه‌سنگ‌ها با رنگ سبز تا سفید، گسل‌ها با خط‌های قرمز و پوشش گیاهی به رنگ بنفش تا سیاه قابل تفکیک است. این شکستگی‌ها فقط در نتیجه بررسی‌های دورسنجی و افزون بر شکستگی‌های نقشه زمین‌شناسی تشخیص داده شده است.

داده‌های ماهواره‌ای

طی این بررسی‌ها و برای تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی، شناسایی سنگ منشأ احتمالی به‌عنوان واحدهای پتانسیل دار، از تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست^۱ در ۷ باند طیفی با توان تفکیک زمینی ۳۰ متر و سنجنده ASTER ماهواره Terra در ۱۴ باند طیفی با توان تفکیک زمینی تا ۱۵ متر در قالب سین‌های اطلاعاتی انجام شد، پس از اعمال تصحیحات رادیومتری و ژئومتری بر روی این داده‌ها و حذف نویزهای مربوط به تابش‌سنجی و نیز تصحیح اندازه و موقعیت جغرافیایی پیکسل‌ها، عملیات مربوط به موزاییک و سپس قطع‌بندی تصاویر انجام شد (شکل‌های ۳ و ۴).

برای تشخیص واحدهای سنگی از روش‌های فیلترینگ، پردازش طیفی، برای تفکیک واحدهای زمین‌شناسی، شناسایی سنگ میزان از روش ترکیب رنگی کاذب (رنگ‌های اصلی قرمز، سبز و آبی) با نسبت بانده (۱-۵-۷) و همچنین از روش نسبت‌گیری باندهای^۲ $\frac{5}{7}$ ، $\frac{4}{3}$ و $\frac{3}{1}$ به ترتیب برای بارزسازی کانی‌های دارای پیوند (-OH)، پوشش گیاهی و اکسیدهای آهن با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ETM+ استفاده شده است (شکل ۵) و همچنین از ترکیب نسبت‌های بانده $(\frac{5}{6}, \frac{9}{8}, \frac{7}{6})$ به ترتیب برای

1. Landsat
2. Band Ratio (BR)
3. Relative Band Difference (RBD)
4. Principle Component Analysis (PCA)



شکل ۳. موزاییک ماهواره‌ای ASTER حوضه ارومیه

Fig. 3. Urmia Basin ASTER satellite Mosaic

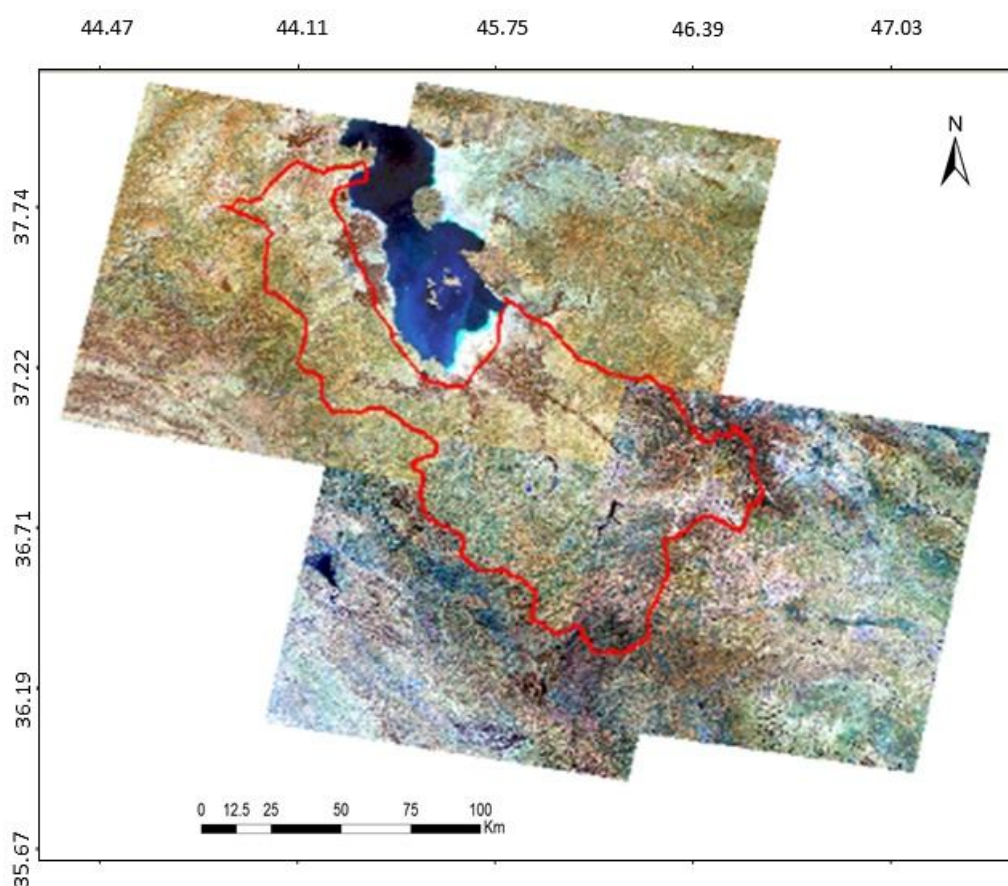
منطقه را نشان می‌دهد که در نتیجه ترکیب PC1 از باندهای پانکروماتیک سنجنده ASTER و سپس ترکیب با باندهای ETM ساخته شده که تا مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با کیفیت مناسب واحدهای سنگی مختلف را آشکار کرده است. در این تصویر واحدهای آهک به همراه کمی مارن (سازند قم) به سن میوسن با رنگ سفید مایل به صورتی دیده می‌شود که در بخش‌های کنگلومرایی و توفی به رنگ زرد است. ولکانیک‌های جوان (آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت) به رنگ آبی در بخش شمالی حوضه ارومیه-نقده (شهر ارومیه با رنگ آبی در سمت راست تصویر)، گسترش توده‌های ماگمایی دگرسان شده در سمت باختر با رنگ‌های قرمز و قهوه‌ای روشن قابل دیده می‌شود.

با توجه به تمامی بررسی‌های دورسنجی شامل تشخیص دگرسانی‌های گرمایی در سنگ‌های منشأ (دگرسانی آرژیلیکی، فیلیک و پروپلیتی) و گسترش اکسیدهای آهن در سنگ‌های

برای داده‌های چندطیفی (مانند لندست)، اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مؤلفه‌های بعدی (PC2، PC3،، PCn) هر کدام دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر است (Sabins, 1997). در استفاده از باندهای طیفی مختلف گاهی فقط به اطلاعات خاصی از بعضی باندهای طیفی نیاز است و به تحلیل تمام باندها نیازی ندارد. آنالیز مؤلفه‌های انتخابی به همین منظور استفاده می‌شود، یعنی در حین کاهش ابعاد داده‌های ورودی، امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می‌رسد. در واقع اگر تعداد باندهای ورودی کاهش یابد، احتمال تعیین یک PC مشخص برای رده کانی خاص افزایش پیدا می‌کند (Loughlin, 1991). کروستا و همکاران (Crosta et 2003) al., از این روش برای شناسایی کانی‌های دگرسان در باند SWIR سنجنده ASTER استفاده کردند. چنان که در شکل ۶- A به‌طور واضح مشخص می‌شود، تصویر Pan sharpen این

انتخاب شد که در تصاویر شکل ۶ با رنگ صورتی نشان داده شده است. یکی از مناطقی که در بررسی‌های دورسنجی به سبب وجود سنگ‌های منشأ دگرسان شده است و وجود رخنمون‌های ماسه‌سنگی اکسیده و احیایی آن مورد توجه قرار گرفت، محدوده‌ای در باختر ارومیه (تصویر شماره ۳) است.

میزبان و تعیین گسترش سنگ‌های کربناته و رسی در سنگ‌های میزبان و همچنین سیستم شکستگی‌های منطقه، چگونگی گسترش واحدهای ماسه‌سنگی و وجود زون‌های اکسیده و احیایی در آنها یک زیرحوضه مناسب برای بررسی‌های بیشتر و تلفیق با سایر اطلاعات و تعیین مناطقی برای پیمایش‌های زمینی



شکل ۴. موزاییک ماهواره‌ای ETM+ حوضه ارومیه

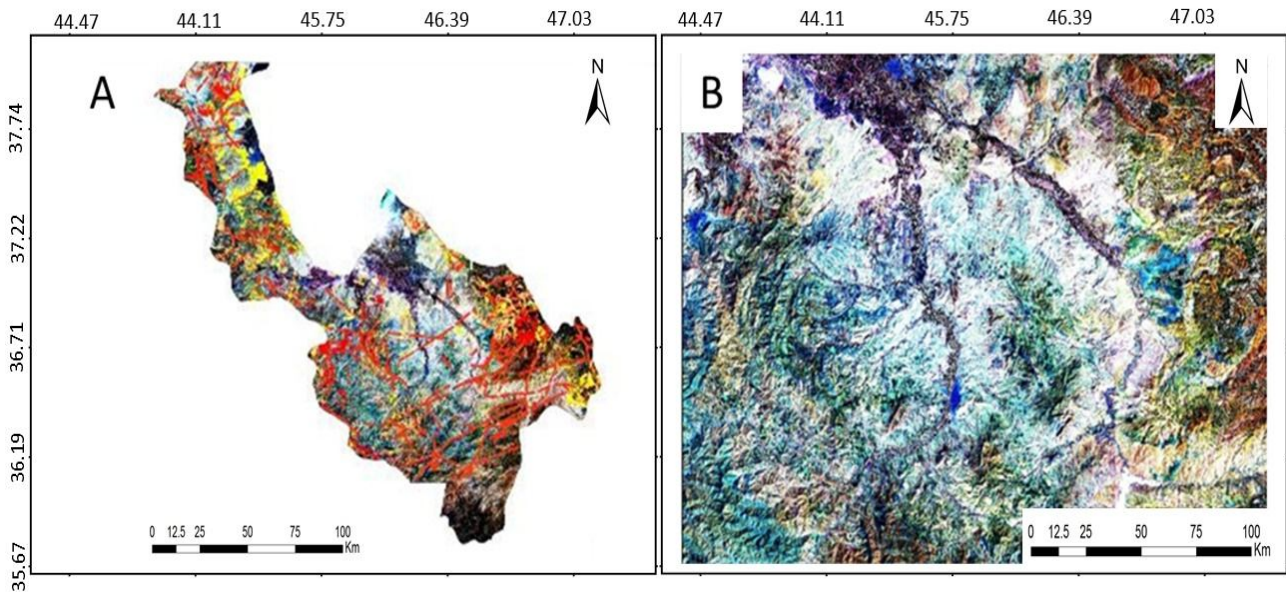
Fig. 4. Urmia basin ETM+ satellite Mosaic

از داده‌ها فراهم کند و به توسعه روش‌های اکتشافی برای کانسارهای مشابه منجر شود (Theodore et al., 1998; Grunsky, 2010).

در این پژوهش، اطلاعات عناصر ردیاب اورانیوم شامل V, Se, Sn و P, Zr, Th, Ti, Pb, Ni, Co, Zn, Ag, Cu, As, Mo مربوط به ۷۵۹۷ نمونه رسوبات آبراهه‌ای مربوط به ۱۳ برگه مورد پردازش و تحلیل قرار گرفته است (جدول ۱).

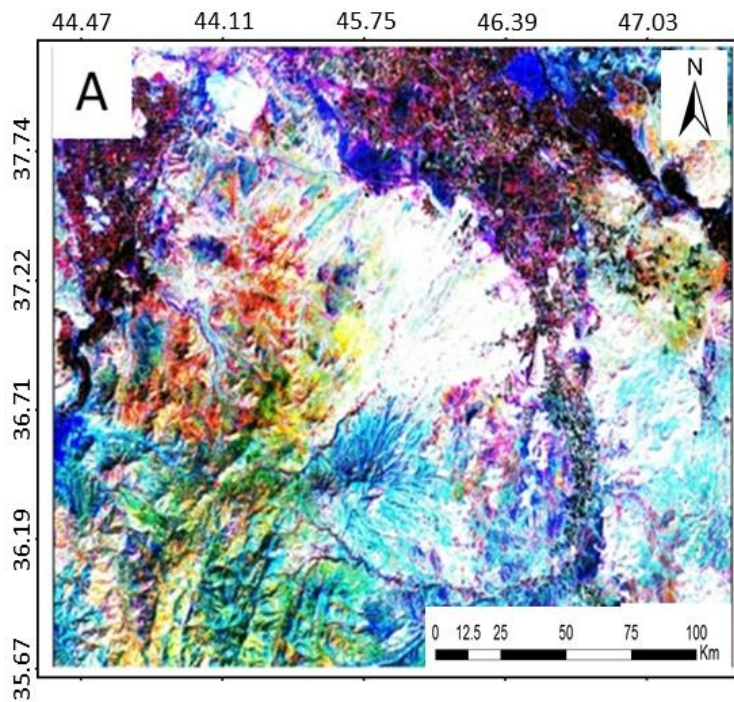
داده‌های ژئوشیمیایی

یکی از مباحث اصلی در اکتشاف و شناخت هر کانسار، بررسی‌های ژئوشیمیایی است. انتخاب روشی مناسب در این مورد به ماده معدنی و ویژگی‌های اصلی کانی‌سازی بستگی دارد. روش‌های پردازش آماری همراه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند محیط مؤثر و مفیدی را برای تشخیص فرآیندها و ترسیم الگوی اکتشافی در مجموعه عظیمی



شکل ۵. A: نتایج پردازش تصاویر ASTER و ETM+، نمایش واحدهای سنگی، دگرسانی‌های آرژیلیکی و پروپیلیتیکی و ساختارها (گسل‌ها و خطواره‌ها) و B: پردازش تصاویر ترکیبی ASTER و ETM+ بخش مرکزی حوضه ارومیه و نمایش واحدهای سنگی با رنگ‌های مختلف

Fig. 5. A: The results of processing of ASTER and ETM+ images, showing of different rock units, argillic and propylitic alterations, and structures (faults and lineaments), and B: The combination of processing of ASTER and +ETM images for the central part of Urmia basin with displaying different rocks with different colors



شکل ۶. در تصویر Pansharpen جنوب مراغه که در نتیجه ترکیب داده‌های ASTER و باندهای ETM+ به‌دست آمده و دارای توان تفکیک مکانی بیشتری است ولکانیک‌های جوان به رنگ آبی دیده می‌شود.

Fig. 6. The Pansharpen image of south Maragheh that created from combination of pc1 data obtained of ASTER and ETM+ bands with a spatial better resolution, younger volcanic rocks can be seen in blue color

جدول ۱. تعداد نمونه‌های هر برگه در حوضه ارومیه-نقده-مه‌آباد

Table 1. Number of samples per sheet in Urmia-Naqadeh-Mahabad basin

No.	Shet name	Samples
1	Doostan	120
2	Silvaneh	320
3	Gangachin	538
4	Naghadeh	449
5	Oshnavieh	552
6	Urmia	99
7	Alut	855
8	Mahabad	612
9	Marivan	456
10	Baianjoob	806
11	Saqquez	1063
12	Chapan	898
13	Takab	829

از عناصر دارای مقادیر آنومال بوده‌اند و در انتها نیز با تلفیق آنومالی حاصل از عناصر کانسار ساز و ردیاب اورانیوم اقدام به معرفی زون‌های امیدبخش و مستعد کانی‌سازی مجموعاً ۱۱ زیرحوضه مستعد به مساحت کل ۱۴۰۳ کیلومتر مربع به شرح زیر انتخاب و معرفی می‌شود (شکل ۷). این حوضه‌ها به ترتیب از شمال به جنوب از شماره ۱ تا ۱۱ شماره گذاری شده‌اند.

زیرحوضه شماره ۱ (منطقه قره‌آغاچ سرو)

این حوضه با مساحت تقریبی ۱۲۶ کیلومتر دارای امتداد شمالی-جنوبی در شمال حوضه ارومیه-نقده-مه‌آباد و در برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ گنگچین (سرو) واقع شده است. عمده رخنمون‌های واحدهای سنگی در این زیرحوضه شامل واحدهای آهکی پرمین، آهک‌های الیگوسن، سازند قم و واحدهای دیوریتی و مافیک-اولترامافیک در شمال این زیرحوضه و خارج از آن است. در این زیرحوضه آنومالی‌های ژئوشیمیایی از عناصر V, Co, Cu, Ni دیده می‌شود که می‌تواند در ارتباط با واحدهای

ابتدا مقادیر خارج از ردیف طبق آزمون دورفل شناسایی، سپس حذف یا جایگزین و برای مقادیر به دست آمده مقادیر لاگ نرمال عناصر محاسبه شد. برای نمایش فراوانی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب و ارتباط بین آنها از نمودارهای هیستوگرام هاوارث (Howarth, 1984) و گرت (Garrett, 1984) توسط نرم‌افزار SPSS 21 ترسیم شد، همچنین برای جداسازی آنومالی از زمینه ژئوشیمیایی، پس از یکسان‌سازی استانداردسازی داده‌ها از طریق رابطه $Z = \frac{(x - \bar{x})}{S}$ از روش ارائه شده توسط سینکلر و چنگ و همکاران (Sinclair, 1991; Cheng et al., 1996) و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مقادیر آنومالی دسته‌بندی شده است که بر این اساس، مقادیر حد زمینه معادل (X)، حد آستانه بی‌هنجاری‌ها معادل (X+2S)، بی‌هنجاری‌های ممکن مقادیر بین (X+2S) و (X+3S) و احتمالی ($X+3S <$) است. در نهایت حذف نمونه‌های آنومال تک‌عنصری و انتخاب نمونه‌هایی که در آنها ۲ یا تعداد بیشتری

می‌شود؛ ولی آثاری از سنگ میزبان این عنصر وجود ندارد.

زیرحوضه شماره ۴ (منطقه کوه پیرستان)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۲۸ کیلوکتر مربع در متھالیه جنوب برکه های ۱:۱۰۰,۰۰۰ مهاباد و نقده واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی در غرب این زیرحوضه یک توده گرانیتی به‌عنوان سنگ منشأ اورانیوم و علاوه بر آنها سنگ‌های ولکانیکی با سن کرتاسه نیز در این منطقه رخنمون دارد. سیستم‌های گسله در این زیرحوضه ضعیف است و دارای روند گسل‌های اطراف تقریباً شمالی-جنوبی است. در این زیرحوضه عناصر Pb, Mo, Sn, As غنی‌شدگی را از خود نشان داده‌اند. در این زیرحوضه آثاری از سنگ میزبان کانی‌زایی اورانیوم دیده نمی‌شود.

زیرحوضه شماره ۵ (منطقه کوه سبزپوش در غرب حصار)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۳۴ کیلومتر مربع در شمال‌غربی برکه های ۱:۱۰۰,۰۰۰ چاپان واقع شده است. از لحاظ زمین‌شناسی بیش از نیمی از وسعت این زیرحوضه را توده گرانودیوریتی با روند جنوب-جنوب‌غربی به‌عنوان سنگ منشأ در سنگ‌های میزبان قدیمی‌تر کهر، سلطانیه و باروت نفوذ کرده است. سیستم‌های گسله در این زیرحوضه از دو امتداد شمال‌شرقی-جنوب‌غربی و شمال-جنوبی پیروی می‌کند. شواهدی از وجود سنگ‌های میزبان کانه‌زایی اورانیوم دیده نشده است؛ اما در این زیرحوضه و در بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر Co, Mo, As, V غنی‌شدگی نشان داده‌اند.

زیرحوضه شماره ۶ (منطقه صفیارخان در جنوب صائین بلاغ)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۸۳ کیلومتر مربع در شمال‌شرقی برکه های ۱:۱۰۰,۰۰۰ تکاب با امتداد شرقی-غربی قرار گرفته است. از لحاظ زمین‌شناسی، در غرب این زیرحوضه توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی به‌عنوان سنگ منشأ

نفوذی منطقه و بدون ارتباط با واحدهای سنگی منشأ و میزبان کانی‌زایی اورانیوم است. کانسار تیتانیوم-فسفات قره‌آقاج در شمال این زیرحوضه واقع شده است. تیتانیوم در سنگ میزبان ورلیتی و پیری سنگ‌های مافیک-اولترامافیک به‌صورت کانی‌های ایلمنیت تیتانومگنتیت و ایلنومگنتیت ظاهر شده است. فسفات نیز محصول جانبی آن محسوب می‌شود که به‌صورت آپاتیت پراکنده ایجاد شده است.

زیرحوضه شماره ۲ (منطقه قمار - بزارگاه)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۳۶ کیلومتر مربع و امتداد شرقی-غربی در دو برکه های ۱:۱۰۰,۰۰۰ نقده و مهاباد در غرب حوضه ارومیه-نقده-مهاباد واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژیکی بیش از نیمی از وسعت این زیرحوضه در شمال از واحدهای کرتاسه و در بخش جنوبی آن نیز توده‌های گرانیتی جوان‌تر از کرتاسه و زون‌های اطراف آن را تشکیل داده است. سیستم‌های گسله و تراست‌شدگی نیز به‌وفور در این منطقه دیده می‌شود. در این زیرحوضه عناصر Pb, As, Sn, Zn, Au به‌طور نسبتاً ضعیفی غنی‌شدگی نشان دادند که به احتمال زیاد مرتبط با کانی‌زایی اسکارن در این منطقه است. در جنوب این زیرحوضه آثاری از واحدهای منشأ کانی‌زایی اورانیوم دیده می‌شود.

زیرحوضه شماره ۳ (منطقه بیرام-شیلان آباد و جنوب شرق مهاباد)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۳۴۲ کیلومتر مربع در جنوب‌شرقی مهاباد و در برکه های ۱:۱۰۰,۰۰۰ مهاباد واقع شده است. واحدهای سنگی در این منطقه شامل واحدهای آهکی با سن کرتاسه، پرمین، الیگومیوسن و همچنین ولکانیک‌های جوان واقع در شمال‌شرق و شرق مربوط به کواترنر رخنمون دارند، در این زیرحوضه عناصر Pb, Zn, As, Mo غنی‌شدگی نشان دادند. در این زیرحوضه واحدهای سنگ منشأ کانی‌زایی اورانیوم دیده

زیرحوضه شماره ۹ (محور طلا دار سقز - بانه)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۴۶۵ کیلومتر مربع در برکه ۱:۱۰۰,۰۰۰ سقز اطراف روستاهای گیله شیتی، قلقله، قبعلوچه، کرویان، قره‌چر، پیر عمران، پیرخدر، حمزه قرنین واقع شده است. در این زیرحوضه آهک‌ها و ولکانیک‌های کرتاسه و گرانیک گنایس‌های پرکامبرین بیشترین رخمون را دارند. امتداد غالب گسل‌ها که اغلب تراستی هستند، عمود بر امتداد ساختاری سندج - سیرجان است. در این زیرحوضه کانه‌زایی طلا در مناطق قلقله، قبعلوچه، کرویان، حمزه قرنین، قره‌چر دیده شده است. کنترل‌کننده این کانی‌زایی‌ها زون‌های گسله عمود بر روند ساختاری سندج - سیرجان تشخیص داده شده است. مدل کانه‌زایی نیز همانند منطقه زاوه کوه از نوع کانه‌زایی طلای نوع کوه‌زایی معرفی شده است. در این زیرحوضه مجموعه عناصر $Co, Ti, Cu, Zn, Pb, Ni, Mo, Sn, Ag, Au, As$ غنی‌شدگی نشان داده‌اند. در این زیرحوضه تنها در بخش جنوب شرقی سنگ‌های منشأ اورانیوم با جنس گرانیت رخمون دارند که در واحدهای قدیمی نفوذ کرده‌اند.

زیرحوضه شماره ۱۰ (منطقه گاو کج، کوه چرکه)

این زیرحوضه با وسعتی بیش از ۱۰۴ کیلومتر مربع در جنوب شرقی حوضه ارومیه، نقده - مهاباد و در برکه‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ چاپان و باینجوب واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی و سازندهای دگرگونی مربوط به پرمین و قدیمی‌تر در وسعت تقریباً زیاد رخمون نشان داده‌اند. این واحدها در شمال شرق - جنوب غربی امتداد دارند. در این زیرحوضه عناصر $Zn, Mo, Sn, V, Ni, Au, As, Pb$ غنی شده‌اند، منشأ آنومالی‌ها واحد نفوذی تونالیتی خارج از زیرحوضه واقع در شمال آن است. در اینجا آثاری از سنگ میزبان و منشأ اورانیوم دیده نمی‌شود.

زیرحوضه شماره ۱۱ (منطقه بوکلان جنوب شیخ ابراهیم)

این زیرحوضه با وسعت ۳۸ کیلومتر مربع در شمال غربی برکه

اورانیوم رخمون یافته است. علاوه بر توده‌های نفوذی یادشده واحدهای رسوبی مازنی الیگوسن و کنگلومرایی مربوط به کواترن نیز رخمون دارند. از نظر زمین‌ساختی نیز در این زیرحوضه پدیده گسل خوردگی شاخصی وجود ندارد. از نظر ژئوشیمیایی عناصر Mo, Sn, Co, As, Zn دارای غنی‌شدگی است.

زیرحوضه شماره ۷ (کوه قره‌گل در جنوب چهارطاق)

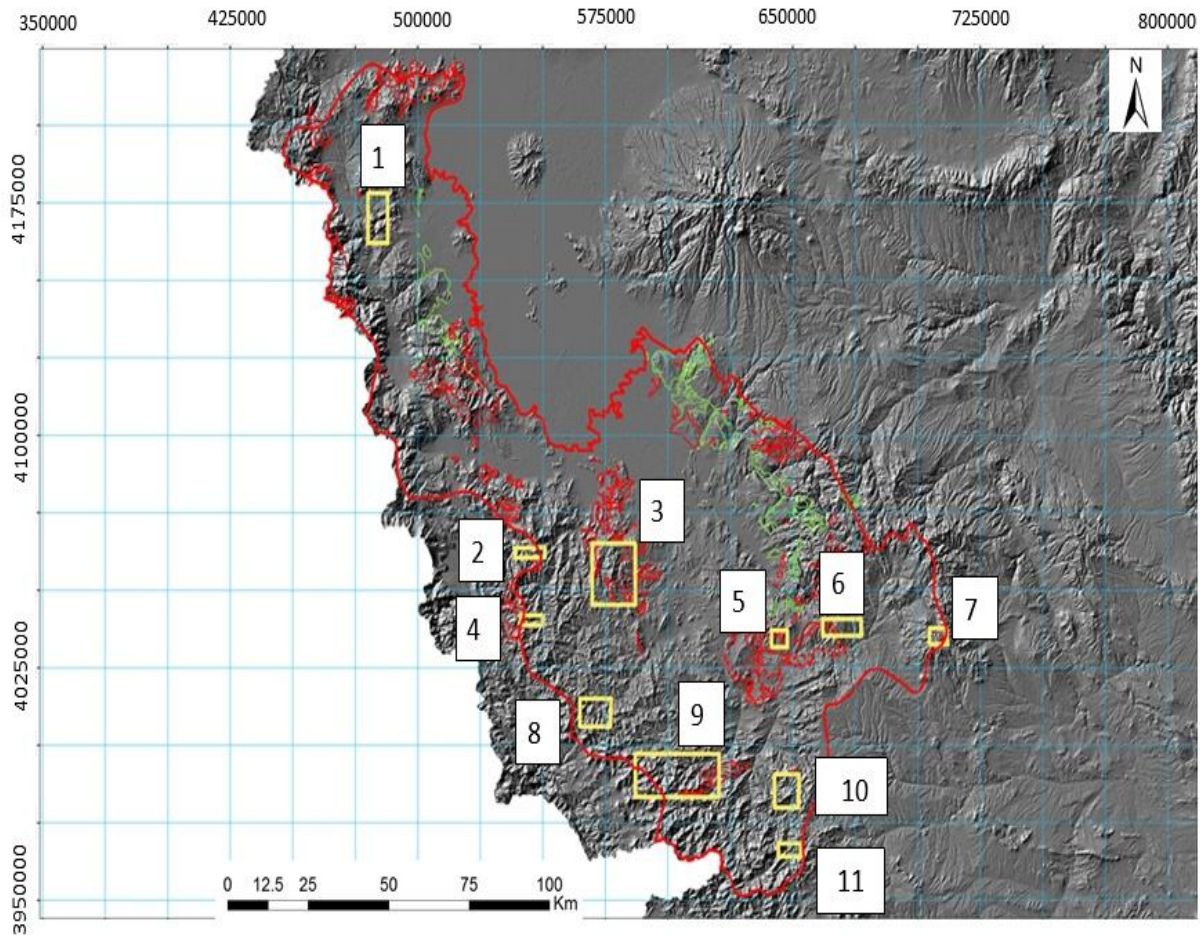
این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۳۶ کیلومتر مربع در شمال برکه ۱:۱۰۰,۰۰۰ تکاب و در جنوب چهارطاق واقع شده است. در این زیرحوضه تنها در بخش کوچکی از سنگ منشأ اورانیوم با جنس تونالیتی دیده می‌شود. علاوه بر واحد سنگی یادشده سازندهای قدیمی $Es, Pel2, Pem$ نیز رخمون دارند. سیستم گسله منطقه نیز اغلب در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و به صورت تراست‌شدگی است و آثاری از سنگ میزبان کانه‌زایی اورانیوم دیده نمی‌شود. در این زیرحوضه عناصر Au, Ni, Zn غنی‌شدگی از خود نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که منشأ آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر یادشده حوضه همان توده‌های نفوذی تونالیتی باشد.

زیرحوضه شماره ۸ (جنوب غرب سلامت، منطقه زاوه کوه)

این زیرحوضه با مساحت تقریبی ۱۱۱ کیلومتر مربع و در برکه ۱:۱۰۰,۰۰۰ آلوت در غرب حوضه ارومیه، نقده - مهاباد واقع شده است. رخمون‌های سنگی عمده در این زیرحوضه مربوط به سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و گرانیت - گنایس‌های پرکامبرین است. روند غالب این لیتولوژی‌ها در امتداد زون ساختاری سندج - سیرجان است. در این زیرحوضه غنی‌شدگی‌های ژئوشیمیایی عناصر $Pb, As, Sn, Mo, Ti, Au, Ni, Cu$ مشاهده می‌شود. در این زیرحوضه آثاری از سنگ منشأ میزبان اورانیوم رخمون ندارد. در این محدوده کانی‌زایی طلای نوع کوه‌زایی مشاهده شده است.

غنی‌شدگی نشان داده‌اند.

۱:۱۰۰,۰۰۰ باینجوب و در جنوب حوضه ارومیه - نقده - مهاباد
واقع شده است. در این زیرحوضه عناصر Mo, Au, AS, Pb



شکل ۷. حوضه‌های مستعد برای کانی‌سازی اورانیوم در حوضه ارومیه - نقده - مهاباد

Fig. 7. Anomaly basins of Uranium mineralization in Urmia-Naqadeh-Mahabad basin

4 PI ARRAY 512 CHANNELS (FW) 50.300 CM
NAI (TL)
(RW) 33.600 CM NAI (TL)

مشخصات پروازهای انجام شده عبارتند از:

Line spacing: 500 meters
Nominal terrain clearance: 120 meters
Sample interval: 1 second
Aircraft speed (FW) Max. 70 meters/second
Aircraft speed (RW) Max. 46 meters/second

برای تعیین بی‌هنجاری‌های اورانیوم، ابتدا مقدار زمینه بی‌هنجاری‌های منطقه از بی‌هنجاری حذف شده و سپس طبق جدول ۲، بی‌هنجاری‌ها طبقه‌بندی شده است.

ژئوفیزیک هوایی

در این پژوهش، داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های رادیومتری (U, Th) است که در سال‌های ۱۹۷۶-۱۹۷۸ توسط سه شرکت خارجی آستیرکس استرالیا، پراکلاسیزموس آلمان و CGG فرانسه در نواحی از ایران به مساحت ۶۰۰,۰۰۰ کیلومتر مربع برداشت شده است. اطلاعات رادیومتری به وسیله اسپکترومتر پرتو گاما با مشخصات زیر برداشت شده است:

2 PI ARRAY 512 CHANNELS (FW) 5.300 CM
NAI (TL)
(RW) 5.300 CM NAI (TL)

جدول ۲. طبقه‌بندی بی‌هنجاری‌ها در حوضه ارومیه-نقده-مه‌آباد (eU: مقدار مطلق اورانیوم، DeU: مقدار مطلق منهای مقدار زمینه اورانیوم، Deth: مقدار مطلق منهای مقدار زمینه توریم)

Table 2. Classification of anomalies in Urmieh-Naqadeh-Mahabad basin (eU: absolute amount of uranium, DeU: absolute amounts minus background of uranium, Deth: absolute amount minus background of Thorium)

Classes	Category 1	Category 2	Category 3
Class 1		$eU > 3$	$eU > 3$
Class 2	$DeU/Deth < 0.5$	$eU < 3$	$eU > 3$
Class 3	$DeU/Deth > 0.5$	$DeU > 2$	$eU > 3$
Class 4		$DeU/Deth > 0.5$	$eU < 3$
Class 5		$DeU/Deth < 0.5$	$eU < 3$

MP1 در شمال و جنوب آن رخنمون یافته‌اند. این واحد در مناطق شمالی دارای اورانیوم بالا و نسبت اورانیوم به توریم پایین است؛ لذا غیر فعال است. اما در نواحی جنوبی اطراف روستای جارچیلو و در نزدیکی ساحل دریاچه، نسبت اورانیوم به توریم در بعضی مناطق بالای ۱/۳ است که بیانگر فعال بودن آن است.

چهارگوش تکاب و مه‌آباد

بی‌هنجاری‌های این منطقه اغلب روی منابع آنومالی^۱ شامل واحدهای IEs, Icr, Qplvgr, که حاوی واحدهای گرانیتی و دگرگونی‌های پرکامبرین هستند، قرار گرفته‌اند.

چهارگوش تکاب

در جنوب غربی برگه، شمال روستای چقرلو واحد گرانیتی gT منبع آنومالی در نظر گرفته شده است. این واحد در قسمت‌های جنوبی و در شرق آن نسبت اورانیوم به توریم بالای ۱/۳ است، بنابراین منبع فعال محسوب می‌شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۲).

در غرب روستای درویش راش (غرب شهرستان تکاب) واحد گرانیتی دیگری در مجاورت واحد گرانودیوریتی منبع آنومالی در نظر گرفته شده است. این واحد با وجود داشتن اورانیوم بالا، نسبت اورانیوم به توریم آن زیاد نیست؛ لذا منبع فعالی نیست. اما در گوشه جنوب شرقی این واحد، نسبت اورانیوم به توریم بالا رفته و در بعضی مناطق تا ۰/۵ هم رسیده است. مطلب قابل توجه،

داده‌های مورد بررسی به‌طور کامل این حوضه را تحت پوشش قرار نداده و چهارگوش‌هایی که در ادامه تشریح شده‌اند، دارای داده بوده و مورد پردازش قرار گرفته‌اند.

چهارگوش ارومیه

چنان‌که در شکل ۸ به وضوح دیده می‌شود، در قسمت‌های غربی و شمال غربی ورقه ارومیه تعدادی بی‌هنجاری به‌صورت پراکنده از نوع ۴ و ۵ در بعضی قسمت‌های شمال غربی از نوع ۱، ۲ و ۳ در واحدهای کوتاه‌تری دیده می‌شود که می‌تواند به‌عنوان نوع سطحی مورد توجه قرار گیرد. در قسمت جنوب شرقی ورقه در جنوب قره‌ناز (جنوب غربی مراغه) بی‌هنجاری از رده ۳ و ۵ داخل واحد MPI (شامل توف، ماسه‌سنگ، سیلتستون و کنگلومرا) قرار گرفته است که در صورت قرارگیری در مناطق ماسه‌سنگی ارزش پیدا می‌کند.

چنان‌که در شکل ۸ دیده می‌شود، در این حوضه منابع آنومالی در دو منطقه جنوب شرقی و سمت غرب دریاچه ارومیه متمرکز شده‌اند. در قسمت جنوب شرقی واحد MPI شامل توف، ماسه‌سنگ، سیلتستون و کنگلومراست که در جنوب روستای قرناز (جنوب مراغه) واقع شده است. این واحد در نقشه اورانیوم دارای اورانیوم بالا و نسبت اورانیوم به توریم پایین است (شکل ۹)؛ لذا منبع فعالی نیست.

در قسمت غرب دریاچه ارومیه، کوه بزوداغی با واحدهای

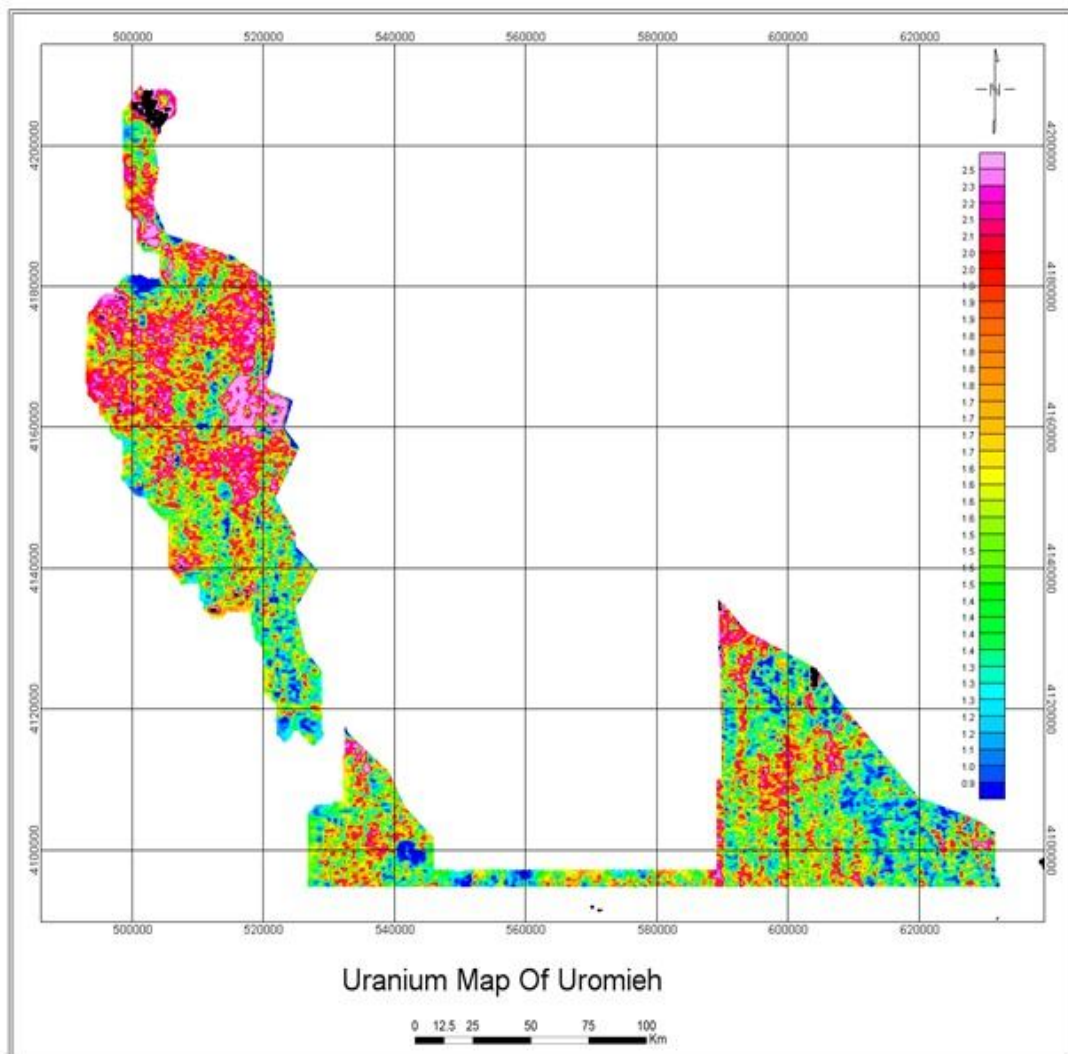
امتداد یافتن این زیادشدگی در امتداد رودخانه و داخل واحد OMm شامل مارل سبزو ماسه‌ای است.

در امتداد این زیادشدگی تعداد ۲ نمونه ژئوشیمیایی برداشت شده است که ارسنیک بالایی از خود نشان داده‌اند. در قسمت‌های شمال غربی شهرستان تکاب اطراف روستای پیچاقچی تعدادی منبع آنومالی از نوع گرانودیوریت، گنیس دیده می‌شود که با توجه به پایین بودن نسبت اورانیوم به توریم در این واحدها منابع فعالی به حساب نمی‌آیند. منبع آنومالی گرانودیوریتی دیگری در نزدیکی روستای آق دره دیده می‌شود که نسبت اورانیوم به

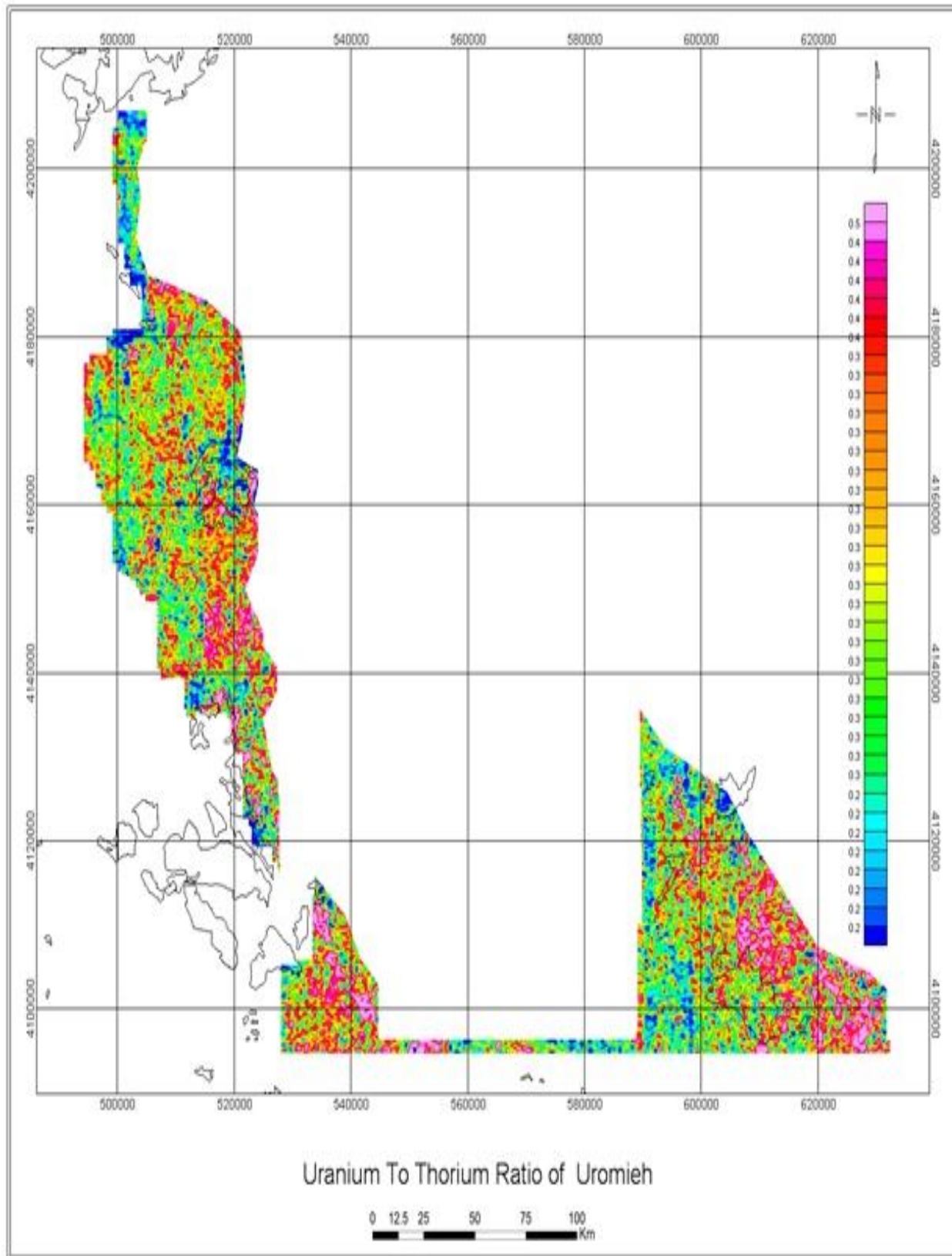
توریم در اطراف آن بالاست و برای بررسی‌های بیشتر پیشنهاد می‌شود.

چهارگوش مهاباد

منابع آنومالی در این برکه در دو منطقه شرقی - جنوب شرقی برکه، اطراف روستای ینگگی کند که از نوع گرانیت و گرانیت-سینیت هستند، تمرکز یافته است. نسبت اورانیوم به توریم در این واحدها پایین آمده و در اطراف آنها این نسبت بالاست؛ لذا به نظر می‌رسد این واحدها منابع فعال اورانیوم باشند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).



شکل ۸. نقشه داده‌های ژئوفیزیکی برای اورانیوم در حوضه ارومیه
Fig. 8. Uranium geophysics data map for Urmia Basin



شکل ۹. نقشه نسبت اورانیوم به توریموم برای منطقه ارومیه
Fig. 9. Uranium/Thrium ratio map for Urmia

برای تعیین غلظت کل^۱ عناصر جزئی و تعدادی از عناصر اصلی و فرعی برداشت شده‌اند. سپس نتایج آنالیز برای تحلیل و تفسیر آنالیزهای نمونه‌برداری و مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. در هر حوضه آبریز، نواحی تغذیه، تخلیه و جهت جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان- وضعیت عمق برخورد آب و وضعیت تراز آب‌های زیرزمینی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. به دلیل محدودیت در مقاله تنها برخی از زیر حوضه‌های مستعد توضیح داده شده می‌شود.

آبخوان دشت ارومیه

این آبخوان دارای وسعتی نزدیک به ۹۸۰ کیلومتر مربع و حداکثر ضخامت آبرفت در دشت ارومیه برابر با ۲۵۰ متر است. متوسط ضریب ذخیره این دشت ۶ درصد است. حداکثر و حداقل ضریب قابلیت انتقال آبخوان این دشت به ترتیب برابر با ۷۷۵۰ و ۶۲ متر مربع بر روز است. در محدوده مورد نظر ۱۸۸۴۳ حلقه چاه با تراکم بسیار بالا (۸۹۲ حلقه چاه عمیق و ۱۷۹۵۱ حلقه چاه نیمه‌عمیق)، ۲۶ دهنه چشمه و ۴۳ رشته قنات آماربرداری شده است. عمق برخورد به آب‌های زیرزمینی آبخوان در حاشیه دشت بین ۳۰ تا ۴۰ متر است؛ اما عمق برخورد به آب در بخش زیادی از آبخوان کمتر از ۱۰ متر است (Sharmad et al., 2012). چنان‌که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، جهت جریان آب‌های زیرزمینی این منطقه از غرب به شرق بوده و در واقع آب‌های زیرزمینی از ارتفاعات غربی دشت ارومیه به سمت دریاچه ارومیه در حرکت هستند. میزان املاح آب‌های زیرزمینی در آبخوان ارومیه در حوالی شهر ارومیه (احتمالاً به دلیل پساب‌های شهری) بالا بوده است و به‌طور کلی از میانه‌های دشت به سمت دریاچه ارومیه میزان املاح محلول در آب افزایش می‌یابد. میزان هدایت الکتریکی در بخش اصلی آبخوان ارومیه بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه دارای نوع بی‌کربناته کلسیک و بی‌کربناته منیزیک است. در شکل ۱۳-A، وضعیت

در قسمت‌های مرکزی ورقه در جنوب‌غربی میان‌دواب، کوه آلمالی در شمال و شمال‌غربی روستای برهان منابع آنومالی در نظر گرفته شده‌اند. این واحدها با نشانه Qplv ولکانیک‌های جوانی هستند که با توجه به داده‌های پتاسیم، دارای پتاسیم بالا هستند و می‌توانند ولکانیک‌های اسیدی باشند. این واحدها در داده‌های اورانیوم دارای اورانیوم بالا هستند؛ ولی نسبت اورانیوم به توریم در آنها به شدت پایین است؛ لذا منابع فعال اورانیوم به حساب نمی‌آیند.

داده‌های هیدروژئولوژی

برای پی‌بردن به ارتباط چاه‌ها با توده‌های سنگی تشکیل‌دهنده این حوضه و همچنین برقراری ارتباط بین مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها و همچنین تغییرات ترکیبی آب چاه‌ها اقدام به نمونه‌گیری از آب با استفاده از ظروف پلاستیکی دهانه تنگ در چاه‌های مناطق اطراف حوضه مهاباد شد. پس از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، Eh، اکسیژن محلول (DO) و دما، نمونه‌ها بلافاصله برای آنالیز آنیون‌ها و برخی کاتیون‌ها توسط دستگاه ICP-OES یا کروماتوگرافی یونی به آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و برای آنالیز کاتیون‌ها با دستگاه ICP-MS به کشور استرالیا فرستاده شدند.

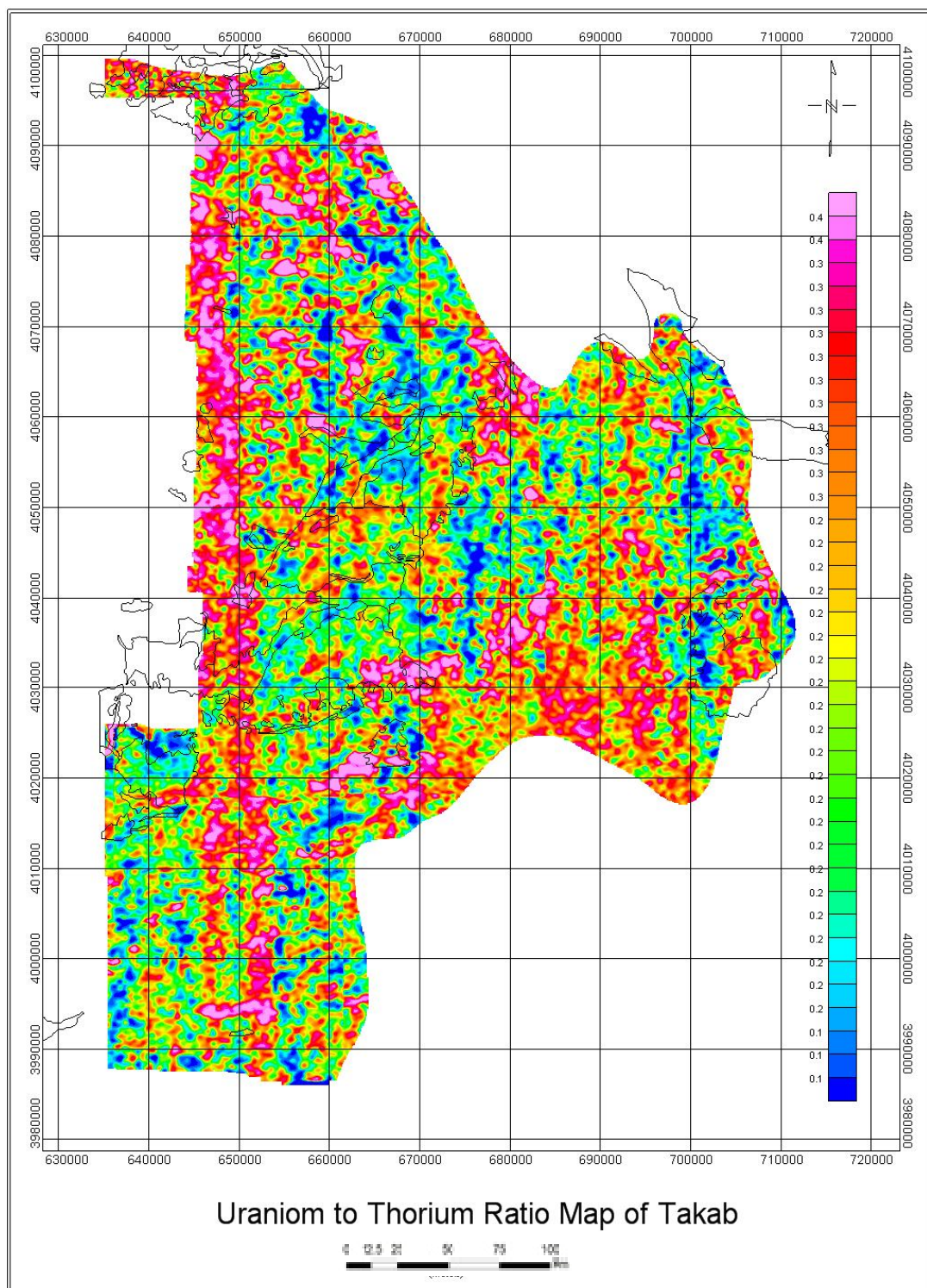
در این حوضه عوامل مؤثر در انتخاب نقاط اولیه نمونه‌برداری شامل شرایط اولیه سفره‌های آب زیرزمینی، توپوگرافی و جهت جریان آب‌های زیرزمینی بوده است. مؤلفه‌های فیزیکوشیمیایی pH، Eh، EC، TDS، دما (T) و شوری^۱ آب هر چشمه در محل توسط دستگاه مولتی متر کالیبره‌شده مدل Sension 156 اندازه‌گیری شده‌اند. پس از اندازه‌گیری مؤلفه‌های یادشده، نمونه‌برداری از آب چشمه‌ها انجام شده است. از هر چاه تعداد ۲ نمونه آب با رعایت اصول بهداشتی برداشت شده است. نمونه اول برای تجزیه کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب شامل Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^{+} ، K^{+} ، CO_3^{2-} ، HCO_3^{-} ، SO_4^{2-} و Cl^{-} و نمونه دوم

1. Salinity

2. Total Concentration

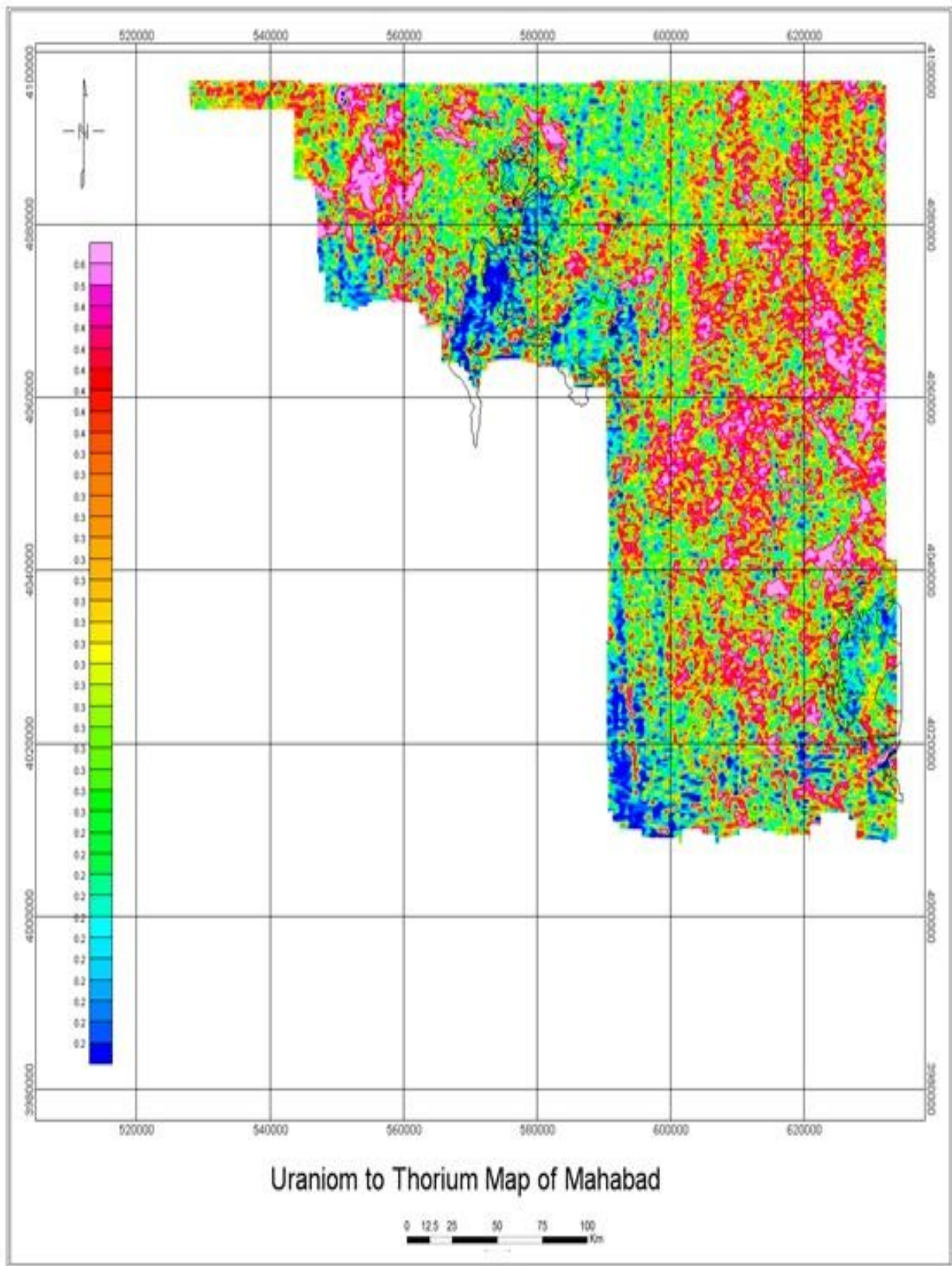
شیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان ارومیه ارائه شده است.

شماتیک نواحی تغذیه، تخلیه و جهت جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان ارومیه و در شکل ۱۳-B، نمودار پایپر نمونه‌های

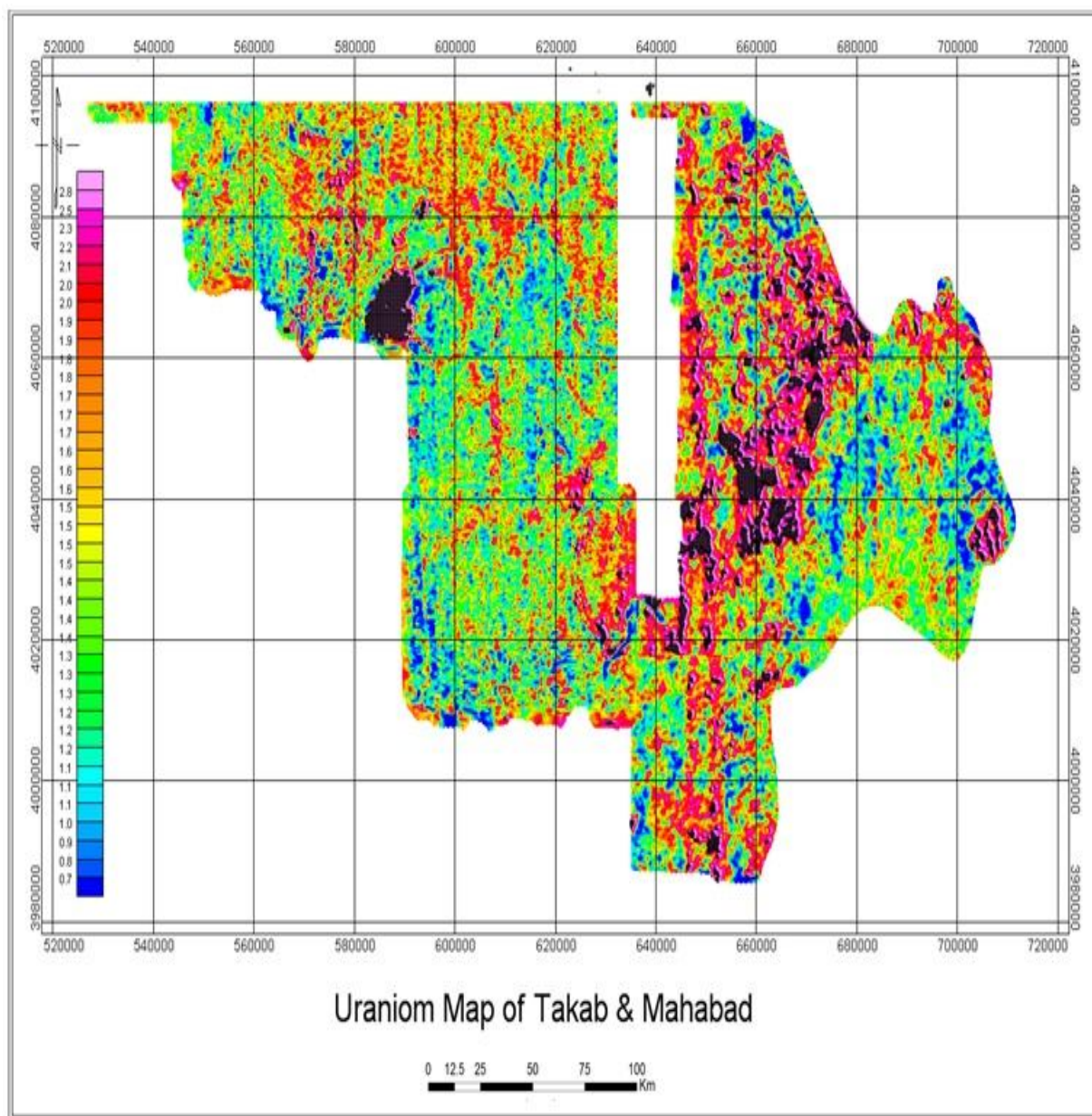


شکل ۱۰. نقشه نسبت اورانیوم به توریوم در تکاب

Fig. 10. Uranium/Thrium ratio map for Takab



شکل ۱۱. نقشه نسبت اورانیوم به توریوم در نقشه مهاباد
Fig. 11. Uranium/Thrioum ratio map for Mahabad



شکل ۱۲. نقشه داده‌های ژئوفیزیکی برای اورانیوم در برگه تکاب و مهاباد

Fig. 12. Uranium geophysics data map for Takab-Mahabad

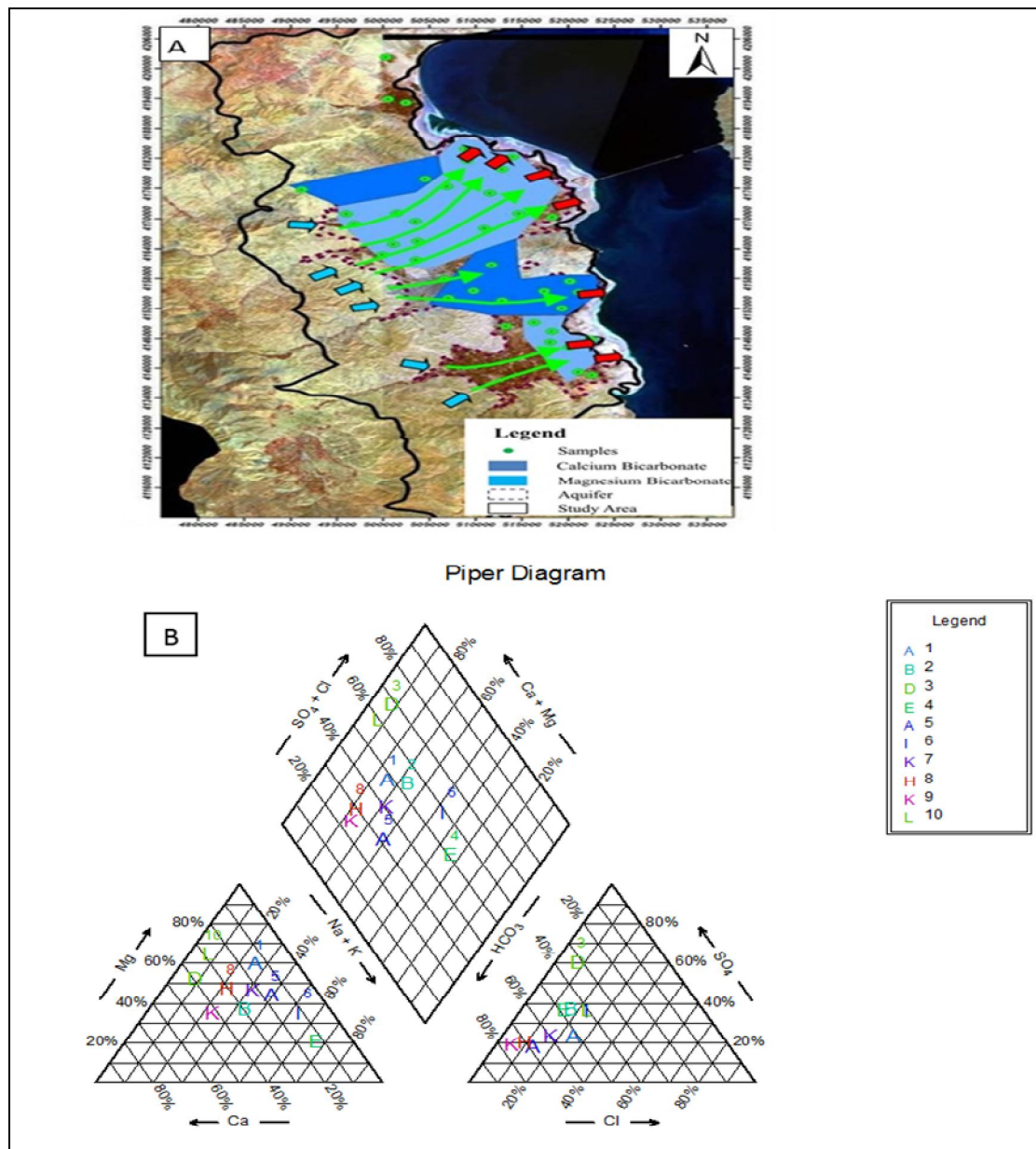
چاه عمیق و ۹۰۲ حلقه چاه نیمه‌عمیق)، ۶ دهانه چشمه و ۲ رشته قنات آماربرداری شده است. شیب هیدرولیکی آبخوان مهاباد بسیار کم است. عمق برخورد به آب‌های زیرزمینی در آبخوان مهاباد، حدود ۲ متر در حاشیه دشت و حدود ۶ متر در مرکز دشت است. بنابراین عمق برخورد به آب‌های زیرزمینی دشت مهاباد بسیار کم است.

آبخوان مهاباد

وسعت آبخوان مهاباد برابر با ۲۳۰ کیلومتر مربع و حداکثر ضخامت آبرفت در دشت مهاباد برابر با ۶۰ متر است. متوسط ضریب ذخیره دشت برابر با ۳ درصد و حداکثر و حداقل ضریب قابلیت انتقال آبخوان این دشت به ترتیب برابر با ۹۲۵ و ۲۹۲ مترمربع بر روز است. در این محدوده ۹۹۴ حلقه چاه (۹۲ حلقه

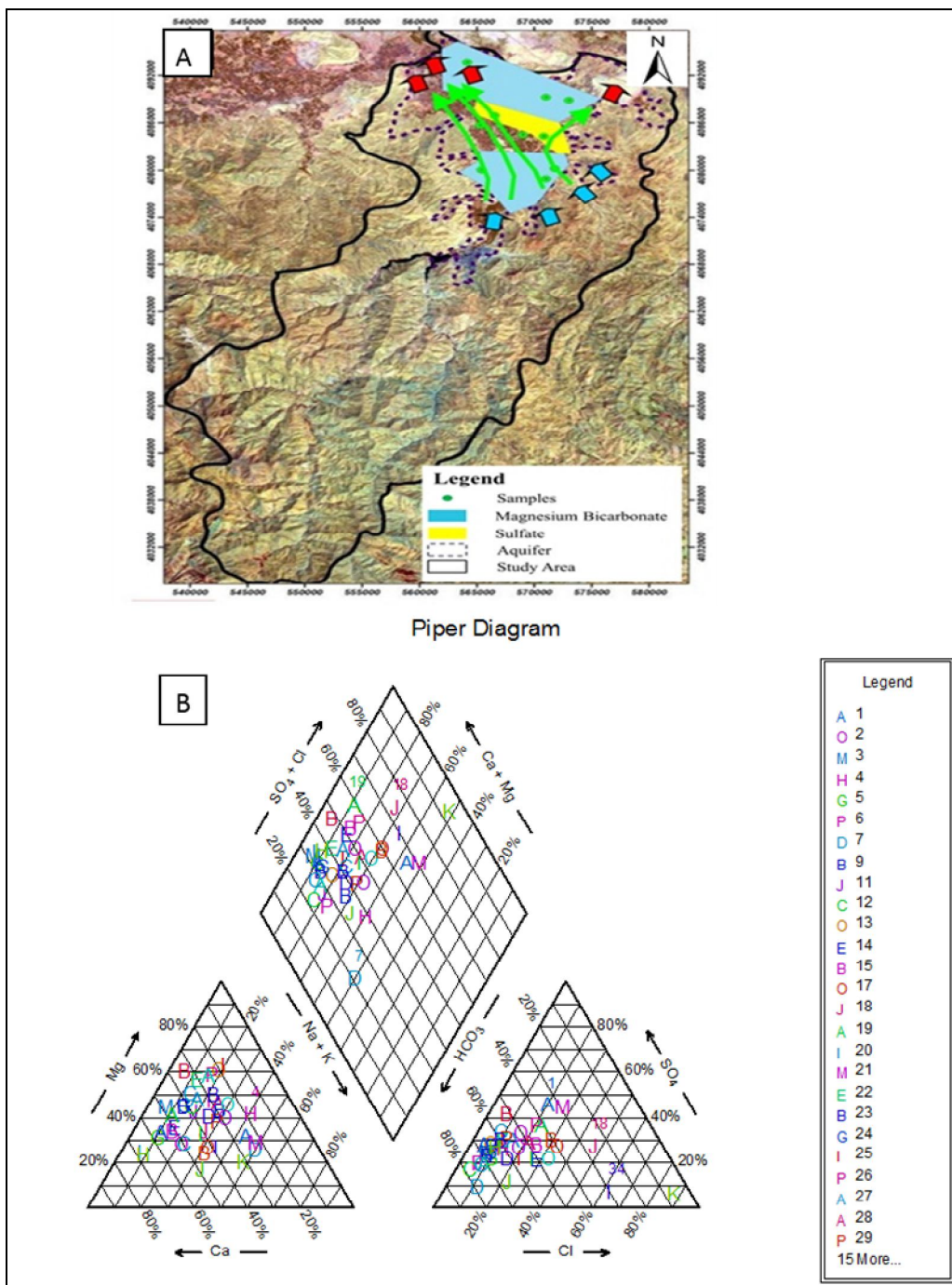
جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان مهاباد و در شکل ۱۴-B، نمودار پایپر نمونه‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان مهاباد ارائه شده است. بخش‌های جنوبی و شمالی آبخوان دارای نوع بی‌کربناته منیزیک و بخش مرکزی دارای نوع سولفات‌ه است. همچنین نمودار شولر نشان می‌دهد که بی‌کربنات در میان آنیون‌ها غلظت بیشتری را داراست.

نتایج حاصل از نمونه‌برداری شیمیایی آبخوان مهاباد نشان می‌دهد که میزان املاح آب‌های زیرزمینی در آبخوان مهاباد در حاشیه شرقی و غربی بالا بوده و به‌طور کلی در حاشیه دشت بیش از مرکز است. میزان هدایت الکتریکی در بخش اصلی آبخوان مهاباد بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. در شکل ۱۴-A، وضعیت شماتیک نواحی تغذیه، تخلیه و جهت



شکل ۱۳. A: وضعیت شماتیک نواحی تغذیه، تخلیه و جهت جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان ارومیه و B: نمودار پایپر نمونه‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان ارومیه

Fig. 13. A: Schematic of recharge areas, depletion and groundwater flow direction for Urmia aquifer, and B: Urmia groundwater chemical samples on Piper diagram



شکل ۱۴. A: وضعیت شماتیک نواحی تغذیه، تخلیه و جهت جریان آب‌های زیرزمینی آبخوان مه‌آباد و B: نمودار پایپر نمونه‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی آبخوان مه‌آباد

Fig. 14. A: Schematic of recharge areas, depletion and groundwater flow direction for Mahabad aquifer, B: Mahabad groundwater chemical samples on Piper diagram

نتیجه‌گیری

آلکالن و توف‌های وابسته جای‌گرفته در درون شیل‌های احیایی و ولکانو کلاستیک‌های قاره‌ای در نواحی مه‌آباد، تکاب، سرو می‌توانند به‌عنوان سنگ منشأ مناسب اورانیوم باشند، از طرفی

یافته‌های این پژوهش در حوضه ارومیه-نقده-مه‌آباد بیانگر این مطلب است که سنگ‌های ماگمایی آلکالن نظیر ریولیت‌های

اورانیوم دیده می‌شود. در بررسی‌های ژئوفیزیکی در شرق شهر ارومیه، کوه بزوداغی با واحدهای MP1 در شمال و جنوب آن رخنمون یافته‌اند. این واحد در مناطق شمالی دارای اورانیوم بالا و نسبت اورانیوم به توریم پایین است؛ لذا غیر فعال است. اما در نواحی جنوبی اطراف روستای جارچیلو و در نزدیکی ساحل دریاچه نسبت اورانیوم به توریم در بعضی مناطق بالای ۱/۳ است که بیانگر فعال بودن آن است. بررسی‌های هیدروژئولوژی نشان می‌دهد که جهت جریان آب‌های زیرزمینی این منطقه از غرب به شرق بوده و در واقع آب‌های زیرزمین از ارتفاعات غربی دشت ارومیه به سمت دریاچه ارومیه در حرکت هستند و به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه دارای نوع بی‌کربناته کلسیک و بی‌کربناته منیزیک هستند که در این منطقه و برای کانه‌زایی این نوع از اورانیوم حائز اهمیت است.

ماسه‌سنگ‌های توفی، ماسه‌سنگ‌های دگرگونی، آبرفت‌های جوان در صورت دارا بودن شرایط احیا و داشتن همراهان ناتراوا و نهشته‌هایی که در دوره‌های پربارش بر جای گذاشته‌اند، می‌توانند به‌عنوان سنگ میزبان این نوع از کانه‌زایی در نظر گرفته شوند.

تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده دورسنجی گویای حضور توانایی کانه‌زایی اورانیوم نوع ماسه‌سنگی در زیر حوضه غرب دریاچه ارومیه است که در بررسی‌های دورسنجی به‌دلیل وجود سنگ منشأهای دگرسان‌شده و وجود رخنمون‌های ماسه سنگی اکسیده و احیایی دارای اهمیت هستند. از لحاظ ژئوشیمیایی در این زیر حوضه عناصر Pb , As , Sn , Zn , Au به‌طور نسبی غنی‌شدگی از خود نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که در جنوب این زیر حوضه آثاری از واحدهای با منشأ کانی‌زایی

References

- Cheng, Q., Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F., 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, 56(3): 183–195.
- Crosta, A.P., De Souza Filho, C.R., Azevedo, F. and Brodie, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21): 4233–4240.
- Dahlkamp, F.J., 1993. Uranium ore deposits. Springer, New York, 460 pp.
- Douglas, G.B., Butt, C.R.M. and Gray, D.J., 2005. Mulga Rock uranium and multielement deposits, Officer Basin, WA. In: C.R.M. Butt, M. Cornelius, K.M. Scott and I.D.M. Robertson (Editors), *Regolith Expression of Australian Ore Systems*. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploration, Perth, pp. 415–417.
- Eftekharnjad, J., 1973. Geological map of Mahabad, scale 1: 250,000. Geological Survey of Iran.
- Garrett, R.G., 1984. Workshop 5: Thresholds and anomaly interpretation. *Journal of Geochemical Exploration*, 21(1–3): 137–142.
- Grunsky, E.C., 2010. The interpretation of geochemical survey data. *Geochemistry Exploration, Environment Analysis*, 10(1): 27–74.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 36(1–3): 375–412.
- Howarth, R.J., 1984. Statistical applications in geochemical prospecting: a survey of recent developments. *Journal of Geochemical Exploration*, 21(1): 41–61.
- Loughlin, W.P., 1991. Principal component analysis for alteration mapping presented at the eighth thematic conference on geologic remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 4(29): 503–512.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397–412.
- Nuclear Energy Agency, 2010. Uranium 2009: resources, production and demand. A joint report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, Nuclear Energy Agency France, Report 6891, 452 pp.

- Sabins, F.F., 1997. Mineral exploration in remote sensing: principles and interpretation. Freeman, San Francisco, 494 pp.
- Sharmad, T., Hosseini, S.A., Havstiny, S.M. and Hosseini S.M., 2012. Urmia hydrogeochemistry report. Geological survey of Iran, Tehran, 181 pp.
- Sinclair, A.J., 1991. A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry, probability plots revisited. Journal of geochemical exploration, 41(1-2): 1-22.
- Theodore, T.G., Armstrong, A.K., Harris, A.G., Stevens, C.H. and Tosdal, R.M., 1998. Geology of the northern terminus of the Carlin trend, Nevada: links between crustal shortening during the late Paleozoic Humboldt orogeny and northeast-striking faults. U.S. Geological Surveys, United State America, Report 98, 388 pp.



Reconnaissance of promising areas for sandstone type uranium deposits in the Urmia-Naqadeh-Mahabad basin, NW Iran

Mohammad Reza Hezareh*

Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Submitted: Feb. 3, 2016

Accepted: May 7, 2017

Keywords: *uranium, sandstone type, drainage basin, favorable area, Urmia*

Introduction

The Urmia-Naqadeh-Mahabad basin is a part of the south and west Urmia Lake drainage basin that covers some parts of East-and-West Azerbaijan and northern Kurdistan. This study is the integration of geological, hydrological, remote sensing, geochemical and airborne geophysical data classifying promising areas that are related to sandstone type uranium (U) mineralization in Iran. Based on positive factors such as favorable source, host rocks and suitable hydrological pattern, this basin is a favorable basin in Iran. According to the characteristics of lithology, tectonic, sedimentary environment, geotectonics and etc. the basin could be classified into favorable, promising and possible subbasins for mineralization of U sandstone type.

Material and methods

Geological data show that this region is a part of the Sanandaj-Sirjan zone and consists of Precambrian metamorphic rocks which are covered by younger sedimentary and volcano-sedimentary rocks that are influenced by different metamorphic phases. More than 7597 stream sediment samples from the area have been analyzed for Se, V, Mo, As, Cu, Ag, Zn, Co, Ni, Pb, Ti, Th, Zr, P and Sn. The basin is divided into 11 individual sub-basins. Radiometric data of the basin have been acquisitioned during 1976-1978 by an Australian-German- French Company with line separation of 500 meters and 120 meters of nominal terrain clearance.

Remote sensing data reveals that the western

subbasin is suitable for sandstone type uranium mineralization. Based on geochemical evidences, the Au, Zn, Sn, As and Pb elements were enriched. Geophysical investigation reveals that the Eastern basin includes high amounts of U and low amounts of Th. Hydrogeological study demonstrates that the trend of groundwater is from the west to the east.

Geochemical data revealed that we can divide the basin into 11 subbasins which are characterized as follows:

1. Ghara Aghaj (126 Km²), North to south trend is situated at the northern part of the basin. At this basin Ni, Co, Cu and V are reported but it is not related to mineralization.
2. Ghoma – Bezrgah (36 Km²). The East to the West trend is situated at the western part of the basin. At this basin Pb, As, Sn, Zn and Au are reported which can be related to skarn mineralization.
3. Piram – Shilan (342 Km²). At this basin Pb, Zn, As and Mo are reported which contain source rocks of uranium mineralization but there is no evidence of host rock and mineralization.
4. Pirestan1 (28 Km²). According to geological data a granitic body which can be the source of uranium mineralization and cretaceous volcanic rock outcropped. The fault system is weak by the north to the south trend. The anomalies of Pb, Mo, As and Sn are reported but there is no evidence of mineralization.
5. Kooh-e sabz poosh (34 Km²). Based on geological data half of the area is covered by granodioritic body which can be the source of

uranium mineralization. The fault system has two trends (NE-SW and N-S). The anomalies of V, As, Mo and Co are reported but there is no evidence of mineralization.

6. Pirestan2 ((83 Km²). According to geological data a granitic and granodioritic body can be the source of uranium mineralization. The anomalies of Mo, Sn, Co, As and Zn are reported but there is no evidence of mineralization.

7. Chahar Taq (36 Km²). The fault system has the NE to SW trend and trusted mechanism. The anomalies of Zn, Ni and Au are reported but there is no evidence of mineralization.

8. Zaveh Kooh (111 Km²). The rock units have the NW to SE trend according to the Sanadaj-Sirjan trend. The anomalies of Pb, As, Sn, Mo, Ti, Cu, Ni and Au are reported but there is no evidence of uranium mineralization but there is some evidence of orogenic gold mineralization.

9. Saqez-Baneh (465 Km²). The rock units have the NW to SE trend according to the Sanadaj-Sirjan trend. The anomalies of Co, Ti, Cu, Zn, Pb, Ni, Mo, Sn, Ag, Au and As are reported but there is no evidence of uranium mineralization and the same as the 8th subbasin there are known deposits of orogenic gold mineralization.

10. Charkeh (104 Km²). The rock units have the NW to SE trend. The anomalies of Zn, Mo, Sn, V, Ni, Au, As and Pb are reported but there is no evidence of mineralization.

11. Sheikh Ebrahim (38 Km²). The anomalies of Mo, Au, As and Pb are reported.

The integration of the different layers shows that the prospecting area is suitable for future exploration of blind deposits.

Geophysical data was processed and revealed those areas which have data. They can be classified into 5 different classes based on U and Th concentrations.

The Hydrogeological data consist of EC, pH, Eh, DO and salinity. And the temperature was measured at the field by Sension 156 multimeter and was sent for ICP-MS analysis to the AMDEL and Applied Geological Research Center (Karaj) laboratories. Two samples were obtained from each well by Widel et al.'s (1998) method. One sample was analyzed for Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ and Cl⁻ and the other samples were analyzed for major and trace elements. At each basin charge, the discharge and the trend of underground water were defined .

Results

The results revealed that this basin contains alkaline magmatic rocks such as alkaline rhyolite and tuff which are situated in reduced shale and continental volcanic clastic rocks and can be the source of uranium at the study area. Besides these rocks, tuffaceous sandstone, metamorphose sandstone and young alluvial by the reduction condition can be the suitable hosts for mineralization.

Based on geological, geochemical, hydrogeological and geophysical data, the western basin is suitable for sandstone type uranium deposit and also there is some evidence of mineralization.