

## تحلیل‌های آماری چند متغیره داده‌های ژئوشیمی آبراه‌های منطقه کفاز سفلی در استان خراسان جنوبی و معرفی مناطق امیدبخش

زهرا محبتی<sup>۱\*</sup>، نیما نظافتی<sup>۲</sup>، علیرضا جعفری‌راد<sup>۳</sup>، سید جمال شیخ‌ذکریایی<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۳- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۴- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: Mohabbati\_zohreh@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۸، پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۷/۲۸

### چکیده

محدوده کفاز سفلی با وسعت ۵۸ کیلومترمربع در جنوب شرقی استان خراسان جنوبی واقع شده است. پردازش‌های آماری تک متغیره و چند متغیره بر روی داده‌های آنالیز رسوبات آبراه‌های، نشان داد که توزیع مس به عنوان یک عنصر غنی شده در منطقه به صورت دو جامعه‌ای بوده و بیشترین همبستگی را با عناصر کروم، کبالت، نیکل، تیتانیوم و منیزیم دارد. با توجه به اینکه کانی‌سازی خفیف مس (به صورت ملاکیت و آزوریت) با ریخت رگچه‌ای در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک (مربوط به واحد افیولیتی) و نیز در آندزیت‌های دگرسان شده انجام شده است، همبستگی مس با عناصر یادشده منطقی است. مس همبستگی بالایی با منگنز داشته و با سایر عناصر کانسار ساز همبستگی نشان نمی‌دهد. اندیس‌های معدنی سیدوارک، آب کمرک، سولابست و زرده معدن در محدوده آنومالی‌های شماره ۱ و ۲ قرار دارند. بر اساس نتایج حاصل از کنترل سرزمینی آنومالی‌های شماره ۳، ۴ و ۵ اندیس مناسبی شناسایی نشد و محدوده‌های مذکور فاقد ارزش اقتصادی می‌باشند.

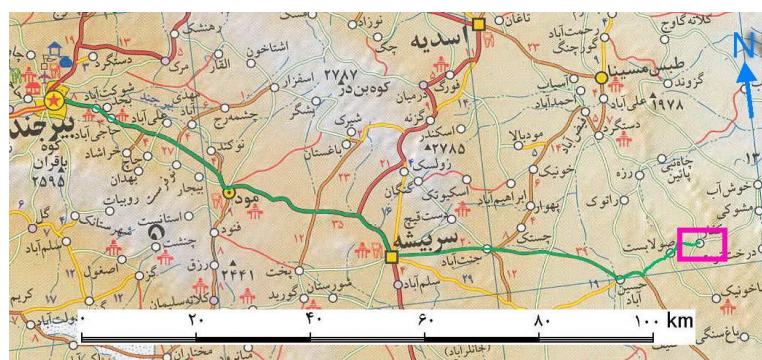
واژه‌های کلیدی: اکتشافات ژئوشیمیایی، کانه‌زایی مس، کفاز، گزیک

اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی در محدوده کفاز سفلی ارائه شده است.

منطقه کفاز سفلی در حد فاصل ۲۴۵۷۷۸ تا ۲۵۵۶۵۳ طول خاوری و ۳۶۰۱۱۷۲ تا ۳۶۱۰۲۶۷ عرض شمالی واقع شده و از لحاظ تقسیمات کشوری در استان خراسان جنوبی، شهرستان درمیان و در جنوب شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ گزیک (علوی نائینی و همکاران، ۱۹۸۳) قرار گرفته است. برای دسترسی به این منطقه می‌توان از طریق جاده بیرجند-سربیشه به حسین‌آباد رسیده و پس از آن با طی ۱۸ کیلومتر جاده خاکی از مسیر حسین‌آباد-سولابست به منطقه کفاز دست یافت (شکل ۱).

### ۱- مقدمه

در اکتشافات ژئوشیمیایی در مرحله مقدماتی، به منظور جدا کردن مناطق نابهنجار از نظر پراکندگی عناصر مختلف و بررسی ژئوشیمیایی واحدهای سنگی رخنمون‌دار در حوضه‌های آبریز، از روش نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های سیلت آبراه‌های و سپس پردازش آماری نتایج آنالیز نمونه‌ها استفاده می‌شود (Cohen et al., 1999). در این مقاله نتایج حاصل از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه کفاز (بختیاری، ۱۳۹۳)

نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از زون‌های کانسی‌سازی شده و آنالیز نمونه‌های مینرالیزه صورت پذیرفت.

### ۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه تقسیم‌بندی واحدهای رسوبی - ساختمانی ایران در زون جوش‌خورده سیستان قرار گرفته است (Tirrul et al., 1983). بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ گزیک (علوی نائینی و همکاران، ۱۹۸۳) واحدهای سنگی رخنمون‌دار کرتاسه در این محدوده شامل نهشته‌های فلیش‌گونه (flisch-like)، سنگ‌های آتشفشانی، واحدهای سنگی افیولیتی و واحدهای دگرگونی می‌باشند. واحدهای افیولیتی به طور عمده در بخش باختری محدوده مورد مطالعه همراه با واحدهای فلیش دگرگون شده دیده می‌شود (شکل ۲).

عارضه ساختمانی غالب در گستره مورد بررسی، پهنه گسلی (major fault zone) با روند NNW-SSE است که دو قلمرو اصلی با رخدادهای زمین‌ساختی و رسوبی مختلف در زمان کرتاسه بالایی را از یکدیگر جدا می‌سازد. وضعیت ساختمانی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که جهت کوتاه‌شدگی منطقه از شمال باختری به جنوب خاوری است. از مهمترین دلایل آن می‌توان به گسل تراستی با راستای شمال غربی - جنوب شرقی در محدوده مورد مطالعه اشاره کرد که واحدهای کرتاسه را بر روی نهشته‌های پلیوکواترنری رانده است.

از مطالعات انجام شده پیشین در ارتباط با محدوده مورد مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

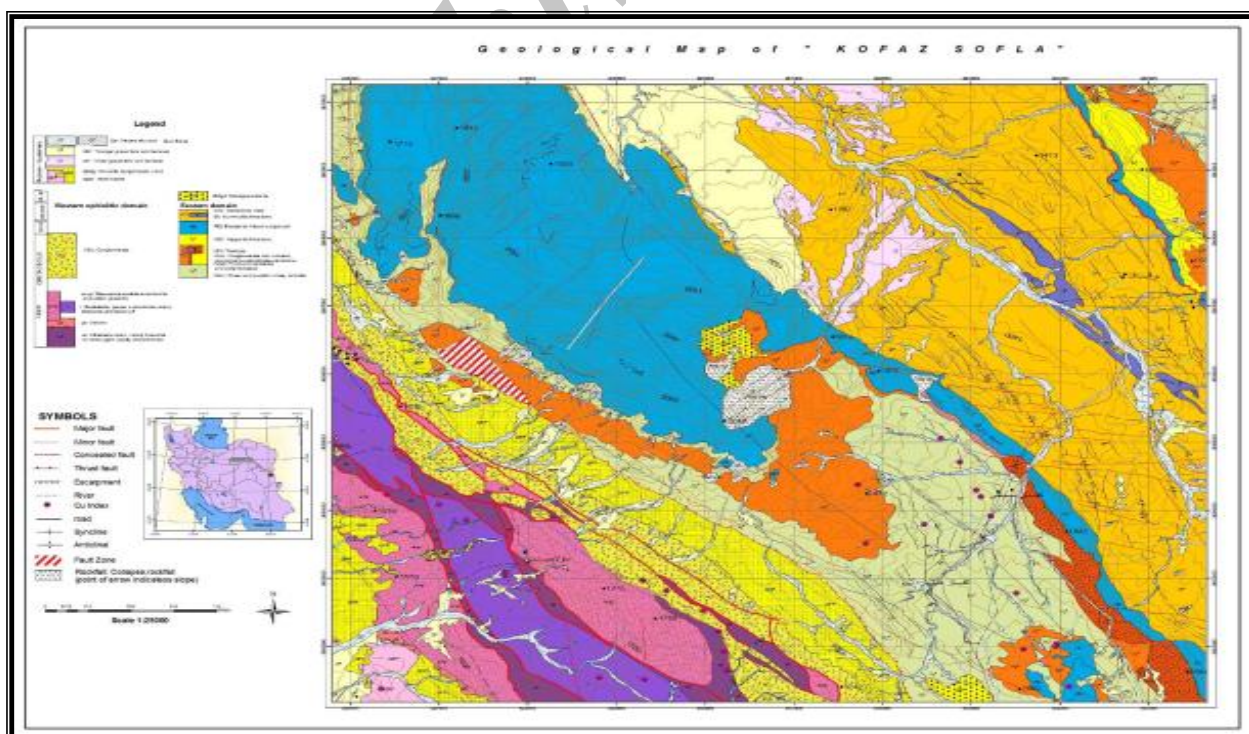
۱- مطالعات ژئوشیمیایی بر گره یکصد هزارم گزیک (مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۸). بر اساس نتایج حاصل از تلفیق کنترل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و اکتشافات چکشی ۹ محدوده مناسب جهت ادامه عملیات اکتشافی معرفی گردیده است.

۲- امینی و اسکندری، (۱۳۸۹) بر روی کانی‌شناسی و ژئوشیمی لیستونیت‌ها و ارتباط بین کانه‌زایی لیستونیت‌ها و سنگ‌های شبه لیستونیتی با فعالیت‌های تکتونیکی و دگرسانی متاسوماتیک و گرمایی سنگ‌های اولترامافیکی در جنوب محدوده کفاز، مطالعه نموده و نشان داده‌اند که ناهنجاری‌های مس و طلا بیشتر در ارتباط با لیستونیت‌های حاوی کانی‌های سیلیسی، بیبریریت‌ها و رگه‌های کوارتز تاخیری می‌باشد.

۳- امینی و فتوحی‌راد، (۱۳۸۳) بر روی بازالت‌های دگرگون شده منطقه گزیک مطالعه نموده و نتیجه گرفته‌اند که سنگ‌های رخنمون‌دار دارای طیف رخساره‌ای از شیست سبز، آمفیولیت، شیست آبی تا آکلوزیت بوده و نشانه‌ای از رخداد دگرگونی در یک پهنه فرورانش می‌باشند.

### ۲- روش کار

اجرای این تحقیق در دو مرحله طراحی و انجام گردید. مرحله اول شامل نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای، پردازش داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها، رسم نقشه‌های ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و تعیین مناطق مستعد بود. در مرحله دوم اقدام به کنترل ناهنجاری‌ها گردید که طی آن



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (علوی نائینی و همکاران، ۱۹۸۳)

## ۴- مطالعات ژئوشیمیایی

## ۴-۱- نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

طراحی شبکه نمونه‌برداری این پروژه طوری صورت گرفته که ۱۶۸ نمونه این منطقه حداکثر سازگاری را با روش مرکز ثقل دارد. درجه مرکز ثقل را عواملی نظیر چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و تکتونیک کنترل می‌کنند. 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، زون‌های دگرسان شده ناشی از عملکرد سیالات گرمایی و مناطقی که در بخش فوقانی توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق قرار دارند، به علت پتانسیل معدنی بیشتر، از مقدار بالاتری برخوردار می‌باشد. به دلیل عملکرد فرآیند رقیق‌شدگی رسوبات در حوضه‌های آبریز بزرگ و کاهش شدت آنومالی‌های احتمالی در محل اتصال آبراهه‌ها به یکدیگر، می‌بایست این حوضه‌های آبریز را به حوضه‌های کوچکتری تقسیم نمود.

عملیات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با برداشت تعداد ۱۶۸ نمونه ژئوشیمیایی (جزء زیر ۴۰ مش) صورت پذیرفت. نمونه‌های ژئوشیمیایی پس از خردایش و نمایش (با دانه‌بندی زیر ۲۰۰ مش) جهت آنالیز شیمیایی ۵۰ عنصری به روش ICP-OES و آنالیز طلا به روش Fire Assay به آزمایشگاه کان‌پژوه ارسال گردیدند. نتایج حاصله به پیوست ارائه شده است. پس از دریافت نتایج آنالیز نسبت به تعیین خطای آنالیز و بررسی دقت و صحت آنها اقدام گردید و مشخص شد که خطای آنالیز عناصر کانی‌ساز در حد قابل قبول قرار دارد (محبتی، ۱۳۹۳).

## ۴-۲- پردازش داده‌ها

داده‌های سنسورد داده‌هایی هستند که مقادیر عددی آنها بزرگتر یا کوچکتر از حد حساسیت دستگاه تجزیه می‌باشد. این داده‌ها، داده‌هایی هستند که در خارج از دامنه توانایی تشخیص دستگاه قرار داشته و برای استفاده از آنها می‌بایست مقادیر غیر عددی آنها را با استفاده از روش‌های مختلف آماری، با داده‌های عددی جایگزین کرد. ساده‌ترین روش، جایگزینی مقادیر سنسورد بالا با 4/3 حد تشخیص بالایی و جایگزینی مقادیر سنسورد پایین با 3/4 حد تشخیص پایینی روش آنالیز می‌باشد. (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

بر این اساس، عناصر سلنیوم، تلوریوم، ژرمانیوم، جیوه و گوگرد به دلیل آنکه دارای کمتر از ۱۵ درصد نمونه سنسورد می‌باشند، مقادیر سنسورد آنها با 3/4 حد حساسیت دستگاه در مرز پایینی جایگزین گردید. عناصر بُر، رنیوم و تانتالیوم بدلیل یکنواختی داده‌های غیر سنسورد و عدم تغییرات از ادامه پردازش‌ها حذف گردیدند.

## ۴-۳- مطالعات آماری تک متغیره (تحلیل پارامترهای آماری توصیفی)

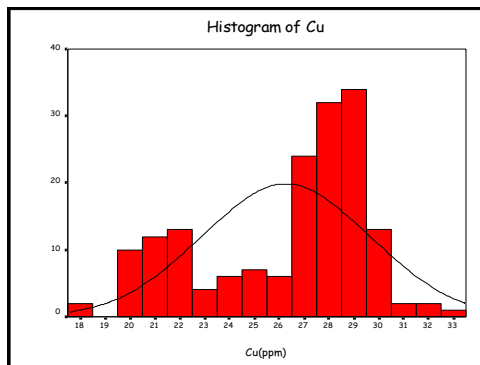
پارامترهای مختلف آماری (کمینه، بیشینه، میانگین، میانه، مد، پراش، درصد ضریب تغییرات، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی) زمانی دارای اعتبار هستند که توزیع داده‌ها به حالت نرمال نزدیک باشند. لذا در صورتی

که توزیع داده‌ها حالت نرمال نداشته باشد ابتدا می‌بایست با روش‌های مختلف اقدام به نرمال‌سازی داده‌ها نمود. (پرند، ۱۳۷۶).

لذا برای تعیین نوع توزیع عناصر با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسبت به محاسبه پارامترهای مختلف آماری و رسم هیستوگرام داده‌های خام اقدام گردید که نتایج حاصله در جدول ۱ ارائه شده است. هیستوگرام عنصر مس در شکل ۳ نشان داده شده است.

اولین گام در نرمال‌سازی داده‌های یک جامعه آماری، شناسایی داده‌های خارج از ردیف (Outliers) و حذف آنها قبل از مرحله تعیین پارامترهای آماری است. بدیهی است پس از تعیین پارامترهای آماری مقادیر داده‌های خارج از ردیف مجدداً به جامعه آماری افزوده می‌گردد تا از حذف نابهنجاری‌های حاصل از این داده‌ها جلوگیری شود. داده‌های خارج از ردیف را می‌توان از روی نمودار توزیع داده‌های خام اولیه و براساس تجربه کارشناسی و نیز با استفاده از روش‌های آماری نظیر نمودارهای جعبه‌ای (Box Plots) مورد شناسایی قرار داد.

در مورد عنصری که توزیع آنها پس از حذف داده‌های خارج از ردیف به نرمال نزدیک نشد، با استفاده از تبدیل لگاریتمی ساده و تکنیک پارامتر سه متغیره  $(z = \ln(x + \alpha))$  نسبت به نرمال‌سازی آنها اقدام گردید. در این تبدیلات سعی بر آن بود تا حتی الامکان لطمه‌ای به ماهیت اصلی داده‌ها وارد نشود. در جدول ۲ پارامترهای آماری داده‌های نرمال شده تعدادی از عناصر را ارائه شده است.



شکل ۳- هیستوگرام داده خام برای عنصر مس

## ۴-۴- تحلیل‌های آماری دو متغیره (روش تحلیل ضرایب همبستگی)

ضریب همبستگی، ارتباط و وابستگی متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد. در مطالعات ژئوشیمیایی عوامل مختلفی از قبیل عوامل ژنتیکی و غیره می‌تواند در ارتباط و وابستگی متغیرها به یکدیگر مؤثر باشد و مقدار این وابستگی را می‌توان با یک عدد بیان نمود که همان ضریب همبستگی است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). برای محاسبه ضریب همبستگی به روش پیرسون بایستی حتماً توزیع داده‌ها نرمال باشد (Wellmer, 1997). بر اساس نتایج حاصل از داده‌های نرمال شده، بیشترین همبستگی عنصر مس با منگنز  $(R=0.689)$  و با روی  $(R=0.461)$  مشاهده می‌شود. ماتریس ضرایب همبستگی داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

## ۴-۵- تحلیل‌های آماری چند متغیره (روش آنالیز خوشه‌ای)

برای خوشه‌بندی داده‌ها از روش اتصال (Linkage) استفاده شد، که

مربوط به ترتیب اشیاء (نمونه‌ها و یا متغیرها) با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می‌شوند. تمامی روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر ماتریس شباهت‌ها می‌باشند (Davis, 2002). در مرحله اول دو نمونه و یا دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند و در هر تکرار، شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها یا اشیاء به هم وصل می‌شوند. در تحلیل خوشه‌ای، هدف دستیابی به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها براساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر بین گروهی است (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). برای گروه‌بندی داده‌ها از روش سلسله مراتبی استفاده و نتیجه‌ی حاصل به‌صورت دندروگرام نمایش داده شده است (شکل ۴).

#### ۴-۶- تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی

در منطقه کفازسغلی بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده نهایتاً تعداد ۵ محدوده جهت کنترل ناهنجاری‌ها شناسایی گردید (شکل ۵) که شرح هریک در زیر ارائه شده است:

با توجه به نمودار درختی فوق عناصر در دو گروه قرار گرفته‌اند: گروه اول: عناصر در این گروه شامل دو دسته اند. در دسته اول عناصر منیزیم، نیکل، کروم، کبالت و آهن با ضریب قرابت بالا جای گرفته و با فاکتور دوم (بر پایه آنالیز فاکتوری انجام شده) مطابقت دارند. دسته دوم شامل عناصر فسفر، تیتانیم، مس، اسکندیم و منگنز است. این مجموعه

گروه اول: عناصر در این گروه شامل دو دسته اند. در دسته اول عناصر

منیزیم، نیکل، کروم، کبالت و آهن با ضریب قرابت بالا جای گرفته و با فاکتور دوم (بر پایه آنالیز فاکتوری انجام شده) مطابقت دارند. دسته دوم شامل عناصر فسفر، تیتانیم، مس، اسکندیم و منگنز است. این مجموعه

جدول ۱- پارامترهای آماری توصیفی داده‌های خام

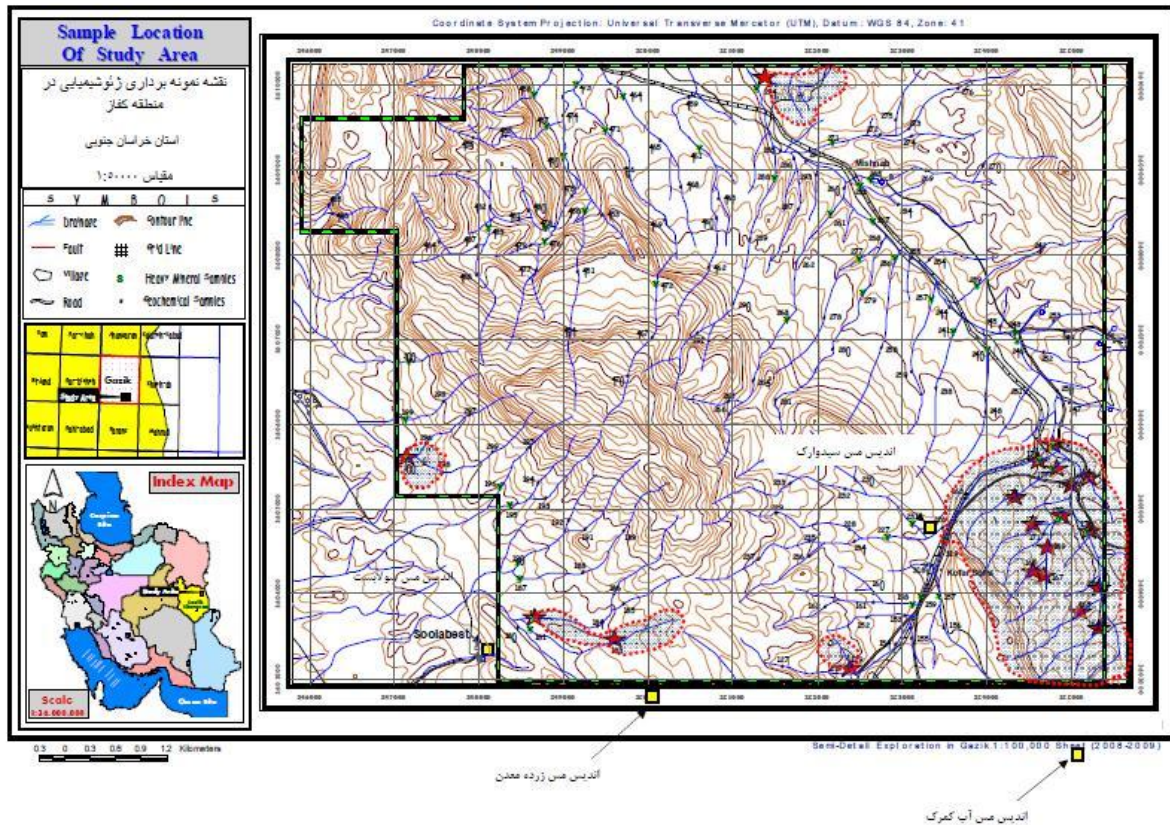
Elements (ppm)	Mean	Mode	Cv%	Std Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Median	Maximum
Au (ppb)	0.002	0.002	79.77	0.002	0	3.14	14.74	0.001	0.002	0.01
Ag	0.02	0.02	48.23	0.01	0	0.93	4.84	0.01	0.02	0.05
Al	1.54	1.48	7.75	0.12	0.01	0.45	4.59	1.09	1.53	2.02
As	9.47	10	31.13	3.03	9.2	-0.02	3.22	4	10	18
Ba	88.63	90	41.52	36.8	1354.4	0.3	2.59	40	90	200
Be	0.5	0.49	35.05	0.18	0.03	0.48	2.96	0.19	0.49	0.95
Bi	0.16	0.14	40.82	0.06	0	1.19	4.92	0.05	0.15	0.35
Ca	7.92	8.14	26.67	2.11	4.46	-0.98	3.02	3.49	8.35	11.15
Cd	0.17	0.18	33.61	0.06	0	0.15	2.19	0.08	0.18	0.29
Ce	21.65	22.4	24.61	5.33	28.4	0.03	2.92	11.55	22.3	33.6
Co	20.37	18	51.24	10.44	109	1.66	4.23	9.2	16.7	46.7
Cr	128	63	135	173	29825	1.9	4.69	28	60	557
Cs	1.08	0.95	17.93	0.19	0.04	0.64	2	0.77	0.99	1.52
Cu	26.26	28.2	12.83	3.37	11.35	-0.71	2.4	17.6	27.45	33.2
Fe	2.82	2.46	15.7	0.44	0.2	1.01	2.67	1.92	2.61	3.8
Ga	4.43	4.36	11.69	0.52	0.27	0.67	3.18	3	4.34	5.66
Ge	0.06	0.04	39.35	0.02	0.001	0.83	2.46	0.04	0.06	0.11
Hf	0.21	0.15	65.23	0.14	0.02	2.14	6.95	0.07	0.18	0.68
Hg	0.02	0.02	43.29	0.01	0	4.55	40.21	0.01	0.02	0.11
In	0.02	0.03	17.2	0	0	-1.05	3.35	0.01	0.03	0.03
K	0.17	0.19	19.1	0.03	0.001	-0.07	2.29	0.11	0.18	0.24
La	10.32	10.2	25.87	2.67	7.13	0.16	2.84	5.6	10.5	16.4
Li	19	20.3	34.64	6.58	43.34	1.58	5.97	9.20	17.8	39.9
Mg	2.78	1.56	115.96	3.22	10.37	1.91	4.71	1.06	1.55	10.8
Mn	686.51	661	16.58	113.83	12957	0.95	4.36	433	687	1030
Mo	0.68	0.56	29.65	0.2	0.04	0.61	3.81	0.34	0.7	1.34
Na	0.04	0.04	18.51	0.01	0	0.31	2.3	0.02	0.04	0.05
Nb	0.23	0.1	56.36	0.13	0.02	0.67	1.86	0.08	0.18	0.5
Ni	173	53.8	146	252	63617	1.92	4.73	46	69.45	809
P	482	460	20.35	98.07	9617	1.93	6.57	350	460	790
Pb	12.54	5.1	50.5	6.33	40.1	1.83	6.47	5	12.1	32.7
Rb	8.74	6.7	21.71	1.9	3.6	0.28	1.69	5.9	8.45	13
S	0.03	0.02	63.15	0.02	0.0003	0.94	2.95	0.01	0.02	0.07
Sb	0.4	0.49	43.04	0.17	0.03	-0.05	2.72	0.09	0.45	0.83
Sc	6.13	5.4	15.91	0.98	0.95	-0.1	2.07	3.7	6.2	8.4
Se	0.54	0.6	24.67	0.13	0.02	-0.21	2.74	0.2	0.6	0.9
Sn	0.59	0.5	37.08	0.22	0.05	1.28	4.67	0.3	0.5	1.2
Sr	233	233	26.59	61.94	3837	-0.26	2.13	129.5	238	344
Te	0.04	0.04	23.49	0.01	0	0.49	3.16	0.02	0.04	0.07
Th	2.72	3.4	21.9	0.6	0.36	0	2.06	1.6	2.7	3.7
Ti	0.09	0.07	56.47	0.05	0.003	1.39	5.36	0.01	0.08	0.25
Tl	0.05	0.05	24.23	0.01	0.0002	0.46	2.85	0.03	0.05	0.08
U	0.55	0.55	20.18	0.11	0.01	0.71	2.71	0.38	0.52	0.91
V	47.49	47.49	17.49	8.31	68.98	-1.02	4.54	25	47.5	63
W	0.15	0.15	51.2	0.08	0.01	1.59	5.44	0.06	0.15	0.44
Y	10.53	10.53	17.46	1.84	3.38	-1.11	3.19	6.44	11.15	13.3
Zn	48.21	48.21	10.8	5.21	27.1	1.06	3.93	39	48	64
Zr	7.41	7.41	54.77	4.06	16.47	1.83	6.15	1.9	6.5	19.7



جدول ۲- پارامترهای آماری توصیفی داده‌های نرمال

Elements (ppm) or Ln[Elements (ppm)]	Mean	Mode	Cv%	Std Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Median	Maximum
Ln(Au (ppb))	-6.41	-6.21	-8.68	0.56	0.31	0.56	3.26	-7.26	-6.21	-4.83
Ln(Ag)	-4.26	-3.91	-11.52	0.49	0.24	-0.12	1.73	-4.96	-3.91	-3.22
Al	0.43	0.39	16.48	0.07	0.01	0.36	2.51	0.29	0.42	0.58
Ln(As)	9.74	4.4	30.57	2.98	8.87	-0.06	3.08	4	10	17
Ba	88.21	90	40.53	35.75	1278	0.13	2	40	90	170
Be	0.5	0.49	34.95	0.18	0.03	0.46	2.92	0.19	0.49	0.91
Bi	0.15	0.14	32.84	0.05	0.003	0.49	3.7	0.07	0.15	0.29
Ca	7.93	3.7	26.45	2.1	4.39	-0.98	3	3.7	8.35	10.95
Cd	0.17	0.18	33.61	0.06	0.003	0.15	2.19	0.08	0.18	0.29
Ce	21.65	22.4	24.61	5.33	28.4	0.03	2.92	11.55	22	34
Ln(Co)	1.41	-1.61	91.18	1.28	1.65	-0.24	2.85	-1.61	1.55	3.51
Cr	3.52	3.58	40.24	1.42	2.01	0.36	3.47	0	3.5	6.25
Ln(Cs)	0.06	-0.05	297.87	0.17	0.03	0.49	1.82	-0.2	-0.01	0.39
Ln(Cu)	26.28	28.2	12.61	3.32	10.99	-0.65	2.22	19.6	27.45	33.2
Ln(Fe)	0.04	-0.27	826.09	0.37	0.13	0.28	3.8	-1.51	-0.1	0.74
Ga	1.48	1.47	7.71	0.11	0.01	0.32	3.39	1.1	1.47	1.73
Ln(Ge)	-2.9	-3.28	-12.8	0.37	0.14	0.42	1.86	-3.28	-2.81	-2.21
Ln(Hf)	-2.08	-2.3	-34.87	0.72	0.52	-0.01	3.82	-3.91	-2.04	-0.46
Ln(Hg)	-3.85	-3.91	-8.75	0.34	0.11	-0.31	4.27	-4.61	-3.91	-2.81
In	0.02	0.03	11.69	0.003	0	-0.2	2.33	0.02	0.03	0.03
Ln(K)	-1.77	-1.66	-11.23	0.2	0.04	-0.43	2.39	-2.21	-1.71	-1.43
La	10.32	10.2	25.87	2.67	7.13	0.16	2.84	5.6	10.5	16.4
Li	2.89	3.01	10.88	0.31	0.1	0.33	3.91	2.24	2.88	3.69
Ln(Mg)	-1.1	-0.77	-163.16	1.79	3.22	0.49	2.52	-4.2	-0.79	2.27
Ln(Mn)	671.99	533	11.89	79.87	6379	-0.39	2.17	533	687	806
Mo	0.66	0.56	28.92	0.2	0.04	0.45	3.34	0.34	0.7	1.18
Na	0.04	0.04	18.51	0.01	0.00005	0.31	2.3	0.02	0.04	0.05
Ln(Nb)	-1.63	-2.3	-33.9	0.55	0.31	0.26	1.63	-2.53	-1.74	-0.76
Ln(Ni)	2.92	-1.61	68.65	2	4.01	0.3	2.98	-1.61	3.08	6.61
P	5.09	5.08	9.23	0.47	0.22	0.17	4.06	3.91	5.08	6.19
Ln(Pb)	2.4	1.63	16.91	0.41	0.16	-0.28	3.41	1.61	2.49	3.43
Rb	8.74	6.7	21.71	1.9	3.6	0.28	1.69	5.9	8.45	13
Ln(S)	-3.83	-3.91	-16.95	0.65	0.42	-0.06	2.04	-4.89	-3.91	-2.66
Ln(Sb)	0.4	0.49	43.04	0.17	0.03	-0.05	2.27	0.09	0.45	0.83
Ln(Se)	6.14	5.4	15.65	0.96	0.92	-0.07	1.9	4.4	6.2	8.1
Ln(Se)	0.54	0.6	24.67	0.13	0.02	-0.21	2.74	0.2	0.6	0.9
Ln(Sn)	-0.6	-0.69	-57	0.34	0.12	0.24	2.89	-1.2	-0.69	0.14
Ln(Sr)	232.85	233	26.5	61.71	3808	-0.27	2.11	130	238	335
Te	0.04	0.04	23.49	0.01	0	0.49	3.16	0.02	0.04	0.07
Ln(Th)	2.74	3.4	21.9	0.6	0.36	-0.34	2.06	1.6	2.7	3.7
Ln(Ti)	-1.67	-1.75	-15.2	0.25	0.06	0.32	4.29	-2.23	-1.73	-1.05
Tl	0.05	0.05	24.23	0.01	0	0.46	2.85	0.03	0.05	0.08
Ln(U)	-0.63	-0.69	-30.7	0.19	0.04	0.32	2.04	-0.97	-0.66	-0.21
V	3.16	2.94	6.25	0.2	0.04	0.69	2.34	2.94	3.11	3.56
Ln(W)	-1.99	-2.41	-22.51	0.45	0.2	0.5	2.64	-2.81	-1.9	-0.92
Ln(Y)	10.58	7.1	16.28	1.72	2.97	-1.01	3	7.1	11.15	13
Zn	2.86	2.89	9.36	0.27	0.07	0.3	3.03	2.2	2.89	3.47
Zr	1.88	1.95	26.35	0.5	0.25	-0.09	4.32	0.64	1.87	2.98





شکل ۵- نقشه محل آنومالی‌ها و کانه‌زایی‌ها در منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۶-۱- آنومالی شماره ۱

این محدوده در جنوب شرقی منطقه کفاز سفلی جای گرفته است. در بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده ناهنجاری‌های عناصر طلا، مس، مولیبدن، سرب، روی، نقره، آرسنیک، آنتیموان و بیسموت به ثبت رسیده است. این آنومالی به لحاظ زمین‌شناسی از واحدهای شیل و ماسه‌سنگ و آهک بیواسپاریتی تشکیل شده است. در مرحله کنترل آنومالی‌ها مشخص گردید که آندیس‌های سیدوارک و آب کمرک منشأ این آنومالی‌ها بوده‌اند.

آندیس سیدوارک در نقطه‌ای به فاصله‌ای حدود ۵۰۰ متری روستای کفاز قرار دارد. لیتولوژی عمومی آن شامل آهک‌های توده‌ای به سن پالئوسن، ماسه‌سنگ و گِل‌سنگ قرمز، آندزیت پورفیری و آندزیت سیاه مایل به قرمز می‌باشد. کانه‌زایی در داخل آندزیت انجام شده است. مرز آهک با آندزیت به نظر گسلی است. این بخش آندزیتی مانند دیگر واحدهای این منطقه دارای روند شمالی- جنوبی می‌باشد.

آلتراسیون از نوع لیمونیتی شدن و سیلیسی شدن در بخش‌هایی از آندزیت مشاهده می‌شود که موجب مقاومت بیشتر آنها در مقابل ضربه چکش شده است. در طول این زون آندزیتی، آثار محدودی از کانه‌زایی مس به صورت ملاکیت، همراه این بخش آلتره، قابل ردیابی می‌باشد. به‌عنوان مثال یکی از رخنمون‌های مس‌دار در این واحد با طول تقریبی ۵ متر و عرض نیم‌متر دیده می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- رگه مس در میان آندزیت شمال غرب روستای کفاز

بر اساس آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های معدنی سیدوارک مقدار عیار مس حدود ۴ درصد است. ضخامت رگه‌های مس عمدتاً ناچیز بوده و فاقد ارزش اقتصادی و معدنکاری می‌باشند.

نکته قابل ذکر در مورد این محدوده همراهی دایک‌های آندزیت پورفیری با رخنمون‌های کوچک کانی‌سازی مس در داخل آندزیت می‌باشد. بدین ترتیب در منطقه مورد مطالعه می‌توان از دایک‌های آندزیت پورفیری



(شکل ۷). لیتولوژی عمومی آن شامل سنگ‌های ولکانیک مافیک می‌باشد که در میان مجموعه افیولیت قرار گرفته‌اند. بر اثر آلتراسیون، بخش‌هایی از این سنگ‌ها سرپانتینی شده است. همبری این سنگ‌های مافیک با آهک-های پالئوسن به شکل گسله می‌باشد. روند عمومی این واحد حدوداً شمالی-جنوبی تا شمال غرب-جنوب شرق است.

که به نظر عامل آلتراسیون سنگ‌های میزبان آندزیتی نیز می‌باشند، به‌عنوان یک کلید اکتشافی در امر اکتشاف مس کمک گرفت.

همچنین در ۴ کیلومتری جنوب روستای کفاز در مختصات  $X=254845$  و  $Y=3601798$ ، در نزدیکی چشمه‌ای به نام آب کمرک رخنمونی از مس وجود دارد که به نام اندیس آب کمرک نامیده می‌شود



شکل ۷- نمایی نزدیک از کانه‌زایی مس در اندیس مس آب کمرک

شناسی از واحد آندزیت پورفیری و شیل تشکیل شده و در بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده برای عناصر مس، قلع و تنگستن ناهنجاری نشان داده است. عامل ایجاد این آنومالی‌ها اندیس‌های معدنی سولابست و زرده معدن می‌باشند.

اندیس مس سولابست با مختصات  $X=247301$  و  $Y=3602871$  در فاصله حدود ۸۰۰ متری جنوب غرب روستای سولابست در محلی به نام چاه شن (Shan) قرار دارد.

لیتولوژی عمومی آن شامل آهک رادیولاریتی قرمز رنگ همراه با زاسپ و چرت که در آن رگه‌های کلسیت ثانوی وجود دارد می‌باشد. بخش سطحی آهک رادیولاریتی بر اثر حضور اکسیدهای منگنز به رنگ سیاه در آمده است (شکل ۸). مس به شکل آثار مالاکیتی در داخل سنگ ولکانیکی بازیک مجاور آهک‌های رادیولاریتی در چند نقطه دیده می‌شود.

لازم به توضیح است که در واحد آهک رادیولاریتی تعدادی ترانشه با عمق کم و عمود بر روند لایه‌بندی حفر گردیده است. علی‌رغم اظهارات مردم محلی مبنی بر اینکه ترانشه‌های اکتشافی جهت اکتشاف مس حفر شده‌اند در داخل آنها هیچگونه ماده معدنی مشاهده نمی‌گردد.

کانه‌سازی مس در میان سنگ ولکانیک فوق‌الذکر در امتداد شکستگی‌ها در دو جهت مختلف است. به‌عبارت دیگر کانه‌سازی در امتداد-های تقریباً شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در میان سنگ‌های ولکانیک بازیک صورت پذیرفته است. آثار مس به‌طور پراکنده در میان شکستگی‌ها دیده می‌شود به همین دلیل نمی‌توان از ضخامت رگه‌ها و زون کانه‌سازی برآورد درستی داشت. آثار مس را در طول حدود ۱۵۰ متر و عرض ۵۰ متر می‌توان دید. در مطالعات و تحلیل‌های ژئوشیمیایی و ترسیم دندروگرام نیز این نکته اثبات شد که مس با مجموعه عناصر کروم، نیکل، کبالت، تیتانیوم، اسکاندیم همراه می‌باشد که در شواهد صحرایی نیز مشاهده گردیده است. آثار ظاهری از ذخیره قابل ملاحظه‌ای خبر نمی‌دهد ولی مطالعات ژئوفیزیکی و حفر ترانشه می‌تواند وضعیت را بهتر نشان دهد.

#### ۴-۶-۲- آنومالی شماره ۲

محدوده دوم که در بخش جنوبی منطقه جای گرفته و به لحاظ زمین-





شکل ۸- باند سیلیس رادیولاریتی آغشته به منگنز که بطور محدود آغشته به مالاکیت است (نگاه به سمت شمال شرق)

۳۰ متر می‌باشد. مجموعه سنگ در امتداد این زون کاملاً برشی شده می‌باشد. در امتداد گسل یاد شده رگه‌ای از سیلیس نفوذ نموده که در مراحل بعدی در اثر نیروهای تکتونیکی به شکل بودیناژ در آمده است (شکل ۹). این رگه سیلیسی آغشته به لیمونیت می‌باشد (شکل ۱۰). مس در میان بخش برشی یعنی سنگ بازیک دگرگون شده وجود دارد. نوعی تجمع کانه مس (مالاکیت) در اطراف بودیناژ سیلیس دیده می‌شود. در داخل سیلیس مقدار مس کم است ولی در داخل رگه سیلیسی قالب‌های تجزیه شده‌ای از پیریت وجود دارد.

اندیس دیگری که در محدوده آنومالی شماره ۲ قرار گرفته اندیس زرده معدن نام دارد. این اندیس با مختصات  $X=249665$  و  $Y=3602817$  در فاصله حدود ۵ کیلومتری غرب روستای کفاز در محلی به نام زرده معدن قرار دارد.

لیتولوژی عمومی آن شامل سنگ‌های ولکانیک بازیک دگرگون شده است که در آن تورق اسلیتی مشاهده می‌شود.

کانه‌زایی در میان سنگ بازیک دگرگون شده و در امتداد گسلی با روند  $N60W$  و شیب ۷۰ درجه به سمت جنوب اتفاق افتاده است. ضخامت زون کانه‌سازی حدود ۳/۵ متر و طول کانه‌سازی قابل مشاهده در سطح حدود



شکل ۹- نمایی نزدیکتر از کانه‌زایی مس در اطراف بودیناژ سیلیسی



شکل ۱۰- نفوذ سیلیس آغشته به لیمونیت در میان کالک‌شیت در امتداد شکستگی

#### ۴-۶-۳- آنومالی شماره ۳

با توجه به روند مطالعات و کنترل صحرایی ۵ آنومالی ژئوشیمیایی حاصل از مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، منشا آنومالی‌های ژئوشیمیایی ۱ و ۲ مرتبط با کانی‌زایی بوده و آنومالی‌های شماره ۳ و ۴ و ۵ فاقد کانی-زایی می‌باشند.

کانی‌زایی مس عمدتاً در سنگ‌هایی با منشا ولکانیکی رخ داده است. در آندزیت و آندزیت‌های پورفیری منطقه کانی‌زایی مس به صورت آغستگی مشاهده شده است، مس بیشترین همبستگی را با منگنز نشان داده است و سایر عناصر با مس همبستگی خوبی نشان نمی‌دهند.

در دندوگرام خوشه‌ای قرار گرفتن مس در خوشه مربوط به عناصری همچون منیزیم، نیکل، کروم و کبالت نشان‌دهنده آن است که ناهنجاری‌های منطقه با سنگ‌های دارای منشا مافیک در ارتباط می‌باشند. شواهد صحرایی موجود در منطقه نیز تحلیل‌های آماری چند متغیره را تایید کرده‌اند. بنابراین می‌توان در مطالعات آماری داده‌های ژئوشیمی از تحلیل‌های چندمتغیره و خصوصاً آنالیز خوشه‌ای استفاده کرد. البته تعداد داده‌های خوشه‌ای هر چه بیشتر باشد به اعتبار نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری می‌افزاید.

در این پژوهش از ۱۶۸ نمونه استفاده شده است که این تعداد نمونه در مساحتی به وسعت تقریبی ۶۰ کیلومترمربع برداشت شده است. چگالی نمونه‌برداری نیز در حدود ۲/۵ نمونه در هر کیلومترمربع بوده است که جهت اکتشافات مقدماتی چگالی مناسبی محسوب می‌شود.

#### مراجع

امینی، ص. و اسکندری، ا.، ۱۳۸۹، "کانه‌زایی در سنگ‌های متاسوماتیک جنوب خاوری بیرجند" مجموعه مقالات نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۰۶۰ صفحه.  
امینی، ص. و فتوحی‌راد، غ.، ۱۳۸۳، "ژئوشیمی و پتروژنز متابازیت‌های

این آنومالی در بخش شمال شرقی منطقه جای گرفته و در مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده ناهنجاری عناصر مس و نقره در آن به ثبت رسیده است. در کنترل صحرایی آنومالی شماره ۳ و در بالادست حوضه مربوطه، نمونه‌های معدنی و مشکوک به کانه‌زایی مشاهده نشد.

#### ۴-۶-۴- آنومالی شماره ۴

این محدوده که در بخش غربی منطقه جای گرفته از واحدهای کنگلومرا و آندزیت پورفیری تشکیل شده است. در بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام شده، این محدوده به لحاظ دارا بودن ناهنجاری‌های عناصر آهن، کروم، کبالت و نیکل جزء محدوده ناهنجار ژئوشیمیایی در نظر گرفته شده است. در بررسی‌های صحرایی انجام شده در محدوده این آنومالی نیز اندیسی مشاهده نگردید.

#### ۴-۶-۵- آنومالی شماره ۵

این محدوده در غرب منطقه واقع شده و از واحدهای شیل، کنگلومرا و آهک اسپاریتی تشکیل شده است. در بررسی‌های انجام شده در این محدوده عناصر آهن، کروم، کبالت و نیکل ناهنجاری نشان داده‌اند. وسعت این آنومالی کم بوده و فاقد ارزش اقتصادی و معدنکاری است.

#### نتیجه‌گیری

- منطقه گزیک" مجموعه مقالات بیست و سومین گردهمائی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۴۶ صفحه.
- بختیاری، س.، ۱۳۹۳، "اطلس راه‌های ایران" مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۳۰۸ صفحه.
- پرنده، س.، ۱۳۷۶، "روش‌های اکتشاف ژئوشیمیایی ذخایر معدنی" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۷۴ صفحه.
- حسنی‌پاک، ع.ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.
- علوی نائینی، م. و همکاران، ۱۹۸۳، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گزیک" سازمان زمین‌شناسی کشور.
- محبتی، ز.، ۱۳۹۳، "مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشافات مواد معدنی در محدوده کفاز سفلی در استان خراسان جنوبی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
- تهران، ۱۶۴ صفحه.
- مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۸، "گزارش اکتشاف ژئوشیمیایی در برگه یکصدهزارم گزیک" گزارش داخلی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۰۹ صفحه.
- Cohen, D.R., et al., 1999**, "Comparison of vegetation and stream sediment geochemical patterns in northeastern New South Wales", *Journal of geochemical Exploration* 66(3), P.469-489.
- Davis, J. C., 2002**, "Statistics and data analysis in geology", *John Wiley & Sons, 3rd Edition, P.656*.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E., 1983**, "The Sistan suture zone of eastern Iran", *Geological Society of America Bulletin*, V.94, P.134-150.
- Wellmer, F. W., 1997**, "Statistical evaluations in exploration for mineral deposits", *Springer-Verlag New York, P.379*.

Archive of SID