



بررسی هیدروژئوشیمیایی احتمال کانی‌سازی نوع رسوبی اورانیم در منطقه‌ی فردوس

کاوه پازند*، محمدرضا رواسان، یوسف قنبری، مجید خسروی، حسین فتوت رودسری
گروه مهندسی معدن، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، صندوق پستی: ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵، تهران - ایران

چکیده: هیدروژئوشیمی روشی است که در سال‌های اخیر با موفقیت در اکتشاف کانسارهای رسوبی به ویژه کانسارهای اورانیم به کار گرفته شده است. اکتشاف به روش هیدروژئوشیمی مانند هر فعالیت اکتشافی دیگر مستلزم شناسایی اولیه‌ی منطقه و بررسی وضعیت زمین‌شناختی و به ویژه هیدروژئولوژی منطقه می‌باشد. منطقه‌ی فردوس یکی از مناطق اولویت‌دار برای اکتشاف اورانیم می‌باشد که عملیات اکتشافی در فاز شناسایی و پی‌جویی آن از سال ۱۳۸۸ شروع شده است. به دلیل آشکار شدن آثار کانی‌سازی اورانیم در منطقه و وجود شرایط مستعد کانی‌سازی اورانیم از نوع رسوبی، عملیات اکتشاف هیدروژئوشیمیایی در آن در دستور کار قرار گرفته و در این راستا تعداد ۱۹ نمونه‌ی آب به روش استاندارد نمونه‌برداری شده است که پس از تعیین مقدار فلزات، یون‌ها و کربنات، پردازش و تعبیر و تفسیر نتایج بر روی آن‌ها به انجام رسیده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که قابلیت انتقال اورانیم در منطقه، پایین بوده و احتمال کانی‌سازی آن کم است. با این وجود به علت وجود آنومالی‌های عناصر ردیاب اورانیم در مناطق مشخص احتمال وجود کانی‌سازی نوع رگه‌ای اورانیم در دو محدوده‌ی بالادست وجود دارد که نیاز به بررسی بیش‌تر دارد.

کلیدواژه‌ها: هیدروژئوشیمی، فردوس، اورانیم، نوع رسوبی، نوع رگه‌ای

Hydrogeochemical Investigation of Possibility of Sediment Type Mineralization of Uranium in Ferdows Area

K. Pazand*, M.R. Ravasan, Y. Ghanbari, M. Khosravi, H. Fotovat Rudhari
Department of Mining Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 1477893855, Tehran – Iran

Abstract: Hydrogeochemistry has been used in recent years as a successful exploration drilling for sedimentary deposits, with a particular interest for the uranium. Like any other exploration activity, hydrogeochemistry needs to identify and investigate the region, especially the hydrogeological one. Ferdows region is one of the priority areas for uranium exploration, where the identification and exploration activities in the prospecting phase have begun since 1388. Because of the detection of uranium mineralization in the area and existence of sedimental uranium mineralization conditions, the hydrogeochemical exploration activities in the area is on the agenda. In this respect, 19 water samples by standard methods were taken and after analysis of metals, carbonates and ions processing and interpretation of results indicated that uranium transfer capability in the region was extremely limited and the probability of mineralization is low. However, due to high levels of uranium tracers in these areas, the possibility of vein type mineralization of uranium in the upstream is existing and needs to be investigated further.

Keywords: Hydrogeochemistry, Ferdows, Uranium, Sediment type, Vein Type

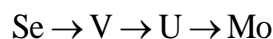
*email: kavehpazand@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۳/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۸/۳۰



۱. مقدمه

ذخایر نوع رسوبی (آب‌زاد) اورانیم حدود ۵۶ درصد منابع اورانیم جهان را تشکیل می‌دهند که شامل ذخایر بزرگ و غنی در بعضی از کشورها مانند نیجر، ازبکستان، قزاقستان، فرانسه، چین و آمریکا می‌باشند [۱]. اکتشاف ذخایر نوع رسوبی اورانیم با استفاده از ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در سال ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۹۰ گسترش یافته و در چند سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۲]. انحلال‌پذیری اورانیم در آب‌های زیرزمینی نسبت به تغییرات حالت کاهشی بسیار حساس است و تغییرات غلظت اورانیم بیش‌تر به غلظت اکسیژن محلول و پتانسیل اکسایش-کاهش (Eh) آب بستگی دارد [۳]. عناصر ردیابی که معمولاً همراه اورانیم در کانسارهای رسوبی موجود هستند عبارت‌اند از As، Se، Mo، V، S و دلیل وجود این عناصر همراه اورانیم در کانسارهای رسوبی این است که آن‌ها همگی تحت شرایط اکسیدی خنثی تا بازی قابل حل هستند و تحت شرایط کاهشی نهشته می‌شوند. با فرض شرایط کانسارهای شناخته شده، ناحیه‌بندی پیشنهادی از قسمت اکسیدی نهشته به طرف کاهشی به ترتیب زیر است [۳]



شرایط کاهشی، عامل تشکیل کانسار بوده و می‌تواند عناصر ردیاب را نیز با اورانیم در محل خود تثبیت نماید. بنابراین غلظت پایین اورانیم و ردیاب‌های آن در آب زیرزمینی می‌تواند شاخص کانی‌سازی بارزتری نسبت به غلظت‌های بالاتر باشد. به دلیل وجود سنگ مبدأ و میزبان مناسب برای اورانیم نوع رسوبی منطقه‌ی اکتشافی فردوس از اهمیت بالایی برخوردار است. کارهای قبلی انجام شده در منطقه نشانه‌های وجود کانی‌زایی در منطقه را تأیید می‌کند. بنابراین، برای این نوع کانی‌سازی روش اکتشاف هیدروژنوشیمیایی در منطقه در دستور کار قرار گرفته است. هدف این مقاله بررسی پتانسیل کانی‌سازی نوع رسوبی اورانیم در منطقه‌ی فردوس با استفاده از روش هیدروژنوشیمیایی بوده است.

۲. بخش تجربی

۱.۲ منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شرق ایران مرکزی و حد فاصل دو کویر بزرگ-دشت کویر و کویر لوت-واقع شده است. شهر فردوس در جنوب این منطقه قرار گرفته و در قسمت شمالی بخش

بجستان واقع شده است. منطقه، بخشی از ارتفاعات رشته کوه‌های ایران مرکزی در ۴۵۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد را دربر می‌گیرد. روند همگانی رخنمون‌ها در آن شمال-شمال‌غربی تا جنوب-جنوب‌شرقی است و ادامه‌ی رشته کوه‌های ایران مرکزی را نشان می‌دهد. این رشته کوه‌ها میان شهرستان‌های فردوس در جنوب و بخش بجستان در شمال و شهرستان گناباد در شرق جای گرفته‌اند (شکل ۱). دشت‌های فردوس و گناباد نزولات جوی را بین زمین‌های فردوس (در جنوب و غرب) و گناباد (در شرق و شمال‌شرق) تقسیم می‌کنند. آب و هوای منطقه به دلیل مجاورت با مناطق کویری گرم و خشک بوده و خصوصیات مناطق کویری را دارد [۴]. این ناحیه با دیگر ناحیه‌های ساختاری ایران مرکزی و البرز در دوران پالئوژئوئیک، حوضه‌ی رسوبی واحدی را تشکیل می‌دهد و همگی در بلندی‌گاه ایران مرکزی جای داشته‌اند. بخش عمده‌ی سنگ‌های کوه‌های این منطقه را مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی پدید آورده‌اند که متعلق به دوره‌ی سنوزوئیک هستند. گدازه‌های تشکیل‌دهنده‌ی این سنگ‌ها بر روی رسوبات متعلق به کربونیفر و ژوراسیک جریان یافته‌اند. سنگ‌های یاد شده توسط سنگ‌های آذرین با ترکیبی در حد گرانیت تا گرانودیوریت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. دگرگونی حاصل از تأثیر گرانیت، هم‌زمان و پس از تکاپوی آتشفشانی در سنگ‌های ژوراسیک شامل چند مرحله است و اثرات آن به شکل ایجاد شیست‌سانی در سنگ‌های شرق منطقه دیده می‌شود. سنگ‌های آواری این منطقه که بیش‌تر متعلق به کربونیفر و ژوراسیک می‌باشند شامل فیلیت، اسلیت، ماسه سنگ، کوارتزیت و آهک‌های میان لایه‌ی نازک هستند که در زیر گدازه‌های متعلق به ترسیر جای گرفته‌اند [۴].

۲.۲ نمونه‌برداری و تجزیه

با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و نیز مقیاس عملیات، نمونه‌برداری سیستماتیک به صورت شبکه‌ی منظم امکان‌پذیر نبود. لذا، سعی گردید از نقاط ممکن موجود در محدوده‌های موردنظر، نمونه‌ی آب تهیه شود. نمونه‌برداری از آب در روش هیدروژنوشیمی شرایط خاص خود را دارد و نکاتی باید رعایت شود. عملیات نمونه‌برداری در منطقه‌ی اکتشافی فردوس در مهرماه ۱۳۸۹ توسط گروه هیدروژنوشیمی مدیریت اکتشاف ناحیه‌ای به انجام رسید و جمعاً تعداد ۱۹ نمونه از محدوده‌های طراحی شده برداشت گردید (شکل ۱). نمونه‌ها بیش‌تر از حوضه‌های رسوبی منطقه که در پایین دست سنگ‌هایی که واجد

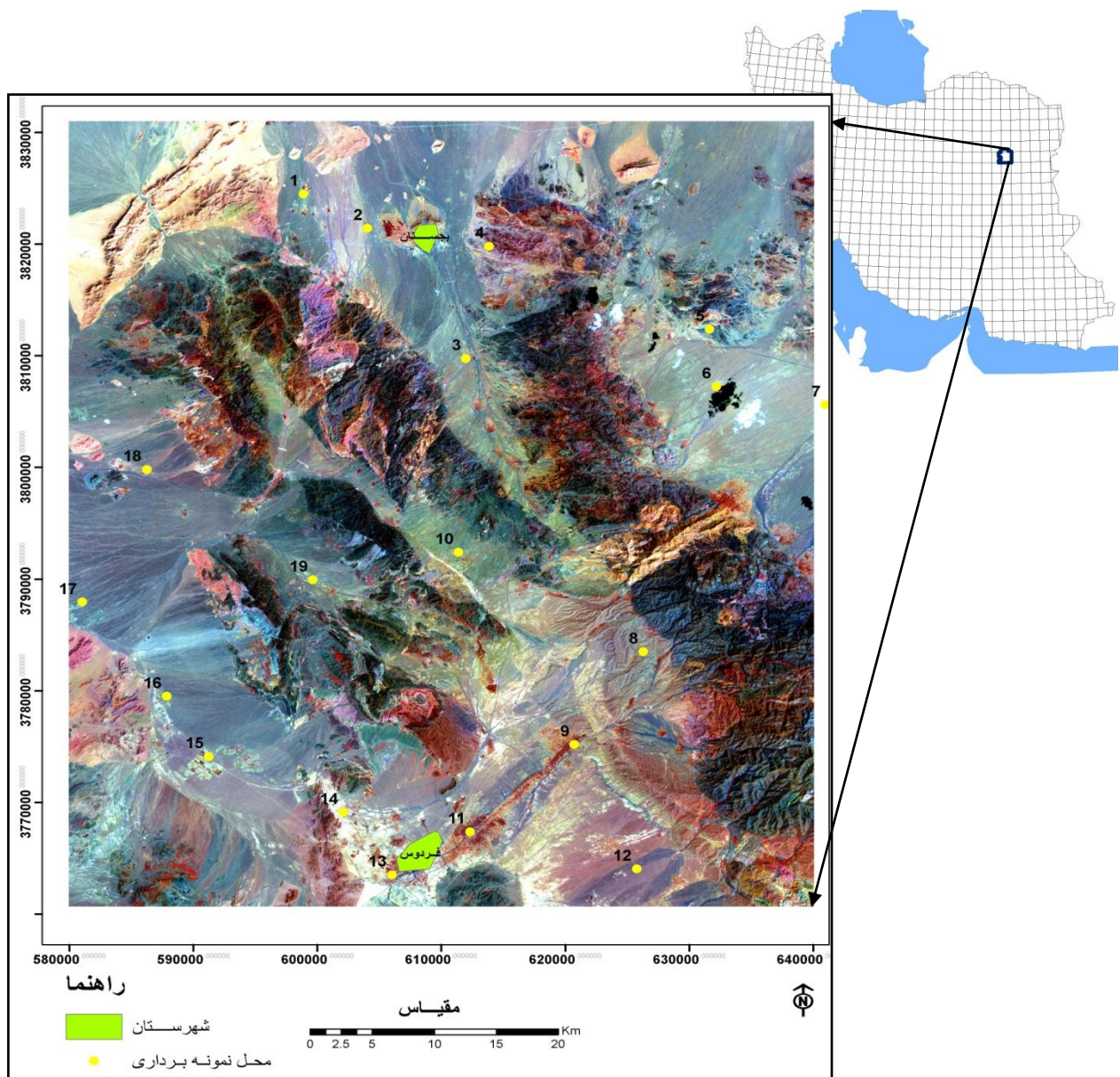


- نمونه‌ی صاف شده با استفاده از صافی ۰٫۴۵ میکرومتری که با اضافه نمودن چند قطره نیتریک اسید ۷۰ تا ۱ درصد اسیدی شده است تا مقدار فلزات موردنظر به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-MS) تعیین گردد (جدول ۱).
برای اندازه‌گیری پارامترهای دما، pH و Eh به صورت برجا از pH متر قابل حمل مترواهم مدل ۸۲۶ استفاده شده است.

شرایط منشأ اورانیم هستند برداشت شده‌اند. نمونه‌برداری طبق روش استاندارد هیدروژنوشیمی اورانیم انجام گرفته [۵] و از هر نقطه سه نوع نمونه با مشخصات زیر برداشت شده است:

- نمونه‌ی آب بدون هر گونه تغییر قدرت اسیدی و عبور از صافی در ظرف پُر فاقد هر گونه فضای خالی و هوا. برای این نوع نمونه، مقادیر کربنات و بی‌کربنات به روش عیارسنجی تعیین گردید.

- نمونه‌ی عبور داده شده از صافی ۰٫۴۵ میکرومتری و بدون تغییر قدرت اسیدی آن. مقدار آنیون و کاتیون‌های اصلی این نوع نمونه به روش کروماتوگرافی مشخص شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و محل نقاط نمونه‌برداری.



جدول ۱. نتایج تجزیه‌ی عنصری نمونه‌های آب منطقه‌ی فردوس

نمونه	pH	Eh	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	As (μg/L)	Ca (mg/L)	Cu (μg/L)	K (mg/L)	La (μg/L)	Li (μg/L)	Lu (μg/L)	Mg (mg/L)	Mn (μg/L)	Mo (μg/L)	Na (mg/L)	Se (μg/L)	Th (μg/L)	U (μg/L)	V (μg/L)	Zn (μg/L)
۱	۷٫۳۰	۶٫۳۰	۲۷٫۲۰	۴۲٫۴۰	۳۳٫۰۰	۲۹۴٫۰۰	۱۳۰٫۰۰	۱٫۱	۱۵۹٫۷۰	۸٫۵	۳٫۳۳	۰٫۳	۳۳٫۰	۰٫۱	۳۵۶۱	۶٫۳۱	۱٫۶	۳۸۱٫۶۰	۱٫۱	۰٫۴	۱٫۶۷	۱۶٫۰	۱۲٫۷
۲	۷٫۸۳	-۲۵٫۰۰	۲۶٫۷۰	۹۰٫۵۰	۱۱۰٫۰۰	۱۱۷۱٫۰۰	۱۵۰٫۰۰	۱٫۸	۲۱۱٫۲۰	۷٫۶	۵٫۱۵	۰٫۵	۸۰٫۹	۰٫۱	۹۰٫۳۸	۵٫۲۹	۷٫۰	۱۰۴۰٫۰۰	۱۴٫۶	۰٫۴	۲٫۸۳	۳۴٫۱	۱۵٫۹
۳	۸٫۰۸	-۳۵٫۰۰	۲۵٫۷۰	۱۷۲٫۰۰	۳۱٫۰۰	۲۹۰٫۰۰	۱۷۵٫۰۰	۷	۴۶٫۹۸	۶٫۹	۱٫۷۷	۰٫۴	۲۵٫۸	۰٫۱	۷۵۳	۲٫۷۷	۳٫۲	۳۳۵٫۱۰	۵٫۱	۰٫۴	۳٫۹۷	۱۰٫۰	۶۹٫۹
۴	۸٫۱۰	-۴۰٫۳۰	۳۰٫۱۰	۵۹٫۰۰	۳٫۰۰	۶۲٫۰۰	۳۳۵٫۰۰	۲۲٫۳	۱۷٫۴۸	۱۳٫۳	۱٫۵۳	۰٫۶	۴۱٫۹	۰٫۱	۶٫۸	۵٫۶۵	۹٫۳	۲۳۸٫۹۰	۱٫۲	۰٫۴	۴۰٫۶۴	۶٫۰	۱۱٫۳
۵	۸٫۶۹	-۷٫۰۰	۲۱٫۸۰	۳۰۶٫۰۰	۴۲٫۰۰	۵۱۱٫۰۰	۳۵۰٫۰۰	۹٫۴	۱۸٫۴۲	۳٫۶	۳٫۳۳	۰٫۳	۶۹٫۶	۰٫۱	۴۰۳	۷٫۲۶	۱۹٫۸	۶۷۴٫۷۰	۱۰٫۲	۰٫۴	۱۴٫۶۴	۴۳٫۱	۰٫۳۸
۶	۷٫۶۲	-۱۱٫۷۰	۲۶٫۴۰	۹۹۵٫۰۰	۲۷٫۰۰	۴۵۹٫۰۰	۱۲۵٫۰۰	۲٫۶	۱۶۷٫۴۰	۶٫۷	۳٫۹۷	۰٫۴	۳۳۵٫۶	۰٫۱	۲۵۹۲	۴٫۳۳	۶٫۰	۸۹۳٫۶۰	۴٫۶	۰٫۴	۱۳٫۰۶	۲۳٫۰	۲۳٫۸
۷	۷٫۶۱	-۱۰٫۳۰	۲۵٫۲۰	۲۱۳۹٫۰۰	۷۵٫۰۰	۱۰۲۶٫۰۰	۸۵٫۰۰	۶٫۷	۳۶۵٫۰۰	۹٫۲	۵٫۶۸	۰٫۴	۳۳۷٫۷	۰٫۱	۹۱۸۶	۳٫۱۱	۵٫۶	۱۶۰۱٫۰۰	۱۰٫۲	۰٫۴	۱۱٫۱۳	۳۸٫۱	۱۱٫۵
۸	۷٫۶۰	-۱۰٫۰۰	۲۱٫۶۰	۳۵٫۰۰	۱۳٫۰۰	۵۷٫۰۰	۲۰۰٫۰۰	۰٫۳۸	۵۱٫۳۳	۵٫۵	۱٫۸۷	۰٫۴	۱۱٫۲	۰٫۱	۱۷٫۰۶	۲٫۹	۰٫۹	۹۵٫۱۹	۱٫۴	۰٫۴	۱٫۷۵	۷٫۰	۹٫۴
۹	۷٫۷۳	-۱۶٫۰۰	۲۲٫۷۰	۱۶۹٫۰۰	۹٫۰۰	۱۵۱٫۰۰	۱۳۰٫۰۰	۰٫۳۸	۶۰٫۴۸	۸٫۷	۳٫۰۲	۰٫۱	۳۰٫۶	۰٫۱	۳۵۸۴	۲٫۳۸	۲٫۷	۲۳۴٫۲۰	۱٫۲	۰٫۴	۱٫۸۱	۱۲٫۰	۷٫۲
۱۰	۸٫۰۳	-۳۳٫۷۰	۲۵٫۷۰	۵۶۱٫۰۰	۲۲٫۰۰	۱۶۸٫۰۰	۲۱۰٫۰۰	۲٫۶	۷۶٫۱۴	۸٫۹	۱٫۲۴	۰٫۲	۷۳٫۸	۰٫۱	۱۵۷۰	۵	۱۶٫۱	۵۷۶٫۶۰	۴٫۹	۰٫۴	۷٫۸۶	۳۳٫۱	۵٫۰
۱۱	۷٫۳۴	۵٫۳۰	۲۳٫۵۷	۹۸۷٫۰۰	۵۵٫۰۰	۱۰۵۶٫۰۰	۱۹۰٫۰۰	۱٫۹	۳۳۵٫۸۰	۲۰٫۲	۵٫۴۴	۰٫۴	۷۵٫۷	۰٫۱	۱۴۱۸۰	۵٫۷۶	۱٫۹	۷۵۵٫۷۰	۱۳٫۶	۰٫۴	۵٫۹۴	۴۹٫۱	۱۱٫۲
۱۲	۷٫۷۵	-۱۷٫۰۰	۲۶٫۰۰	۳۰۱٫۰۰	۱۰٫۰۰	۲۸۸٫۰۰	۳۳۰٫۰۰	۱٫۶	۵۵۵٫۱	۲٫۴	۳٫۸۵	۰٫۱	۳۸٫۳	۰٫۱	۵۲٫۱۱	۳٫۴۱	۳٫۱	۴۲۴٫۷۰	۶٫۱	۰٫۴	۰٫۳۳	۲۰٫۰	۲٫۴
۱۳	۷٫۷۱	-۱۵٫۰۰	۲۱٫۲۰	۲۱۱۶٫۰۰	۱۲۴٫۰۰	۱۷۶۱٫۰۰	۲۱۰٫۰۰	۱۵٫۴	۴۶۹٫۳۰	۱۹٫۹	۲۷٫۳۱	۰٫۶	۹۹٫۷	۰٫۱	۱۱۸٫۲۰	۴٫۹۷	۱۱٫۰	۱۹۳۱٫۰۰	۱٫۸۱	۰٫۴	۱۵٫۵۰	۷۵٫۲	۶٫۲
۱۴	۷٫۵۹	-۷٫۲۰	۲۳٫۸۰	۳۱۹۴٫۰۰	۷۴٫۰۰	۴۳۰٫۰۰	۱۹۵٫۰۰	۴٫۱	۵۲۷٫۷۰	۲۰٫۳	۱۱٫۶۰	۰٫۴	۱۵۹٫۰	۰٫۱	۲۷۸٫۲۰	۳٫۹۴	۳٫۶	۲۴۴۴٫۰۰	۲۴٫۶	۰٫۴	۹٫۱۱	۸۴٫۲	۵٫۷
۱۵	۷٫۵۷	-۶٫۷۰	۲۳٫۸۰	۲۲۰۶٫۰۰	۴۳٫۰۰	۱۸۹۱٫۰۰	۲۱۵٫۰۰	۵٫۱	۲۸۰٫۴۰	۹٫۶	۱۳٫۸۱	۰٫۴	۱۸۴٫۴	۰٫۱	۱۳۴۸۰	۴٫۶۸	۴٫۴	۲۱۲۲٫۰۰	۲٫۳	۰٫۴	۱۰٫۵۷	۵۳٫۱	۳٫۴
۱۶	۷٫۶۹	-۱۴٫۰۰	۲۴٫۰۰	۲۱۶۹٫۰۰	۲۱٫۰۰	۱۹۲۶٫۰۰	۱۳۰٫۰۰	۴٫۲	۳۴۲٫۹۰	۱۴٫۶	۱۰٫۳۸	۰٫۶	۲۲۵٫۹	۰٫۱	۱۰۴۰۰	۴٫۸۸	۱۱٫۷	۲۱۳۰٫۰۰	۱۵٫۸	۰٫۴	۷٫۶۷	۴۳٫۱	۶٫۵
۱۷	۷٫۵۶	-۷٫۰۰	۲۴٫۸۰	۲۵۴۶٫۰۰	۲۲٫۰۰	۲۰۰۶٫۰۰	۱۶۵٫۰۰	۷٫۲	۳۳۰٫۴۰	۱۲٫۲	۱۱٫۵۸	۰٫۹	۲۰۲٫۲	۰٫۱	۱۲۴۹۰	۶٫۰۹	۸٫۶	۲۴۰۴٫۰۰	۱۷٫۸	۰٫۴	۷٫۸۹	۵۱٫۱	۶٫۹
۱۸	۸٫۵۳	-۶۳٫۰۰	۲۶٫۲۰	۶۶۸٫۰۰	۱۴٫۰۰	۹۶۳٫۰۰	۲۲۵٫۰۰	۳٫۸	۶۶۸۸	۲٫۶	۳٫۳۹	۰٫۱	۸۷٫۷	۰٫۱	۲۰۱۵	۱٫۸۷	۱۷٫۱	۱۰۳۳۰۰	۱۶٫۲	۰٫۴	۱٫۱۹	۱۸٫۰	۰٫۳۸
۱۹	۸٫۲۲	-۴۵٫۰۰	۲۳٫۵۰	۶۲۸٫۰۰	۴۸٫۰۰	۷۸۸٫۰۰	۲۲۰٫۰۰	۱۱٫۵	۶۶٫۱۹	۵٫۹	۲٫۳۲	۰٫۳	۸۰٫۲	۰٫۱	۱۳۹۷	۲٫۹۵	۱۸٫۳	۹۹۰٫۳۰	۱۰٫۶	۰٫۴	۱۳٫۳۶	۱۸٫۰	۲٫۶

۱. آب حاوی Na+Cl

۲. آب حاوی Ca+Mg+H₂CO₃+Cl

۳. آب حاوی Ca+Mg+H₂CO₃

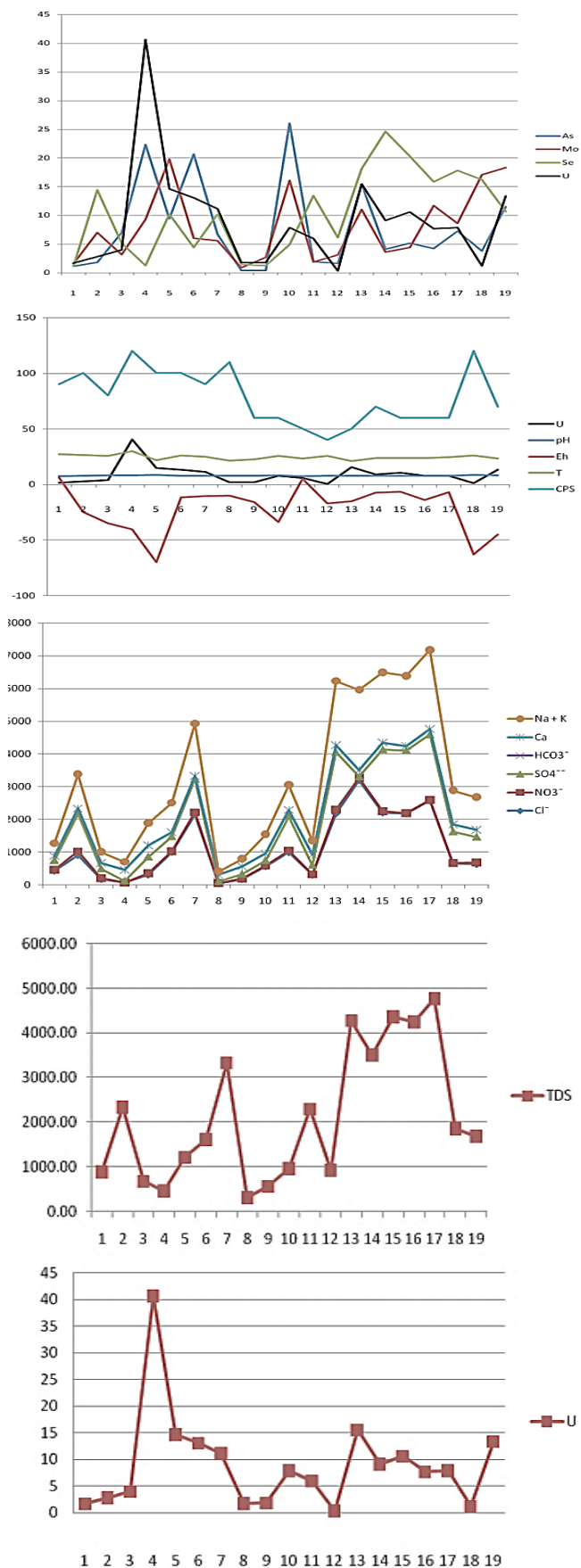
۴. آب حاوی Na+H₂CO₃

گروه اول با ۱۵ نمونه و ۷۹ درصد، نوع غالب منطقه می‌باشد. و گروه‌های دیگر به ترتیب با ۲، ۱ و ۱ نمونه و ۵، ۱۰، ۵ و ۵٪ فراوانی کم‌تری در منطقه دارند. نمونه‌های ۱۳ و ۱۱ متعلق به نوع ۲، نمونه‌ی ۹ مربوط به نوع ۳ و نمونه‌ی ۵ متعلق به نوع ۴ می‌باشند. اورانیم در محیط اکسند حمل شده و در محیط کاهشی نهشت می‌کند. از لحاظ نوع آب، آب‌های حاوی اکسیژن از جمله آب‌های حاوی HCO₃⁻ و SO₄⁻² قابلیت حمل اورانیم را دارند و آب‌های حاوی Cl⁻ اورانیم را نهشته می‌کنند [۱۰]. با توجه به پراکندگی انواع مختلف آب در منطقه بایستی گفت که قابلیت انتقال اورانیم در منطقه در قسمت‌های جنوبی و شمال‌شرق منطقه بیش‌تر است. با وجود این‌که اورانیم مهم‌ترین ردیاب خودش در بررسی‌های هیدروژنوشیمیایی می‌باشد با این حال مطالعه‌ی عناصر ردیاب و معرفی چون Se، AS، Pb، Hg، Mo و V می‌تواند به تفسیر نتایج کمک کنند [۱۱]. مطالعه‌ی

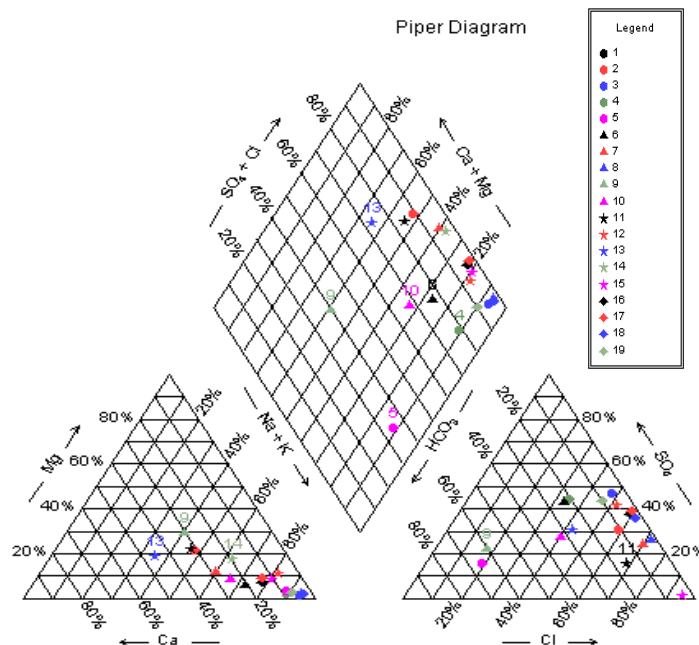
۳. پردازش و تفسیر نتایج

۱.۳ هیدروژنوشیمی

دورانس^(۱) مقدار اورانیم آب‌های سطحی حوضه‌های اورانیم‌دار، آب زیرزمینی و آب معادن اورانیم را به ترتیب، ۱۰، ۱ pbب تا ۱۵۰ pbب و ۴۰۰ pbب گزارش کرده است [۶]. گومز اعلام کرد که در مناطق اورانیم‌دار مقدار اورانیم در آب‌های زیرسطحی ۱ تا ۱۲۰ pbب، در آب‌های زیرزمینی ۱۵ تا ۴۰۰ pbب می‌باشد [۷]. سازمان بهداشت جهانی حد مجاز اورانیم در آب را ۱۵ pbب تعیین کرده است. سازمان محیط زیست آمریکا بیشینه مقدار مجاز را ۳۰ pbب تعیین کرده است. این مقدار برای سازمان بهداشت کانادا و سازمان آب استرالیا ۲۰ pbب می‌باشد [۸]. نتایج تجزیه‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر نمونه‌های این منطقه حاوی مقادیر بالای Na+K می‌باشند، این در حالی است که مقدار H₂CO₃ در نمونه‌های شماره ۵ و ۹ بالاتر از بقیه‌ی نمونه‌ها است. برای تعیین دقیق‌تر ترکیب و نوع آب و طبقه‌بندی نمونه‌ها از نمودار پایپر که به وسیله‌ی نرم‌افزار Aq.QA تهیه شده است، استفاده گردید [۹]. براساس این نمودار (شکل ۲) چهار نوع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد که به ترتیب فراوانی عبارت‌اند از:



شکل ۳. مقایسه‌ی روند تغییرات اورانیم با عناصر ردیاب و متغیرهای شیمیایی آب در منطقه‌ی فردوس.



شکل ۲. نمودار پاییر نمونه‌های آب منطقه‌ی اکتشافی فردوس.

همبستگی اورانیم با این عناصر نشان می‌دهد که اورانیم بیش‌ترین همبستگی را با عنصر آرسنیک دارد و بعد از آن مولیبدن همبستگی بهتری نسبت به سلنیم و وانادیم با اورانیم دارد (شکل ۳). ارتباط مشخصی بین اورانیم و متغیرهای شیمیایی آب وجود ندارد. هم‌چنین روند تغییرات مقادیر آنیون و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های تهیه شده تقریباً یکسان می‌باشد (شکل ۳).

غلظت اورانیم در آب طبیعی با شوری و مقدار مواد جامد حل شده (TDS)^(۲) مرتبط است و در تفسیر داده‌ها شرایط آب و هوایی باید مدنظر قرار گیرد. مقایسه‌ی روند تغییرات مقدار اورانیم و TDS (شکل ۳) نشان می‌دهد که این مقادیر رابطه‌ی تقریباً معکوس با هم دارند. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه که گرم و خشک می‌باشد قاعدتاً می‌بایست با افزایش مقدار TDS مقدار اورانیم محلول نیز بیش‌تر می‌شد. شاید این قضیه مربوط به مقدار پایین اورانیم در منطقه و کمبود اورانیم محلول در آب منطقه باشد.

۲.۳ شرایط کاهشی

در آبخوان‌ها، جایی که شرایط ژئوشیمیایی برای حرکت اورانیم مساعد است، اورانیم در سنگ تمرکز می‌یابد و نحوه‌ی تشکیل آن تمرکز اورانیم در آب زیرزمینی را کنترل می‌کند. پتانسیل اکسایش و کاهش ($Eh = +116 - +165 \text{ mV}$) و قدرت اسیدی (pH=۵/۷-۷/۷) بیش‌ترین تأثیر را بر چرخه‌ی ژئوشیمیایی اورانیم

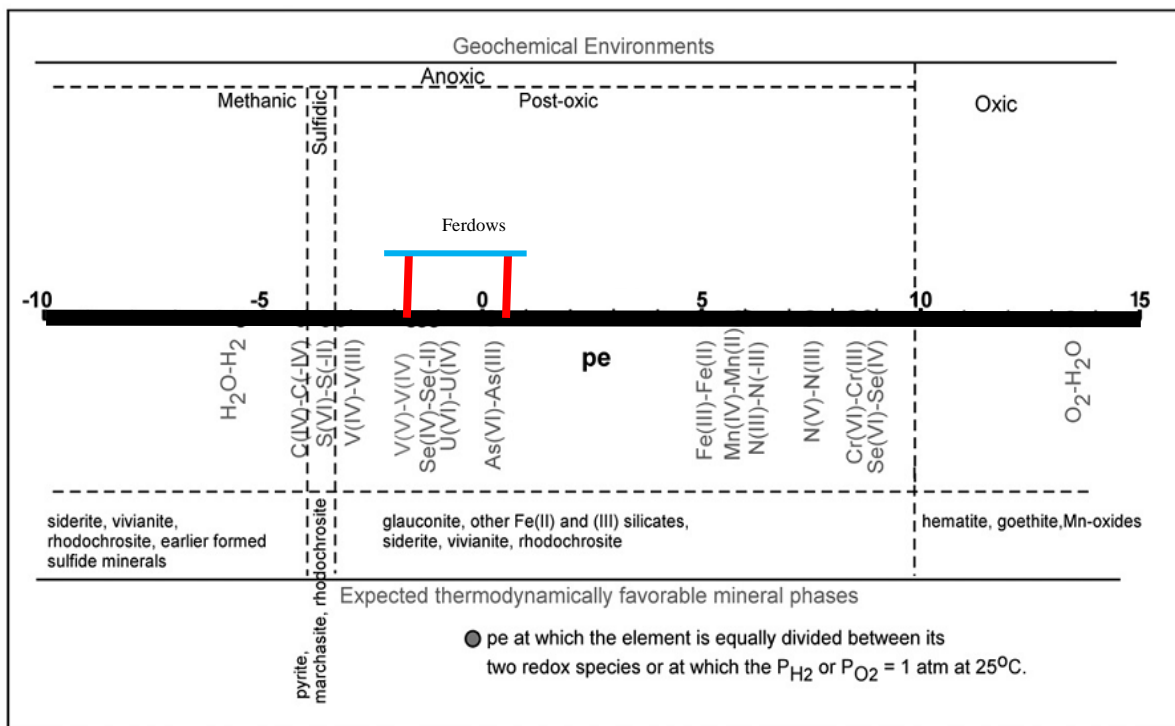


۳.۳ شاخص اشباع

اساس روش های اکتشافی بر مبنای موازنه ی کانی- محلول شامل محاسبه ی شاخص اشباع برای کانی ها در آب زیرزمینی است که موقعیت مساعد برای تشکیل یک کانسار را نشان می دهد [۲]. این شاخص بیان گر مقدار کانی حل شده در آب است. هر چه مقدار این شاخص بزرگ تر بوده و به عدد صفر و مقادیر مثبت نزدیک تر شود به همان اندازه به منطقه ی رسوب گذاری کانی نزدیک تر می شویم. هر قدر مقدار این شاخص کوچک تر بوده و به عدد منفی نزدیک تر باشد، به همان اندازه به منطقه ی انحلال و انتقال کانی نزدیک تر هستیم. در صورت صفر بودن مقدار شاخص، کانی با محلول در تعادل است [۲]. کانی کارنوتیت $[K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3(H_2O)]$ مهم ترین کانی اورانیم در ذخایر سطحی اورانیم می باشد. میزان رسوب گذاری این کانی در این ذخایر یک معیار مهم اکتشافی است. لذا برای دستیابی به این مهم از روش محاسبه ی شاخص غنی شدگی کارنوتیت استفاده شده است. شاخص اشباع کارنوتیت^(۳) (CSI) از رابطه ی زیر محاسبه می شود [۱۲]

$$CSI = \text{Log}[(U)(V)(K^+)] / 1.13 \times 10^4 \times (HCO_3^-)^2 \quad (1)$$

دارند [۶]. این مقادیر در منطقه ی مورد مطالعه برابر $(Eh = -700 + 6.3mv)$ و $(pH = 7.3 - 8.7)$ است و شاید حکایت از ضعیف بودن شرایط اکسایشی- کاهش ی آب های منطقه در تأثیر گذاری بر تحرک و نهشت اورانیم داشته باشد. نمونه های آب تهیه شده از منطقه ی فردوس شرایط کاهش ی متوسط از خود نشان می دهند. مقدار Eh اندازه گیری شده، با استفاده از رابطه ی $(P_e = 16.9Eh)$ به مقدار P_e تبدیل شده و به روی نمودار نشان دهنده ی حساسیت کاهش ی احتمالی برده شد (شکل ۴). همه ی نمونه های منطقه در زیر گروه غیراکسیدی قرار گرفته اند. بازه ی تغییرات مقدار P_e پایین تر از پتانسیل کاهش $Fe(III)$ و بالاتر از پتانسیل کاهش $V(V)$ بوده و در محدوده ی پتانسیل کاهش ی $U(VI)$ ، $Se(IV)$ و $As(VI)$ قرار گرفته و نشان می دهد که محیط کاهش ی فلزات در منطقه وجود دارد. وجود شاخص کاهش ی مشخص و محدود (به لحاظ بازه و تنوع) می تواند نشان دهنده ی این واقعیت باشد که سیستم به حالت تعادل رسیده است. عناصر و یون های NO_3^- ، SO_4^{2-} ، Mn و Fe همانند As به محلول های کاهش ی حساس هستند و رفتار مشابهی نشان می دهند. این مطلب از این لحاظ حایز اهمیت است که هر جا مقدار این ترکیبات بالاتر باشد نشان دهنده ی افزایش قابلیت تحرک فلزات در آن محیط می باشد و در تفسیر نتایج اکتشاف ناحیه ای کمک شایانی خواهد نمود.



شکل ۴: نمودار نشان دهنده ی وضعیت اکسایشی- کاهش ی محیط ژئوشیمیایی آب های منطقه.

۴. نتیجه‌گیری

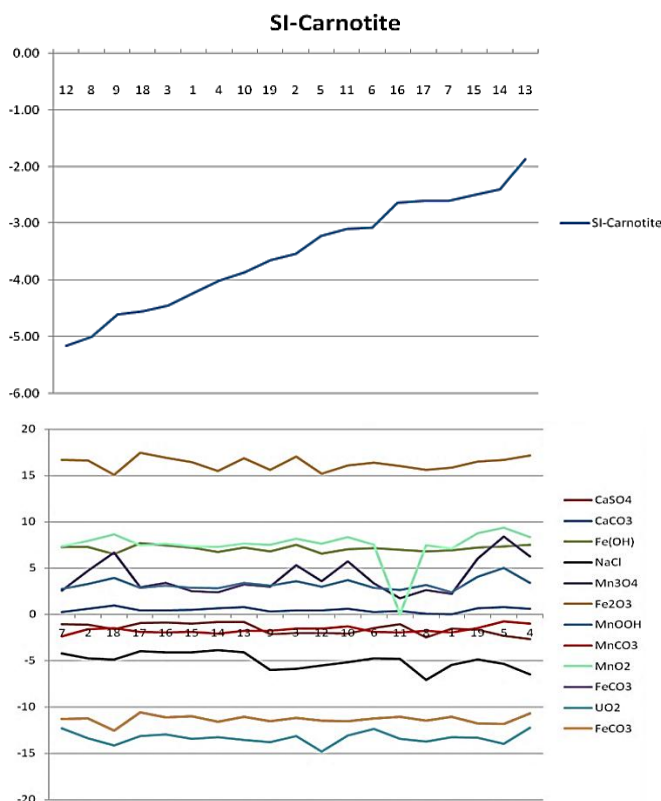
روش هیدروژنوشیمی ابزاری مهم در اکتشاف اورانیم نوع رسوبی می‌باشد که برای اولین بار در منطقه‌ی اکتشافی فردوس به کار برده شده است. با وجود محدودیت‌های موجود مانند تعداد نمونه‌ی تهیه شده، نتایج این عملیات توانست تا حد زیادی مسایل هیدروژنوشیمی منطقه را حل نماید. مانند هر روش اکتشافی دیگر، نتایج و دستاوردهای حاصل از آن می‌تواند قابلیت پتانسیل روش را نشان دهد. به طور کلی نتایج زیر به دست آمد:

- شرایط کلی منطقه برای حل و انتقال اورانیم به دلیل عدم پایداری شرایط اکسیدی آب و وجود مقدار اکسیژن کافی پایین می‌باشد.
- با توجه به معیارها، شرایط کاهشی منطقه پایین است. با این وجود، مقدار نهشت اورانیم پایین است که این ناشی از مقدار پایین اورانیم در آب‌های منطقه است.
- با وجود این، مقادیر وانادیم، سلنیم، مولیبدن و آرسنیک در حوضه‌ی پایین دست دو منطقه در شمال شرق و جنوب غرب نسبت به سایر نقاط بسیار بیش تر است و می‌توان انتظار کانی‌سازی اورانیم (احتمالاً از نوع رگه‌ای) را در این مناطق داشت.

که در آن مقدار اورانیم و وانادیم برحسب $\mu\text{g/L}$ و مقدار پتاسیم و بی‌کربنات برحسب mg/L می‌باشند. با استفاده از این رابطه مقادیر این شاخص برای نمونه‌های منطقه‌ی فردوس محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که همه‌ی نمونه‌ها دارای شاخص اشباع کارنوتیت زیر صفر بوده و مقدار آن از $۱,۸۷$ - در نمونه‌ی ۱۳ تا $۵,۱۵$ - در نمونه‌ی ۱۲ تغییر می‌کند (شکل ۵). در نتیجه احتمال کانی‌سازی کارنوتیت در منطقه‌ی مورد مطالعه پایین است. برای محاسبه‌ی شاخص اشباع دیگر کانی‌ها از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شد. با استفاده از این نرم‌افزار، شاخص غنی‌شدگی برای طیف زیادی از کانی‌ها محاسبه گردید. شاخص اشباع کانی اورانینیت از $۱۴,۷۹$ - در نمونه‌ی ۱۲ تا $۱۲,۲۵$ - در نمونه‌ی ۴ تغییر می‌کند و در همه‌ی نمونه‌ها مقدار آن منفی است. در شکل ۵ روند تغییرات شاخص غنی‌شدگی برای بعضی کانی‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که کانی‌های کلسیت، اکسیدی منگنز، اکسیدی و هیدروکسیدی آهن دارای شاخص مثبت هستند و نشان می‌دهند که محیط برای نهشت و تشکیل این کانی‌های مساعد است در حالی که کانی‌های هالیت، منگنز هیدروکسید و کربنات‌های آهن و منگنز دارای شاخص منفی بوده و حاکی از آن‌اند که این کانی‌ها در محلول انتقال می‌یابند.

پی‌نوشت‌ها:

۱. Durrance
۲. TDS: Total Dissolved Solids
۳. CSI: Carnotite Saturation Index



شکل ۵. نمودار نشان‌دهنده‌ی بازه‌ی تغییرات شاخص اشباع کانی کارنوتیت و دیگر کانی‌ها در نمونه‌های منطقه‌ی فردوس.



References:

1. I. Lambert, A. McKay, Y. Miezitis, "Australia's Uranium Resources, Trend, Global Comparison and New Developments Bureau of Resource Sciences," Canberra, 20 (1996).
2. M.C. Pirlo, A.M. Giblin, "Application of groundwater–mineral equilibrium calculations to geochemical exploration for sediment-hosted uranium: observations from the Frome Embayment," South Australia, AEG/Geological Society of London, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Vol. 4, 113-127 (2004).
3. M. Maozhong, P. Xinjian, Z. Xianlin, Q. Haiming, W. Jinping, Li. Zhang, "Hydrochemistry and isotope compositions of groundwater from the Shihongtan sandstone-hosted uranium deposit, Xinjiang, NW China," Journal of Geochemical Exploration, 93, 91-108 (2007).
4. A. Pourlatifi, "Geology map of ferdows 1:100000 sheets," Geology Survey of Iran (1995).
5. K. Pazand, "Instructions of sampling in hydrogeochemical method," EMKA Co. (2009).
6. Jovan Kovacevic, Zoran Nikic, Peter Papic, "Genetic model of uranium mineralization in the permo-Triassic sedimentary rocks of the stara planina eastern Serbia," Sedimentary Geology 219, 252-261 (2009).
7. P. Go Mez, A. Garralo'n, B. Buil, Ma.J. Turrero, L. Sa'nchez, B. De La Cruz, "Modeling of geochemical processes related to uranium mobilization in the groundwater of a uranium mine," Science of the Total Environment, 366, 295-309 (2006).
8. Z. Nikic, J. Kovacevic, P. Papic, "Uranium in the Groundwater of Permo-Triassic Aquifers of the Visok Region, Stara Planina, Eastern Serbia," Water Air Soil Pollut, 192, 47-58 (2008).
9. T. Ramkumar, S. Venkatramanan, I. Anitha Mary, M. Tamilselvi, G. Ramesh, "Hydrogeochemical Quality of Groundwater in Vedaranniyam Town, Tamilnadu, India," Research Journal of Earth Sciences, 1(1), 28-34 (2009).
10. H. Kac, Maz, E. Nakoman, "Hydrochemical characteristics of shallow groundwater in aquifer containing uranyl phosphate minerals, in the Ko "pru "bas,ı (Manisa) area," Turkey, Environ Earth Sci, 59, 449-457 (2009).
11. Canadian Geology Survey, "Geochemical and Geophysical Exploration Methods Aqueous geochemistry in mineral exploration," <http://gsc.nrcan.gc.ca> (2009).
12. R.J. Bowell, A. Barnes, J. Grogan, M. Dey, "Geochemical controls on uranium precipitation in calcrete palaeochannel deposits of Namibia," SEG-GSSA Conference, 7Th-10Th July, 1-4 (2009).