



اکتشاف ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای اورانیوم در منطقه نارینگان استان یزد

محمد یزدی*^۱، خالق خشنودی^۱، محمد کاوند^۲، علی‌رضا آشتیانی^۲

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۴۷۱۶-۱۹۳۹۶، تهران - ایران

۲- پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۱۳-۱۴۳۹۹۵، تهران - ایران

چکیده: منطقه نارینگان بر اساس تقسیم‌بندی مناطق ساختاری در منطقه ایران مرکزی واقع شده است. قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه، مجموعه پیروکلاستیک پرکامبرین می‌باشد که توده‌های گرانیتی نارینگان با سن پرکامبرین (احتمالاً) به داخل آنها نفوذ کرده‌اند. جوان‌ترین سنگ‌های منطقه، آهک‌های کرتاسه است. سنگ‌های منطقه شامل سه گروه گرانیت نارینگان، ریولیت (کوارتز پورفیر) و ولکانیک‌های رسوبی می‌باشند. یک سری دایک‌های بازیک نیز درون این سنگ‌های گرانیتی و ریولیتی نفوذ کرده‌اند. به منظور اکتشاف کانی‌سازی اورانیوم در این منطقه مطالعه اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و رادیومتری بر مبنای اکتشافات ژئوشیمیایی قبلی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام گرفت که در این مقاله به نتایج اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای پرداخته می‌شود. در برداشت‌های ژئوشیمیایی این منطقه، طراحی شبکه نمونه‌برداری با توجه به میزان گسترش شبکه آبراهه‌ای، سنگ‌شناسی، دگرسانی و ویژگی‌های تکتونیکی صورت گرفت. تعداد نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی ۲ الی ۳ نمونه در هر کیلومتر مربع بود. این مطالعات در وسعتی حدود ۴۰ کیلومتر مربع با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ صورت گرفت. در مجموع ۱۲۱ نمونه ژئوشیمی از رسوبات منطقه برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای برای عناصر As, Th, U, Mo, Pb, Zn, Cu, Fe, Co, Ni, Sr, Ce تجزیه شدند. دقت تجزیه‌ها محاسبه و پس از حصول اطمینان، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در نهایت تلفیق داده‌های حاصل از ژئوشیمی و رادیومتری صورت گرفت و مناطق دارای پتانسیل بالا بصورت سه مجموعه آنومالی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای، اورانیوم، نارینگان، ایران مرکزی

Stream-Sediment Geochemical Exploration for Uranium in Narigan Area Central Iran

M. Yazdi*¹, K. Khoshnoodi¹, M. Kavand², A.R. Ashteyani²

1- Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, P.O. Box: 19396-4716, Tehran - Iran

2- Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O. Box: 143995-1113, Tehran - Iran

Abstract: Uranium deposits of Iran occur mainly in the Central Iran zone. Several uranium deposits have been discovered in this zone. The Narigan area is one of the most important uranium mineralized area in this zone. The uranium bearing sequences in this area are contained in the plutonic to volcanic rocks of Narigan which intruded to the Pre-Cambrian pyroclastics rocks. Plutonic and volcanic rocks are granite, rhyolite and volcanoclastic. Diabasic dykes have been intruded to these igneous rocks. The plutonic and volcanic rocks have been covered by Cretaceous limestones which seem to be youngest the rocks in this area. The aim of our project is to develop a regional exploration strategy for uranium in these igneous rocks. A grid-based sampling was planned following the results of the previous geochemical mapping at a scale of 1:100,000, integrated with geophysical data and alteration zones and outcrop of intrusive rocks. The following results are based on geological, and stream geochemical explorations in 1:20000 scale of this area. During this study 121 samples were collected from the stream sediments of <80 mesh for final sampling. Ten percent of the samples were used for checking laboratories errors. The samples were collected according to conventional methods from 30-40 cm depth of stream sediments. Finally, geochemical and radiometric data were combined and the results introduced 3 anomalies in the Narigan area.

Keywords: Stream-Sediment Geochemical Exploration, Uranium, Narigan, Central Iran

*email: m-yazdi@cc.sbu.ac.ir

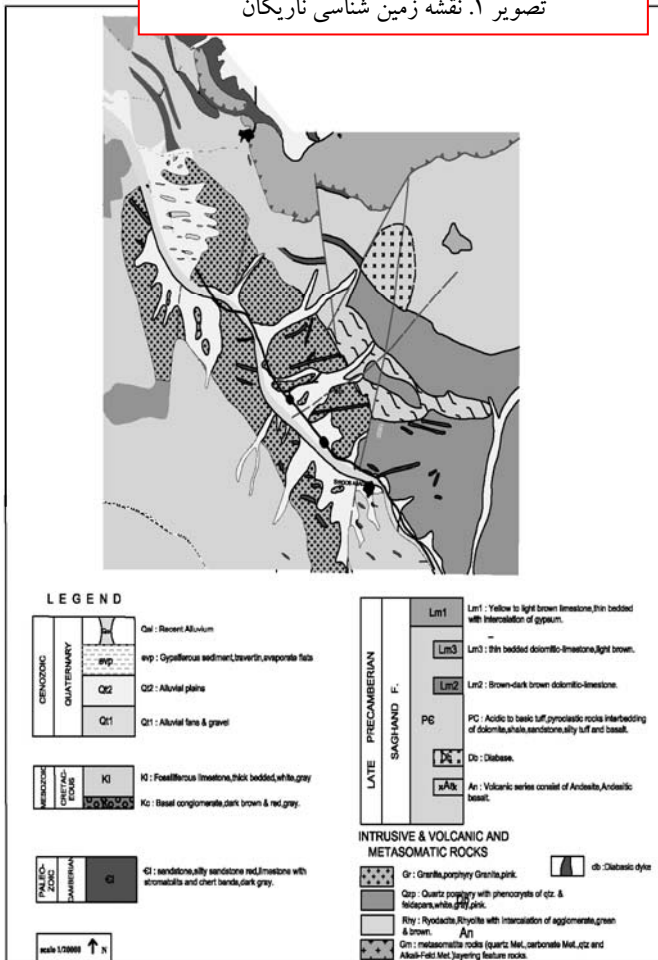


۱- مقدمه

منطقه ناریگان در استان یزد حد فاصل شهرهای بافق و بهاباد، در ۲۰ کیلومتری شرق معدن آهن چغارت قرار دارد. منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی مناطق ساختاری در منطقه ایران مرکزی واقع شده است. محدوده معدنی بافق جزئی از کویر لوت (خرده قاره شرق و مرکز ایران) بوده و دارای پی سنگ پر کامبرین می‌باشد که توسط سنگ‌های کامبرین تا تریاس پوشیده شده است.

اشتال (۱۸۹۷) اولین بار گرانیت ناریگان را مطالعه کرد. ایرج بختیار (۱۹۷۳) در رساله کارشناسی ارشد خویش پتروگرافی گرانیت ناریگان را بررسی کرده است [۱]. موسوی ماکویی (۱۳۷۷) در رساله کارشناسی ارشد خویش ژنز و پترولوژی گرانیت ناریگان را پژوهش کرده است. شاهد نوریان (۱۳۷۸) در رساله کارشناسی ارشد خویش زمین‌شناسی اقتصادی و هاله‌های ژئوشیمیایی گرانیت ناریگان را در ارتباط با ژنز اورانیوم-توریم و عناصر نادر خاکی مطالعه کرده است [۲]. حسین جلیلیان تهرانی (۱۳۷۹) در رساله کارشناسی ارشد خویش پترولوژی، دگرسانی و کانی‌سازی در گرانیت ناریگان را مطالعه کرده است [۳].

تصویر ۱. نقشه زمین‌شناسی ناریگان



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه ناریگان.

اکتشافات ژئوشیمیایی در حاشیه توده گرانیتی ناریگان در ادامه مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و هاله‌های ژئوشیمیایی در این منطقه جهت مشخص کردن محدوده‌های امید بخش و پتانسیل کانی‌سازی اورانیوم انجام گرفته است. اجرای این تحقیق در دو بخش طراحی شده است. بخش اول شامل اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای تا رسم نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی و تعیین مناطق پتانسیل‌دار است. بخش دوم شامل عملیات کنترل آنومالی‌هاست که از طریق مطالعه کانی‌های سنگین و رادیومتری تعقیب گردید و در نهایت پس از کنترل آنومالی‌ها، مناطق امید بخش معرفی شدند. در این مقاله به نتایج اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای پرداخته می‌شود.

۲- زمین‌شناسی منطقه

واحدهای زمین‌شناسی منطقه ناریگان بطور کلی شامل واحدهای آذرین و رسوبی است (شکل ۱).

۱-۲ واحدهای آذرین منطقه

۱-۱-۲ گرانیت ناریگان

یکی از واحدهای مهم زمین‌شناسی منطقه توده گرانیتی به نام ناریگان است. بختیار (۱۹۷۳) نشان داد که گرانیت ناریگان با ریولیت‌های سازند اسفوردی هم‌زمان می‌باشد [۱]. هم‌زمانی گرانیت ناریگان با ساب و لکانیک‌های سازند اسفوردی سنی برابر با پر کامبرین پسین را برای آن ارائه می‌دهد. اگرچه مطالعات انجام شده در منطقه گرانیت ناریگان، سن کامبرین پیشنهاد شده است [۴]. این توده گرانیتی به داخل سنگ‌های ولکانیکی رسوبی در منطقه نفوذ کرده است بطوریکه لایه‌های پیرو کلاستیک دو سمت خود را به صورت یک طاق‌دیس فرسایش یافته شیب‌دار کرده است و این‌طور به نظر می‌رسد که گرانیت در هسته طاق‌دیس قرار گرفته است.

۲-۱-۲ ریولیت پورفیری (کوارتز پورفیری)

این ریولیت‌ها بیشتر در شرق و تا حدی هم در غرب منطقه نارینگان گسترده‌اند. این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری با کوارتزهای گرد شده می‌باشند که گاهی اوقات قطر دانه‌های کوارتز به ۶ الی ۱۰ میلی‌متر می‌رسد. حد و مرز ریولیت‌ها با گرانیت نارینگان به صورت برشی و گسلی است و احتمالاً ریولیت‌ها متعلق به سری ریزو می‌باشند که از گرانیت‌های مذکور جوان‌ترند [۵].

۳-۱-۲ سری ولکانیک رسوبی

این سری شامل واحدهای توفی اسیدی تا بازیگ با میان لایه‌های دولومیتی، شیل، دیاباز، آندزیت است (که بیشترین رخمون آن در شرق منطقه می‌باشد). این سنگ‌ها که گرانیت نارینگان به درون آنها نفوذ کرده است از زیر دولومیت‌های صخره‌ساز شمال منطقه تا زیر دیواره آهکی (آهک کرتاسه) در جنوب منطقه که به صورت دگرشیب روی این توالی قرار گرفته است، ادامه می‌یابد.

۴-۱-۲ دایک‌های دیابازی

دایک‌های بازیگ دارای دو روند شرقی-غربی و شمالی-جنوبی هستند و درون سنگ‌های گرانیتی و ریولیتی در منطقه نفوذ یافته‌اند و با توجه به این که سنگ‌های گرانیتی و ریولیتی را در منطقه قطع می‌نمایند، سن جوان‌تری نسبت به سایر سنگ‌های نفوذی در منطقه دارند [۶].

۲-۲ واحدهای رسوبی منطقه
۱-۲-۲ طبقات دولومیتی لایه نازک

این سنگ‌ها در شمال منطقه دیده می‌شوند و مرز بالایی منطقه مطالعاتی را در بر می‌گیرند و بصورت تراستی روی طبقات ولکانیک-رسوبی منطقه قرار گرفته‌اند [۶].

۲-۲-۲ طبقات آهکی

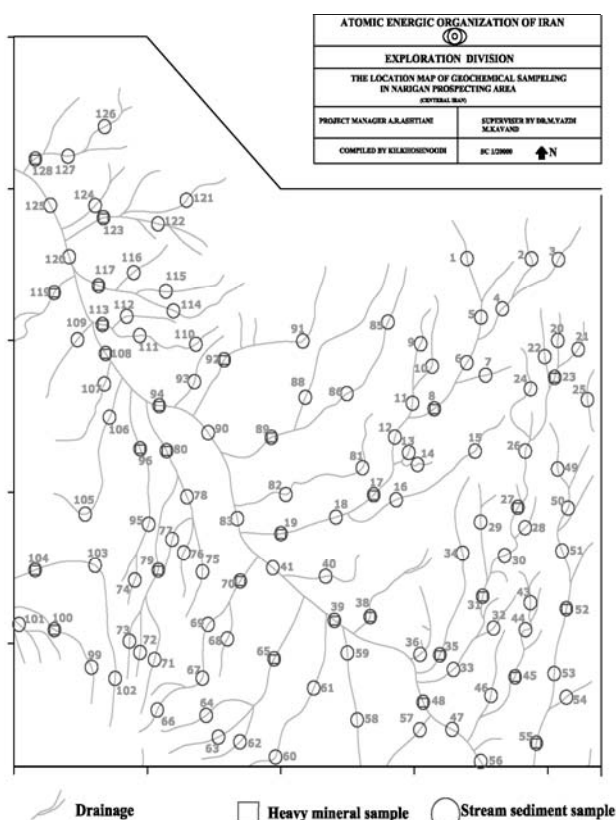
این سنگ‌ها به صورت دگرشیب روی توالی‌های ولکانیک-رسوبی منطقه قرار گرفته‌اند. کنگلومرای قاعده‌ای در زیر طبقات آهکی، وجود دگرشیبی را به اثبات می‌رساند. این واحد با وجود فسیل اریتولینا متعلق به کرتاسه تحتانی می‌باشد. این سنگ‌ها به هیچ وجه دگرسان نشده‌اند، چون زمان این تغییرات قبل از تشکیل این سنگ‌ها بوده است.

۳-۲ جایگاه چینه‌شناسی منطقه

واحدهای ولکانیک-رسوبی منطقه در نوشته‌های پیشین گاهی با نام سازند اسفوردی و گاهی با نام سازند ریزو (هوکریده و همکاران ۱۹۶۲) معرفی شده‌اند؛ آنچه مسلم است این واحدها مربوط به دوران پرکامبرین پسین می‌باشند. به طوری که آرش شریفی (۱۳۷۶) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، لایه‌های دولومیتی را که در شمال منطقه دیده می‌شوند سری دولومیتی پایینی نامگذاری کرده است و آنها را قدیمی‌ترین واحد در منطقه اسفوردی می‌داند که روی این واحدها، توالی متعددی از سنگ‌های ولکانیک-رسوبی و طبقات دولومیتی دیده می‌شود [۶]. این توالی در منطقه لک حیدر و اسفوردی مشاهده شده است که تمام این سنگ‌ها به پرکامبرین پسین تا کامبرین نسبت داده شده‌اند.

۳- اکتشاف رسوبات آبراهه‌ای

در این مرحله بر اساس واحدهای سنگی موجود در منطقه، سیستم ریخت‌شناسی و شبکه آبراهه‌ای، سیستم گسله حاکم بر منطقه و ... طراحی نقشه نمونه‌برداری، صورت گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه موقعیت نمونه‌برداری رسوب آبراهه‌ای و کانی سنگین.



کمتر از ۱۰۰ppm برای عناصر As و Ce قابل اطمینان نیستند، زیرا مقادیر این دو عنصر برای همه نمونه‌ها کمتر از ۱۰۰ppm است. از طرفی عناصری مثل Y و Sr از عناصر ردیاب مؤثر کانسارهای اورانیوم نوع گرمایی نمی‌باشد، لذا از داده‌پردازی حذف شدند. جدول ۱ میانگین عناصر را (برحسب ppm) در جوامع سنگی مختلف در منطقه ناریگان نشان می‌دهد.

۳-۲ پردازش داده‌ها و شرح آنومالی‌های عناصر مختلف

قبل از این مرحله تعیین میزان دقت تجزیه عناصر، تخمین داده‌های سنسورد و حذف تأثیر سنگ‌های بالادست (نقش سنگ بستر) انجام شد که از شرح آن‌ها در این مقاله صرف‌نظر شده است. پردازش داده‌ها مرحله‌ای است که طی آن به اطلاعات گردآوری شده سامان داده می‌شود و با اعمال محاسبات آماری و زمین‌آماري گوناگون به صورت قابل تفسیر درمی‌آیند. در این بخش پردازش داده‌های جوامع سنگی جهت تحلیل ناهمگنی سنگ‌های منشأ نمونه‌ها، محاسبه شاخص غنی‌شدگی و همگن‌سازی جوامع و در نهایت محاسبات آماری تک متغیره و چند متغیره صورت گرفته است.

جدول ۱- میانگین عناصر (برحسب ppm) در جوامع سنگی مختلف در منطقه ناریگان.

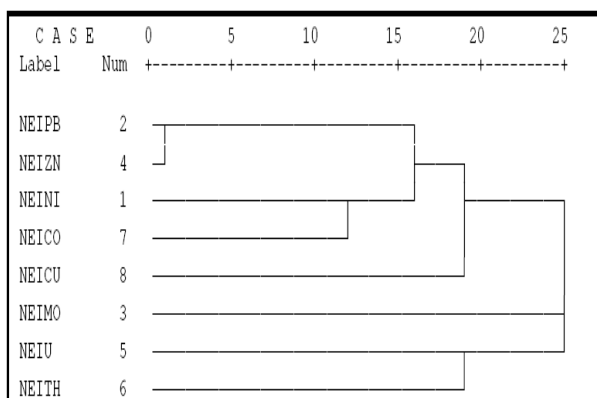
Zn	U	Th	Pb	Ni	Mo	Cu	Co	
117	3.64	4.32	34.3	49	6.64	32.2	15.7	تک سنگی (Tuff)
92.3	1.58	3.16	22.8	46.5	6.83	29	12.8	تک سنگی (Qzp)
113	3.28	4.2	32.6	49	6.63	31.4	15.2	تک سنگی (جامعه کلی)
95	2.36	2.89	25.4	46.6	6.52	27.6	13.1	دو سنگی (Tuff+Qzp)
135	3.4	1.9	35.3	49	7.27	33.5	16.3	دو سنگی (Tuff+Lm)
119	4.18	4.9	33.9	49.6	6.5	28.3	13.6	دو سنگی (Tuff+Gr)
110	3.08	3.32	29.9	48.2	6.63	28.8	13.9	دو سنگی (جامعه کلی)
100	4.46	2.69	24.5	46.3	6.38	26.2	14.8	جامعه سه سنگی
91	3.55	2.94	25.3	46.7	6.33	25.8	13.4	جامعه چهار سنگی
108	3.34	3.57	30	48.2	6.58	29.3	14.5	کل جوامع سنگی

Lm=Limestone, Qzp=Quartz Porphyry, DB=Diabasic dyke, Gr=Granite

طراحی شبکه نمونه‌برداری طوری انجام شد که ۱۲۱ نمونه این برگه حداکثر سازگاری را با روش مرکز ثقل داشته باشد. درجه مرکز ثقل را عواملی مانند چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و تکنیک کنترل می‌کنند [۷ تا ۱۲]. معمولاً در طراحی به روش مرکز ثقل، چگالی نمونه‌برداری در اطراف توده‌های نفوذی و خروجی و نواحی مجاور آنها (کنتاکت‌ها)، نواحی اطراف گسل‌ها و تقاطع آنها، منطقه‌های دگرسان شده بعد از فعالیت ماگمایی و مناطقی که در بخش فوقانی توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق قرار دارند (این توده‌ها از روی نقشه ژئوفیزیک هوایی مشخص می‌شوند) به علت داشتن پتانسیل معدنی بالاتر، از مقدار بالاتری برخوردار می‌باشند. اغلب آبراهه‌هایی که بوسیله گسل‌های عمیق قطع می‌شوند، ۵۰۰ متر پایین‌تر از محل تلاقی آبراهه با گسل، مورد نمونه‌برداری قرار می‌گیرند. در مواردی که دگرسانی‌های شدید مشاهده شده است، به ویژه در اطراف سنگ‌های نفوذی یا خروجی موجود در نواحی کم ارتفاع (این نواحی بیشترین مقدار دگرسانی را چه از نظر وسعت و چه از نظر شدت نشان می‌دهند)، درجه مرکز ثقل آبراهه‌ها باید به طور محلی افزایش یابد. این امر به دلیل اهمیت چنین مناطقی می‌باشد. چگالی نمونه‌ها ۳ نمونه در هر کیلومتر مربع بوده است. در طول عملیات صحرائی ضمن برداشت نمونه‌های ژئوشیمیایی کلیه اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و غیره نیز مورد توجه و ثبت قرار گرفت. هر نمونه ژئوشیمیایی متشکل از حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم جزء ۸۰- مش رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد که پس از الک کردن رسوب خشک در محل، درون کیسه‌های پلاستیکی نوریخته شده و شماره‌گذاری شده است.

۳-۱ تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی

کلیه نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده پس از ارسال به آزمایشگاه طرح اکتشاف مورد تجزیه قرار گرفته‌اند. در واحد اکتشاف سازمان انرژی اتمی ایران مهمترین روش تجزیه، روش دستگاهی XRF، یا فلورئورسانس اشعه ایکس می‌باشد که در این روش طول موج اشعه ایکس شاخص عناصر ثبت و اندازه‌گیری می‌باشد. نمونه‌ها برای ۱۲ عنصر As, Th, Y, U, Mo, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sr, Ce مورد تجزیه قرار گرفتند. در داده‌های ژئوشیمیایی منطقه ناریگان بر طبق گفته مسئول آزمایشگاه مقادیر



شکل ۳- دندوگرام حاصل از پردازش مقادیر نرمال شاخص غنی‌شدگی در منطقه ناریگان.

۳-۵ همبستگی عناصر و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

۳-۵-۱ تعیین ضریب همبستگی

برای تعیین اینکه آیا ارتباط معنی‌داری میان تغییرات متغیرهای آماری وجود دارد، ضرایب همبستگی آنها را حساب می‌کنیم این کار به منظور کشف همبستگی بین متغیرها و تخمین مقدار یک یا چند متغیر دیگر صورت می‌گیرد. برای بررسی دو نوع ضریب همبستگی پیرسن و اسپیرمن به صورت ماتریس، ضرایب همبستگی حساب شده‌اند که در جدول‌های ۲ و ۳ مندرج‌اند.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون.

	Co	Ni	Pb	U	Zn	Mo	Th
Co	1						
Ni	.491	1					
Pb	.336	.360	1				
U	.250	.242	.140	1			
Zn	.427	.435	.789	.212	1		
Mo	.120	-.034	.223	.028	.188	1	
Th	.104	.201	.211	.305	.158	.060	1
Cu	.425	.180	.277	.069	.309	.244	-.137

جدول ۳- ضریب همبستگی اسپیرمن.

	U	Th	Ni	Pb	Mo	Zn	Co
U	1.000						
Th	.301	1.000					
Ni	.238	.184	1.000				
Pb	.166	.223	.362	1.000			
Mo	.023	.070	-.057	.234	1.000		
Zn	.218	.172	.401	.792	.192	1.000	
Co	.317	.092	.432	.370	.126	.458	1.000
Cu	.064	-.083	.200	.298	.257	.368	.423

۳-۳ بررسی مقادیر خارج از رده (Outliers Samples)

قبل از محاسبه مقادیر شاخص غنی‌شدگی ابتدا برای کل جامعه مربوط به یک عنصر نمودار جعبه‌ای^(۱) را ترسیم کردیم و هنگام بررسی به نمونه‌هایی برخوردیم که در کرانه‌های بالا و پایین مجموعه داده‌ها قرار گرفته و از جامعه اصلی جدا افتاده‌اند. برای بدست آوردن میانگین واقعی، مقادیر خارج از رده را حذف و بعد از آن میانگین، سپس شاخص غنی‌شدگی را حساب کردیم.

۳-۴ نرمال‌سازی داده‌های خام

استفاده از برخی روش‌های آماری منوط به نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است در حالی که توابع توزیع از نوع لاگ نرمال است، به همین دلیل قبل از استفاده از این داده‌ها باید نرمال شوند. با توجه به پردازش اولیه داده‌های خام منطقه مورد مطالعه و ترسیم نمودارهای هستوگرام اولیه، معلوم شد که این داده‌ها از نوع لاگ نرمال هستند.

در این بخش از نوعی تبدیلات برای نرمال کردن تابع توزیع مقادیر شاخص غنی‌شدگی استفاده شده است. این کار شرط لازم کاربرد برخی روش‌های آماری مانند تعیین نمونه‌های آنومالی با استفاده از اضافه کردن ضرایبی از انحراف معیار به حد آستانه‌ای و یا محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون می‌باشد. روش لاگ نرمال بصورت یک روش توزیعی برای نرمال کردن تابع توزیع جوامعی که دارای چولگی در نمودار خود هستند، به کار می‌رود. در این جا از لگاریتم طبیعی مقادیر شاخص غنی‌شدگی با افزودن یا کاستن یک مقدار ثابت λ برطبق رابطه تبدیلی زیر استفاده شده است.

$$Z = \ln EI \pm \lambda$$

مقدار λ بگونه‌ای انتخاب شده است که پس از انتخاب داده‌ها به یک مقدار بهینه از چولگی و کشیدگی در نمودار توزیع نرمال دست پیدا کنیم، که به عنوان مثال شکل ۳ مراحل نرمال‌سازی عنصر Pb را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت که پارامترهای آماری شامل مقادیر چولگی و کشیدگی متغیرها در مقایسه با مقادیر متناظر مربوط به شاخص‌های غنی‌شدگی نرمال نشده تا چه اندازه کاهش یافته و نمودار توزیع تجمع‌ی آنها به صورت یک خط راست، که مبین توزیع نرمال می‌باشد، ظاهر شده است. هستوگرام مقادیر نرمال شده نیز به صورت منحنی کاملاً متفاوتی در آمده است.



آنالیزهای تک متغیره می‌باشند، البته بعضی از روش‌های چند متغیره تنها برای پاسخ‌گویی به مقاصد چند متغیره طراحی شده‌اند، از جمله این روش‌ها می‌توان به تجزیه عاملی اشاره کرد. تجربه نشان داده است که چنانچه ترکیبی از متغیرها به جای یک متغیر بکار گرفته شوند و از نتایج ترکیبی آنها استفاده شود امکان تشخیص هاله‌های مرکب ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری به مراتب افزایش می‌یابد و از طرفی اثر خطاهای تصادفی در بکارگیری ترکیبی متغیرها نسبتاً کاهش می‌یابد. از مزایای دیگر استفاده از روش‌های چند متغیره کاهش تعداد متغیرها در مباحث داده‌پردازی و در نتیجه کاستن تعداد نقشه‌ها است. با استفاده از این روش‌ها امکان مقایسه متغیرها و کسب نتایج، آسان خواهد بود. البته استفاده بهینه از روش‌های چند متغیره در حالتی صادق خواهد بود که در پردازش داده‌ها با تعداد زیادی متغیر روبرو باشیم و تا حدودی امکان اخذ نتیجه از متغیرها به گونه منفرد غیرممکن و یا توأم با خطای زیاد باشد. در این پروژه از روش چند متغیره آنالیز خوشه‌ای استفاده شده است.

۳-۵-۳ آنالیز خوشه‌ای و همبستگی عناصر

چون هر گروه معین از عناصر نسبت به یک سری از شرایط محیطی کم و بیش به طور مشابه حساسیت نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی بکار گرفته شود. ضمناً تجمع ژنتیکی بعضی از عناصر ممکن است به عنوان راهنمای مستقیم در تفسیر نوع نهشته‌ای که احتمالاً در ناحیه وجود دارد بکار رود. رویهمرفته شناخت همبستگی‌های ژنتیکی که در بین عناصر وجود دارد اطلاعات لازم را برای تفسیر هر چه صحیح‌تر داده‌های ژئوشیمیایی در اختیار می‌گذارد.

آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که عناصر را بر اساس شباهت تغییرپذیری بین آنها در قالب دسته‌ها یا گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند. دلایل زیادی برای ارزشمند بودن آنالیز خوشه‌ای وجود دارد از جمله اینکه آنالیز خوشه‌ای ممکن است در پیدا کردن گروه‌های واقعی کمک کند، همچنین از تراکم داده‌ها بکاهد. البته باید توجه داشت که آنالیز خوشه‌ای ممکن است گروه‌های غیرقابل انتظاری را ایجاد نماید که بیانگر

شرط محاسبه ضریب همبستگی پیرسن، نرمال بودن تابع توزیع متغیرها می‌باشد. در این Sig (2-tailed) میزان معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی، طبق آزمون فرض مساوی صفر بودن ضریب همبستگی می‌باشد. برای محاسبه ضریب همبستگی پیرسن، به علت تأثیرپذیری این پارامتر از کرانه‌های بالا و پایین، داده‌ها باید نرمال باشند، سپس ضرایب همبستگی حساب شوند. به همین دلیل ابتدا داده‌های شاخص غنی‌شدگی را نرمال می‌کنیم و ضرایب همبستگی پیرسن آنها را بر اساس نتایج بدست می‌آوریم. بر اساس نتایج ضریب همبستگی پیرسن ضرایب مشاهده بین عناصر:

U-Th(0.30), Co-Ni(0.49), Zn-Pb(0.78),
Zn-Ni(0.43), Zn-Co(0.42), Cu-Zn(0.3),
Co-U(0.25), Pb-Co(0.33), Co-Cu(0.42), Pb-Ni(0.36)

در سطح اعتماد مطلوب (۹۹٪) می‌باشند؛ این ضرایب نشان‌دهنده ارتباط پاراژنتیکی بین عناصر می‌باشد. برای محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن از داده‌های خام استفاده شده است و بطوری که مشاهده می‌شود در بعضی مواقع وضعیت متفاوتی نسبت به ضریب همبستگی پیرسن دارد. بر اساس نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن ضرایب مشاهده شده بین عناصر:

U-Th(0.30), Co-Ni(0.43), Zn-Pb(0.79),
Zn-Ni(0.40), Zn-Co(0.45), Cu-Zn(0.36),
Co-U(0.25), Pb-Co(0.37), Co-Cu(0.42), Pb-Ni(0.36)

در سطح اعتماد ۹۹٪ می‌باشد که با صفر تفاوت معناداری دارد. مقایسه ضریب همبستگی بین زوج متغیرها به روش پیرسن و اسپیرمن نشان می‌دهد که اختلاف بین ضرایب همبستگی عناصر متناظر دو روش، تقریباً کم است که حاکی از توزیع نسبتاً نرمال عناصر و تأثیر کم نمونه‌های خارج از رده است.

۳-۵-۴ بررسی‌های آماری چند متغیره

هر تجزیه و تحلیل چند متغیره که بر روی بیش از دو متغیر انجام می‌گیرد ممکن است در قالب آنالیزهای چند متغیره بیان شود. غالب تکنیک‌های چند متغیره در اصل بسط و توسعه



۹۷/۵٪ باشند می‌توانند به عنوان آنومالی مورد بررسی قرار گیرند. به این خاطر که بر روی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه ما نرمال‌سازی انجام شده است در روش لپتیلیه در دستگاه مختصات از مقیاس عددی داده‌ها بجای مقیاس لگاریتمی استفاده می‌کنیم. به دلیل شرایط فنی - اقتصادی پروژه، مقادیر ژئوشیمیایی که به ازای آنها فراوانی تجمعی به ترتیب بیش از ۹۵٪ و ۸۴٪ است به عنوان آنومالی‌های درجه یک و درجه دو مورد بررسی قرار می‌گیرند (جدول ۴).

۴- رادیومتری در منطقه نارینگان

در طول انجام عملیات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی اندازه‌گیری پرتوزایی محل برداشت هر نمونه نیز انجام گرفته است. این اندازه‌گیری توسط دستگاه سنتیلومتر از نوع SPP₂ انجام شده است. این دستگاه مقدار پرتو گامای کل را برحسب مقدار در ثانیه (C.P.S) بر روی زمین اندازه‌گیری می‌نماید [۱۳]. از آن جا پرتوزایی اندازه‌گیری شده مربوط به کل عناصر پرتوزای موجود در سنگ است (شامل K, Th, U و غیره)، لذا این شاخص جهت اکتشاف اورانیوم همراه با نتایج تجزیه شیمیایی اورانیوم معتبر خواهد بود [۱۴].

جدول ۵ میانگین پرتوزایی در رسوبهای آبراهه‌ای در جوامع سنگی مختلف در منطقه نارینگان را نشان می‌دهد. شکل ۴ بیانگر نقشه‌ای شماتیک از رادیومتری انجام شده در محل نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد که آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر اورانیوم و توریوم بر روی آن ترسیم شده است. ناحیه‌ای که به صورت آنومالی بر روی نقشه (به رنگ بنفش) مشاهده می‌شود کاملاً منطبق بر قسمتی از گرانتیت نارینگان که همراه با توف به صورت موضعی می‌باشد. یکی از آنومالی‌های ژئوشیمیایی عنصر توریوم تقریباً منطبق بر آنومالی رادیو آکتینو می‌باشد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از هدف‌مندترین بخش‌های یک گزارش اکتشافی به ویژه اکتشافات ژئوشیمیایی جمع‌بندی نتایج بدست آمده از روش‌های گوناگون است که این جمع‌بندی نتایج در مواردی می‌تواند راهکار مناسبی در جهت تعیین ژنز و خاستگاه نواحی کانی‌ساز، ترمیم نقاط ضعف و برطرف کردن چالش‌های موجود

روابط جدیدی خواهند بود و باید مورد بررسی قرار گیرند. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه در شکل ۳ آورده شده است، با توجه به شکل می‌توان دو گروه اصلی را جدا نمود که بیانگر ارتباط پارائزنی بین متغیرها باشد در ضمن هر گروه اصلی بر اساس نزدیکی گروه‌ها به چند زیر گروه تقسیم می‌شود:

گروه اول: شامل عناصر U, Th می‌باشد.

گروه دوم: شامل عناصر Ni, Cu, Co, Zn, Pb می‌باشد.

زیر گروه دوم:

- عناصر Pb, Zn

- عناصر Ni, Co

و در نهایت عنصر Mo باقی می‌ماند که در این آنالیز با هیچ عنصری همبستگی نشان نمی‌دهد.

۳-۶ شرح آنومالی عناصر مختلف

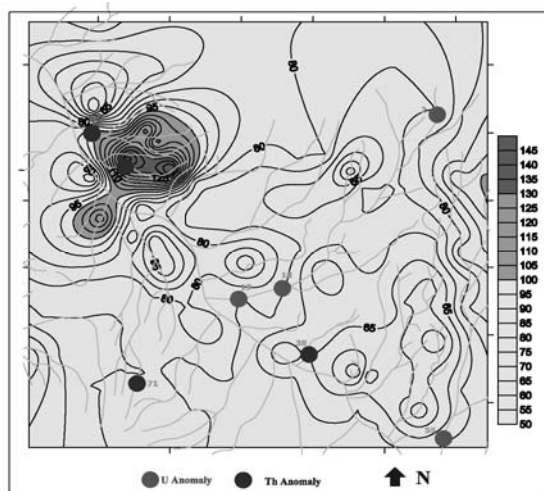
در بررسی‌های ژئوشیمیایی اکتشافی ما به دنبال کشف وضعیت‌هایی از توزیع ژئوشیمیایی غیرعادی یا همان آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مختلف هستیم که در ارتباط با کانی‌سازی باشند. آنومالی‌های مرتبط با کانی‌سازی بر اساس میزان انحراف داده‌های ژئوشیمیایی از گروه مقادیر عادی تحت عنوان مقدار زمینه معروف هستند شناخته می‌شوند. در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی زمانی می‌توان موفق بود که علاوه بر این که تمام مراحل نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها به درستی انجام گرفته باشد، روش‌های آماری که به منظور تفسیر اطلاعات و تعیین محدوده‌های کمی زمینه و آنومالی بکار می‌روند مناسب و به اندازه کافی دقت داشته باشند.

برای محاسبه آنومالی عناصر مختلف از روش لپتیلیه استفاده شده است. بر طبق روش لپتیلیه پس از تعیین فاصله لگاریتمی بین گروهی در یک دستگاه محور مختصات با مقیاس کاغذ احتمال غلظت عناصر شیمیایی را به عنوان تابعی از فراوانی رسم می‌کنیم. سپس، عدد نظیر ۵۰٪ از فراوانی تجمعی را معادل میانگین هندسی قرار می‌دهیم و به همین ترتیب غلظت‌هایی نظیر ۸۴٪ و ۹۷/۵٪ فراوانی تجمعی به ترتیب معادل مقدار زمینه $X+S$ و حد آستانه‌ای محلی و یا ناحیه‌ای $X+2S$ خواهد بود. بر طبق این روش مقادیر ژئوشیمیایی که به ازای آنها فراوانی تجمعی بیش از



جدول ۴- شرح آنومالی‌های عناصر اورانیوم و توریم حاصل از پردازش مقادیر نرمال شاخص غنی‌شدگی در برکه ۱/۲۰۰۰۰ نارینگان.

نام عنصر	درجه آنومالی	شماره نمونه ژئوشیمی	موقعیت جغرافیایی	سنگ های بالا دست
U	درجه یک	84-KM-002	تقریباً ۳۶۰۰ متری شرق نارینگان	Tuff+Lm
		84-KM-018	تقریباً ۱/۵ کیلومتری شمال سیروس آباد	Tuff+QZP+Gr
		84-KM-019	تقریباً ۱۸۰۰ متری شمال غربی سیروس آباد	Tuff+QZP+Gr
		84-KM-055	تقریباً ۱۸۰۰ متری جنوب شرق سیروس آباد	Tuff+QZP
	درجه دو	84-KM-003	تقریباً ۳۸۰۰ متری شرق نارینگان	Tuff+Lm
		84-KM-035	تقریباً ۵۰۰ متری شرق سیروس آباد	Tuff+QZP+DB
		84-KM-049	تقریباً ۲۶۰۰ متری شمال شرقی سیروس آباد	Tuff
		84-KM-061	تقریباً ۲ کیلومتری غرب سیروس آباد	Tuff+Gr
		84-KM-072	تقریباً ۲۷۰۰ متری غرب سیروس آباد	Tuff
		84-KM-076	تقریباً ۲۶۰۰ متری شمال غربی سیروس آباد	Tuff
		84-KM-078	تقریباً ۲۸۰۰ متری شمال غربی سیروس آباد	Tuff+Gr
		84-KM-082	تقریباً ۲ کیلومتری شمال غربی سیروس آباد	Tuff+QZP+Gr+DB
		84-KM-088	تقریباً ۲۲۰۰ متری جنوب شرقی نارینگان	Tuff+Lm+Mn Ore
		84-KM-089	تقریباً ۲ کیلومتری جنوب شرقی نارینگان	Tuff+Lm+Gr+Mn Ore
		84-KM-099	تقریباً ۳۳۰۰ متری غرب سیروس آباد	Tuff
		84-KM-112	تقریباً ۱۵۰۰ متری جنوب غربی نارینگان	Tuff
84-KM-121	تقریباً ۳۰۰ متری غرب نارینگان	Tuff+Lm		
84-KM-127	تقریباً ۱۵۰۰ متری شمال غربی نارینگان	Tuff+QZP+Mn Ore		
نام عنصر	درجه آنومالی	شماره نمونه ژئوشیمی	موقعیت جغرافیایی	سنگ های بالا دست
Th	درجه یک	84-KM-038	تقریباً ۵۰۰ متری شمال سیروس آباد	Tuff+QZP+Gr
		84-KM-071	تقریباً ۲۶۰۰ متری غرب سیروس آباد	Tuff
		84-KM-111	تقریباً ۱۶۰۰ متری جنوب غربی نارینگان	Tuff+Gr
		84-KM-117	تقریباً ۱/۵ کیلومتری جنوب غربی نارینگان	Tuff+Gr
	درجه دو	84-KM-058	تقریباً ۷۰۰ متری جنوب غربی سیروس آباد	QZP+Gr
		84-KM-060	تقریباً ۱۶۰۰ متری جنوب غربی سیروس آباد	Tuff
		84-KM-062	تقریباً ۱۸۰۰ متری جنوب غربی سیروس آباد	Tuff
		84-KM-065	تقریباً ۱۲۰۰ متری غرب سیروس آباد	Tuff+Gr
		84-KM-079	تقریباً ۲۷۰۰ متری شمال غربی سیروس آباد	Tuff
		84-KM-104	تقریباً ۴ کیلومتری غرب سیروس آباد	Tuff+QZP



شکل ۴- نقشه‌ای شماتیک از رادیومتری رسوبات آبراهه‌ای (اعداد برحسب

C.P.S) و آنومالی‌های ژئوشیمیایی U و Th.

جدول ۵- میانگین پرتوزایی (اشعه گاما) در رسوبات آبراهه‌ای در جوامع سنگی مختلف در منطقه نارینگان.

میزان پرتوزایی بر حسب (c.p.s)	سنگی
۷۶	تک سنگی (Tuff)
۶۹	تک سنگی (Qzp)
۷۷	تک سنگی (جامعه کلی)
۷۱/۶	دو سنگی (Tuff+Qzp)
۷۷/۳	دو سنگی (Tuff+Lm)
۱۰۶/۸	دو سنگی (Tuff+Gr)
۸۱/۳	دو سنگی (جامعه کلی)
۷۱/۵	جامعه سه سنگی
۷۳/۳	جامعه چهار سنگی
۷۷/۳	کل جوامع سنگی



- نمونه شماره 84-km-073: موقعیت نمونه تقریباً ۲۸۰۰ متری غرب سیروس آباد و سنگ بالا دست آن توف می‌باشد، این نمونه برای عناصر Zn، Co، Ni، Pb آنومالی درجه یک محسوب می‌شود.
- نمونه شماره 84-km-071: موقعیت نمونه تقریباً ۲۶۰۰ متری غرب سیروس آباد و سنگ بالا دست آن توف می‌باشد، این نمونه برای عناصر Pb، Th آنومالی درجه یک و برای عنصر Zn آنومالی درجه دوم محسوب می‌شود.

بر اساس مطالعات نوربان ۱۳۸۷ در سنگ‌های بالا دست این سه نمونه، نمونه‌های لیتوژئوشیمی دارای بیش از ۱۰۰ ppm اورانیوم و توریوم است و رادیومتری انجام شده آنومالی اثرات رادیوآکتیو زیادی را نشان می‌دهد. همه این موارد تأییدکننده آنومالی ژئوشیمی در سه نمونه فوق می‌باشد [۵].

۲-۵ آنومالی شماره ۲

نمونه شماره 84-km-121: موقعیت نمونه تقریباً ۳۰۰ متری غرب نارینگان و سنگ بالا دست آن توف و دولومیت می‌باشد. این نمونه در عناصر Cu، Zn، Pb آنومالی درجه یک و برای عنصر U آنومالی درجه دوم نشان می‌دهد.

۳-۵ آنومالی شماره ۳

نمونه شماره 84-km-002: موقعیت نمونه تقریباً ۳۶۰۰ متری شرق نارینگان و سنگ بالا دست آن توف و دولومیت می‌باشد. این نمونه در عناصر U، Zn آنومالی درجه یک و برای عنصر Cu آنومالی درجه دوم نشان می‌دهد.

پی‌نوشت:

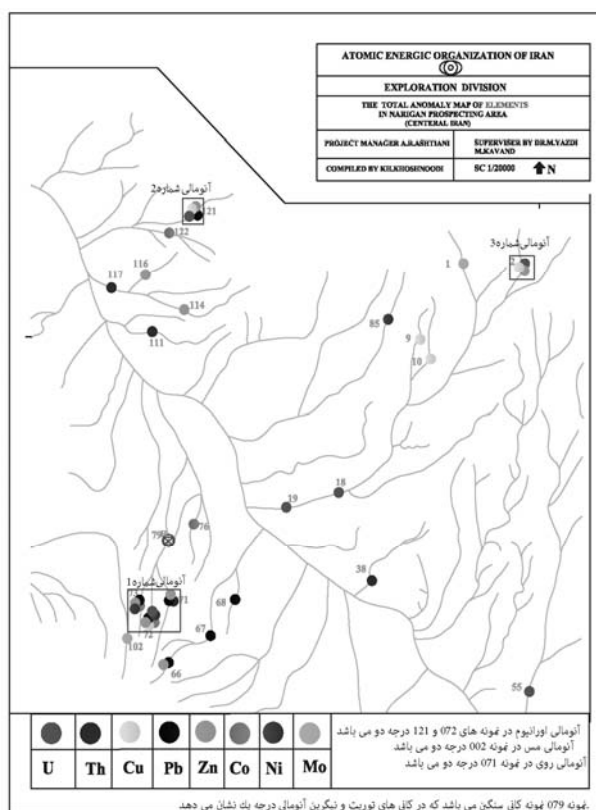
۱- Box Plot

اکتشافی باشد. از تلفیق نتایج حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و رادیومتری و در نظر گرفتن فاکتورهایی از قبیل تمرکز غیرعادی (آنومالی) از عنصر اورانیوم، تمرکز غیرعادی شاخص‌های تک عنصری (U، Mo، Pb، Th، Cu)، {Zn، Co، Ni، Ni، Co، Zn}، شاخص‌های چند عنصری {Mo، Pb، U} و {MO، Pb، U، Ni، Co، Zn}، شاخص‌های نسبت {U/Th} و {Pb، Mo/U²}، شاخص پرتوزایی و آنومالی‌های زیر به ترتیب اولویت معرفی شده‌اند (شکل ۵).

۵-۱ آنومالی شماره یک

این آنومالی از سه نمونه که سه شاخه متصل به هم از یک آبراهه بزرگتر می‌باشند، تشکیل شده است و شامل نمونه‌های زیر است:

- نمونه شماره 84-km-072: موقعیت نمونه تقریباً ۲۷۰۰ متری غرب سیروس آباد و سنگ بالا دست آن توف می‌باشد، این نمونه برای عناصر Cu، Zn، Co، Ni، Pb آنومالی درجه یک و برای عنصر U آنومالی درجه دوم محسوب می‌شود.



شکل ۵- نقشه آنومالی‌های موجود در منطقه نارینگان.

**References:**

1. B.A. Samani, "Recognition of uraniferous provinces from the Precambrian of Iran," *Krystalinkum*, vol. 19, 147-165 (1998).
2. ش. نوریان، "مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی و هاله‌های ژئوشیمیایی در حاشیه توده گرانیتی نارینگان،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز (۱۳۷۸).
3. ح. جلیلیان، "بررسی پترولوژی و پتروگرافی گرانیت نارینگان،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال (۱۳۷۹).
4. J. Ramezani and R.D. Tucker, "The saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics," *American Journal of Science*, 303, 622-665 (2003).
5. ز. نوریان، "ژئوشیمی کانی‌شناسی و ژنز اورانیوم در محدوده چاه جوله، ایران مرکزی،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، غیر چاپ شده (۱۳۸۷).
6. خ. خشنودی، "اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای و بررسی کانی‌سازی اورانیوم در حاشیه گرانیت نارینگان یزد،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، غیر چاپ شده (۱۳۸۶).
7. م. یزدی، "روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی،" انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۸ صفحه (۱۳۸۱).
8. L.G. Boyle, "Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits," Elsevier Scientific Publications, 500 (1982).
9. F.J. Dahlkamp, "Uranium ore deposits," Springer-Verlag. 449 (1993).
10. W.K. Fletcher, "Analytical methods in geochemical prospecting, handbook of exploration geochemistry (10)," Elsevier, Amsterdam. Vol.1, 184-206 (1981).
11. M. Hale and J.A. Plant, "Drinage geochemistry in mineral exploration," Elsevier, Sci.Ltd., 120 (1994).
12. F. Mrna, J. Cadek, D. Pavlu, "Methods of geochemical prospecting," Geological survey Prague, 256 (1979).
13. ر. کوهی، م. هادی‌زاده یزدی، "اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای،" ناشر کتابستان مشهد، ترجمه (۱۳۷۱).
14. م. یزدی، خ. خشنودی، "کانسارهای اورانیوم گرمابی،" انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران، ترجمه، ۲۸۰ صفحه (۱۳۸۶).