ظرفیت کانی سازی اورانیوم و مدل آن در رسوبات نئوژن، حوضه تلخه‌رود منطقه تبریز - اهر

نوشته: دکتر فریدون سحابی * و حسن محسنی **

چکیده

حوضهٔ تلخه‌رود در آذربایجان خاوری، بوسیلهٔ ارتفاعات و توده‌های پلوتونی- ولکانیکی احاطه شده و در واقع یک حوضهٔ بین کوهستانی می‌باشد که در مجموعه‌ای از قوس‌های ماگمایی مربوط به اواخر ترسی‌یر، قرار گرفته است. سرشاخه‌های تلخه‌رود از ارتفاعاتی چون آتشفشان‌های سبلان، بزقوش، دچان و قوشه‌داغ سرچشمه گرفته و با شستو دادن دامنه‌های مذکور، مقدار قابل توجهی از اورانیوم موجود در آن‌ها را به کانال اصلی رودخانه حمل کرده و در آنجا در لایلای رسوبات ماندری رودخانه و پهنه‌های دلتایی رسوب داده است.

بررسی آماری عیار اورانیوم و عناصر دیگر در توالی‌های رسوبی میوسن بالایی میان تبریز و اهر در تلخه‌رود، وقوع کانی‌سازی را در منطقه مشخص می‌سازد. ارتباط اورانیوم با مس، مولیبدنیوم و وانادیوم و همبستگی مثبت عناصر مزبور، مؤید کانی‌سازی از تیپ ماسه‌سنگی و از نوع هلالی (Roll front) است. این همبستگی تنها در ستون چینه‌ای امیدچه مشاهده شده و آنومالی‌های مربوط هم از نوع اپی‌ژنتیک می‌باشد. در گورچین اورانیوم با عناصر شاخص تیپ ماسه‌سنگی همبستگی منفی نشان می‌دهد. حال آن که شیل‌های تیره در ستون چینه‌ای این منطقه با وجود تأثیر فروشست (leaching) و هوازدگی‌های سطحی، از عیار کم و بیش بالای اورانیوم (حداکثر- ۱٤ PPm) برخوردارند. تجمع اورانیوم در این سنگ‌ها از طریق «جذب» روی مواد آلی و یا ذرات و کانی‌های رسی، همزمان با رسوب‌گذاری صورت گرفته و کانی‌سازی مربوطه، از نوع سین ژنتیک است.

فراوانی سیمان کلسیتی در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی مؤید وفور($CO3^{-2}$) در محیط های دیاژنزی بوده که نقش مهمی در انتقال اورانیوم موجود در میحط های مذکور به صورت کربوکسیل اورانیوم ایفا نموده و محلول‌های اخیر در نهایت در شرایط احیاً و محیط های شیمیایی مناسب می‌تواند به اکسید اورانیوم تبدیل شده باشد.

Abstract

Talkheh Rud is an intermountain basin located within the magmatic archs of Eocene and late Tertiary age. Cumulative frequency variations of elements such as Uranium, copper, Molibdinium, Vanadium and Cobalt show that mineralization occurred in the Neogene stratigraphic sequence of this basin in the region between cities of Tabriz and Ahar.

A strong dependancy between Uranium, Copper, Molibdinium and Vanadium was observed in the coarse clastic beds in Omidcheh area, indicating that the sandstone- type Uranium deposits are post-depositional and of epigenetic origini- While mineralization in Govarchin Carbonaceous shales had taken place during depositional period and syngenetic in natire.

Uranium and other accompanying metalic elements appear to have been leached out of plutonic and volcanic sources in the vicinity of the basin and subsequently deposited in reducing environment dominated on meandering rivers and deltaic sediments.

Uranium Mineralization in Neogene Sediments of Talkheh Rud Basin in Tabriz- Ahar Area

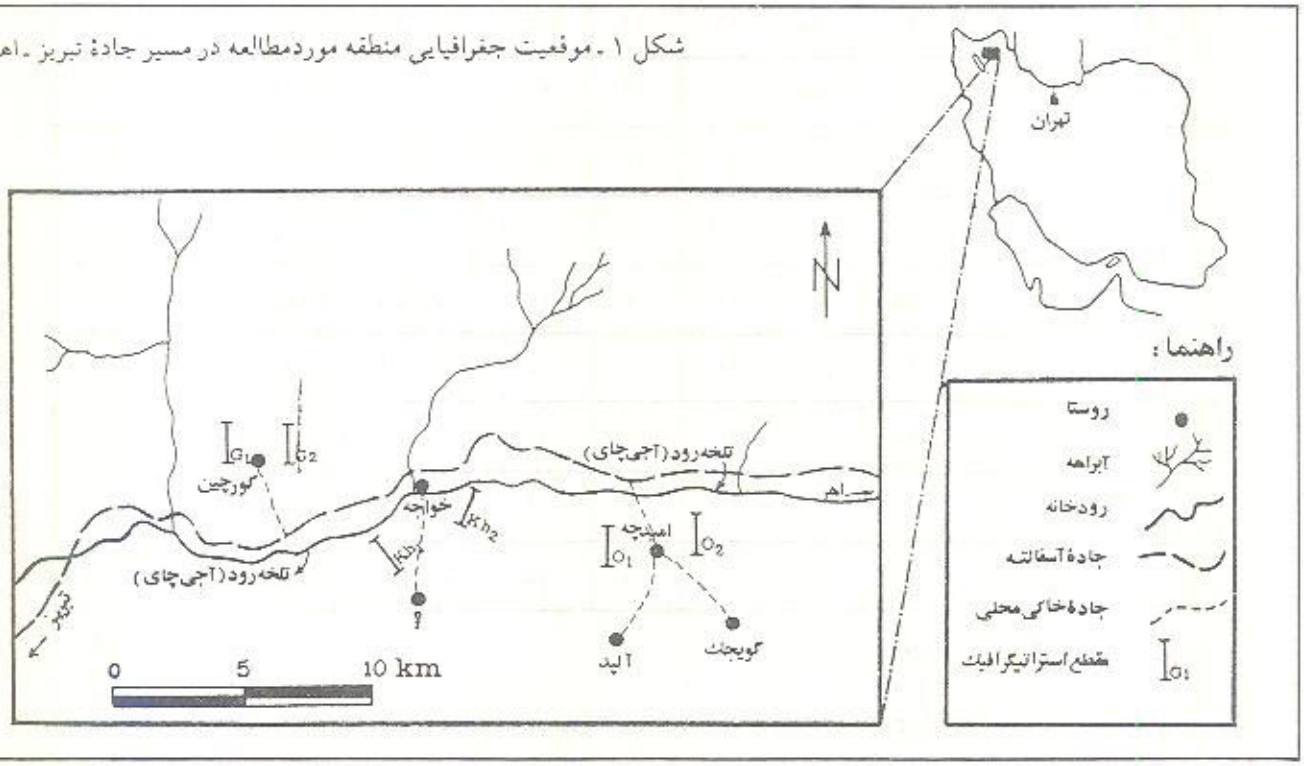
By: Dr, F. Sahabi * and H. Mohseni **

۱ - مقدمه

گستره مورد بررسی بخشی از حوضهٔ رسوبی تلخه‌رود را تشکیل می‌دهد که در ٤٠ کیلومتری شمال خاوری تبریز و در کنار جادهٔ تبریز به اهر واقع شده است (شکل ۱). حوضهٔ تلخه‌رود از شمال بوسیلهٔ رشته کوه‌های ارسباران، از خاور بوسیله آتشفشان‌های سبلان (٤٨١١ متر ارتفاع) و قوشه‌داغ و از جنوب بوسیلهٔ ارتفاعات بزقوش محاط شده است. رودخانهٔ تلخه‌رود یا آجی چای در مرکز این حوضه از خاور به باختر جاری است. سرشاخه‌های این رودخانه از دامنه‌های جنوب باختری سبلان و قوشه‌داغ و دامنه‌های جنوبی ارسباران سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت تبریز به دریاچهٔ ارومیه می‌ریزد.

اکتشافات هوایی و زمینی در حوضهٔ تلخه‌رود، اولین بار توسط سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد (سامانی ۱۳۵٦). در

شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در مسیر جادهٔ تبریز - اهر



۱۳۶۰ و ۱۳۶٤ امامی پاره‌ای مطالعات ژئوشیمیایی را روی آبها و رسوبات آبرفتی منطقه در زمینهٔ سنجش غلظت اورانیوم انجام داد و نتیجه‌گیری نمود که اورانیوم موجود در آبهای منطقه از سه منشأ توده‌های ولکانیکی، آنومالی‌های موجود در طبقات شیلی و آنومالی‌های اپی‌ژنتیکی در طبقات ماسه‌سنگی تأمین می‌گردد. علیزاده عظیمی (۱۳٦۷) ضمن بررسی چینه‌شناسی منطقهٔ گورچین به روند کانی‌سازی اورانیوم نیز اشاره نموده است. سحابی و محسنی (a ۱۳۷۳) مسائل رسوب‌شناسی و پتروگرافی تفصیلی رسوبات میوسن بالایی در حوضه تلخه‌رود را مورد بررسی قرار دادند.

در مقالهٔ حاضر کوشش به عمل آمده است که مسائل ژئوشیمیایی و روند کانی‌سازی اورانیوم در طبقات رسوبی تخریبی (ماسه سنگ و شیل) به طور جامع و در حد مقدور بررسی شده و در نهایت مدل کانی‌سازی اورانیوم در منطقه ارائه گردد. برای این منظور برپایهٔ بررسی‌های پتروگرافی قبلی (سحابی- محسنی a ۱۳۷۳)، ۲۲ نمونه مورد سنجش X-ray Diffractometry (XRD) و ۲۰٤ نمونه مورد آنالیز X-ray Fluorescence (XRF) قرار گرفت. پس از بررسی آماری و تجزیه و تحلیل نتایج حاصله روند تغییرات عیار عناصر و همچنین رابطه و همبستگی‌های ژئوشیمیایی بین آنها تعیین و تبیین گردیده است.

۲- مطالعات ژئوشیمیایی

اورانیوم عنصری اکسی فیل است که با ظرفیت‌های ۳و ٤و ۵و ٦ با اکسیژن ترکیب می‌شود. اکسیدهای ٤ و ٦ ظرفیتی آن در طبیعت فراوانترست. میانگین فراوانی اورانیوم در پوسته جامد زمین ۲ppm. بوده (Mason and Moore 1982) که این عیار طی فعالیت‌های ماگمایی در سنگ‌های آذرین اسیدی و یا قلیایی افزایش می‌یابد. در این صورت منشأ اصلی آن در بیشتر موارد همان سنگ‌ها خواهد بود. آزاد شدن

عنصر / مقطع مورد مطالعه	U	V	Cu	Mo	As	Pb	Th	Fe	Ti	Zr	Co
آمیدجه	۵	۱۰۱	۴۴۶	۲۴	۷۴	۶۹	۳۷	۲۴۰۰۰	۲۳۰۰	۱۷۰	۴۰
خواجه	۴۰	۶۹	۱۵	۲۲	۲۳	۱۸	۲	۲۷۴۰۰	۲۶۰۰	۱۵۰	۳۳
گورچین (ماسه‌سنگ)	۵	۹۵	۲۴	۷	۲۲	۲۰	۶	۲۳۵۰۰	۱۹۰۰	۱۴۸	۴۰
گورچین (شیل)	۱۴	۱۳۰	۵۵	۱۱	۱۹	۱۵	۶	۳۳۴۰۰	۲۱۰۰	۱۱۵	۳۶
گورچین (کربنا تها)	۹	۳۴	۳۵	۳	۲۴	۲۰	۸	۹۰۰۰	۹۶۰	۴۲	۲۳
گورچین (خوف وگدازه)	۵	۱۰۰	۲۶	۳	۲۴	۱۲	۷	۲۷۵۰۰	۲۳۰۰	۱۳۸	۳۱
سینیت دجان *	۱۶	–	–	–	–	–	۲۲	–	–	۳۷۱	–
میانگین پوسته زمین **	۲	۱۳۵	۵۵	۲	۲	۱۲	۷	۵۰۰۰۰	۴۴۰۰	۱۶۵	۲۵
میانگین ماسه سنگها **	۰/۵	۲۰	۴ ؟	۰/۲	۱	۷	۱/۷	۹۸۰۰	۱۵۰۰	۲۲۰	۰/۳
میانگین شیلها **	۴	۱۳۰	۴۵	۲/۶	۱۳	۱۰	۱۲	۴۷۲۰۰	۴۶۰۰	۱۶۰	۱۹
میانگین کربنا تها **	۲	۲۰	۴	۰/۴	۱	۹	۱/۷	۳۸۰۰	۴۰۰	۱۹	۰/۱
میانگین سنگهای آذرین **	۳	۱۳۵	۵۵	۲	۲	۱۳	۱۰	۵۰۰۰۰	۴۴۰۰	۱۶۵	۲۵

* سامانی (۱۳۶۵)
** Mason and Moore (1982)

جدول ۱- میانگین عیار بعضی عناصر فلزی در حوضهٔ رسوبی تلخه‌رود و مقایسهٔ آن‌ها با میانگین‌های گزارش شده در استانداردهای بین‌المللی.

اورانیوم از سنگ‌های منشأ و انتقال آن به محیط های رسوبی تحت شرایط خاص شیمیایی که مهمتر از همه PH و Eh مناسب است صورت می‌گیرد. اورانیوم در محیط های اکسیدان محلول است و با برهم خوردن فاکتورهای فوق و ایجاد محیط های احیایی از حالت محلول خارج شده و رسوب می‌کند. نهشتگی و تجمع اورانیوم از طریق جذب (absorbtion) بوسیلهٔ اکسیدهای آهن، تیتانیوم و منگنز و نیز کانی‌های رسی و مواد آلی صورت می‌گیرد.

مقایسهٔ داده‌های لیتوفاسیسی و سنجش عیار عناصر فلزی مختلف در تلخه‌رود با عیار همان عناصر در پوستهٔ جامد زمین در استانداردهای بین‌المللی نشان می‌دهد که توده‌های آذرین متعلق به اوایل ترسی‌یر (Tertiary) در آذربایجان خاوری با بالاترین عیار اورانیوم به میزان ۱۶ ppm منشأاصلی و اولیهٔ این عنصر در منطقه می‌باشد (جدول ۱). در میان لیتوفاسیس‌های رسوبی منطقه شیل‌های تیره در مقطع گورچین با عیار ۱۴ ppm، غنی‌ترین سنگ‌های اورانیوم‌دار حوضهٔ تلخه‌رود محسوب می‌شوند (سامانی ۱۳۶۵).

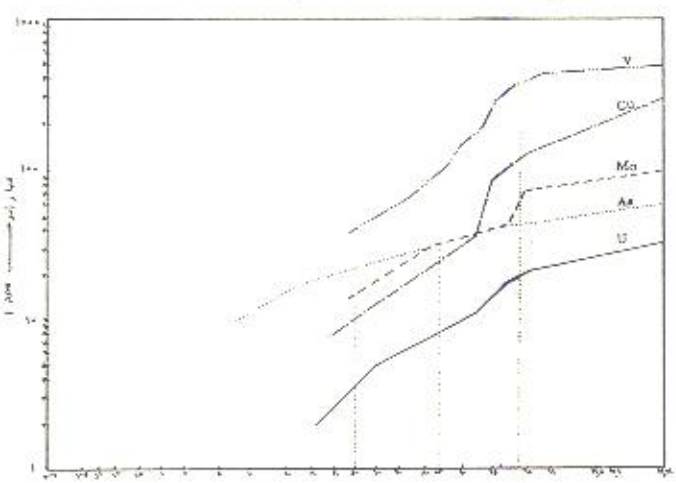
لازم به ذکر است که محیط های رسوبی احیایی و وفور مواد آلی در شیل‌های مذکور، نقش بسیار مهمی در جذب و تثبیت اورانیوم داشته است. همچنین مقدار اورانیوم و فلزات همراه در سنگ آهک‌ها و ماسه سنگ‌های گورچین و امیدچه و مقایسهٔ آنها با استانداردهای بین‌المللی (جدول ۱)، مشخص کنندهٔ استمرار فعالیت کانی‌سازی در نئوژن در تلخه‌رود است. این مقایسه روشن می‌سازد که کانی‌سازی اورانیوم در شیل‌ها با کانی‌سازی در لیتو فاسیس‌های ماسه‌سنگی و کربناته از روند مشابهی برخوردار نمی‌باشد.

۲ - ۱ - تغییرات عیار

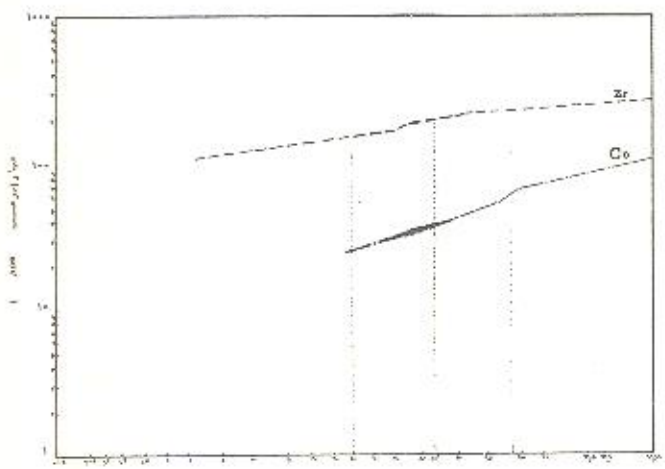
آنالیزهای XRD و XRF روی نمونه‌های تلخه‌رود در نگاه اول مشخص می‌سازد که کانی‌سازی در منطقه با تنوع زیادی از عناصر فلزی همراه می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از اورانیوم، وانادیوم، مس، مولیبدنیوم، ارسنیک، سرب، توریوم، آهن، تیتانیوم، زیرکونیوم و کبالت. رفتار ژئوشیمیایی این عناصر طی انتقال از خاستگاه به میزبان‌های رسوبی آن‌ها، بسیار متفاوت بوده و به همین علت تجمع عناصر مذکور در افق‌های کانی سازی یکسان نبوده و عیار آن‌ها هم از یکدستی و همگنی برخوردار نمی‌باشد. در این قبیل شرایط، جهت تعیین فراوانی و میزان تمرکز عناصر و شناخت فلزات موجود در هر مجموعهٔ کانی‌سازی از دیدگاه Beus and Grigorian (1977) استفاده از روش‌های آماری بسیار مفید می‌باشد.

در مقالهٔ حاضر بر اساس تغییرات عیار عناصر، منحنی تغییرات فراوانی تجمعی (cumulative frequency) آن‌ها رسم و پاره‌ای پارامترهای آماری از قبیل میانگین هندسی (geometric mean) براساس ۵۰ درصد مشخص شده و بدین ترتیب انحراف معیار در سطوح اطمینان (standard deviation) براساس ۸۴ درصد و آنومالی (anomaly) بر پایه ۹۷/۵ درصد[1] مشخص شده و بدین ترتیب گروه‌های فلزی در تلخه‌رود تعیین و تفکیک گردیده‌اند. توضیح آن که هرجا که تغییرات بارز و تعیین کننده‌ای در فراوانی تجمعی عناصر روی داده باشد، اثر آن به صورت شکستگی در شیب عمومی منحنی مربوط ظاهر خواهد شد و در نتیجه منحنی‌هایی که ازروند و شیب یکنواخت و ملایمی برخوردار هستند دلالت بر عدم تغییرات معنی‌دار در فراوانی تجمعی متغییرهای موردنظر خواهند داشت. با تعمیم مفاهیم آماری فوق در زمینهٔ تغییرات عیار عناصر در توالی‌های رسوبی در تلخه‌رود، می‌توان نوع و کیفیت کانی‌سازی را در موارد خاص مشخص نمود. لذا منحنی‌های تغییرات فراوانی تجمعی عناصر فلزی چنانچه از

← ۱- مراجعه کنید به Beus and Grigorian (۱۹۷۷)



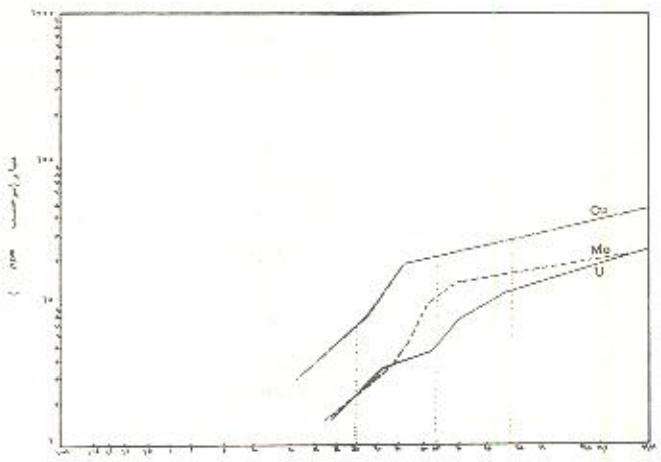
۲a



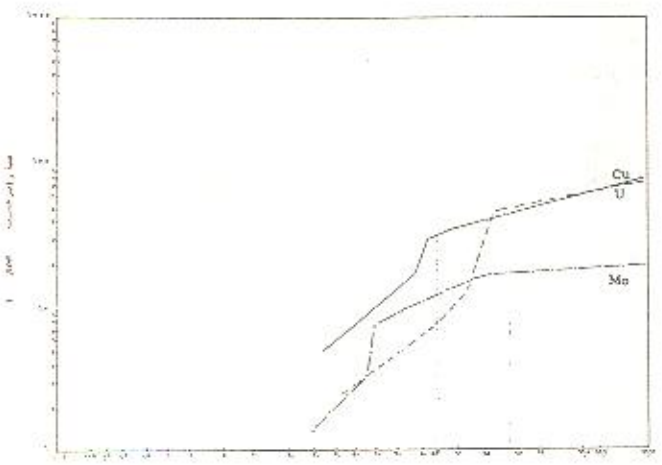
۲b

شکل ۲- تغییرات فراوانی تجمعی عناصر فلزی مختلف در امیدچه. این تغییرات در مورد عناصر اورانیوم، مس، مولیبدنیوم و وانادیوم صرفنظر از تفاوت‌های جزیی، به طور کلی مشابه بوده و تیپ خاصی از کانی‌سازی را مشخص می‌سازد. در حالی که تغییرات فراوانی تجمعی ارسنیک با هیچ‌یک از آن‌ها تشابه و همخوانی نشان نمی‌دهد (شکل a ۲).

منحنی تغییرات فراوانی تجمعی زیرکونیوم، کبالت و افزون بر یکنواختی کلی، در مجموع هیچ‌گونه تشابهی با گروه اورانیوم، مس، مولیبدنیوم و وانادیوم ندارد (شکل b ۲).



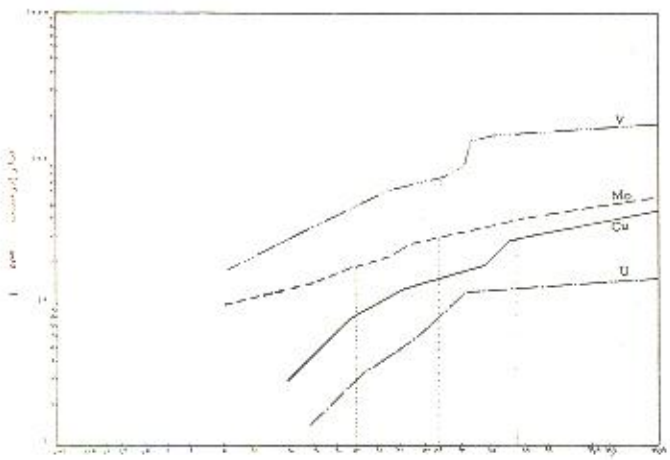
۳a



۳b

شکل ۳- روند **تغییرات** فراوانی تجمعی اورانیوم، مس و مولیبدنیوم در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی در گورچین (شکل a ۳) در مقایسه با تغییرات فراوانی **تجمعی** اورانیوم، مولیبدنیوم و مس در لیتوفاسیس‌های شیلی در همان مقطع (شکل b ۳). مقادیر بالای اورانیوم و مس در شیل با **شکست واضح** نشان داده شده که وقوع کانی‌سازی را در شیل‌ها مشخص می‌سازد.

تغییرات سریع به صورت **انحراف معیار** و یا آنومالی برخوردار باشند، وقوع کانی‌سازی را نشان **خواهند داد**. براین اساس تغییرات فراوانی تجمعی فلزات مختلف در **امیدچه**، کانی‌سازی اورانیوم، مس، وانادیوم و مولیبدنیوم را در حد آنومالی **مشخص** می‌سازد (شکل ۲a). در حالی که این فعالیت در مورد **کانی‌های** دیگر از قبیل زیرکونیوم، کبالت، ارسنیک، قابل ملاحظه **نمی‌باشد** (شکل ۲b). از سوی دیگر شواهد فوق که نشان دهندهٔ تیپ **خاصی** از کانی‌سازی است در گورچین و خواجه دیده نمی‌شود. به طوری **که** تغییرات فراوانی تجمعی عناصر در گورچین بین اورانیوم، مس و مولیبدنیوم تا حدودی شباهت نشان می‌دهد (شکل a ۳). اورانیوم و مس در شیل‌های تیره و غنی از مواد آلی در گورچین از دو نوع فراوانی تجمعی برخوردار است (شکست واضح در منحنی) که دلالت بر تمرکز کم و بیش بالای این عناصر در لایه‌های شیلی دارد (شکل b ۳). در حالی که تغییرات تجمعی عناصر در خواجه فقط بین مس و وانادیوم همخوانی نشان داده و در منحنی‌های اورانیوم و به ویژه مولیبدنیوم تغییرات معنی‌دار دیده نمی‌شود (شکل ٤).



شکل ٤- تغییرات فراوانی تجمعی احتمالی اورانیوم، مس و وانادیوم در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی در خواجه که در آن فقط بین تغییرات مس و وانادیوم تا حدودی شباهت وجود دارد. در حالی که روند تغییرات اورانیوم، مولیبدنیوم متفاوت است. وضعیت کلی تغییرات فراوانی عناصر، وقوع کانی ـ سازی در خواجه را نشان نمی‌دهد.

۲-۲- همبستگی ژئوشیمیایی بین اورانیوم و سایر عناصر

پاره‌ای عناصر به سبب خاصه‌های شیمیایی مشترک، در شرایط زمین‌شناسی ویژه، رفتارهای ژئوشیمیایی کم و بیش مشابه و یکسان از خود نشان می‌دهند. این واقعیت براساس نوعی رابطه و همبستگی بین عناصر مختلف بوده که فرآیندهای ژئو شیمیایی به کمک آن‌ها تفسیر می‌گردد. رابطه و همبستگی اورانیوم با عناصری از قبیل مس، مولیبدنیوم، وانادیوم، کبالت و ۰۰۰ از آن جمله است و با مطالعه آن می‌توان تیپ کانی‌سازی مجموعهٔ عناصر فوق را مشخص نمود.

از آن جا که هدف اصلی در مقالهٔ حاضر تبیین تیپ کانی‌سازی اورانیوم در منطقهٔ مورد مطالعه است، لذا تعیین رابطهٔ ژئوشیمیایی این عنصر با عناصر دیگر حائز اهمیت است. در امیدچه اورانیوم بالاترین همبستگی را با مس، کبالت، وانادیوم و کمی هم با مولیبدنیوم دارد (جدول ۲). این مجموعهٔ فلزی اختصاص به کانی‌سازی اورانیوم در تیپ‌های ماسه‌سنگی داشته و در موارد دیگری مشاهده نشده است (Boyle 1982, Galloway 1983,1985, Schrader 1977, Shaur 1966) و

	U	V	Cu	Mo	As	Pb	Th	Fe	Ti	Zr	Co
U											
V	۰/۲۰										
Cu	۰/۵۴	-۰/۰۴									
Mo	۰/۱۹	-۰/۰۲	۰/۰۷								
As	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۶۱							
Pb	-۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۹۷						
Th	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱					
Fe	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۵۵	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۰۴				
Ti	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۱۰	-۰/۰۷	۰/۳۵			
Zr	-۰/۱۵	-۰/۰۵	-۰/۲۰	۰/۲۰	-۰/۱۱	-۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۶۶		
Co	۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۱۵	-۰/۰۸	-۰/۱۳	

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین عناصر در امیدچه

همبستگی مثبت اورانیوم، وانادیوم، مس، مولیبدنیوم، کبالت و تا حدودی توریوم و همچنین رابطهٔ منفی آن با فلزات دیگر نشاندهندهٔ وقوع کانی‌سازی اورانیوم از نوع ماسه‌سنگی در امیدچه است.

	U	V	Cu	Mo	As	Pb	Th	Fe	Ti	Zr	Co
U											
V	۰/۲۱										
Cu	-۰/۲۲	-۰/۱۳									
Mo	-۰/۲۶	-۰/۰۶	۰/۰۰								
As	۰/۴۸	۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۱۷							
Pb	۰/۳۲	-۰/۰۹	۰/۴۰	-۰/۱۱	۰/۴۰						
Th	-۰/۳۳	-۰/۱۰	۰/۲۰	-۰/۰۴	-۰/۱۱	-۰/۱۰					
Fe	۰/۵۷	۰/۴۵	-۰/۲۵	-۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۱۷	-۰/۰۵				
Ti	۰/۲۲	۰/۴۲	-۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۶۰			
Zr	-۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۷۳		
Co	۰/۴۶	۰/۴۰	-۰/۳۰	-۰/۲۵	-۰/۱۱	-۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۴۶	۰/۰۲	

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عناصر در خواجه

همبستگی منفی اورانیوم با عناصری چون مس و مولیبدنیوم و رابطهٔ مثبت آن با عناصری نظیر آهن، ارسنیک، سرب و تیتانیوم، وقوع هیچ‌گونه کانی‌سازی مشخصی را نشان نمی‌دهد.

Wenrich 1985). در حالی که همبستگی اورانیوم با سایر عناصر از جمله زیرکونیوم منفی (۰/۱۵-) می‌باشد لازم به ذکر است که در امیدچه با وجود عیار پایین اورانیوم و عناصر فلزی دیگر که به طور عمده به سبب فروشست و انتقال آن‌ها از سطح رخنمون‌هاست، مع‌هذا همبستگی ژئوشیمیایی بین این فلز با فلزاتی نظیر مس، وانادیوم، مولیبدنیوم و کبالت مثبت و بالاست. در مقاطع خواجه و گورچین در

	U	V	Cu	Mo	As	Pb	Th	Fe	Ti	Zr	Co
U											
V	۰/۰۱										
Cu	-۰/۰۶	-۰/۰۲									
Mo	۰/۰۵	-۰/۰۷	-۰/۲۱								
As	-۰/۰۳	۰/۰۰	-۰/۰۷	۰/۵۲							
Pb	۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۶۸						
Th	-۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۰۳					
Fe	-۰/۱۴	۰/۴۰	-۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱۹				
Ti	-۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۶۵			
Zr	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۷۲		
Co	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۹	

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین عناصر در گورچین

همبستگی منفی اورانیوم با فلزات تیپ ماسه‌سنگی (مس، مولیبدنیوم و وانادیوم) دلالت بر عدم وقوع کانی‌سازی اورانیوم از تیپ ماسه‌سنگی در این منطقه است.

مقایسه با امیدچه، همبستگی واقعی بین اورانیوم و آهن ارسنیک، کبالت، تیتانیوم و وانادیوم وجود دارد. در حالی که ارتباط اورانیوم با مولیبدنیوم، مس و توریوم منفی است (جدول ۳). در گورچین در لایه‌های ماسه‌سنگی، اورانیوم با زیرکونیوم همبستگی نشان می‌دهد (جدول ٤) که به احتمال زیاد مربوط به عیار بالای اورانیوم در کانی‌های سنگین نظیر زیرکن می‌باشد (محسنی ۱۳۷۱). در این مقطع اورانیوم با فلزات شاخص تیپ ماسه‌سنگی از جمله مس، مولیبدنیوم، وانادیوم و کبالت همبستگی منفی دارد. در لایه‌های شیلی و مارنی تیره و غنی از مواد آلی در گورچین، اورانیوم با مس، مولیبدنیوم و وانادیوم همبستگی ندارد. افزون براین، این عنصر با زیرکونیوم بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد (جدول ٤).

به طور کلی عدم ارتباط ژئوشیمیایی اورانیوم با بسیاری از عناصر به ویژه فلزات تیپ ماسه‌سنگی در لایه‌های شیلی مورد گفتگو، مربوط به ترکیب مینرالوژی و فقدان تراوایی این لیتوفاسیس است. لذا وجود اورانیوم در رسوبات دانه‌ریز مربوط به زمان نهشتگی آن‌ها بوده که به صورت جذبی همراه مواد آلی و کانی‌های رسی به داخل آن‌ها وارد شده و منجر به تمرکز بالای اورانیوم در این رسوبات گردیده است.

۲-۳- رابطهٔ عیار عناصر با لیتولوری

ضمن پیاده کردن نتایج کمّی نمونه‌ها در مقابل افق‌های مربوط در ستون‌های چینه‌شناسی منطقه تلخه‌رود، مشخص گردید که: ۱) فعالیت کانی‌سازی اورانیوم در لیتوفاسیس‌های خاص صورت گرفته است. ۲) این لیتوفاسیس‌ها به ویژه در امیدچه و گورچین متفاوت بوده و نشان‌دهندهٔ مکانیسم‌های مختلف کانی‌سازی اورانیوم در آن‌ها است. ۳) اورانیوم با مس در مقطع امیدچه بالاترین همبستگی را نشان می‌دهد که این وضعیت فقط در طبقات و افق‌های ماسه‌سنگی مشاهده می‌شود ولی پاره‌ای موارد استثنأ بویژه در طبقات شیلی به چشم می‌خورد (شکل ۵). در این جا فقط به بررسی رابطهٔ دو عنصر اورانیوم و مس با لیتولوژی‌های مختلف در منطقه بسنده شده که تفصیل آن به شرح زیر است *

در امیدچه افق‌های کانی‌سازی اورانیوم و مس در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی درشت دانه مربوط به رودخانه‌های مئاندری و دشت‌های سیلابی قرار گرفته‌اند. این نوع ماسه‌سنگ‌ها اکثراً عاری از هرگونه مواد گلی (سیلت و رس) بوده و مواد آلی در آن‌ها وجود ندارد (سحابی- محسنی a ۱۳۷۳). انتقال اورانیوم در افق‌های مذکور طی فرآیندهای دیاژنزی صورت گرفته و لذا از نوع

* برای بررسی رابطهٔ بقیهٔ عناصر با لیتولوژی به محسنی (۱۳۷۱) مراجعه فرمایید.

اپی‌ژنتیک می‌باشد. در این مقطع همبستگی اورانیوم با مس در اکثر موارد در طبقات ماسه سنگی مثبت است (شکل ۵). در حالی که در پاره‌ای طبقات ماسه‌سنگی این همبستگی به منفی می گراید. این امر در صورت بالا بودن عیار اورانیوم مربوط به وجود خرده‌های شیل و ماتریکس رسی توام با مواد آلی در متن ماسه سنگ است که در جذب اورانیوم نقش مؤثری داشته‌اند و در صورت پایین بودن نسبی عیار اورانیوم در مقابل عیار بالای مس، همبستگی منفی به علت اکسیداسیون اورانیوم در رخنمون‌های ماسه‌سنگی و انتقال آن طی فروشست رخنمون‌های مذکور است. در خواجه (شکل ٦)، صرفنظر از آن که فعالیت کانی‌سازی مشخص و یکنواختی در هیچ یک از لیتوفاسیس‌های شیل و ماسه‌سنگ دیده نمی‌شود. اصولاً همبستگی بین اورانیوم و مس بسیار ضعیف و پایین است. در گورچین (شکل ۷) با وجود تنوع زیاد لیتوفاسیس‌ها ولی تمرکز عیار اورانیوم به طور عمده در شیل‌های تیره و غنی از مواد آلی و گاهی اوقات هم در آهک‌های مارنی و توفی (سحابی و محسنی a ۱۳۷۳) دیده می‌شود. رابطه عیار اورانیوم و مس در این مقطع از همگنی لازم برخوردار نبوده و در پاره‌ای موارد مثبت و در بسیاری موارد منفی است. تجمع اورانیوم در شیل‌های فوق‌الذکر همزمان با نهشتگی رسوبات میزبان صورت گرفته است. تغییرات عیار مس در مقابل لیتوفاسیس‌های مختلف در گورچین از روند مشخصی تبعیت نمی‌کند لذا می‌توان نتیجه گرفت که تمرکز مس در گورچین مستقل از لیتولوژی تحقق یافته است.

۲-۴- مکانیسم‌های شیمیایی حمل و ذخیرهٔ اورانیوم در طبقات ماسه‌سنگی

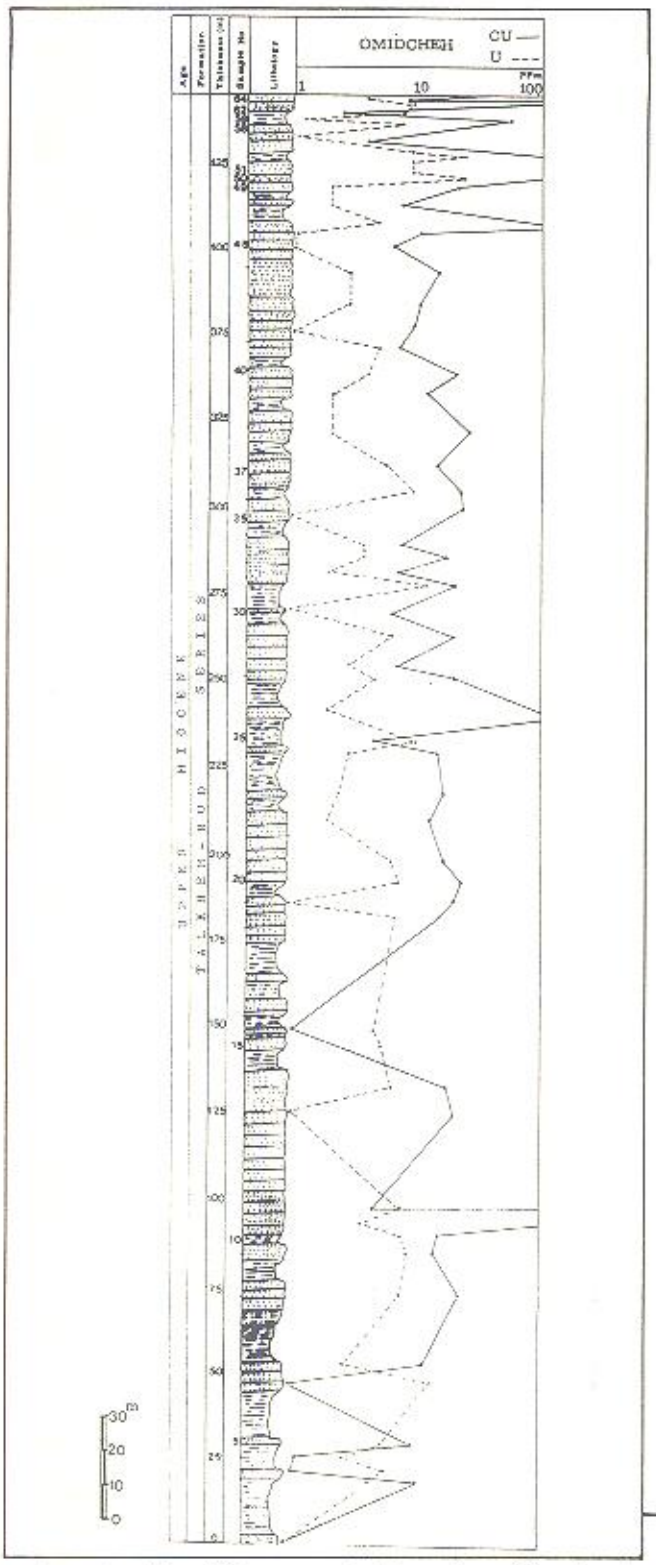
در غالب فرآیندهای دیاژنزی، کربنات کلسیم به صورت سیمان کلسیتی مهم‌ترین و متداول‌ترین عامل پرکنندهٔ حفرات و فضاهای خالی در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی و حتی آذرآواری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (سحابی و محسنی a ۱۳۷۳). گستردگی سیمان کلسیتی رابطهٔ مستقیم با فراوانی ($CO3^{-2}$) در محیط های دیاژنزی دارد. از جمله: آنیون‌های مذکور روی محلول‌های اورانیوم تأثیر کرده و این عنصر را به صورت کربوکسی اورانیل حمل می‌نماید (Ostle and Ball. 1973). انتقال اورانیوم از محلول‌های تری کربنات و بی‌کربنات به حالت اکسید (پچبلند) در شرایط احیا صورت می‌گیرد. این ترکیبات در طیف وسیعی از PH های خنثی تا قلیایی پایدار می‌باشند. جابه جایی‌ها و تغییرات شیمیایی فوق را از دیدگاه (Boyl 1982) به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد:

$$[UO2\ (CO3)]^{-4} + H^{+} \dashrightarrow [UO2\ (CO3)2]^{-2} + HCO3^{-}$$

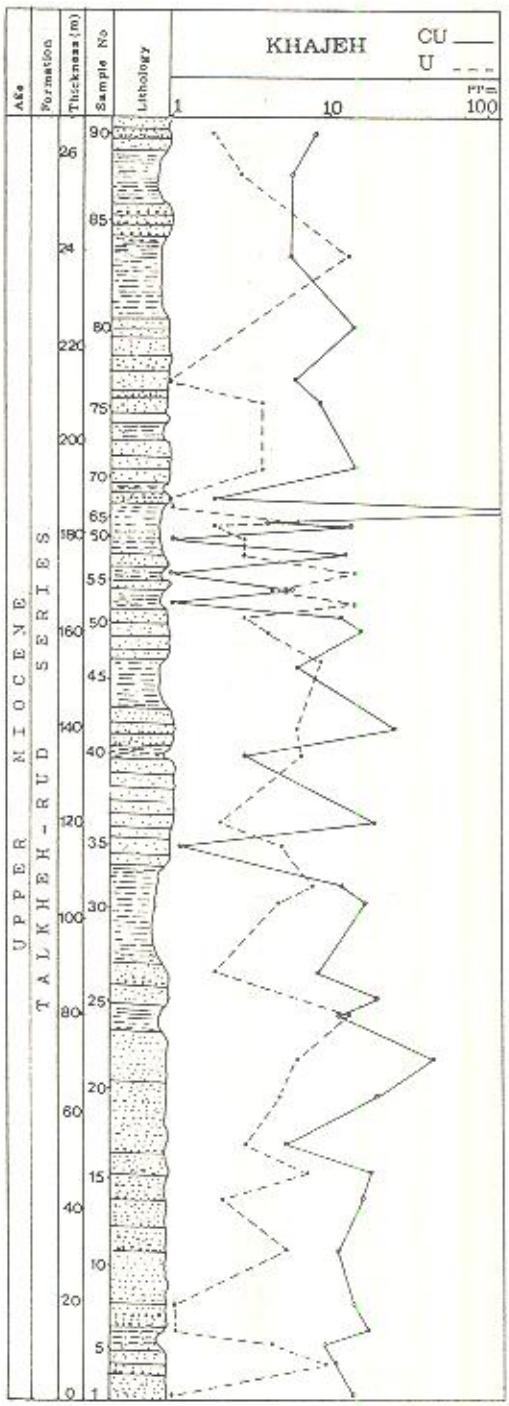
$$[UO2\ (CO3)\ 2]^{-2} + 2H^{+} \dashrightarrow (UO2)^{+2} + 2H\ CO3^{-}$$

$$(UO2)^{+2} + 2H2O \dashrightarrow UO3.\ H2O + 2H^{+}$$

اورانیل با عوامل احیا کننده از قبیل CH4, H2O بیتومن، تورب، و ... احیا شده و به مرور به پچبلند تبدیل می گردد.

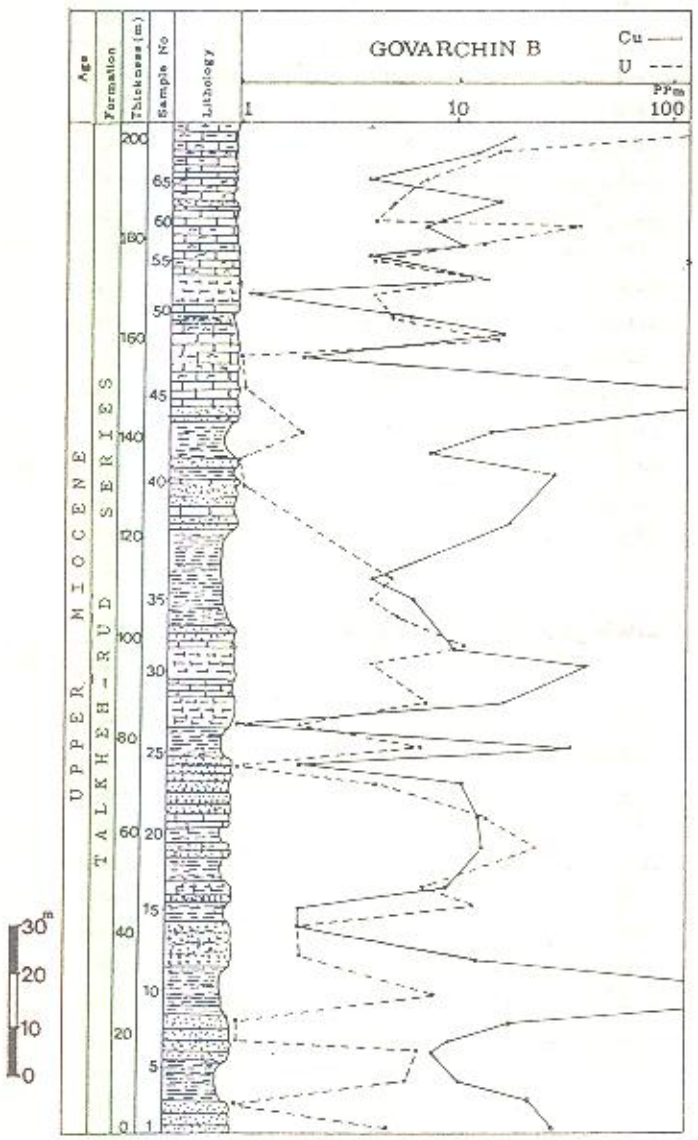


شکل ۵- مقطع چینه‌ای امیدچه- تلخه‌رود
توالی چینه‌ای میوسن بالایی، شامل طبقات شیل و ماسه‌سنگ. تغییرات عیار اورانیوم و مس به ازا لیتولوژی‌های مختلف. نمودارهای تغییرات عیار، افزون بر همبستگی بالا بین اورانیوم و مس، تمرکز کانی‌سازی را در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی مشخص می‌سازد.



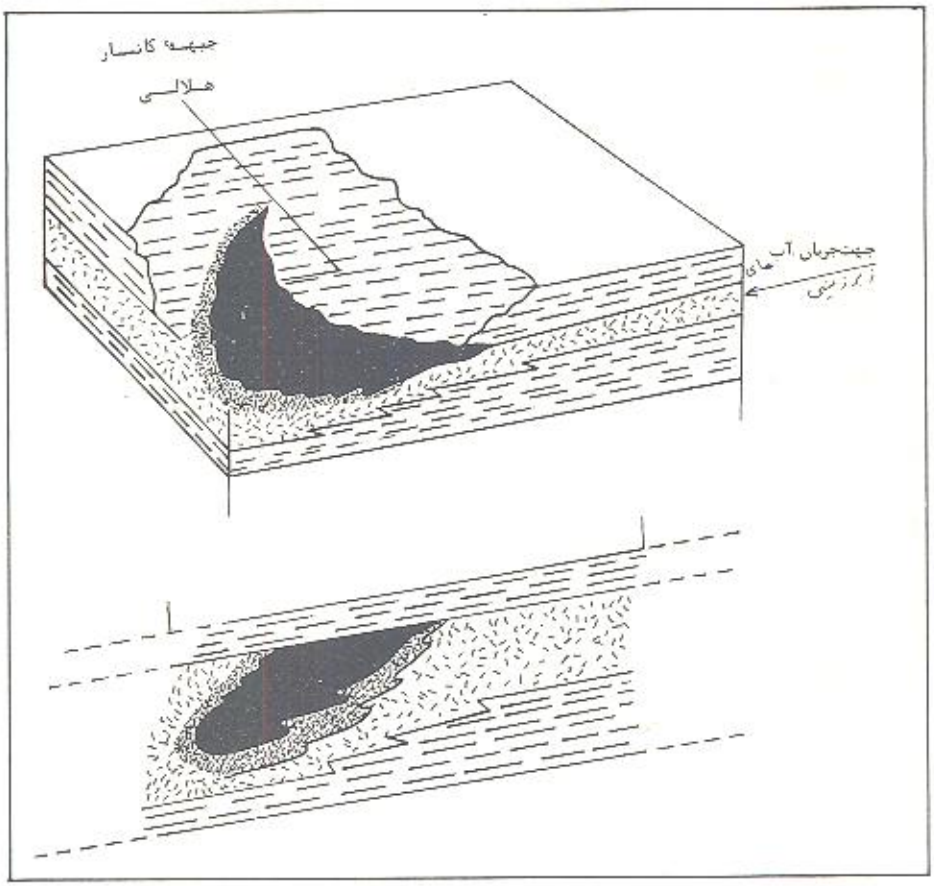
شکل ۶. مقطع چینه‌ای خواجه ـ تلخه‌رود

توالی رسوبی از تناوب طبقات شیل و ماسه‌سنگ تشکیل یافته است. نمودارهای تغییرات عیار مس و اورانیوم در کنار ستون چینه‌شناسی، رابطهٔ مشخصی را نشان نمی‌دهند. در نمونه‌های ۱ تا ۵۰ و ۷۵ تا ۹۰ همبستگی منفی اورانیوم و مس به خوبی مشخص است. در مواردی که عیار اورانیوم افزایش نسبی یافته است، احتمالاً مربوط به جذب این عنصر توسط ذرات رس و مواد آلی در طبقات شیل و یا ماسه‌سنگ‌های رس‌دار می‌تواند باشد.



شکل ۷. مقطع چینه‌ای گورچین ـ تلخه‌رود

توالی چینه‌ای رسوبات در گورچین متشکل از لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگ، شیل، توف و سنگ آهک است. نمودار تغییرات عیار، وقوع کانی‌سازی اورانیوم و مس را عمدتاً در لیتوفاسیس‌های شیلی و یا مارنی (نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۵) و پاره‌ای موارد هم در آهک‌های مارنی ، توفی (نمونه‌های ۵۵ و ۶۰) نشان می‌دهد. همبستگی اورانیوم و مس از همگنی لازم برخوردار نیست، به طوری که در پاره‌ای موارد مثبت و در موارد دیگر منفی است.



شکل ۸- نمایش شماتیک مدل کانی‌سازی اورانیوم در کانسارهای ماسه‌سنگی از نوع هلالی (Role tye Uranium deposits) در تلخه‌رود که بین لایه‌های ناتراوای شیل محصور گردیده است (شکل a ۸). گسترش کانسار در جهت جریان آب‌های زیرزمینی و عمود بر سطح طبقه‌بندی است (شکل b ۸).

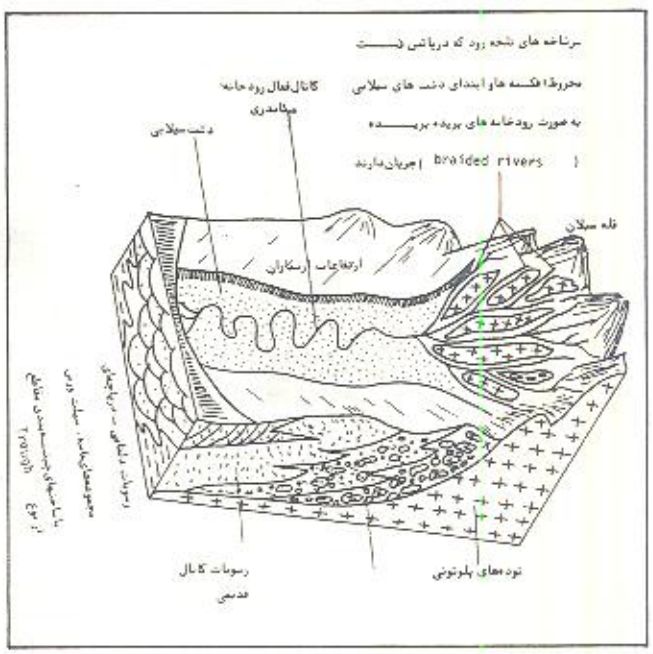
۳- مدل کانی‌سازی اورانیوم در تلخه‌رود

ذخایر اپی‌ژنتیک اورانیوم تیپ ماسه‌سنگی براساس شکل گسترش و خاصه‌های ژئوشیمیایی آن‌ها مشخص می‌گردند. در این نوع ذخایر، اورانیوم طی فرآیندهای ژئوشیمیایی اکسیداسیون احیا به میزبان ماسه‌سنگی وارد و در آن‌جا جمع و ذخیره می‌گردد. (Finch and Davis 1985). عوامل احیاکننده ممکنست در خود سنگ میزبان وجود داشته باشد و یا ازخارج به آن اعمال گردد. یکی از متداول‌ترین اشکال گسترش ذخایر ماسه‌سنگی اورانیوم، فرم هلالی شکل آن است که در آن کانسار عمود بر سطح لایه‌بندی در درون طبقه ماسه‌سنگی و بین لایه‌های ناتراوا نظیر شیل محصور می‌گردد (شکل ۸). این قبیل کانسارها معمولاً در حوضه‌های بین کوهستانی (intermountain basins) و در ارتباط با قوس‌های ماگمایی بوجود می‌آیند. بدین معنی که توده‌های نفولای اسیدی و غنی از اورانیوم به درون توده‌های پلوتونی قدیمی تزریق شده و بدین ترتیب سنگ‌های خاستگاه اورانیوم در ژرفای کم و یا در سطح زمین برونزد می‌یابند. آب‌های سطحی و یا زیرزمینی با نفوذ به درون سنگ‌های خاستگاه، در شرایط اکسیدان اورانیوم آن‌ها را در خود حل کرده و آن‌ها را به محیط های رودخانه‌ای و یا دلتایی مربوط به همان حوضه‌های بین کوهستانی منتقل کرده و در صورت فراهم بودن شرایط احیایی تشکیل کانسارهای هلالی تیپ ماسه‌سنگی را می‌دهند. (Finch and Davis 1985). همچنین به سبب فرسایش و تخریب توده‌های نفوذی اسیدی، ذرات و خرده‌سنگ‌های آن‌ها، بخش (VRF) ماسه‌سنگ‌های رودخانه مئاندری را تشکیل می‌دهند که نقش بسیار مهمی در انتقال اورانیوم از سنگ‌های خاستگاه به محل تجمع لایه‌های ماسه‌ای و یا ماسه‌سنگی در داخل حوضه‌های بین کوهستانی ایفا می‌کنند(Le Rox 1985).

۳-۱- فاکتورهای تعیین کننده در ذخایر اورانیوم تیپ ماسه‌سنگی در گستره مورد بررسی

بررسی پتروگرافی توالی‌های رسوبی میوسن در امیدچه، خواجه و گورچین نشان می‌دهد که در لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی، خرده‌سنگ‌های ولکانیکی درصد قابل ملاحظه‌ای از اجزأ ترکیبی

ماسه‌سنگ‌های مورد بحث را تشکیل می‌دهند (سحابی و محسنی a ۱۳۷۳). خاستگاه این ماسه‌سنگ‌ها، توده‌های پلوتونی و ولکانیکی‌ای است که در اطراف حوضه تلخه‌رود برونزد داشته و حوضهٔ مذکور را احاطه کرده‌اند. توالی‌های رسوبی فوق‌الذکر با ماهیت چرخه‌ای، در محیط های رودخانهٔ مئاندری و دلتایی-دریاچه‌ای تجمع یافته‌اند. چرخه‌های رسوبی مورد اشاره در حالت ایده‌آل با روند ریزشونده به سمت بالا، از کنگلومرای دانه‌ریز، ماسه‌سنگ پبلی، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل گردیده که در مجموع شرایط مناسبی را برای کانی‌سازی اورانیوم تیپ ماسه‌سنگی در منطقه به وجود آورده است (سحابی و محسنی a ۱۳۷۳). از تلفیق داده‌های فوق روشن می‌شود که گستره مورد بررسی بخشی از حوضهٔ بین کوهستانی تلخه‌رود- سراب است که بوسیله آتشفشان سبلان و ارتفاعات بزقوش، دچان و قوشه‌داغ محاط شده است (شکل ۹). از سوی دیگر وجود آنومالی‌های اورانیوم



شکل ۹- مدل شماتیکی از حوضهٔ بین کوهستانی تلخه‌رود. سرشاخه‌های تلخه‌رود در دشت سیلابی به هم پیوسته و کانال مستقیم و کانال مئاندری رودخانه را تشکیل می‌دهند و نقش فعال و مؤثری در فرونشست توده‌های- ولکانیکی و حل و انتقال اورانیوم از خاستگاه اصلی به محیط های حاشیه رودخانه و دلتای انتهایی ایفا می‌کنند.

در توده‌های نفوذی در مناطقی چون مزرعه، بینق، سرخانلو، زنوز، اندب و دچان توسط سازمان انرژی اتمی ایران (سامانی ۱۳۵۶) مشخص گردیده است. بنابراین با توجه به وجود توده‌های پلوتونی- ولکانیکی به عنوان خاستگاه اولیهٔ اورانیوم و همچنین فراهم بودن شرایط ذخیرهٔ اورانیوم در طبقات ماسه‌سنگی، موجبات لازم برای تحقق کانی‌سازی اورانیوم از تیپ ماسه‌سنگی در منطقهٔ مورد مطالعه طبق مدل‌های ارائه شده توسط Finch and Davis (1985), Hutchison (1983) و Le Rox (1985) فراهم می‌باشد. لازم به ذکر است که براساس نتایج XRF وجود اورانیوم و مس که در لیتوفاسیس‌های شیلی در مقطع گورچین دیده می‌شود، به علت غنی بودن شیل‌های مذکور از مواد آلی مربوط به فرآیند جذب این عناصر بوسیلهٔ مواد آلی و کانی‌های رسی است که هم‌زمان با رسوب‌گذاری و به شکل Syngenetic صورت گرفته است.

۴- نتیجه‌گیری

ویژگی‌های تکتونیکی و موقعیت خاص بین کوهستانی حوضهٔ تلخه‌رود، شرایط مناسبی را برای فعالیت‌های کانی‌سازی فراهم آورده است. تشکیل توده‌های پلوتونی ائوسن و همچنین تزریق توده‌های آتشفشانی جدیدتر به داخل آن‌ها با تمرکزیافتن عناصر فلزی مختلفی همراه بوده است. لذا می‌توان توده‌های مذکور را در مجموع خاستگاه اولیه عناصر فلزی به ویژه اورانیوم در منطقه، در نظر گرفت. جریان آب‌های سطحی اکسیدان موجب فروشستن عناصر محلول و انتقال آن‌ها به رسوبات متخلخل و تراوا می‌گردد. باتوجه به شرایط پالئوژئوگرافی حوضهٔ تلخه‌رود، دو روند کانی‌سازی در مورد اورانیوم مشاهده می‌شود:

۴-۱- محلول‌های اورانیوم در شرایط اکسیدان به داخل سازندهای متخلخل و تراوا بویژه لیتوفاسیس‌های ماسه‌سنگی و ماسه‌سنگ‌های پبلی در توالی رسوبی امیدچه نفوذ کرده و همراه عناصر دیگری چون مس و مولیبدنیوم و وانادیوم، تشکیل کانسارهای اپی‌ژنتیک ماسه‌سنگی از نوع هلالی (Roll Frant) را داده است.

۴-۲- اورانیوم به صورت محلول پس از ورود به محیط های دلتایی- دریاچه‌ای، به وسیلهٔ کانی‌های رسی و ذرات آلی جذب و همراه آن‌ها رسوب کرده و در ادامه در صورت فراهم بودن شرایط احیایی در داخل لیتوفاسیس‌های شیلی، آنومالی‌هایی از آن تشکیل گردیده است.

در مقاله حاضر به بررسی روندهای ممکن کانی‌سازی اورانیوم و فلزات همراه آن از قبیل مس بسنده شده و با توجه به امکانات موجود، ابعاد کمّی و اقتصادی و میزان ذخیرهٔ کانسار، مورد بحث قرار نگرفته است. افزون براین به دلیل نمونه‌برداری‌های سطحی و فروشستگی سنگ‌ها در رخنمون‌ها، مطالعات دقیق‌تر در زمینهٔ مسائل ژئوشیمیایی و همچنین تعیین ابعاد اقتصادی آنومالی‌های اورانیوم در تلخه‌رود که با نمونه‌برداری از عمق و حفر گمانه‌های اکتشافی همراه خواهد بود، بسیار ضروری و مفید می‌باشد.

سپاس گزاری

این مقاله در ارتباط با طرح تحقیقاتی و رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی نهشته‌های نئوژن در تلخه‌رود با توجه به کانی‌سازی اورانیوم و مس، دانشگاه تهران می‌باشد که توسط نگارندگان به اجرا درآمد. به همین مناسبت لازم می‌دانند که: از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر تصویب طرح و تأمین اعتبار لازم تشکر و قدردانی نمایند. از ریاست محترم سازمان انرژی اتمی ایران به خاطر اجازهٔ استفاده از کتابخانه و مرکز اسناد آن سازمان و تسهیلاتی که برای آنالیزهای XRD و XRF فراهم کردند صمیمانه سپاس‌گزاری کنند. همچنین از دوست عزیز آقای بهرام سامانی به خاطر کمک‌های ارزندهٔ علمی و عملی و همیاری مفیدشان تشکر فراوان بنمایند.

کتاب نگاری

امامی، میرسعید (۱۳۶۰)- مطالعه شناسایی ژئوشیمی آب‌های حوضهٔ‌رسوبی ناودیس خواجه، حوضهٔ تلخه‌رود (گورچین). گزارش داخلی شماره ۷۵، سازمان انرژی اتمی ایران.

امامی، میرسعید (۱۳٦٤)- بررسی ژئوشیمی آب‌ها و رسوبات رودخانه‌ای ناودیس گورچین در ارتباط با اکتشاف اورانیوم. نشریهٔ علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۵، صفحه ۱۱ تا ۱۷.

سامانی، بهرام (۱۳۵٦)- زمین‌شناسی ارسباران- قره‌داغ و مغان (شمال شرق آذربایجان) در ارتباط با تجمع مواد رادیو اکتیو. گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران.

سامانی، بهرام (۱۳٦۵)- ویژگی‌ها و ارزیابی پتانسیل‌های اورانیوم و توریوم در آذربایجان، گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران.

سحابی، فریدون و محسنی، حسن (۱۳۷۳a)- پتروگرافی و پالئوژئوگرافی نهشته‌های نئوژن در حوضهٔ تلخه‌رود (بین تبریز و اهر. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران، شماره ۱۳، صفحات ۲ الی ۳.

علیزاده عظیمی، مجید (۱۳٦۷)- گزارش مقدماتی منطقهٔ گورچین، آدربایجان شرقی، گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران.

محسنی، حسن (۱۳۷۱)- بررسی روند کانی‌سازی اورانیوم در رسوبات تخریبی نئوژن در حوضهٔ تلخه‌رود (بین تبریز و اهر). پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه علوم، دانشگاه تهران، ۲۵٤ صفحه.

References

Beus, A. A. and Grigorian, S. V., 1977- Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits. In: Wilmette, Illinois, Applied Selence, 287p.

Boyle, R. W., 1982- Geochemical Prospecting for Thorium and Uranium. Elsevier Scientific Publishing Co., Amesterdam, 498p.

Finch, W. I. and Davis, J. F. (eds.), 1985- Geological Environment of Sandstone- type Uranium Deposits. I A E A, Vienna, 408p.

Galloway, W. E., and Hobday, D. K., 1983. Terrigenous Clastic Depositional Systems. Applications to petroleum, Coal and Uranium Exploration. Springer verlag. New York. 423p.

Galloway, W. E., 1985- The Depositional and Hydrological Environment of Tertiary Uranium Deposits, South Texas Uranium province. In: Finch, W. I. and Davis, J. F. (eds.), Geological Environments of Sandstone- type Uranium Deposits. I A E A, Vienna, P. 215- 227.

Hutchison, C. S., 1983- Economic Deposits and Their Tectonic Setting. John wiley and Sons, Publishing Co. New York, 363p.

LeRoux, J. P., 1985- Tectonic and Sedimentologic Environments of Sandstone - Hosted Uranium Deposit with Special Reference to Karoo Basin of South Alp. In: Finch, W. I. and Davis, J. F. (eds.), Geological Environments of Sandstone - type Uranium Deposits. I A E A, Vienna, P. 279-290.

Mason, B. and Moore, C. B., 1982- principles of Geochemistry. John Wiley and Sons Publishing Co. New York, 344p.

Ostle, D. and Ball, T. K., 1973- Some Aspects of Geochemical Surveys from Uranium. In: I A E A Uranium Exploration Methods. I A E A, Vienna, P. 171- 187.

Schrader, E. D., 1977- Relationship Between Uranium and Trace Metal Concentration in Volcanic Rocks from Nevada. Econ. Geology, Vol. 72, No.1, P. 104- 106.

Shawe, D. R., 1966- Zonal distribution of elements in some Uranium Vanadium roll and tabular ore bodies on the Colorado Plateau, U. S. A. Geological Surv. Prof. paper, 550- B, P. B169- B175.

Wenrich, K. J., 1985- Hydrogeochemical and Stream Sediment Saupling for Uranium in the Sandstone Environment. In: Finch, W. I., and Davis. J. F (eds.). Geological Environments of Sandstone- type Uranium Deposits, IAEA, Vienna, P. 317- 334.

* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم- دانشگاه تهران

** گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا- همدان

* Department of Geology, Faculty of Science, University of Tehran.

** Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu Ali Sina University, Hamedan