

## تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی اورانیوم و عناصر همراه در خاور بم، جنوب خاوری ایران

محمدگودرزی\*<sup>۱</sup>، حسن زمانیان<sup>۱</sup>، علیرضا جوانشیر<sup>۲</sup>، محمدرضا رضوانیان زاده<sup>۳</sup>، محمدرضا قادری<sup>۴</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

۴- گروه معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۸/۲۷

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۳/۱۶

### چکیده

منطقه مطالعاتی در خاور شهر بم و در بخش جنوبی بلوک لوت واقع شده است. با هدف بررسی مقدار و رفتار اورانیوم و عناصر همراه در منطقه‌ای به وسعت ۱۰ کیلومتر مربع تعداد ۶۱۶ نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت و جهت انجام آنالیز ICP-MS به آزمایشگاه لب‌وست استرالیا فرستاده شدند. مطالعات آماری مختلف از قبیل تحلیل ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و تجزیه تحلیل عاملی به شناسایی دو نوع مجموعه ژئوشیمیایی مرتبط با حضور اورانیوم در سنگ‌های منطقه منجر گردید که عبارتند از مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های اسیدی و حدواسط دگرسان شده (آرژیلیک) شامل U-W-As-Mo-S-Cu-Ag و مجموعه‌های مرتبط با سنگ‌های آذرین بازیک که شامل U-Ni-V-Ag-Co-W-Mo-Cr-Cu-S. همچنین چهارگروه عنصری به دلیل داشتن همبستگی ژئوشیمیایی با اورانیوم می‌توانند مورد توجه قرار گیرند که عبارتند از: عناصر نادر خاکی: Ce, La, Y عناصر پلی‌متال: Sr, As, Sb, Ba, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Se. عناصر مرتبط با آتشفشان‌های اسیدی: Be, Mo, W, Zr عناصر مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی مافیک: Co, Cr, Ni, V. براساس بررسی نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی عناصر ردیاب اورانیوم در منطقه مشاهده می‌شود که عناصر Mo, W, As, Sb, Cd و Tl, Pb, Be دارای روند غنی‌شدگی منطبق بر آنومالی‌های اورانیوم می‌باشند و در میان عناصر ردیاب در درجه اول اولویت قرار دارند. با انطباق منحنی‌های هم‌تراز اورانیوم بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه، مشاهده می‌شود که آنومالی‌های یاد شده منطبق با زون‌های خردشدگی و روند گسل‌های منطقه می‌باشند و منطبق بر واحدهای توف ریولیتی (داسیت توف، توف‌های ریولیتی)، واحدهای حدواسط، همراه با دگرسانی‌های آرژیلیتی، آکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و در بعضی نقاط همراه با دگرسانی کربناتی و کانی‌زایی منگنز می‌باشند.

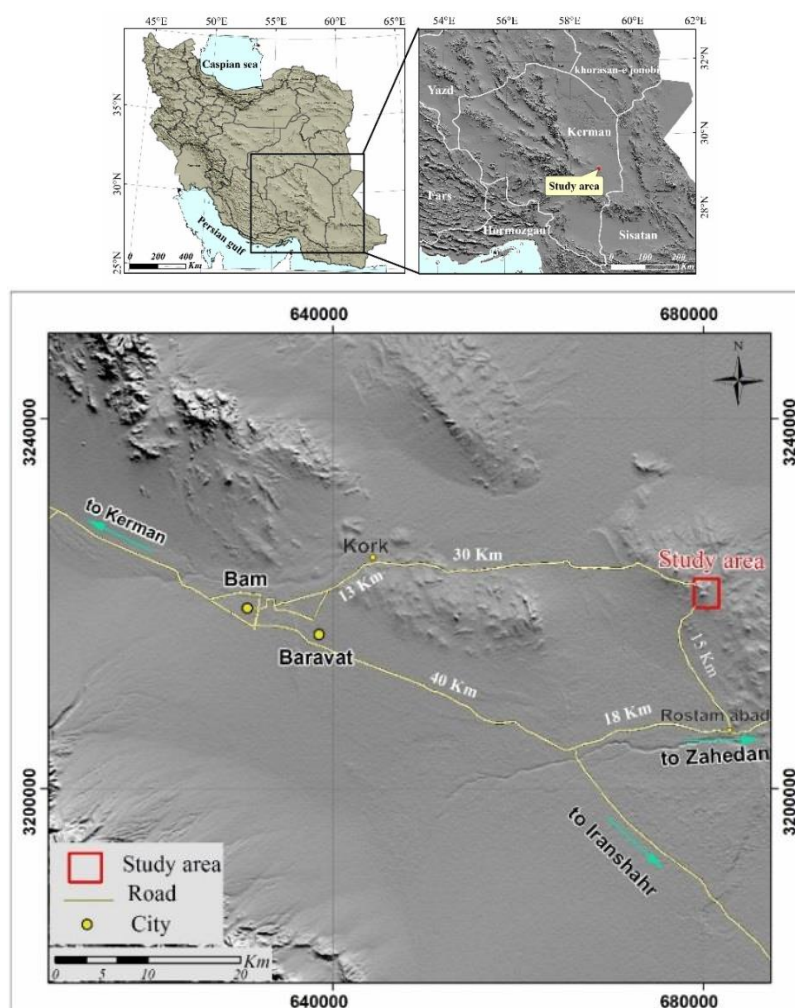
واژه‌های کلیدی: آمار، اورانیوم، بم، زمین‌شناسی ژئوشیمی، عنصر.

## مقدمه

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در خاور شهر بم و در بخش جنوب خاوری استان کرمان قرار دارد. این منطقه در کیلومتر ۴۵ جاده بم-زاهدان واقع شده و از جاده آسفالت اصلی بم-زاهدان دارای ۱۵ کیلومتر جاده دسترسی خاکی و شوسه است (شکل ۱). آب و هوای منطقه گرم و کویری و بخشی از ناحیه بیابانی لوت زنگی احمد است و دارای مورفولوژی و توپوگرافی ملایم و در بعضی نقاط کوه های بلند و نسبتاً خشن می‌باشد. این منطقه بخشی از نوار آتشفشانی با روند NW-SE در خاور بم می‌باشد و

عمدتاً از توالی سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای به سن ائوسن تشکیل شده است. از لحاظ تقسیمات زمین‌ساختی، ناحیه بم در خرده قاره ایران مرکزی و در بخش جنوبی بلوک لوت واقع شده است (آقاناتی، ۱۳۸۳). مهم‌ترین فعالیت‌های انجام شده در منطقه مطالعات اکتشافی توسط گروه اکتشاف سازمان انرژی اتمی ایران در سال‌های اخیر می‌باشد. پژوهش حاضر در راستای پتانسیل یابی عناصر پرتوزا در بلوک لوت می‌باشد که تحت حمایت گروه اکتشاف سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفته است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی ژئوشیمیایی الگوی رفتاری عناصر شاخص کانی‌زایی هیدروترمال در منطقه و به منظور تعیین غنی‌شدگی‌های محلی و ناحیه‌ای اورانیوم در مقیاس ۱:۵۰۰۰ می‌باشد. بدین منظور پس از بررسی‌های زمین‌شناسی بهترین مناطق جهت نمونه‌برداری شناسایی و از سنگ‌های دگرسان نشده، سنگ‌دیواره دگرسان شده و رگه‌های کانی‌سازی در امتداد نیمرخ‌های انتخابی، تعداد ۶۱۶ نمونه لیتوژئوشیمیایی از منطقه با اهداف مطالعات اسپکترومتری جرمی (ICP-MS) برداشت و به آزمایشگاه لب‌بوست استرالیا ارسال شدند (شکل ۲). پس از انجام تجزیه و تحلیل‌های تک‌عنصر از تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره یعنی بررسی و تجزیه و تحلیل هم‌زمان بیش از دو متغیر با استفاده از نرم-افزارهای Excel, Surfer, Mini Tab, ARC GIS و SPSS برای پردازش داده‌ها استفاده شد. عناصر بیسموت، جیوه، ایندیم، نئوم، تانتالیم و تلوریم به دلیل اینکه بیش از ۹۵ درصد داده‌های آنها کمتر از حد حساسیت مورد پذیرش بود از فرایند تجزیه و تحلیل‌ها حذف گردیدند.

## نتایج

### زمین‌شناسی منطقه

منطقه مطالعاتی در جنوب غرب نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ الله‌آباد (افتخار نژاد و همکاران، ۱۹۹۳) واقع شده است. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از محدوده مورد مطالعه (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳)، رخنمون‌های ائوسن موجود در محدوده به دو دسته عمده آذرآواری و گدازه‌ای قابل تفکیک هستند. همچنین عمدتاً این نهشته‌ها شامل سری‌های مافیک و اسیدی هستند و نهشته‌های حد واسط نیز در منطقه قابل مشاهده

هستند. نهشته‌های فوق توسط دایک‌های متعددی با روند تقریبی شمال‌باختر-جنوب‌خاور قطع شده‌اند که این دایک‌های بازالتی-دیابازی در واقع می‌توانند به بعد از ائوسن نسبت داده شوند. قدیمی‌ترین رخنمون‌های موجود در محدوده را نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی با ماهیت آذرآواری تشکیل می‌دهند که به صورت توالی ماسه‌سنگ، سیلتستون، توف آندزیتی و لاپیلی توف می‌باشند. بخش زیرین این نهشته‌ها مشخص نبوده و در بخش بالایی به نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌های اسیدی ختم می‌شوند. در بین نهشته‌های فوق گدازه‌های آندزیتی تا تراکی آندزیتی دیده می‌شوند و در توالی فوق چندین لایه از این گدازه‌ها وجود دارند. این سنگ‌ها بافت پورفیری و میکروپورفیری دارند و با توجه به مقاومت‌شان در مقابل فرسایش از سنگ‌های مجاور برجسته‌تر مشاهده می‌گردند. نهشته‌های آذرآواری و گدازه اسیدی که با ترکیب ریوداسیتی تا ریولیتی با حجم عظیم در منطقه وجود دارند، دامنه‌ای از توف دانه‌ریز، ایگنمبریت، لاپیلی توف و آگلومرا را دارند که قطعات مختلف با ترکیب عمومی داسیت تا ریولیت در بخش‌های دانه درشت‌تر را دارا هستند. در بخش بالایی سکانس آذرآواری در بخش‌هایی به صورت محدود رخنمون‌هایی از سنگ‌های آهکی دیده می‌شوند ولی این سنگ‌ها در همه جا حضور نداشته و حکایت از پیشروی دریایی گسترده در منطقه را ندارند. به نظر می‌رسد که در بخش‌هایی به صورت محدود این نهشته‌ها در یک محیط نیمه دریایی تشکیل شده‌اند. بر روی سکانس فوق نهشته‌های بازالتی و آندزیت بازالتی تا آندزیتی قرار دارند که رنگ سیاه تا خاکستری تیره دارند و عموماً بافت میکروپورفیری با فنوکریست‌های پلازیوکلاز و اولیوین‌های ایدنگسیتی شده می‌باشند. واحد

در این پژوهش روش نموداری دورفل (Doerffel, 1967) است. در این پژوهش مقدار حد آستانه‌ای  $g$  با سطح اعتماد مهندسی ۹۹ درصد برابر ۴/۹ در نظر گرفته شد و برای تمامی داده‌ها مقادیر خارج از ردیف محاسبه و جایگزین گردید (جدول ۳). از آنجایی که یکی از شروط اصلی در بررسی‌های آماری و پردازش‌های چند متغیره شرط نرمال بودن جامعه آماری مورد پردازش است باید با روش‌هایی نظیر لگاریتم گرفتن از داده‌ها، پارامتر سه متغیره و روش باکس و کاکس به نرمال‌سازی داده‌ها پرداخت. در حالت کلی چنانچه مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها خارج از فاصله (۲، -۲) باشند داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند. در این پژوهش از روش تبدیل لگاریتمی ساده استفاده شد که در آن  $y = (\ln x + i)$  (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

بعد از اعمال تابع لگاریتمی بر روی داده‌ها و رسم هیستوگرام مربوط به هر کدام از عناصر مشخص شد که عناصر سربیم، پتاسیم، لانتانیم، روبیدیم، قلع، توریم و ایتیریم هنوز توزیع نرمالی پیدا نکرده‌اند به همین دلیل با توجه به توانایی بالای روش Cox-Box جهت نرمال کردن جوامعی با توزیع‌های متنوع (حبیب پور، صفری، ۱۳۸۸)، از این روش به منظور نرمال‌سازی داده‌های این عناصر استفاده شد که در نهایت کلیه عناصر توزیع نرمالی جهت ادامه پردازش‌های آماری به دست آوردند و مقدار چولگی و کشیدگی اکثر عناصر در بازه (۲، -۲) قرار گرفت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به عنوان مثال در مورد عنصر لیتیم هیستوگرام رسم شده برای داده‌های نرمال شده نهایی و همچنین نمودارهای P-P Plot ترسیم شده نرمال بودن داده‌ها را تایید می‌کنند (شکل ۴).

گدازه‌ای آخرین تظاهر ولکانیسم ائوسن در منطقه هستند (شکل ۲).

### پردازش داده‌ها

استاندارد و نرمال سازی داده‌ها: مهم‌ترین پارامترهای آماری که در تعبیر و تفسیر داده‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفت عبارتند از میانگین، میانه، مد، پراش، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی که برای تمامی داده‌های منطقه محاسبه گردید و در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار چولگی و کشیدگی عناصر بسیار زیاد می‌باشد که تاییدکننده این است که توزیع اکثر عناصر نرمال نمی‌باشد بدین جهت با استفاده از روش‌های معتبر آماری، نرمال بودن داده‌ها برای تمامی عناصر مورد آزمون قرار گرفت. به عنوان مثال در مورد عنصر  $U$  بررسی میزان پارامترهای Skewness و Kurtosis و همچنین آزمون‌های شاپیرویک و کلموگروف اسمیرنوف، نرمال نبودن داده‌ها را تایید می‌نماید (حبیب پور و صفری، ۱۳۸۸) (جدول ۲). موقعیت قرارگیری نمونه‌گیری در نمودارهای Normal Q-Q plot اورانیوم، عدم تطابق داده‌های عنصر  $U$  با دیاگرام نرمال و رخداد داده پرت حاکی از نرمال نبودن داده‌های  $U$  است (حسنی پاک، ۱۳۸۴) (شکل ۳).

با توجه به اینکه اکثر جوامع آماری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند دارای توزیع غیر نرمال و چولگی مثبت می‌باشند به عنوان مقادیر خارج از رده یا باید از بین داده‌ها حذف گردند و یا تصحیح شوند. اکثر روش‌های به کار گرفته شده به این منظور زمینه تئوری ندارند و فقط به عنوان روش‌های تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند (گودرزی، ۱۳۹۴). روش استفاده شده

### تحلیل ضرایب همبستگی

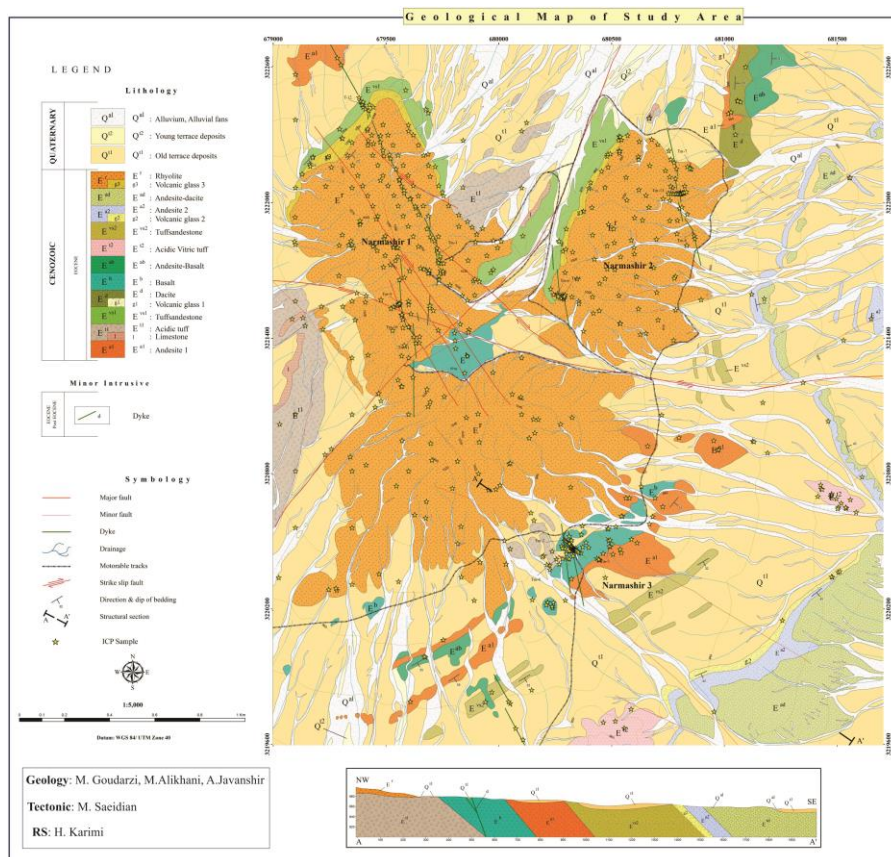
شناخت همبستگی ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف (پاراژنز شیمیایی) می تواند در شناخت دقیق تر تغییرات موجود در محیط ژئوشیمیایی به کار گرفته شود. یکی از این روش های آماری جهت شناخت روابط بین عناصر، روش تعیین ضرایب همبستگی است (حسنی پاک، ۱۳۸۴). برای تعیین ضرایب همبستگی آماری بین متغیرهای مختلف، با توجه به نرمال بودن داده ها از روش ماتریس همبستگی پیرسون برای داده های نرمال استفاده (Wellmer, 1997) و با استفاده از آن، پاراژنهای ژئوشیمیایی در منطقه تشخیص داده شد. با توجه به ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده (جداول ۴ و ۵) نتایج زیر استنباط می شود:

- بیشترین میزان همبستگی اورانیوم با عنصرهای Be, Cd, Co, Cu, Mn, Mo, Na, Ni, Sc, Se, نشان دهنده ارتباط پاراژنتیکی این عناصر با هم می باشد.

- عناصر Ag, Al, As, Ba, Ce, Cr, Cs, Fe, La, Li, Mg, Pb, P, S, Sb, Sr, W و متوسط همبستگی متوسط و رو به ضعیفی با اورانیوم در منطقه دارند و می توانند به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار بگیرند.

-عناصر Ca, K, Rb, Sn, Ti, Th دارای همبستگی بسیار ضعیف و ناچیزی با اورانیوم می باشند.

-عنصر Nb نیز همبستگی منفی از خود نشان می دهد و با افزایش مقدار اورانیوم در محیط شاهد کاهش این عنصر می باشیم.



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه مطالعاتی (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴) به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری

جدول ۱: پارامترهای آماری داده‌های خام منطقه

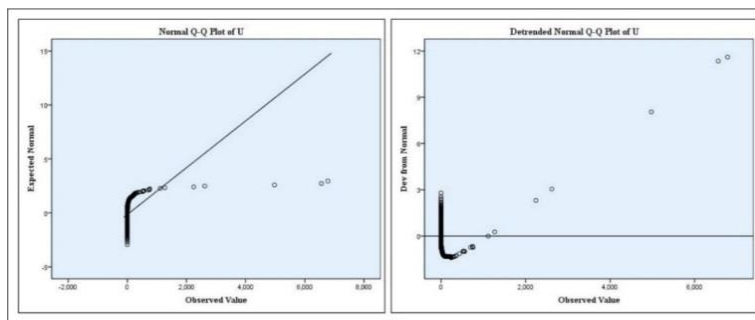
Descriptive Statistics													
	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std. Deviation	Variance	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Ag	616	4.1	0.0	4.2	75.5	0.1	0.0	0.3	0.1	9.4	0.1	106.8	0.2
Al	616	97194.0	13.0	97207.0	11279506.0	18310.9	754.2	18719.0	350400212.8	1.5	0.1	1.6	0.2
As	616	2545.8	0.3	2546.0	39749.2	64.5	8.8	217.3	47200.7	7.5	0.1	66.6	0.2
Ba	616	18604.7	2.9	18607.6	250610.6	406.8	68.2	1692.2	2863657.7	7.7	0.1	67.0	0.2
Be	616	96.1	0.1	96.2	1086.5	1.8	0.3	6.3	39.9	10.2	0.1	126.6	0.2
Bi	616	3.0	0.1	3.0	64.3	0.1	0.0	0.2	0.0	11.1	0.1	173.7	0.2
Ca	616	390749.0	251.0	391000.0	13423547.0	21791.5	1638.9	40675.5	1654500336.9	5.6	0.1	39.7	0.2
Cd	616	15.6	0.0	15.7	105.0	0.2	0.0	0.8	0.7	15.1	0.1	261.0	0.2
Cr	616	485.0	1.0	486.0	15944.0	25.9	2.3	57.1	3260.9	5.1	0.1	29.3	0.2
Ce	616	9839.8	0.2	9840.0	39577.1	64.2	16.5	410.0	168085.1	22.4	0.1	528.8	0.2
Co	616	81.6	0.1	81.7	3994.6	6.5	0.4	11.0	122.0	2.8	0.1	10.1	0.2
Cs	616	238.0	0.1	238.0	3845.8	6.2	0.5	13.4	179.7	10.3	0.1	154.2	0.2
Cu	616	162.9	1.1	164.0	9429.8	15.3	0.9	22.3	495.6	2.9	0.1	9.9	0.2
Fe	616	108815.0	728.0	109543.0	10650205.0	17289.3	750.8	18635.4	347278541.1	1.7	0.1	2.3	0.2
Ga	616	21.9	0.2	22.0	2937.7	4.8	0.2	3.8	14.7	1.4	0.1	2.1	0.2
Ge	616	0.9	0.0	0.9	88.6	0.1	0.0	0.1	0.0	1.8	0.1	3.1	0.2
Hf	616	3.4	0.0	3.4	398.3	0.6	0.0	0.5	0.2	2.0	0.1	6.3	0.2
Hg	616	0.8	0.0	0.9	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	0.1	309.2	0.2
In	616	0.1	0.0	0.1	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.1	2.5	0.2
K	616	36993.0	107.0	37100.0	2638803.0	4283.8	137.4	3409.1	11621630.8	3.9	0.1	23.7	0.2
La	616	583.9	0.1	584.0	14843.4	24.1	1.6	38.7	1497.4	9.4	0.1	105.5	0.2
Li	616	123.8	0.3	124.0	7351.2	11.9	0.6	15.2	231.9	3.4	0.1	15.2	0.2
Mg	616	130957.0	43.0	131000.0	3528859.0	5728.7	467.7	11609.0	134769124.2	6.5	0.1	58.4	0.2
Mn	616	226702.0	28.0	226730.0	3496558.0	5676.2	989.0	24545.9	602499897.2	6.0	0.1	38.4	0.2
Mo	616	923.3	0.1	923.3	4427.3	7.2	1.8	45.4	2062.0	16.0	0.1	295.4	0.2
Na	616	503785.0	215.0	504000.0	14118506.0	22919.7	2066.8	51297.2	2631407786.1	4.5	0.1	25.8	0.2
Nb	616	21.7	0.0	21.7	1292.1	2.1	0.1	2.0	3.8	3.0	0.1	21.0	0.2
Ni	616	255.0	1.0	256.0	9011.9	14.6	1.3	33.0	1090.3	4.1	0.1	18.4	0.2
P	616	3187.5	2.5	3190.0	233481.5	379.0	22.7	562.3	316229.9	1.8	0.1	2.9	0.2
Pb	616	430.8	0.2	431.0	9300.8	15.1	1.6	40.0	1597.6	7.1	0.1	58.5	0.2
Rb	616	334.0	0.1	334.0	15107.9	24.5	1.0	24.0	575.1	6.3	0.1	67.1	0.2
Re	616	0.7	0.0	0.7	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	0.1	255.6	0.2
S	616	64875.0	25.0	64900.0	2807224.0	4557.2	242.8	6026.2	36315456.4	3.6	0.1	21.5	0.2
Sb	616	371.0	0.1	371.0	6628.7	10.8	1.7	42.7	1821.4	5.7	0.1	33.9	0.2
Sc	616	43.5	0.5	44.0	3646.5	5.9	0.3	7.6	58.4	2.3	0.1	5.4	0.2
Se	616	11.0	0.0	11.0	250.1	0.4	0.0	1.0	1.0	6.5	0.1	50.8	0.2
Sn	616	16.7	0.1	16.8	514.2	0.8	0.0	0.7	0.5	18.0	0.1	397.6	0.2
Sr	616	5148.6	4.6	5153.2	168985.6	274.3	20.6	511.8	261964.6	5.6	0.1	38.1	0.2
Ta	616	0.2	0.0	0.3	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.1	139.9	0.2
Te	616	7.0	0.1	7.1	102.4	0.2	0.0	0.4	0.2	10.4	0.1	137.4	0.2
Th	616	192.9	0.0	192.9	6036.9	9.8	0.4	9.1	82.0	13.7	0.1	272.8	0.2
Ti	616	4745.0	5.0	4750.0	379297.0	615.7	34.6	858.9	737642.8	2.0	0.1	3.9	0.2
Tl	616	647.0	0.1	647.0	3007.0	4.9	1.6	40.1	1606.6	13.1	0.1	183.2	0.2
U	616	6779.8	0.2	6780.0	43043.6	69.9	18.6	461.1	212631.3	12.1	0.1	158.6	0.2
V	616	1399.0	1.0	1400.0	39648.0	64.4	4.1	101.4	10288.6	4.7	0.1	49.0	0.2
W	616	205.4	0.1	205.4	2248.7	3.7	0.7	17.0	288.3	7.9	0.1	74.7	0.2
Y	616	1167.7	0.1	1167.8	13812.8	22.4	3.7	91.6	8392.4	9.9	0.1	106.2	0.2
Zn	616	5305.9	0.1	5306.0	43305.9	70.3	11.6	287.5	82658.8	12.8	0.1	201.9	0.2
Zr	616	265.5	0.5	266.0	16627.5	27.0	1.2	30.7	942.2	3.9	0.1	20.9	0.2

جدول ۲: محاسبه پارامترهای آماری Kurtosis و Skewness و نتایج آزمون‌های شاپیروویک و کلوموگروف اسمیرنوف برای داده‌های عنصر U در نمونه‌های منطقه

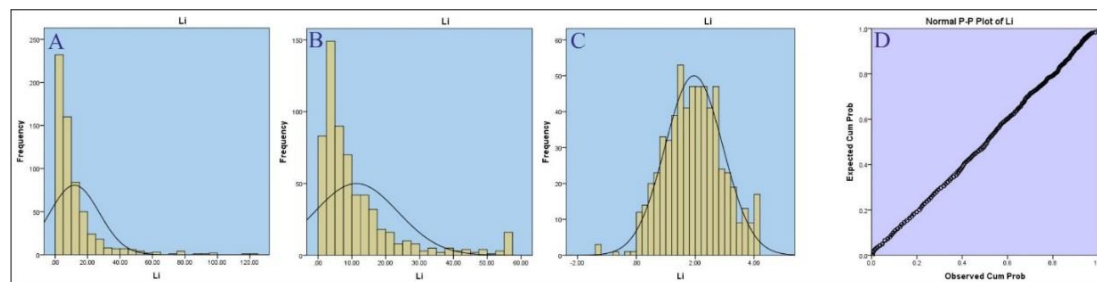
Descriptive Statistics						
U	N	Skewness		Kurtosis		
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	
	616	12.060	.098	158.565	.197	
Tests of Normality						
U	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	.440	616	0.000	.122	616	.000

جدول ۳: مقادیر خارج از رده محاسبه شده برای داده‌های منطقه مورد مطالعه

Elements	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge
تعداد داده های خارج از رده	22	1	38	52	31	8	14	17	7	33	19	2	1	0	1
مقادیر جایگزین شده (ppm)	0.41	97204	193.2	451	4.1	224000	1.16	107	45.1	93	27.9	114	89299		0.75
Elements	Hf	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	
تعداد داده های خارج از رده	3	14	12	15	20	56	83	40	7	42	1	0	0	5	
مقادیر جایگزین شده (ppm)	2.54	14000	60.6	57.2	28705	3750	4.2	85027	6.8	43	2910			26086	
Elements	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	
تعداد داده های خارج از رده	62	2	31	3	17	3	0	62	60	1	47	26	21	9	
مقادیر جایگزین شده (ppm)	11.1	40	1.3	2.2	1080	25.2		1	68.4	456	3.2	37.1	166.8	121	



شکل ۳: نمودارهای Normal QQ plot و Detrended NormalQQplot برای داده‌های خام اورانیوم



شکل ۴: هیستوگرام داده‌های عنصر Li در حالت خام (A)، بعد از حذف داده‌های خارج از ردیف (B)، بعد از نرمال‌سازی و نمودار P-P Plot آن.

احتمالی این عناصر است. تمرکز اولیه تنگستن مرتبط به فعالیت‌های آتشفشانی-رسوبی (Raith, 1991) و سپس تحرک دوباره و تبلور آن و مرتبط با توف‌های کلسیمی-قلیایی و تولیتی است (Cheilietz, 1988) و الگوی مشاهده شده در اینجا قابل قیاس با مدل‌های ولکانوژنیک کانه‌زایی اورانیوم می‌باشد. با توجه به تطابق این الگو با کنسارهای اورانیوم ولکانوژنیک و شباهت ژئوشیمیایی آن با کنسارهای اورانیوم اپی‌ترمال نوع کمپلکس انتظار می‌رود کانی‌زایی اورانیوم و مولیدن به صورت عمیق در منطقه رخ داده باشد که همراهی اورانیوم با این عنصر و همبستگی مثبت آنها با هم می‌تواند نشانگر کانی‌زایی عمیق این عناصر به صورت پاراژنتیکی باشد.

همراهی عناصر آرسنیک، آنتیموان و تنگستن نشان‌دهنده احتمال حضور کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه است. همبستگی نسبتاً بالای اورانیم و نیکل را می‌توان این چنین توجیه نمود که این دو عنصر در سیستم‌های ماگمایی رفتاری کاملاً متفاوت دارند، اما در سیستم‌های گرمایی بدون ارتباط با ماگماتیسم (مثلاً شورابه‌های حوضه‌ای) می‌توانند گاه هر دو از سنگ‌های اطراف شسته، در مناطق مناسب مجدداً نهشته شوند. به همین دلیل، همبستگی بالای آن‌ها می‌تواند به خاطر ته نشست به‌طور تقریباً هم‌زمان در مرحله دوم کانه‌زایی باشد. همبستگی متوسط عناصر تنگستن و لیتیم با اورانیوم و همراهی با عناصری مانند کبالت، سرب و آهن نشان‌دهنده منشا ماگمایی

جدول ۴: ضریب همبستگی پیرسون بین اورانیوم و سایر عناصر در منطقه

	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	K	La	Li	Mg	Mn	U
Ag	1																					
Al	-.124**	1																				
As	.441**	.023	1																			
Ba	.249**	.154**	.241**	1																		
Be	.332**	.496**	.514**	.398**	1																	
Ca	-.158**	.493**	.022	.202**	.166**	1																
Cd	.177**	.320**	.266**	.407**	.527**	.424**	1															
Ce	.332**	.415**	.409**	.297**	.539**	.109**	.292**	1														
Co	-.083*	.722**	.076	.375**	.484**	.665**	.583**	.284**	1													
Cr	.248**	.237**	.144**	.253**	.318**	.234**	.360**	.181**	.487**	1												
Cs	.052	.644**	.130**	.189**	.547**	.266**	.301**	.388**	.515**	.248**	1											
Cu	-.044	.633**	.082	.359**	.475**	.550**	.564**	.252**	.892**	.625**	.486**	1										
Fe	-.077	.757**	.079	.349**	.489**	.590**	.519**	.370**	.900**	.403**	.508**	.824**	1									
Ga	.094	.839**	.238**	.360**	.719**	.419**	.497**	.594**	.748**	.326**	.644**	.665**	.760**	1								
Ge	-.012	.677**	.158**	.397**	.561**	.546**	.571**	.390**	.866**	.391**	.508**	.789**	.908**	.772**	1							
Hf	.172**	.472**	.094	.216**	.403**	.152**	.296**	.611**	.335**	.211**	.311**	.285**	.421**	.542**	.405**	1						
K	.336**	.291**	.266**	.311**	.417**	-.038	.152**	.601**	.146**	.156**	.478**	.156**	.212**	.414**	.210**	.339**	1					
La	.329**	.370**	.404**	.264**	.506**	.076	.271**	.964**	.212**	.128**	.360**	.177**	.294**	.553**	.328**	.566**	.602**	1				
Li	-.157**	.677**	-.027	.227**	.352**	.572**	.354**	.310**	.654**	.177**	.492**	.554**	.628**	.642**	.620**	.398**	.102*	.278**	1			
Mg	-.297**	.742**	-.090*	.176**	.292**	.748**	.344**	.183**	.766**	.191**	.496**	.614**	.713**	.661**	.675**	.275**	.034	.134**	.781**	1		
Mn	.126**	.226**	.175**	.625**	.471**	.412**	.617**	.253**	.528**	.307**	.261**	.483**	.452**	.419**	.504**	.256**	.071	.212**	.395**	.342**	1	
U	.261**	.333**	.379**	.275**	.586**	.194**	.535**	.293**	.459**	.371**	.360**	.457**	.392**	.484**	.441**	.439**	.137**	.240**	.264**	.232**	.438**	1

Correlation		
Negative	>0	
Very low	0.0-0.2	
low	0.2-0.4	
Middle	0.4-0.6	
High	0.6-0.8	
Very high	0.8-1	

\*\*, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



جدول ۵: ضریب همبستگی پیرسون بین اورانیوم و سایر عناصر در منطقه

Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
1																					
-0.056	1																				
.087**	-.350**	1																			
-.108**	.403**	-.400**	1																		
.010	-.465**	-.521**	.648**	1																	
-.399**	-.049	.236**	-.045	-.031	1																
.054	.171**	.103*	.102*	.175**	.458**	1															
-.210**	.299**	-.092*	.151**	.143**	.228**	.137**	1														
.546**	-.184**	.248**	-.055	-.163**	.582**	.299**	.238**	1													
.037	.525**	-.468**	.617**	.736**	.004	.185**	.232**	-.184**	1												
.241**	.454**	-.262**	.346**	.412**	.098*	.114**	.377**	.089*	.327**	1											
-.030	.181**	-.128**	.109**	.204**	.187**	.401**	.108**	.047	.338**	.087*	1										
.240**	.136**	-.185**	.492**	.468**	.183**	.038	.377**	.121**	.397**	.285**	-.051	1									
.062	-.204**	.489**	-.317**	-.372**	.525**	.369**	.163**	.351**	-.242**	-.110**	.334**	-.166**	1								
-.149**	.485**	-.233**	.527**	.758**	-.158**	.174**	.050	-.364**	.764**	.263**	.431**	.359**	-.266**	1							
.548**	-.067	.138**	.157**	.007	.547**	.412**	.146**	-.581**	.048	.135**	.044	.202**	.166**	-.161**	1						
.417**	.430**	-.138**	.444**	.303**	.296**	.157**	.376**	.274**	.404**	.444**	.115**	.304**	.007	.191**	.410**	1					
.204**	.531**	-.458**	.726**	.806**	.129**	.171**	.235**	.034	.710**	.506**	.149**	.563**	-.314**	.622**	.173**	.529**	1				
.407**	-.275**	.560**	-.171**	-.325**	.508**	.078	.093*	.578**	-.229**	-.045	.017	.045	-.347**	-.253**	.433**	.228**	-.083*	1			
.363**	.276**	.087*	.336**	.399**	.479**	.402**	.267**	.343**	.474**	.388**	.383**	.369**	.287**	.403**	.380**	.562**	.540**	.328**	1		
.268**	.426**	-.088*	.501**	.595**	.409**	.424**	.207**	.228**	.601**	.428**	.340**	.444**	.011	.583**	.330**	.503**	.723**	.161**	.734**	1	
.019	.322**	.134**	.299**	.380**	.124**	.290**	.142**	-.008	.447**	.220**	.457**	.217**	.179**	.603**	.010	.406**	.360**	.108**	.621**	.541**	1

Correlation		
Negative	>0	
Very low	0.0-0.2	
low	0.2-0.4	
Middle	0.4-0.6	
High	0.6-0.8	
Very high	0.8-1	

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

در یک خوشه قرار گرفته‌اند. عناصر باریم، استرانسیوم، فسفر، تیتانیوم و منگنز نیز در خوشه مجاور به دلیل قرابت و نزدیکی می‌توانند به عنوان عناصر معرف و ردیاب مورد استفاده قرار گیرند. همان‌طور که دیده می‌شود آنالیز خوشه‌ای نتایج به دست آمده از ضرایب همبستگی را تأیید می‌نماید. در منطقه مورد مطالعه فرآیندهای متاسوماتیک در بازه‌های مختلف زمانی به همراه محلول‌های منگنزدار و محلول‌های هیدروترمال اورانیوم‌دار به میزان قابل توجهی توسعه یافته‌اند. محلول‌های هیدروترمال اورانیوم‌دار منجر به واکنش‌های متاسوماتیک و تولید یا حذف عناصر، واکنش‌های تبدیلی ماگمای اولیه و اسیدی در این چرخه شده‌اند. دایک‌های آتره شده با یکی توسط محلول‌های هیدروترمال از عناصر کالکوفیل، عناصر مرتبط با سنگ‌های اسیدی (مثلاً سزیم) و گاهاً با انباشتگی‌هایی از اورانیوم تا صدها پی‌پی‌ام

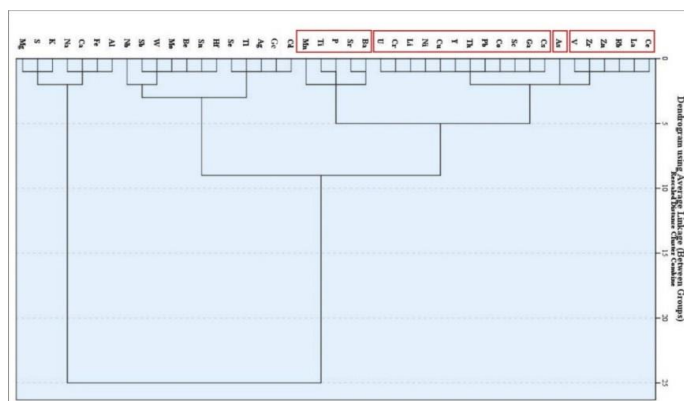
### آنالیز خوشه‌ای

آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که عناصر را براساس شباهت بین آنها در غالب دسته‌ها یا گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند (حبیب پور و صفری، ۱۳۸۸). در این پروژه برای گروه‌بندی داده‌ها از روش سلسله مراتبی استفاده شد. این روش در حالتی که تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص نباشد استفاده می‌شود و در آن از روش Between-groups-linkage که در آن ترکیب خوشه‌ها از کمینه کردن متوسط فاصله بین تمام زوج مشاهداتی که در خوشه‌های مختلف قرار دارند، ایجاد می‌شود استفاده می‌گردد (Davis, 2002). بر این اساس دندروگرام داده‌های نرمال شده منطقه ترسیم (شکل ۵) و با توجه به همبودهای ژئوشیمیایی نتایج زیر حاصل شد: عناصر اورانیوم، توریم، اسکاندیم، سزیم، کروم، مس، سرب، گالیم، لیتیم، ایتیم، کبالت و نیکل،

عناصر پلی‌متالیک: As, Sb, Ba, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Se, Sr  
مرتبط با آتشفشان‌های اسیدی: Be, Mo, W, Zr  
مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی بازیک: Co, Cr, Ni, V  
الگوی گروه‌های عنصری پارائنز اورانیوم در دیاگرام فوق تقریباً منطبق بر مطالعات پیشین صورت گرفته در حوزه ذخایر ولکانوژنیک اورانیوم بوده و کانه‌زایی هیدروترمال را پیشنهاد می‌نماید (Bagby, 1986).

غنی شده‌اند. محلول‌های متاسوماتیکی باعث دگرسانی آرژیلیتی سنگ‌های اسیدی منطقه شده‌اند که آثار کانی‌زایی اورانیوم، غنی‌شدگی‌هایی از عناصر کالکوفیل و عناصر پایه سنگ‌های بازیک (برای مثال، نیکل، کبالت و وانادیوم) شده‌اند. براساس ارتباط و تجزیه تحلیل خوشه‌ها چهار گروه از عناصر شیمیایی به دلیل داشتن ارتباط قوی با اورانیوم می‌توانند مورد توجه خاص قرار گیرند که عبارتند از:

Ce, La, Y: عناصر نادر خاکی:



شکل ۵: دندروگرام حاصل از ارتباط عناصر در منطقه

استفاده شده که دورانی متعامد بر روی ضرایب عاملی صورت می‌دهد. برای تعیین تعداد عامل‌ها از مقادیر ویژه ماتریس همبستگی و نمودار Scree plot (شکل ۶) استفاده شده است و همان‌طور که مشخص است از عامل نهم به بعد شیب تغییرات تقریباً ثابت باقی می‌ماند. عامل‌هایی که مقدار ویژه آنها بیش از یک باشد و مجموع آنها در حدود ۷۵ درصد واریانس تجمعی جامعه نمونه‌برداری را پوشش دهند، برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها می‌تواند مناسب باشد. در این پروژه در نهایت یک مدل ۸ فاکتوری با پوشش ۷۸/۶ درصد واریانس برای ۴۳ عنصر مورد قبول واقع گردیده است (جدول ۶). بررسی داده‌های حاصل از این آنالیز نشان می‌دهد که:

### تجزیه و تحلیل عاملی

فایل ورودی این آنالیز مقادیر نرمال شده داده‌ها است و در جهت کاستن از تعداد داده‌ها از آن استفاده می‌شود. چون در بسیاری از موارد، تعدادی از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به تعدادی از عامل‌ها بستگی دارند، تعبیر عوامل مشکل خواهد بود. از اینرو روش‌هایی به وجود آمده است که بدون تغییر میزان اشتراک باعث تعبیر ساده‌تر عوامل شوند. این روش‌ها همان دوران عوامل هستند و به دو نوع دوران عمود و دوران مایل تقسیم می‌شوند. دوران‌های عمود استقلال عامل‌ها را از بین برده و آنها را به هم وابسته می‌کنند (حبیب پور، صفری، ۱۳۸۸). در این بخش از روش Varimax برای دوران عوامل

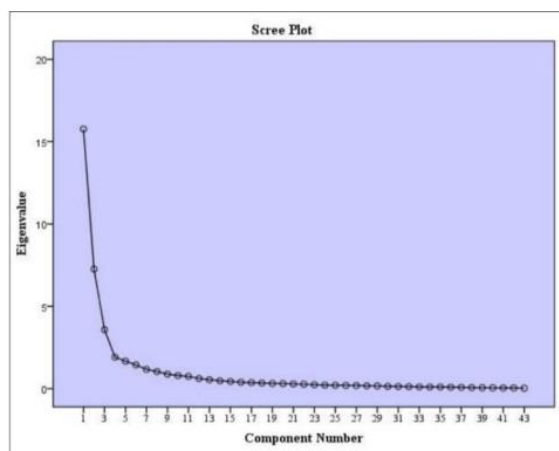
واریانس حدود ۸/۲ درصد حاوی عناصر S و K با بار فاکتوری بالا و عناصر Ce, La, Ca با بار فاکتوری متوسط می‌باشد در این فاکتور اورانیوم دارای بار فاکتوری منفی می‌باشد. فاکتور پنجم با پوشش واریانس حدود ۶/۱ درصد حاوی عناصر W, Tl, Cd و عناصر Mn و Ba با بار فاکتوری بالا و عناصر Na, Se, U عناصر با بار فاکتوری متوسط می‌باشد. این فاکتور می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی اورانیوم در منطقه باشد. فاکتور هفتم با پوشش واریانس حدود ۳/۸ درصد حاوی عنصر Cr با بار فاکتوری بالا و عناصر Ag, Cu, Ni با بار فاکتوری متوسط می‌باشد. اورانیوم در این فاکتور دارای بار فاکتوری ضعیف (۰/۲۱) می‌باشد.

فاکتور هشتم با پوشش واریانس حدود ۳/۷ درصد حاوی عنصر S با بار فاکتوری بالا و عنصر Sr با بار فاکتوری متوسط می‌باشد. اورانیوم در این فاکتور نیز دارای بار فاکتوری ضعیف (۰/۱۳) می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل و روابط بین‌عناصر و حضور چند عنصر در چند فاکتور در این منطقه می‌توان انتظار وجود چند فاز کانی‌سازی را داشت.

در عامل اول عناصر Al, Ca, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, Li, Mg, Ni, P, Sc, Ti, V با بار فاکتوری بالا و عناصر Be, Cd, Cs, Mn, Na, Se, Sr, Zn با بار فاکتوری متوسط حضور دارند که پوشش واریانس حدود ۲۹/۸ درصد است. وابستگی و تشابه بار فاکتوری برای عناصر Al با Ga, V و Ti به علت تشابه شعاع یونی و جانشینی در ساختار اتمی یکدیگر است.

فاکتور دوم با پوشش واریانس حدود ۱۲/۵ درصد حاوی عناصر As, Mo, Sb با بار فاکتوری بالا و عناصر Ag, Be, Ce, La, Pb, Tl, U, W, Y با بار فاکتوری متوسط می‌باشد. این فاکتور در ارتباط با کانی‌زایی اورانیوم در منطقه می‌باشد. روابط پارائزنی عناصر Ag, Pb و Sb می‌تواند نشان از حضور زون پروپلتیک یا کلریتی در منطقه اکتشافی باشد. این فاکتور می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی اورانیوم در منطقه باشد. حضور U, Ce و La با بار فاکتوری متوسط نیز به علت تشابه شعاع یونی و جانشینی در ساختار اتمی یکدیگر است. فاکتور سوم با پوشش واریانس حدود ۱۰/۲ درصد حاوی عناصر Hf و Zr با بار فاکتوری بالا و عناصر Ce, La, Nb, Sn, Th, Ti, Y, Zn با بار فاکتوری متوسط می‌باشد. فاکتور چهارم با پوشش



شکل ۶: نمودار صخره‌ای برای تعیین بهینه تعداد مولفه‌ها

جدول ۶: نتیجه آنالیز فاکتوری بر روی داده‌های نرمال منطقه بعد از دوران عامل‌ها

Rotated Component Matrix <sup>a</sup>								
	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	-.25	.47	.18	.24	.19	.01	.42	.11
Al	.79	-.04	.26	.29	-.15	.16	-.06	.02
As	.03	.90	-.02	.12	-.01	-.01	.02	.16
Ba	.25	.18	.04	.21	.77	-.05	.05	.10
Be	.42	.56	.17	.35	.21	.25	.03	-.08
Ca	.72	-.09	-.04	-.12	.11	-.16	.06	.54
Cd	.51	.34	.06	-.04	.42	.18	.13	-.02
Ce	.26	.45	.59	.45	.01	-.18	-.11	.07
Co	.92	.04	.06	.04	.16	.11	.20	.03
Cr	.35	.16	.07	.06	.06	.00	.79	.00
Cs	.52	.03	.07	.60	.02	.22	.03	-.08
Cu	.82	.08	.03	.07	.13	.10	.41	-.04
Fe	.90	.06	.19	.08	.10	.09	.12	-.05
Ga	.74	.24	.32	.33	.06	.19	-.04	.00
Ge	.86	.16	.17	.07	.18	.10	.08	-.07
Hf	.26	.06	.86	.11	.09	.16	.05	.06
K	.04	.17	.22	.88	.10	.00	.09	.05
La	.20	.45	.56	.47	-.01	-.21	-.16	.08
Li	.74	-.10	.22	.09	.09	-.02	-.19	.14
Mg	.87	-.19	.05	.04	-.01	.01	-.14	.22
Mn	.43	.20	.08	-.05	.75	.05	.03	.02
Mo	.04	.73	.00	-.14	.21	.12	.12	.01
Na	.49	-.16	.12	.18	-.06	.66	-.06	.12
Nb	-.65	.10	.44	.07	.21	-.14	.15	-.06
Ni	.75	.03	-.01	.01	.07	.09	.48	.09
P	.88	-.08	.09	.05	.06	.02	.06	.06
Pb	-.05	.62	.22	.40	.33	-.09	-.15	.08
Rb	.10	.15	.23	.88	.03	.03	.06	.00
S	.08	.20	.10	.07	.01	.29	-.01	.84
Sb	-.15	.85	.04	.17	.03	-.02	.07	.04
Sc	.77	-.13	.26	.07	.12	.18	.04	.07
Se	.44	.27	.08	-.03	-.06	.44	-.06	.29
Sn	.13	-.09	.64	.32	-.09	.04	.02	-.04
Sr	.53	.18	-.01	-.04	.36	-.23	.20	.51
Th	-.42	.32	.52	.36	-.14	-.20	-.17	.18
Ti	.70	-.39	.44	.04	.14	.05	.10	-.02
Tl	-.02	.59	-.10	.38	.44	.13	.19	-.05
U	.31	.42	.22	-.02	.19	.60	.21	.13
V	.86	.17	.09	.02	.17	.16	.11	.08
W	-.37	.51	.27	-.07	.50	.01	.03	-.04
Y	.38	.44	.61	.14	.26	.10	.04	.06
Zn	.65	.31	.41	.23	.28	.12	.00	-.05
Zr	.30	-.05	.80	.00	.12	.17	.13	.03

تعیین زمینه، حدآستانه‌ای و برآورد آنومالی‌های ژئوشیمیایی روش‌های آماری مختلفی برای تعیین مقادیر حدآستانه‌ای و آنومالی وجود دارد. در این پژوهش برای تعیین آنومالی‌های عناصر از روش حد آستانه‌ای استفاده خواهیم کرد (حسنی‌پاک و اشرف‌الدین، ۱۳۸۴). اکثر روش‌های آماری شرط نرمال بودن داده‌ها را یدک می‌کشند. در توزیع نرمال حدود ۶۸ درصد داده‌ها در فاصله  $M+S$  تا  $M-S$ ، حدود ۹۵ درصد داده‌ها در فاصله  $M-2S$  تا  $M+2S$  و حدود ۹۹ درصد داده‌ها در فاصله

$M+3S$  تا  $M-3S$  قرار می‌گیرند. اما از آنجایی که در مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی هدف تعیین و شناسایی آنومالی‌های مثبت است تنها  $M+3S$ ،  $M+S$ ،  $M+2S$  در نظر گرفته می‌شوند (صائن و همکاران، ۱۳۸۸). از آن‌جا که هدف اصلی در پژوهش حاضر تبیین آماری زمینه، حد آستانه‌ای و برآورد آنومالی ژئوشیمیایی اورانیوم و عناصر موثر در ردیابی آنهاست لذا در این بخش تنها به بررسی این عناصر خواهیم پرداخت (جدول ۷). بر این اساس نقشه ژئوشیمیایی عناصر موردنظر در منطقه رسم شده است (شکل ۷). براساس نتایج

حاصل از بررسی‌های آماری و تفسیر نقشه آنومالی ژئوشیمیایی مربوط به عنصر اورانیوم، حد غنی‌شدگی برای این عنصر ppm ۵/۶۷ در نظر گرفته شده است و مقادیر زمینه و حد آستانه‌ای به ترتیب برابر ppm ۲/۳۹ و ppm ۴/۳ محاسبه گردیده است.

جدول ۷: مقادیر حد زمینه، حد آستانه و آنومالی قطعی اورانیوم و عناصر همراه آن در منطقه بر حسب (ppm).

عنصر	U	Th	Mo	W	Ni	Na	Mn	Pb	Be	Cd	Zn	Zr	Cu	V	Y
مقادیر زمینه	<2.39	<14.37	<0.87	<0.19	<2.67	<1.14	<7.39	<2.72	<0.48	<-1.87	<4.26	<3.7	<3.13	<4.65	<19.37
مقادیر حد آستانه ای	4.3	19.28	1.64	1.25	3.71	11.14	8.59	3.53	1.37	-0.83	5.22	4.5	4.2	6.21	27.27
مقادیر آنومالی قطعی	>5.67	>24.19	>2.41	>2.23	>4.75	>12.74	>9.79	4.34	>2.26	>0.19	>6.18	>5.3	>5.27	>7.77	>35.1

### نتیجه‌گیری

وجود دارد و پیش‌بینی می‌گردد که مطالعات زیر سطحی، نتایج قابل توجهی را از لحاظ رخداد ترکیبات U نشان دهد. Mo در منطقه هاله‌های لیتوژئوشیمیایی وسیعی را تشکیل می‌دهد که با هاله‌های عنصر U تطابق بالایی داشته و عموماً در نقاط با غلظت بالای U متمرکز گردیده است. عناصر LREE به دلیل شعاع یونی بزرگ و ناسازگاری تا مراحل انتهایی تفریق ماگما در ماگما باقی می‌مانند. به همین دلیل غنی‌شدگی نشان می‌دهند. مطالعات انجام شده نشان دهنده این است که عناصر نادر خاکی در شرایط خاص از جمله pH پائین، نسبت سنگ/آب بالا و فراونی کمپلکس‌های یونی  $\text{CO}_3^{2-}$ ،  $\text{F}^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  می‌شوند (Wood, 1990; Haas, et al, 1995). همچنین به اعتقاد وود (Wood, 1990) عناصر نادر خاکی غالباً در شرایط اسیدی بیشتر با  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  تشکیل کمپلکس داده و متحرک می‌شوند. بخش بزرگی از نیمه جنوبی منطقه جز مناطق بی‌هنجار، منطبق بر روند گسل‌ها و تمرکز یافته در کنار گسل‌هاست. دگرسانی آرژیلیکی فراگیر در واحدهای ائوسن منطقه وجود دارد که غنی‌شدگی REE‌های مورد مطالعه به خصوص لانتانیم مرتبط با آنهاست. با افزایش شدت دگرسانی و افزایش درزه‌ها و شکستگی‌ها امکان به حرکت در آمدن سیال و در نتیجه افزایش نسبت

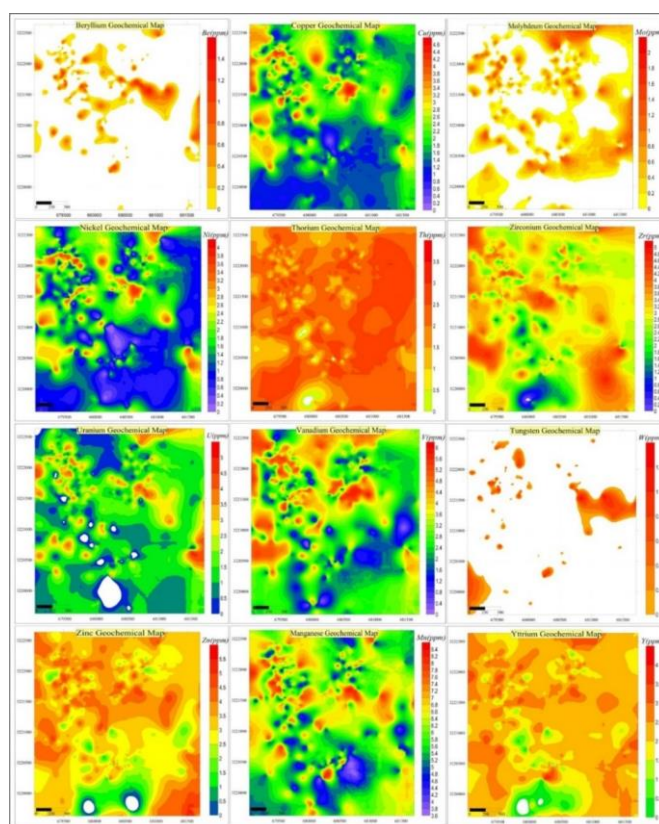
تاثیر محلول‌های هیدروترمال به شدت بر روی ولکانیک‌های منطقه مشاهده می‌شود و در ریولیت‌های غنی از سیلیس و بازالت‌های منیزیم دار منجر به عدم تعادل ژئوشیمیایی شده است که در نتیجه باعث ظهور مجموعه ژئوشیمیایی در مناطق پرتوزا مانند کبالت و نقره، نیکل و تنگستن شده است. در منطقه مورد مطالعه زون‌های آنومال معمولاً به زون‌های حاشیه‌ای و کنتاکت دایک‌های بازیک محدود می‌شوند و دایک‌های منیزیم دار ظرفیتی بیشتری دارند. براساس بررسی نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی توریم انطباق کمی از خود نشان می‌دهد که می‌تواند به دلیل تحرک کمتر توریم در محلول‌های کانه‌ساز (Langmuir, 1987) باشد به همین دلیل در جهت ردیابی آنومالی‌های اورانیوم منطقه کاربرد چندانی ندارد. براساس مطالعات پیشین انجام شده توسط باگبی و همکاران (Bagby et al, 1986) در ذخایر ولکانوژنیک U، هاله‌های عناصر Mo به صورت نیمه‌عمیق در نزدیک رخدادهای U تشکیل می‌شود. انطباق نسبی گسترش هاله‌های عناصر U و Mo در منطقه احتمال ارتباط نزدیک کانه‌زایی این دو عنصر را بالا برده و با توجه به رخداد کانه‌زایی Mo در مناطق عمقی‌تر، احتمال کانه‌زایی U، در قسمت‌های عمیق‌تر منطقه نیز

کانه‌دار می‌باشد. این امر بیانگر تحرک عناصر نادرخاکی در طول فرآیندهای دگرسانی و تمرکز آنها توسط سدهای ژئوشیمیایی از جمله دایک‌های بازیک منطقه است. با مقایسه پاراژنهای به دست آمده برای عنصر اورانیوم در منطقه و الگوی ژئوشیمیایی مشاهده شده با تیپ‌های مختلف کنسارهای اورانیوم شناخته شده دنیا، محتمل‌ترین گزینه برای نوع کانی‌زایی در منطقه تیپ اورانیوم ولکانوژن می‌باشد (جدول ۸).

### سپاس‌گزاری

از گروه اکتشاف سازمان انرژی اتمی ایران، شرکت اسکام و دانشگاه لرستان که انجام این پژوهش تحت حمایت و همکاری ایشان صورت گرفته است سپاس‌گزاری می‌کنیم.

سیال/سنگ فراهم می‌شود و مهاجرت عناصر تسهیل و بی‌هنجاری‌ها به وجود می‌آیند. غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی در پهنه آرژبلیک بستگی به غلظت این عناصر در سیال دارد که توسط تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی همچون افزایش درجه حرارت و فراوانی کمپلکس‌های سولفات، کلرید و pH فراهم می‌شود. عناصر نادر خاکی رها شده از سیالات گرمایی در این محیط در ساختار سیلیکات‌های ورقه‌ای مانند کائولینیت متمرکز می‌شوند. نمونه‌هایی که تحت‌تاثیر دگرسانی ضعیف تا متوسط قرار گرفته‌اند درجه ضعیفی از تجزیه پلاژیوکلاز را نشان می‌دهند. روند آنومالی‌های اورانیوم غالباً منطبق بر آنومالی‌های سرب، ایتریم و لانتانیم و معمولاً در حاشیه دایک‌های بازیک منطقه است که نشان‌دهنده هم‌رشدی عناصر فوق از یک سیال



شکل ۷: نقشه ژئوشیمیایی اورانیوم و عناصر همراه آن در منطقه

جدول ۸: مهم‌ترین پاراژنهای U در تیپ‌های مختلف از کانسارهای اورانیوم (حسنی پاک، ۱۳۸۴).

تیپ کانسار اورانیوم	عناصر پاراژن U در هر تیپ
۱ اورانیوم ماسه سنگی	V, C, Mo, Se, Cu, Ag
۲ اورانیوم ولکانوژن	As, W, Ag, Hg, Mo, F, Sb, Ba, Li, REE
۳ اورانیوم تیپ تنوره برشی	Pb, Ni, Zn, Co, Cu, Zr, REE
۴ اورانیوم طلای دگرشیبی	Mg, P
۵ پاراژنهای U در منطقه	Pb, Zn, La, Sc, Ag, As, Cd, Be, Zr, Cu, REE, Sb, Mo

### منابع

- آقائباتی، س. ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- افتخار نژاد، ج.، صمیمی، ن. و ارشادی، س.، ۱۹۹۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- حسنی پاک، ع.ا. و شرف الدین، م.، ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۰۱۰ ص.
- حبیب پور، ک. و صفری، ر.، ۱۳۸۸. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی، انتشارات متفکران.
- Bagby, W.C., Menzie, W.D., Mosier, D.L. and Singer, D.A., 1986. Grade and tonnage model.
- Cheilletz, A., 1988. Stratiform Tungsten Deposits: a review. *Geologie en Mijnbouw*, v. 67, p. 293-311.
- Davis, J.C., 2002. *Statistics and data analysis in geology*, John Wiley & Sons, 3rd Edition, 656 p.
- Doerffel, K., 1967. Die statistische Auswertung von Analyseergebnissen, In: Schormiiller I (ed) *Handbuch der Lebensmittelchemie*, vol 2/2. Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 1194-1246.
- Haas, J.R., Shock, E.L. and Sassani, D.C., 1995. Rare earth elements in hydrothermal systems: estimates of standard partial molal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, p. 4329-4350.
- Langmuir, D., 1987. Uranium Solution Mineral Equilibria at Low Temperature with Application to Sedimentary Ore Deposits. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 42, 547-569 p.

- Raith, J.G., 1991. Stratabound tungsten mineralization in regional metamorphic Calc-Silicate rocks from the Austroalpine Crystalline Complex, Austria. *Mineral Deposits*, v. 26, p. 72-80.
- Wellmer, F.W., 1997. Statistical evaluations in exploration for mineral deposits, Springer-Verlag New York, 379 p.
- Wood, S.A., 1990. The interaction of dissolved platinum with fulvic acid and simple organic acid analogs in aqueous solutions, *Canadian Mineralogist*, v. 28, p. 665-673.