

## مطالعات آماری چند متغیره بر روی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه کرویان

سیما گروسی نژاد<sup>۱</sup>، احمدرضا مختاری<sup>۲\*</sup>، فریماه آیتی<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

(دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۵، پذیرش: تیر ۱۳۹۶)

### چکیده

در این مطالعه داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برگه ۱:۵۰۰۰۰ میرده به روش حوضه آبریز نمونه بررسی شده است. ۲۹۹ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای در مساحتی حدود ۶۱۷ کیلومترمربع از منطقه مورد مطالعه برداشت شده و تحت آنالیز شیمیایی قرار گرفته است. به دلیل وجود پتانسیل کانی‌سازی طلا در منطقه روش حوضه آبریز نمونه، بر روی غلظت‌های تک‌عنصری طلا اعمال شده است. پس از انجام محاسبات مربوط به روش حوضه آبریز نمونه، آنالیز *PCA* بر روی نتایج حاصل انجام شده و نقشه‌های توزیع فضایی آنومالی‌های طلا با استفاده از روش فرکتالی عیار-مساحت ترسیم شده است. هدف از این مطالعه، بررسی قابلیت روش حوضه آبریز نمونه در تعیین حوضه‌های آنومال و معرفی مناطق پر پتانسیل در منطقه مورد نظر است. بر این اساس، مناطق پر پتانسیل معرفی شده توسط روش حوضه آبریز نمونه در جنوب غربی منطقه قرار گرفته است که با کانی‌سازی شناخته شده در منطقه مطابقت دارد.

### کلید واژه‌ها

مطالعات آماری، رسوبات آبراهه‌ای، حوضه آبریز، کرویان، سنجندج-سیرجان

\* عهده دار مکاتبات: [ar.mokhtari@cc.iut.ac.ir](mailto:ar.mokhtari@cc.iut.ac.ir)

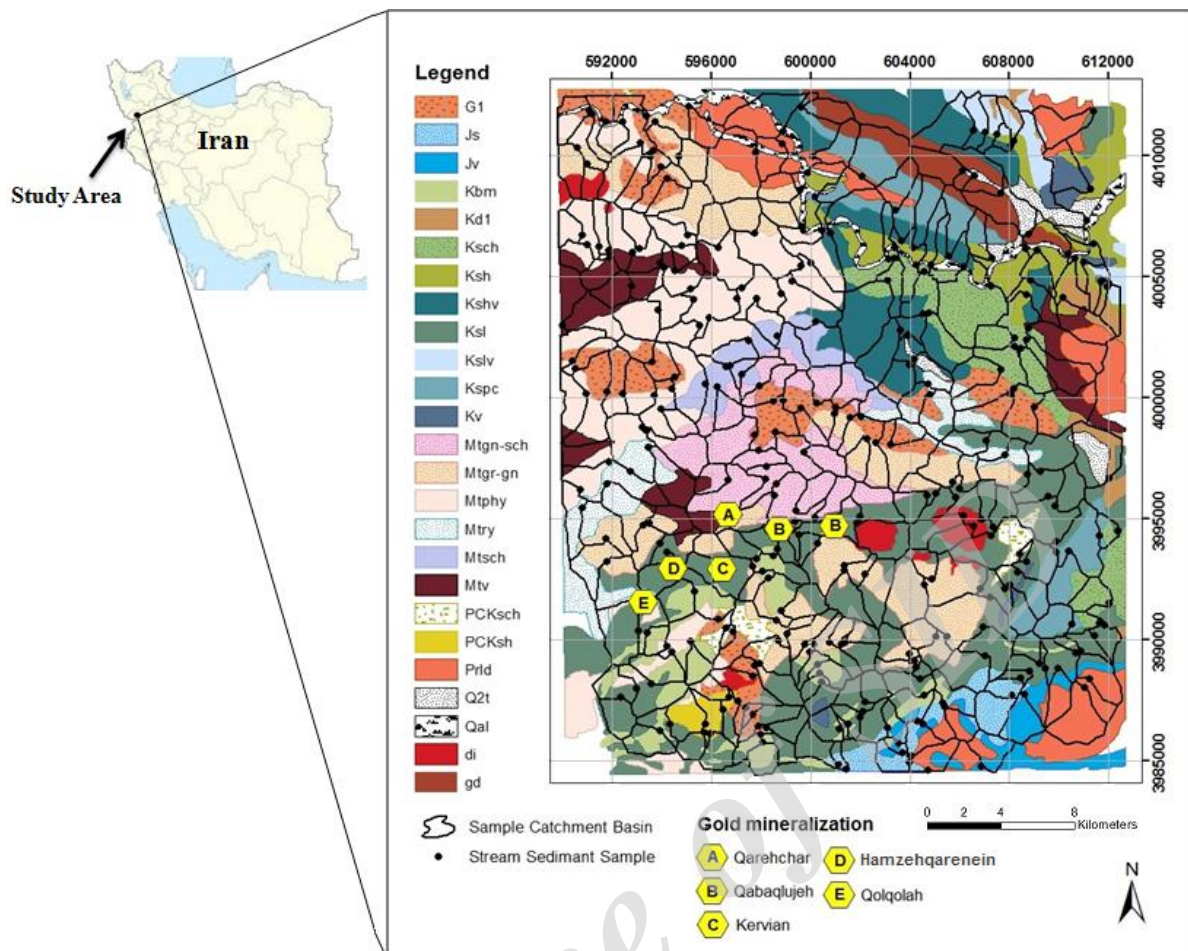
## ۱- مقدمه

۱:۵۰۰۰۰ میرده واقع در جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سفر جهت تعیین حوضه‌های آبریز آنومالی و در نتیجه معرفی مناطق برای فعالیت‌های اکتشافی بیشتر به کار برده شده است.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه کرویان در برگه ۱:۵۰۰۰۰ میرده واقع شده است. این برگه در گوشه جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سفر در بین طول‌های شرقی  $46^\circ$  تا  $46^\circ 15'$  عرض‌های شمالی  $36^\circ$  تا  $36^\circ 15'$  قرار دارد (شکل ۱). دسترسی به منطقه مورد نظر از طریق جاده اصلی سقز-بانه در فاصله ۲۸ کیلومتری بعد از سقز تا روستای میرده است. از نگاه ساختاری، محدوده برگه سقز در حاشیه شمال غربی نوار دگرگونه سنندج - سیرجان و در محل تلاقی این زون با زون‌های ساختاری خوی - مهاباد و البرز آذربایجان واقع شده است. لذا واحدهای مختلف سنگی موجود در این برگه بعضاً خصوصیات زون دگرگونه سنندج - سیرجان را داشته و بعضاً نیز تشابهات لیتولوژیکی با زون البرز - آذربایجان نشان می‌دهند. کهن‌ترین واحدهای سنگی در برگه میرده را میان لایه‌هایی ضخیم از سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین شامل گنایس، شیست، مرمر و آمفیبولیت تشکیل می‌دهد، که به‌طور عمده در بخش‌های مرکزی، شمال غرب و غرب منطقه گسترش دارند و به‌گونه ناهمساز با سنگ‌نشته‌های کربناته - آواری پرکامبرین - کامبرین زیرین (دولومیت‌های سلطانیه)، پرمین و کرتاسه پوشیده شده‌اند [۴]. در این مجموعه همچنین تناوبی از لایه‌های آهکی و گدازه‌های آندزیتی، تناوبی از توف و توف ماسه‌ای سبز رنگ، کنگلومرا و افق‌های ضخیمی از گدازه و برش ولکانیکی با ترکیب آندزیتی مشاهده می‌شود. توده‌های نفوذی با ترکیب گابرو، دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت و در محدوده برگه سقز رخنمون دارند، که دارای تغییرات زمانی پرکامبرین تا ترشیری است و واحدهای مختلف سنگی پرکامبرین تا کرتاسه را قطع نموده‌اند [۴]. شایان ذکر است به دلیل قرارگیری بخش اعظم محدوده برگه میرده در زون دگرگونه سنندج - سیرجان، این محدوده دارای خصوصیات متالورژیکی زون مذکور نیز است.

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های اکتشافی، کاربرد هاله‌های ثانویه برای اکتشافات ژئوشیمیایی توده‌های کانساری است. در میان مواد سطحی که از نظر مطالعه هاله‌های ثانویه با اهمیت‌اند، می‌توان خاک‌ها و رسوبات آبراهه‌ای، آبرفتی، یخرفتی و بادرفتی را نام برد [۱]. رسوبات آبراهه‌ای اغلب به عنوان محیط نمونه برداری اصلی در بررسی‌های ژئوشیمیایی به کار برده می‌شوند، که در هر نقطه در امتداد سیستم آبریز، ترکیبی از مواد حاصل از هوازدگی و فرسایش منابع بالادست خود را نشان می‌دهند. در اغلب نمونه‌ها، سهم مهمی از تغییرات در غلظت‌های تک عنصری رسوبات آبراهه‌ای ناشی از منابع مختلف و واحدهای لیتولوژی بالا دست نقاط نمونه برداری است. یک عامل اصلی که تغییرات غلظت عناصر در رسوبات آبراهه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، میانگین ترکیب (زمینه) متوسطی از سنگ‌های فاقد کانی‌سازی در حوضه آبریز است. بنابراین تعیین زمینه محلی (مقادیر پیش‌بینی شده) مناسب برای هر آبراهه و حذف این زمینه از مقادیر مشاهده شده به منظور برج‌گذاشتن باقیمانده‌هایی از اثرات فرآیندهای زمین‌شناسی غیر عادی (به عنوان مثال کانی‌سازی) لازم است. روش حوضه آبریز یکی از روش‌هایی است، که می‌تواند برای از بین بردن اثرات کنترل‌کننده‌های لیتولوژی بر غلظت عناصر رسوبات آبراهه‌ای به کار برد و در نهایت مناطق هدف مناسب را مشخص کرد [۲]. حوضه آبریز، ناحیه‌ای از سطح زمین است، که در آن آب‌های سطحی حاصل از بارش باران، ذوب برف و یا یخ در آن جریان دارد و به نقطه‌ای در ارتفاع پایین‌تر، که معمولاً محل خروج حوضه است هدایت می‌شوند. مطالعات مشابه در کشورهای مختلف در شرایط آب و هوایی گوناگون دلالت بر آن دارد، که رسوبات آبراهه‌ای می‌تواند در اکتشافات مقدماتی در مقیاس ناحیه‌ای بسیار مفید واقع شود [۳]. نتایج حاصل از این نوع بررسی‌های اکتشافی می‌تواند در تحلیل ایالات ژئوشیمیایی و شناخت الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و همچنین نواحی‌ای که در آنها احتمال کشف نهشته‌های کانساری بیشتر است، بسیار مؤثر واقع شود [۳]. در این پژوهش مطالعات آماری چند متغیره بر روی داده‌های پردازش شده به روش حوضه آبریز نمونه بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برگه



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی، موقعیت نمونه‌ها و حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز [۳]).  
لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی عبارت‌اند از:

G1: Pink quartz - feldspathic foliated granite; Js: Green - grey tuffaceous shale, sandstone, micro conglomerate and shale; Jv: Epidotized and chloritized andesitic - basaltic lava; Kbm: Light, grey marmorized dolomite and limestone; Kd1: Dark to light grey dolomite and limestone; Ksch: Dark grey schist, slate, metasilts and sandstone; Ksh: Thin bedded grey penfield shale slate and schist stone; Kshv: Alteration of volcanic rocks and black shale; Ksl: Alternation of grey shale, shaley limestone, limestone, metamorphosed; Kslv: Alternation of limestone and volcanic rocks (andesitic lavas and tuffs); Kspc: Grey green tuff, tuffaceous sandstone; Kv: Grey to green andesitic lavas and volcanic breccias; Mtgn-sch: Alternation of light quartzofeldspathic gneiss and mica schist; Mtgr-gn: Quartzofeldspathic gneiss and granite - gneiss; Mtphy: Green slate, phyllite and quartzite; Mtry: Metarhyolite: green rhyolitic gneiss and schist; Mtsch: Grey mica schist and quartzite schist; Mtv: Meta volcanite: chlorite - epidote schist; quartz chlorite - epidote schist; PCKsch: Schist, slate, phyllite, meta tuff and sandstone; PCKsh: Greenish grey slaty shale and siltstone; Prld: Grey crystallized limestone, dolomitic limestone; Q2t: Young terraces (silt, clay, sand); Qal: Recent alluvium; di: Hornblende metadiorite; gd: Micro diorite and gabbro

جنوب غربی منطقه معرفی شده است، که شامل کرویان، قلقله، حمزه قرنین، قره چر و قبغلوچه است [۵]. از جمله مطالعاتی که در منطقه سقز صورت گرفته می‌توان به مطالعات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای بر اساس مطالعه نمونه‌های آبراهه‌ای و کانی سنگین در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در منطقه سقز و معرفی چند منطقه امیدبخش [۶]، مطالعات نیمه تفصیلی و برداشت نمونه‌های آبراهه‌ای و کانی‌های سنگین در منطقه پیرعمران (۱۳۷۷-۱۳۷۸) در محدوده‌ای به

نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی مربوط به زمان پرکامبرین (هم‌ارز گرانیت دوران در کوه‌های سلطانیه) [۴] به داخل سنگ‌های دگرگونه قدیمی و نیز تکتونیک شدید و پوشش آواری — کربناته پالئوزوئیک می‌تواند نوید بخش کانی‌سازی‌های فلزی نوع هیدروترمال و اسکارن در این محدوده باشد [۴]. در محدوده برکه مذکور عناصر فلزی اقتصادی از جمله طلا، جیوه و مس مشاهده شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در منطقه، پنج کانسار طلا در

## ۳- روش تحقیق

در این مطالعه از تعداد ۲۹۹ نمونه برداشت شده از رسوبات آبراه‌های (جزء ۴۰- مش) از مساحتی نزدیک به ۶۱۷ کیلومترمربع از برگه ۱:۵۰۰۰۰ می‌رود که مورد آنالیز شیمیایی *ICP-MS* قرار گرفته، استفاده گردید [۵]. در این مطالعه جهت تعیین مناطق با پتانسیل معدنی در برگه مذکور بر اساس نمونه‌های رسوبات آبراه‌های، ۲۱ عنصر *Au, W, Hg, Ba, Mn, Mo, Sn, Co, Sb, As, Cu, Bi, Ni, V, Cr, Ag, Pb, Zn, B, Be, Ti* بررسی شده‌اند. مشخصات آماری عناصر مذکور و نتایج حاصل از محاسبه میانگین وزن دار واحدهای لیتولوژی برای ۱۰ عنصر به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات آماری عناصر مورد بررسی در برگه ۱:۵۰۰۰۰ می‌رود (واحد عناصر به ppm)

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness	Skewness(log)
Ag	0.04	0.27	0.09	0.03	2.01	0.51
As	2.83	274.1	32.47	41.27	2.83	0.4
Au	0.08	739.26	6.62	44.36	15.39	1.44
B	6.1	195.7	43.54	26.84	1.32	-0.23
Ba	309	895	453.49	55.2	3.09	1.13
Be	1	3.9	2.21	0.47	0.43	-0.16
Bi	0.1	1.33	0.27	0.17	2.17	0.29
Co	12.1	58.5	27.51	7.66	0.7	-0.1
Cr	60.9	287.9	150.87	44.97	0.57	-0.15
Cu	10.1	62.1	29.92	8.35	0.62	-0.34
Hg	0.02	9.95	0.14	0.68	11.69	2.58
Mn	387	2167	913.63	301.38	1.14	0.26
Mo	0.29	8.71	1.15	0.94	3.68	1.03
Ni	23.1	209.2	81.37	33.82	1.02	-0.04
Pb	12.6	68.4	27.4	9.71	1.37	0.44
Sb	0.51	160	5.99	17.02	6.02	1.34
Sn	1.5	10.5	3.8	1.64	1.48	0.38
Ti	2260	10761	4844.02	1265.08	1.08	0.22
V	57.4	293.3	151	43.44	0.42	-0.29
W	2	12	3.48	1.36	2.26	1.13
Zn	39	211	88.37	26.99	0.9	.202

مدل حوضه‌های آبریز بر اساس مدل ارتفاع رقومی و موقعیت مکانی نمونه‌های آبراه‌ای در محیط *GIS* طراحی گردید. در شکل ۱ حوضه‌های آبریز ۲۹۹ نمونه رسوبات

وسعت ۲۰۰ کیلومترمربع و معرفی سه محدوده امیدبخش جهت ادامه عملیات اکتشافی و مطالعات لیتوژئوشیمیایی در محدوده‌ای به وسعت ۱۰ کیلومترمربع و در شبکه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ با مقیاس ۱:۵۰۰۰ در منطقه کرویان (۱۳۸۰) اشاره نمود. از جمله مطالعاتی که در محدوده برگه می‌رود (بخش‌های غربی و جنوب غربی برگه سقز) صورت گرفته است نیز به صورت مختصر می‌توان به مطالعات اکتشافی طلا در محدوده‌های قره چر [۷]، حمزه قرنین [۸]، کرویان [۹]، قلقله و روستای قیغلوچه [۱۰]، اشاره نمود.

برای انجام مطالعه حاضر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه در سیستم *UTM* رقومی شده و مدل ارتفاعی رقومی منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردید. سپس

آبراه‌های از منطقه به منظور اعمال روش حوضه آبریز نمونه، نشان می‌دهد. هر حوضه آبریز متناظر با منطقه بالادست ترسیم شده است. در شکل مذکور، خطوط سیاه رنگ حوضه‌های آبریز نمونه و نقاط سیاه رنگ موقعیت نمونه‌ها را یک نقطه نمونه برداری است، که تا نقطه نمونه برداری بالایی ادامه می‌یابد.

جدول ۲: مقدار زمینه به روش میانگین وزن‌دار واحدهای لیتولوژی برای ۱۰ عنصر (منطقه کرویان)

Elements Sample	As	Au	B	Be	Bi	Hg	Sb	Sn	Ti	W
DI	25.63	1.84	35.14	2.53	0.33	0.04	4.48	4.70	6562.65	3.35
G1	10.75	1.66	23.13	2.25	0.20	0.04	1.32	3.34	4260.33	3.32
GD	12.74	0.94	25.90	1.67	0.15	0.05	1.36	2.56	4196.96	2.84
JS	29.26	1.26	78.07	2.61	0.29	0.13	3.03	3.55	5315.84	2.86
JV	26.51	0.84	54.44	2.37	0.21	0.12	2.48	3.78	5735.74	2.79
KBM	61.41	2.39	69.23	2.59	0.37	0.09	7.09	4.45	5328.14	4.22
KD1	15.15	0.51	28.64	1.76	0.19	0.09	1.60	2.46	3557.43	2.43
KSCH	6.82	1.67	23.09	2.08	0.14	0.04	0.97	3.10	4061.29	3.00
KSH	11.03	0.91	26.27	1.78	0.15	0.07	1.09	2.58	3891.12	2.52
KSHV	8.88	0.98	21.73	1.94	0.14	0.04	0.94	2.69	4262.38	3.04
KSL	42.67	3.25	55.95	2.48	0.31	0.07	4.44	4.25	5481.93	3.72
KSLV	15.41	0.51	28.04	1.70	0.13	0.12	1.13	2.56	4491.35	2.61
KSPC	9.83	0.77	30.11	1.95	0.16	0.04	1.21	2.76	4322.28	2.80
KV	20.02	0.33	42.21	1.79	0.17	0.18	1.64	2.74	4116.53	2.94
MTGN_SCH	9.76	4.39	27.85	2.16	0.22	0.03	0.98	4.48	4408.72	3.30
MTGR_GN	17.74	2.01	32.46	2.30	0.26	0.04	1.99	4.03	4608.02	3.59
MTPHY	10.67	1.67	35.65	2.00	0.24	0.04	1.10	2.95	4477.10	3.19
MTRY	10.64	2.46	30.03	2.00	0.30	0.04	1.09	3.41	4687.93	3.97
MTSCH	9.73	1.65	28.54	2.03	0.19	0.03	0.98	2.80	3988.27	3.44
MTV	10.62	2.09	37.47	2.01	0.27	0.04	1.11	3.40	4709.79	3.17
PCKSCH	45.38	2.52	55.74	2.61	0.49	0.06	6.44	7.10	5624.93	4.08
PCKSH	49.82	2.13	54.18	2.64	0.39	0.06	4.97	3.79	4425.25	4.33
PRLD	18.85	0.82	31.79	1.97	0.15	0.08	2.15	2.83	4597.07	2.52
Q2T	16.05	0.58	25.55	1.88	0.15	0.09	1.51	2.57	3769.74	2.48
QAL	8.01	1.21	25.64	1.89	0.14	0.04	0.92	2.61	3919.79	2.58

آنومالی‌ها. ۴- مدلسازی و آنالیز آنومالی‌های چند عنصری و یا تک عنصری.

در مراحل پردازش حوضه آبریز نمونه و جهت مدلسازی حوضه آبریز برای نمونه‌های آبراه‌ای، فاکتورهای مؤثر باید تا حد امکان مورد توجه و پردازش قرار گیرند. زمین‌شناسی هر حوضه آبریز می‌تواند برای ارزیابی میزان زمینه ژئوشیمیایی استفاده شود، به طوری که غلظت‌های معین رسوبات آبراه‌ای ارتباط مثبت با مساحت واحدهای لیتولوژیکی در یک حوضه آبریز و ارتباط منفی با مساحت کل یک حوضه آبریز دارد. همچنین اثر رقیق‌شدگی

تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی نمونه رسوبات آبراه‌ای به روش حوضه آبریز نمونه از طریق مراحل زیر انجام می‌شود: ۱- تخمین غلظت‌های تک عنصری زمینه محلی ناشی از لیتولوژی برای هر حوضه آبریز نمونه (توسط آنالیز رگرسیون چندگانه یا آنالیز میانگین وزن‌دار غلظت تک عنصری) [۲،۳،۱۱،۱۲،۱۳]. ۲- حذف غلظت‌های تک عنصری زمینه محلی برآورد شده از غلظت‌های تک عنصری اندازه‌گیری شده که باقیمانده‌های ژئوشیمیایی را نتیجه می‌دهد. ۳- تصحیح رقیق‌شدگی باقیمانده‌های تک عنصری با در نظر گرفتن مساحت حوضه آبریز نمونه برای افزایش

$$Y'_i = \frac{\sum_{j=1}^m M_j X_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} \quad (4)$$

در رابطه (۲) برای  $A_i$  بسیار بزرگ‌تر از  $A_a$  عبارت  $Y'_i A_a$  را می‌توان در نظر نگرفت و در صورتی که فرض شود منابع آنومالی مساحت خیلی کوچکی در حدود  $0.01 \text{ km}^2$  اشغال می‌کنند، داریم

$$Y_a = 100 \times A_i (Y_i - Y'_i) \quad (5)$$

به این ترتیب برای هر نمونه آبراهه‌ای، غلظت‌های تصحیح‌شده نسبت به مقادیر زمینه و رقیق‌شدگی حاصل می‌شود. بدیهی است که با محاسبه غلظت‌های باقیمانده برای هر حوضه آبریز  $(Y_i - Y'_i)$ ، حاصل مقادیر مثبت یا منفی خواهد شد، که مقادیر مثبت جهت تصحیح رقیق‌شدگی غلظت‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقادیر منفی آن می‌تواند نشان‌دهنده تهی‌شدگی حوضه آبریز از عنصر مربوطه باشد [۶].

بررسی روابط بین غلظت‌های تک عنصری تصحیح‌شده، حضور کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه را منعکس می‌کند. همچنین بررسی روابط بین عنصرها به کمک ضرایب ماتریس همبستگی امکان‌پذیر است. روش‌های پردازش چند متغیره مختلفی قابل استفاده است، که در این مطالعه از روش پردازش مؤلفه‌های اصلی  $PCA$  استفاده گردید. این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های آنالیز چند متغیره است، که هدف آن به‌کارگیری  $p$  متغیر و یافتن ترکیباتی از این  $p$  متغیر جهت تولید  $m$  مؤلفه است، به طوری که با هم همبستگی نداشته باشند. عدم وجود همبستگی یک خاصیت مطلوب بوده، چون به آن معناست که مؤلفه‌ها، ابعاد مختلف تغییرات درون داده‌ها را که از هم مستقل هستند، نشان می‌دهند. این مؤلفه‌ها طوری مرتب می‌شوند که مؤلفه اول نشانگر بیشترین تغییرات و به همین ترتیب تا آخرین مؤلفه خواهند بود.

#### ۴- بحث

##### ۴-۱- بررسی رسوبات آبراهه‌ای به روش حوضه آبریز نمونه

جدول ۲ نتایج حاصل از محاسبه میانگین وزن دار واحدهای لیتولوژی را برای ۱۰ عنصر نشان می‌دهد. جهت

غلظت‌های شیمیایی در طول حوضه آبریز مورد بررسی قرار گرفته و روابط مرتبط با آن تعیین شده است [۲]. رابطه زیر جهت ارتباط غلظت تک عنصری نمونه برداشت شده در هر حوضه با آنومالی فرضی و مقدار زمینه در آن حوضه ارائه شده است:

$$Y_i A_i = Y_a A_a + Y'_i (A_i - A_a) \quad (1)$$

در این رابطه  $Y_i$  غلظت تک عنصری نمونه برای هر حوضه آبریز،  $A_i$  مساحت هر حوضه آبریز،  $Y_a$  غلظت آنومالی فرضی موجود در حوضه آبریز،  $A_a$  مساحت آنومالی فرضی و  $Y'_i$  مقدار غلظت تک عنصری زمینه مربوط به مساحت  $(A_i - A_a)$  است. طبق این فرمول اگر حوضه آبریز فقط دارای مقدار زمینه باشد، آنگاه  $Y_i$  با  $Y'_i$  برابر خواهد بود و اگر حوضه آبریز شامل یک منبع آنومالی باشد، آنگاه  $Y_i$  از  $Y'_i$  بزرگ‌تر خواهد بود [۹].

در اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، جهت شناسایی آنومالی موجود در هر حوضه رابطه (۱) به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$Y_a A_a = A_i (Y_i - Y'_i) + Y'_i A_a \quad (2)$$

در این رابطه عبارت  $Y_a A_a$  نسبت آنومالی را بیان می‌کند و عبارت  $A_i (Y_i - Y'_i)$ ، معادل قدرت تولید حوضه آبریز است. با استفاده از روش پردازش حوضه آبریز می‌توان: الف) غلظت تک عنصری زمینه ناحیه ای ناشی از لیتولوژی را تخمین زد و ب) باقیمانده غلظت تک عنصری در پایین‌دست آبراهه را بر اثر رقیق‌شدگی تصحیح کرد.

برای تخمین غلظت تک عنصری زمینه ناشی از لیتولوژی بالا دست برای هر نمونه حوضه آبریز، از روش محاسبه میانگین وزن دار به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (3)$$

که  $M_j$  میانگین غلظت وزن دار لایه لیتولوژی  $Z$ ام و  $X_{ij}$  مساحت واحد لیتولوژی  $Z$ ام در حوضه آبریز  $i$ ام ( $i=1,2,\dots,n$ ) است [۱]. سپس غلظت تک عنصری زمینه محلی ناشی از واحد لیتولوژی  $Z$ ام در نمونه  $i$ ام می‌تواند به صورت زیر تخمین زده شود:

مدلسازی آنومالی‌های تک عنصری و در واقع شناسایی حوضه‌های آبریز آنومالی برای یک عنصر خاص، باقیمانده‌های تصحیح رقیق‌شدگی تحت روش‌های تجزیه و تحلیلی قرار می‌گیرد [۳]. در این مطالعه برای طبقه‌بندی آنومالی‌ها، آنالیز فرکتالی به کار گرفته شده است.

#### ۴-۲- آنالیز فرکتالی عیار-مساحت

روش فرکتالی عیار-مساحت را می‌توان برای طبقه‌بندی آنومالی‌ها در باقیمانده‌های تک عنصری تصحیح رقیق‌شدگی به کار برد. در روش فرکتالی عیار-مساحت، سطوح غلظت‌های ژئوشیمیایی ( $v$ ) و مساحت‌های تجمعی ( $A$ ) محصور شده توسط هر سطح غلظت ژئوشیمیایی ( $A(v)$ ) به ترتیب در امتداد محور  $x$  و محور  $y$  به صورت لگاریتمی رسم می‌شوند. شکست در شیب خطوط راست برازش شده به نمودار لگاریتمی رابطه عیار-مساحت رنج‌های مختلفی از مقادیر آستانه را نشان می‌دهد [۳]. روش فرکتالی عیار-مساحت بر روی داده‌های خام طلای منطقه به کار گرفته شد (شکل ۲A). نتایج حاصل از روش فرکتالی عیار-مساحت برای باقیمانده‌های تصحیح رقیق‌شدگی عنصر طلا در شکل ۲B نشان داده شده است. مقادیر منفی را می‌توان به‌عنوان زمینه در طبقه‌بندی آنومالی‌ها معرفی نمود. نمودار لگاریتمی مدل عیار-مساحت برای باقیمانده‌های مثبت طلا الگوهای چند فرکتالی را در داده‌ها نشان می‌دهد (شکل ۲B). در این نمودار ۷ خط راست بر روی مدل عیار-مساحت برازش شده است، که نشان دهنده حضور ۷ جامعه است، که از طریق مقادیر آستانه در نقطه شکست شیب خطوط راست از هم جدا شده‌اند. این جوامع به ترتیب از مقادیر پایین تا بالا، زمینه قوی تا آنومالی‌های خیلی قوی را نشان می‌دهد. باقیمانده‌های منفی طلا را نیز می‌توان به‌عنوان زمینه معرفی نمود. توزیع فضایی باقیمانده‌های طبقه‌بندی شده‌ی تصحیح رقیق‌شدگی طلا، وجود آنومالی‌های قوی را در امتداد شمال شرقی جنوب غربی واقع در جنوب غربی منطقه نشان می‌دهد، که با کانی‌سازی شناخته شده در منطقه مطابقت دارد (شکل ۲B). در شمال منطقه کانی‌سازی شناخته شده یک حوضه با آنومالی نسبتاً قوی مشاهده می‌گردد. همچنین آنومالی‌های ضعیف تا متوسطی در جنوب شرقی برگه مشاهده می‌شود، که بر کانی‌سازی شناخته شده منطبق است. در جنوب شرقی

کانی‌سازی شناخته شده و در یک حوضه در شرق و شمال شرقی برگه، آنومالی‌های ضعیف تا متوسطی به چشم می‌خورد، که مانند آنومالی‌های قوی توسط سنگ‌های رسوبی پوشیده شده‌اند و لذا می‌تواند مهم تلقی شود. آنومالی‌های بسیار ضعیفی نیز در غرب و جنوب غربی منطقه و اطراف محدوده کانی‌سازی به چشم می‌خورد. مقایسه شکل ۲A و ۲B نشان می‌دهد که روش حوضه آبریز نمونه منجر به تعیین یک سری حوضه‌های آنومالی می‌گردد، که در تجزیه و تحلیل داده‌های خام مشاهده نمی‌شود. به‌طور خاص کانی‌سازی  $B$  توسط روش حوضه آبریز نمونه شناسایی شده که در تعبیر و تفسیر داده‌های خام قابل شناسایی نبوده است. روش حوضه آبریز نمونه همچنین توانسته است تعداد حوضه‌های بیشتری را به عنوان حوضه‌های ناهنجار معرفی کند و در نتیجه احتمال از دست دادن کانی‌زایی‌ها کمتر می‌شود.

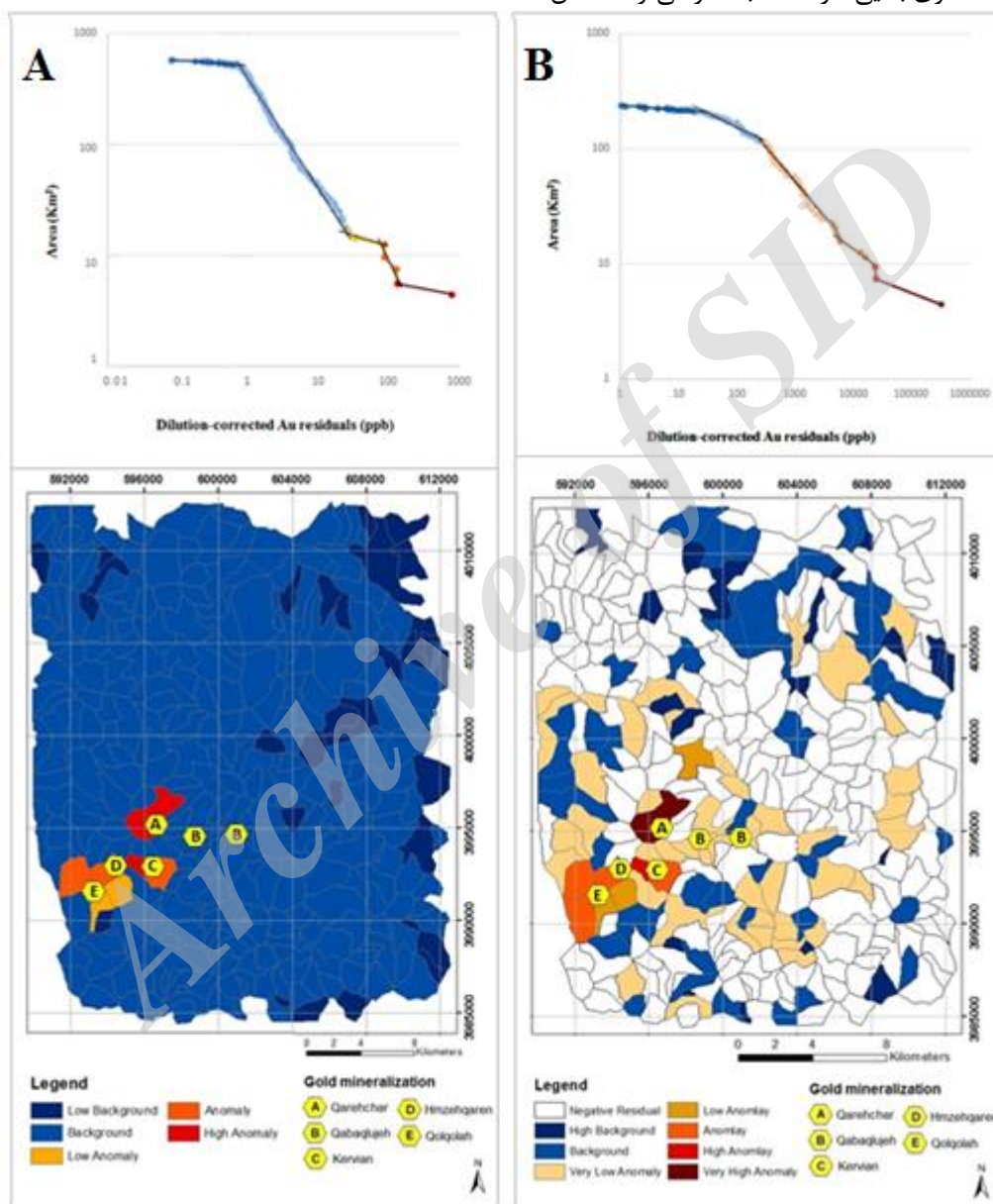
#### ۴-۳- مدلسازی آنومالی‌های چند عنصری با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

برخی از انواع کانسارها توسط وابستگی بین یک یا چند عنصر کانه یا کانی‌های همراه توصیف می‌شوند. بنابراین تجزیه و تحلیل روابط بین باقیمانده‌های تک عنصری تصحیح رقیق‌شدگی به منظور شناسایی نشانه‌های ژئوشیمیایی چند عنصری که حضور کانی‌سازی را در منطقه منعکس می‌کند، می‌تواند مفید واقع شود. تجزیه نشانه‌های ژئوشیمیایی چند عنصری از طریق روش‌های چند متغیری ریاضی مانند آنالیز خوشه‌ای، آنالیز تمایز، آنالیز فاکتوری، آنالیز رگرسیون و آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام می‌شود. در مواردی که تعداد کمی رخداد شناخته شده از کانسار مورد نظر در منطقه وجود دارد، آنالیز مؤلفه اصلی به دلیل اینکه یک روش تحلیل اکتشافی برای جداسازی نشانه‌های چند عنصری آنومالی از زمینه است، روش مناسبی خواهد بود. در این مطالعه از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی ( $PCA$ ) استفاده شده است. جهت اعمال این روش، باید به چند نکته توجه نمود. داده‌ها طبیعت غیرنرمال دارند و از طرفی به علت وجود مقادیر منفی عناصر مختلف در برخی حوضه‌ها، نرمال کردن داده‌ها امکان‌پذیر نیست، بنابراین محاسبات ناپارامتریک پیشنهاد می‌شود [۱۴]. از این‌رو ماتریس همبستگی اسپیرمن محاسبه



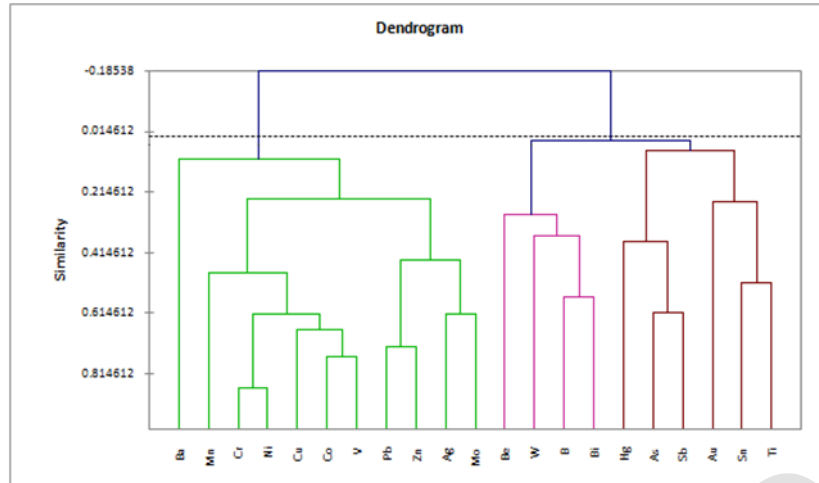
دهنده تغییر لیتولوژی است. با توجه به مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه نیز، طلا با عناصر آرسنیک، تنگستن و قلع همبستگی دارد [۷]. در نتیجه به علت بالا بودن وزن عنصری طلا در مؤلفه دوم و همراهی آن با عناصر آرسنیک، تنگستن و قلع این مؤلفه به عنوان مؤلفه کانی‌سازی طلا در منطقه انتخاب شده است.

شده و بر اساس آن رسم دندروگرام عناصر و همچنین پردازش مؤلفه‌های اصلی صورت گرفته است (شکل ۳). بر اساس پردازش مؤلفه‌های اصلی (جدول ۳) مشخص شد، که طلا بیشترین همبستگی را با آرسنیک، تنگستن، قلع و مولیبدن نشان می‌دهد. در مؤلفه اول طلا وزن عنصری پایینی دارد، در حالی که بیشتر عناصر مانند منگنز، نیکل و تیتانیوم وزن عنصری بالایی دارند، که به نظر می‌رسد نشان



شکل ۲: نقشه توزیع آنومالی‌های طلا با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت A: برای باقیمانده‌های تصحیح رقیق‌شدگی، B: برای داده‌های خام (منطقه کروبان)





شکل ۳: دندروگرام عناصر بر اساس ماتریس همبستگی اسپیرمن (منطقه کرویان)

به دلیل بالا بودن وزن عنصری طلا و همبستگی با تنگستن و مؤلفه چهارم نیز به دلیل بالا بودن وزن عنصری طلا به عنوان مؤلفه‌های کانی‌سازی طلا در منطقه انتخاب شده‌اند. شکل ۴B, C به ترتیب نقشه پراکندگی امتیازات مؤلفه‌های دوم و چهارم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴B مؤلفه دوم به خوبی مناطق طلادار را تعیین نموده است. مؤلفه چهارم نیز تا حدودی حوضه‌های آبریز حاوی طلا، بدون همبستگی با سایر عناصر را مشخص کرده است (شکل ۴C). با مقایسه نتایج حاصل از شکل‌های ۴B, C با شکل ۴A و با توجه به کانی‌سازی شناخته شده در منطقه، واضح است که حذف عناصر مزاحم و همچنین تعیین زیرمجموعه‌ای از نمونه‌ها با باقیمانده‌های آنومال طلا در شناسایی حوضه‌های مرتبط با کانی‌سازی طلا می‌تواند مفید واقع شود.

#### ۵- نتیجه‌گیری

منطقه مورد مطالعه در برگه ۱:۵۰۰۰۰ میرده واقع شده است و از نگاه ساختاری در حاشیه شمال غربی نوار دگرگونه سنندج - سیرجان و در محل تلاقی این زون با زون‌های ساختاری خوی - مهاباد و البرز آذربایجان واقع شده است. در محدوده مذکور عناصر فلزی اقتصادی از جمله طلا، جیوه و مس مشاهده گردیده و کانی‌سازی از نوع تیپ طلای کوهزایی است.

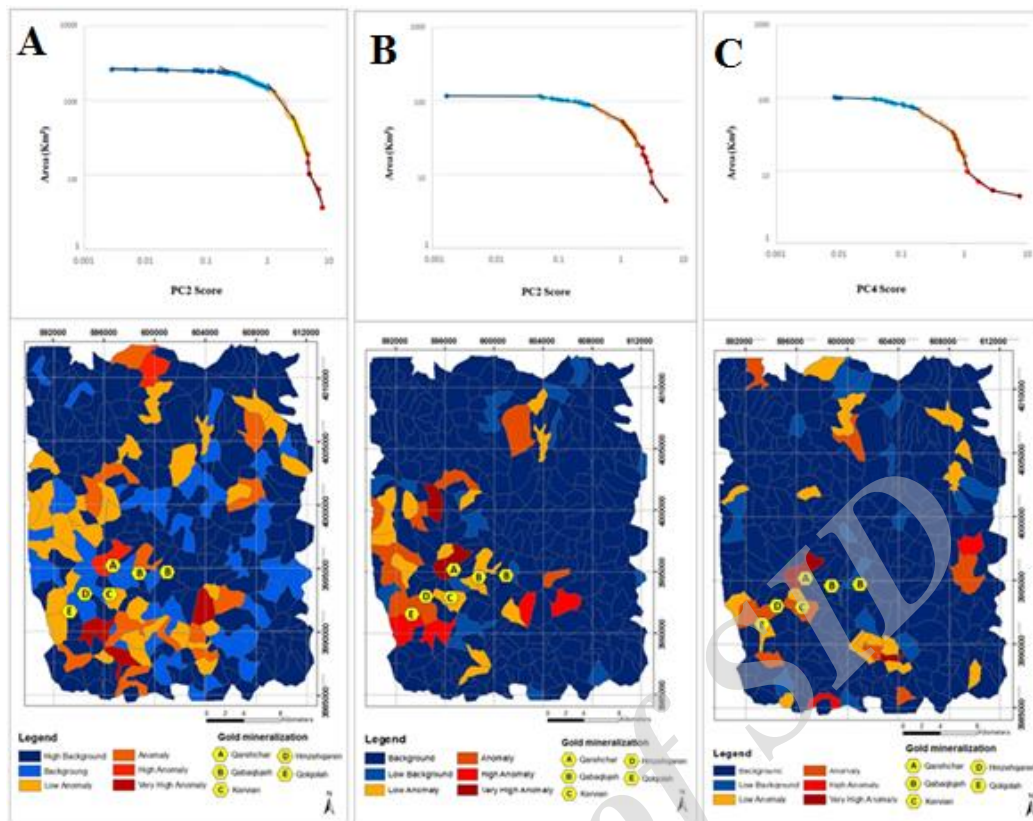
بنابراین امتیازات مؤلفه دوم به منظور جدایش آنومالی از زمینه و شناسایی آنومالی‌های مهم با استفاده از روش فرکتالی عیار-مساحت آنالیز شده‌اند (شکل ۲A). شایان ذکر است که حوضه‌های آبریز آنومال شناسایی شده مرتبط با کانی‌سازی طلا پراکنده بوده و با نواحی طلادار شناخته شده در منطقه انطباق زیادی نشان نمی‌دهد (شکل ۲A). در محاسبه امتیازات مؤلفه‌ها برای هر نمونه، مقادیر غلظت برخی از عنصرهای دیگر ممکن است، تأثیر منفی در امتیازات مؤلفه‌ها داشته باشد. نکته اصلی شناسایی عناصری است، که بیشترین تأثیر را در نتایج آنالیز مؤلفه اصلی دارند. در نتیجه می‌توان با کاهش تعداد مؤلفه‌ها شدت آنومالی‌ها را افزایش داد. افزایش شدت آنومالی‌ها بدان معنی است که تعداد نمونه‌های آنومال مجاور هم در یک حوضه با توجه به تعداد کل نمونه‌های آنومال در منطقه افزایش می‌یابد [۱۵]. در این مطالعه به منظور افزایش شدت آنومالی‌ها، عناصر مزاحم را حذف نمودیم. برای این منظور آنالیز خوشه‌ای روی کل عناصر انجام گردید و ۱۰ عنصری که با طلا همبستگی نشان دادند، برای انجام محاسبات بعدی انتخاب گردیدند (شکل ۳). لذا در این مرحله آنالیز PCA بر روی زیرمجموعه‌ای از نمونه‌ها (شامل ۱۲۰ نمونه از ۲۹۹ نمونه) و برای ۱۰ عنصر *Au, As, B, Be, Bi, Hg, Sb, Sn, Ti, W* انجام گردید (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که به دلیل بالا بودن وزن عنصری بیشتر عناصر در مؤلفه اول، می‌توان این مؤلفه را به عنوان تغییرات لیتولوژی معرفی کرد. مؤلفه دوم

جدول ۳: نتایج حاصل از آنالیز PCA بر روی کل داده‌ها (منطقه کرویان)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Ag	0.675	-0.03	-0.029	0.163	0.129	0.471	0.039	0.365
As	0.573	-0.496	-0.111	0.348	-0.141	-0.237	-0.097	0.134
Au	0.251	-0.421	0.214	0.045	-0.509	0.085	0.631	0.072
B	0.636	-0.273	-0.447	-0.074	-0.118	-0.123	-0.071	-0.261
Ba	0.295	0.347	-0.387	0.14	-0.421	0.521	-0.139	-0.178
Be	0.384	-0.401	-0.031	-0.411	0.546	0.101	0.073	-0.055
Bi	0.442	-0.518	-0.374	-0.243	-0.128	-0.132	-0.003	0.019
Co	0.683	0.431	0.338	-0.069	-0.131	-0.166	-0.044	0.117
Cr	0.618	0.611	0.059	0.059	0.07	0.042	0.063	-0.142
Cu	0.719	0.439	-0.114	0.083	-0.21	-0.165	0.017	-0.051
Hg	0.368	-0.139	0.057	0.711	0.214	0.039	-0.016	-0.332
Mn	0.69	0.295	0.052	-0.172	0.126	0.003	-0.035	0.157
Mo	0.731	-0.3	0.146	0.135	0.012	0.16	-0.203	0.32
Ni	0.692	0.568	-0.106	0.01	0.088	0.052	-0.017	0.055
Pb	0.69	-0.124	-0.433	-0.215	0.202	0.034	0.134	-0.002
Sb	0.438	-0.497	0.083	0.524	0.235	-0.139	0.025	0.016
Sn	0.469	-0.313	0.46	-0.2	0.122	0.39	0.099	-0.339
Ti	0.542	-0.138	0.617	-0.168	-0.167	-0.081	-0.241	-0.131
V	0.759	0.343	0.23	-0.054	0.024	-0.26	0.128	-0.051
W	0.375	-0.563	0.089	-0.265	-0.331	0.047	-0.326	-0.034
Zn	0.809	0.032	-0.204	-0.127	0.031	-0.177	0.13	-0.059

جدول ۴: نتایج آنالیز PCA بر روی زیرمجموعه‌ای انتخابی از داده‌ها (منطقه کرویان)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
As	0.802	0.213	-0.185	0.272	-0.04	-0.229	0.039
Au	0.188	-0.437	-0.071	0.805	0.3	0.093	-0.034
B	0.786	-0.034	-0.313	-0.141	-0.024	-0.112	-0.347
Be	0.633	-0.143	0.138	-0.299	0.535	-0.347	0.054
Bi	0.68	-0.003	-0.426	-0.212	-0.035	0.434	-0.118
Hg	0.49	0.61	0.36	0.264	-0.114	0.075	-0.165
Sb	0.599	0.611	0.234	0.042	-0.07	0.055	0.318
Sn	0.449	-0.36	0.627	-0.168	0.251	0.338	-0.007
Ti	0.326	-0.522	0.463	0.023	-0.533	-0.18	-0.164
W	0.591	-0.513	-0.236	-0.02	-0.272	0.027	0.409



شکل ۴: توزیع فضایی آنومالی‌های طلا با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت A: برای امتیازات مؤلفه دوم حاصل از PCA روی کل داده‌ها، B: برای امتیازات مؤلفه دوم حاصل از PCA زیر مجموعه‌ای انتخابی از داده‌ها و C: برای امتیازات مؤلفه چهارم حاصل از PCA زیر مجموعه‌ای انتخابی از داده‌ها (منطقه کرویان)

بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش حوضه آبریز نمونه منجر به تعیین یک سری حوضه‌های آنومالی می‌گردد که در تجزیه و تحلیل داده‌های خام مشاهده نمی‌شود. روش حوضه آبریز نمونه همچنین توانسته است، تعداد حوضه‌های بیشتری را به عنوان حوضه‌های ناهنجار معرفی کند و در نتیجه احتمال از دست دادن کانی‌زایی‌ها کمتر می‌شود.

پس از انجام محاسبات مربوط به روش حوضه آبریز نمونه، آنالیز PCA بر روی زیر مجموعه‌ای از داده‌ها و برای ۱۰ عنصر انتخابی از طریق آنالیز خوشه‌ای انجام شده و مؤلفه دوم و چهارم به عنوان مؤلفه کانی‌سازی معرفی شده است. نقشه‌های توزیع فضایی آنومالی‌های طلا با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت ترسیم شده است. همان‌طور که نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد آنالیز PCA بر روی زیرمجموعه داده‌ها، مناطق پر پتانسیل را بهتر نشان می‌دهد. بررسی‌ها وجود آنومالی‌های قوی را در امتداد شمال شرقی جنوب غربی واقع در جنوب غربی منطقه نشان می‌دهد، که با کانی‌سازی شناخته شده در منطقه مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل، برای برخی از حوضه‌های

در این پژوهش داده‌های حاصل از آنالیز رسوبات آبراهه‌ای در پهنه برشی کرویان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، که روش حوضه آبریز نمونه به خوبی مناطق کانی‌زایی شناخته شده را معین کرد. روش تجزیه و تحلیل نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای بر اساس روش حوضه آبریز نمونه یکی از روش‌های بروز در اکتشاف ذخایر فلزی بوده که مطالعات و کاربرد آن هر روز گسترده‌تر می‌شود. در حقیقت مطالعات آماری چند متغیره بر روی داده‌های پردازش شده به روش حوضه آبریز نمونه بر روی داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای منطقه مذکور جهت تعیین حوضه‌های آبریز آنومالی و در نتیجه معرفی مناطق برای فعالیت‌های اکتشافی بیشتر به کار برده شده است. در این مطالعه جهت تعیین مناطق با پتانسیل معدنی در برگه مذکور بر اساس نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای، ۲۱ عنصر  $Au$ ,  $W$ ,  $Hg$ ,  $Ba$ ,  $Mn$ ,  $Mo$ ,  $Sn$ ,  $Co$ ,  $Sb$ ,  $As$ ,  $Cu$ ,  $Bi$ ,  $Ni$ ,  $V$ ,  $Ti$  و  $Cr$ ,  $Ag$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $B$ ,  $Be$  بررسی شدند. بررسی روابط بین غلظت‌های تک عنصری تصحیح شده، حضور کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه را منعکس می‌کند.

[12] Bonham-Carter, G.F. and Goodfellow W, D., (1986). Background correction to stream geochemical data using digitized drainage and geological maps: Application to Selwyn Basin, Yukon and Northwest Territories, in Exploration for Ore Deposits of the North American Cordillera, ed. C.E. Nichols. Journal of Geochemical Exploration, 25(1-2): 39-155.

[13] Bonham-Carter, G.F., Rogers, P.J. and Ellwood, D.J., (1987). Catchment basin analysis applied to surficial geochemical data, Cobequid Highlands, Nova Scotia. Journal of Geochemical Exploration, 29(1-3): 259-278.

[14] Mokhtari, A.R., Abdolmaleki, M. and Akbar, S., (2013). Geochemical modeling of stream sediment samples by sample catchment basin approach. Iranian Journal of Mining Engineering, 8 (19): 67-76, in Persian with English abstract.

[15] Yosefi, M., Kamkar-Rouhani, A. and Carranza, E.J.M., (2014). Application of staged factor analysis and logistic function to create a fuzzy stream sediment geochemical evidence layer for mineral prospectivity mapping. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 14(1): 45-58.

آنومال درجه بالا واقع در جنوب غربی منطقه که در آنها نشانه معدنی معرفی نشده است کارهای اکتشافی دقیق تر توصیه می‌شود.

## مراجع

[1] Hasanipak., A.A., (2008). Principals of Geochemical Explorations, 6<sup>th</sup> edition, Tehran University publishing, Tehran, 615p.

[2] Carranza, E.J.M. and Hale, M., (1997). A catchment basin approach to the analysis of reconnaissance geochemical-geological data from Ably Province, Philippines. Journal of Geochemical Exploration, 60(2): 157-171.

[3] Carranza, E.J.M., (2009). Geochemical anomaly and mineral prospectively mapping in GIS, Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, 283p.

[4] Report of geological map of Saghez, scale 1/100000. Geological Survey of Iran, (2002).

[5] Ghavami-Riabi, R., RahimiNayragh, M. M., Khalokakaei, R. and Hazara, M., (2010). Geochemical characteristics of shear zone gold mineralization of Kurdistan Province. Iranian Journal of Mining Engineering, 5(9): 27-36, in Persian with English abstract.

[6] Shamsa, M.J., (1997). Regional geochemical studies on the scale of 1: 100000, based on samples catchment basin studies. Geological Survey of Iran, Tehran.

[7] Abedian, N., Borna, B. and Roozbeh-Kargar, S., (2008a). Gold exploration reports in Gharechar area. Geological Survey of Iran, Tehran.

[8] Abedian, N., Borna, B. and Roozbeh-Kargar, S., (2008b). Gold exploration reports in Hamzeh-Gharnain area. Geological Survey of Iran, Tehran.

[9] Abedian, N., Borna, B. and Roozbeh-Kargar, S., (2009a). Gold exploration reports in Kervian area. Geological Survey of Iran, Tehran.

[10] Abedian, N., Borna, B. and Dari, M. B., (2009b). Gold exploration reports in Qabaqlujeh (south Qabaqlujeh) area, SW of Saghez, Kordestan Province. Geological Survey of Iran, Tehran.

[11] Bonham-Carter, G.F. and Goodfellow, W.D., (1984). Autocorrelation structure of stream sediment geochemical data: interpretation of zinc and lead anomalies, Nahanni river area, Yukon- Northwest Territories Canada. Geostatistics for Natural Resources Characterization, Part 2. G. Verly et al., (eds), 817-829.