اکتشافات ژئوشیمیایی- کانی سنگین و معرفی محدوده‌های امیدبخش کانه‌دار در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز، استان زنجان

محمد بادفر[۱]، محمدرضا جان‌نثاری[۲*]، رضا حسین‌زاده[۳] و مجید قادری[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۲]دکترا، معاونت اکتشاف، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۳]کارشناس ارشد، گروه اکتشافات ناحیه‌ای، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۴]دانشیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹/ ۰۳/ ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۰۴/ ۰۹/ ۱۳۹۶

چکیده

این نوشتار، پژوهشی پیرامون اکتشافات ژئوشیمیایی و بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز در باختر استان زنجان و هدف از آن، معرفی مناطق امیدبخش معدنی در مقیاس ناحیه‌ای است. برای این منظور، نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت و به روش اسپکترومتر نشری، پلاروگرافی و ICP آنالیز شدند. سپس نتایج، مورد پردازش‌های آماری قرار گرفت و نمونه‌های بی‌هنجار به روش $\overline{X}+nS$ جدا شدند. در فاز کنترل، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به‌دست آمده با مطالعات کانی‌سنگین و زمین‌شناسی اقتصادی (مشاهدات صحرایی، مطالعه مقاطع صیقلی و نازک تهیه شده از زون‌های کانه‌دار و همچنین آنالیز نمونه‌های برداشت شده از این زون‌ها) بررسی و تأیید شدند. تلفیق نتایج حاصل از این مطالعات با بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مناطق امیدبخش معدنی مربوط به منطقه مورد مطالعه معرفی شدند که عبارتند از: الف) منطقه شمال- شمال خاوری دارای بی‌هنجاری‌های عناصر طلا، سرب، روی، مس، ب) منطقه شمال باختری دارای بی‌هنجاری‌های عناصر مس، طلا، آهن، مولیبدن، بیسموت و تنگستن و ج) منطقه جنوب- جنوب باختری دارای بی‌هنجاری‌های عناصر مس، سرب، روی، مولیبدن، منگنز و گوگرد.

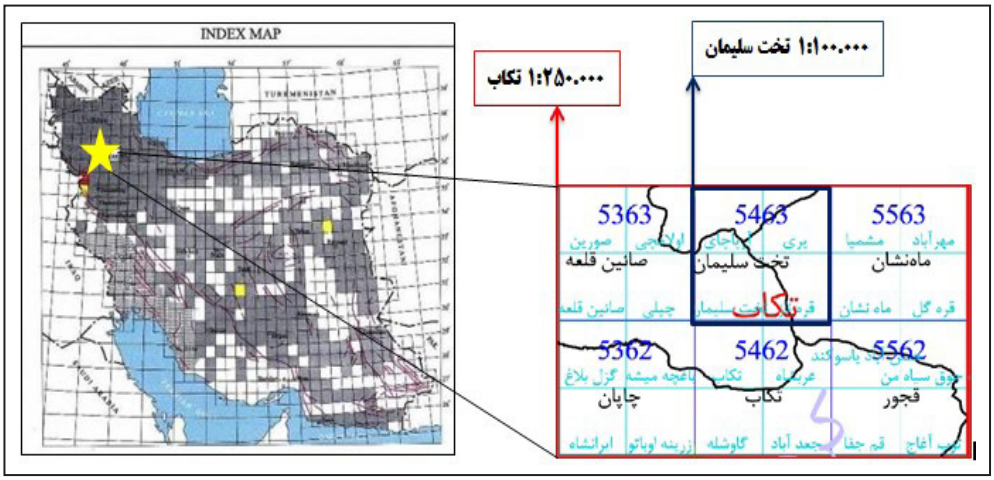
کلیدواژه‌ها: اکتشافات ژئوشیمیایی، کانی سنگین، زون کانه‌دار، محدوده‌های امیدبخش کانه‌دار، برگه قره‌ناز.

***نویسنده مسئول:** محمدرضا جان‌نثاری
E-mail: mrjanesari@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز با مختصات ´۱۵ °۴۷ تا ´۳۰ °۴۷ طول خاوری و ´۳۰ °۳۶ تا ´۴۵ °۳۶ عرض شمالی، در باختر استان زنجان و جنوب باختری ماه‌نشان واقع شده است (شکل ۱). این محدوده، نزدیک به ۶۲۵ کیلومتر مربع مساحت دارد. مهم‌ترین روستاهای محدوده مورد مطالعه عبارتند از قره‌ناز، قوزلو، انگوران، دندی و ساقرچی. نخستین پژوهش‌های انجام شده در منطقه در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ تکاب (Alavi-Naini et al., 1982) و ۱:۱۰۰،۰۰۰ تخت‌سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶) انجام شده است.

با توجه به وجود کانه‌زایی عناصر مختلف در منطقه و مناطق مجاور، در سال‌های اخیر بررسی‌هایی در قالب مقالات، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد و رساله دکترا نیز انجام شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به Daliran et al. (2002 and 2013)، Boni et al. (2007)، Gilg et al. (2006)، غضنفری (۱۳۷۰)، احمدی (۱۳۷۸)، حاجی‌علی‌اوغلی، (۱۳۸۶) و بادفر (۱۳۹۲) اشاره کرد. مقاله حاضر نتیجه بخشی از پروژه اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ تخت سلیمان به سرپرستی آقای مهندس رضا حسین‌زاده از گروه اکتشافات ناحیه‌ای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور است که با مطالعات تکمیلی در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد (بادفر، ۱۳۹۲) ارائه شده است. هدف از این مطالعه، مشخص کردن میزان استعداد کانه‌زایی در منطقه قره‌ناز از لحاظ ژئوشیمیایی است. در مطالعات ژئوشیمیایی تشخیص بی‌هنجاری‌های واقعی از بی‌هنجاری‌های کاذب کار دشواری است و همچنین پیدایش یک عنصر بی‌هنجار، قابل تشخیص نیست. برای حل این مسائل، مطالعه نمونه‌های کانی سنگین توصیه می‌شود. چرا که مشاهده کانه فلزی در منطقه بی‌هنجار، می‌تواند دلیلی بر تأیید آن بی‌هنجاری باشد. به‌طوری که مطالعات ژئوشیمیایی کانی‌های سنگین از اوایل سده ۲۰ میلادی جهت آگاهی یافتن از منشأ رسوبات، همگام با رشد فناوری نوین تا به امروز به کار گرفته شده است (Mange and Wright, 2007).



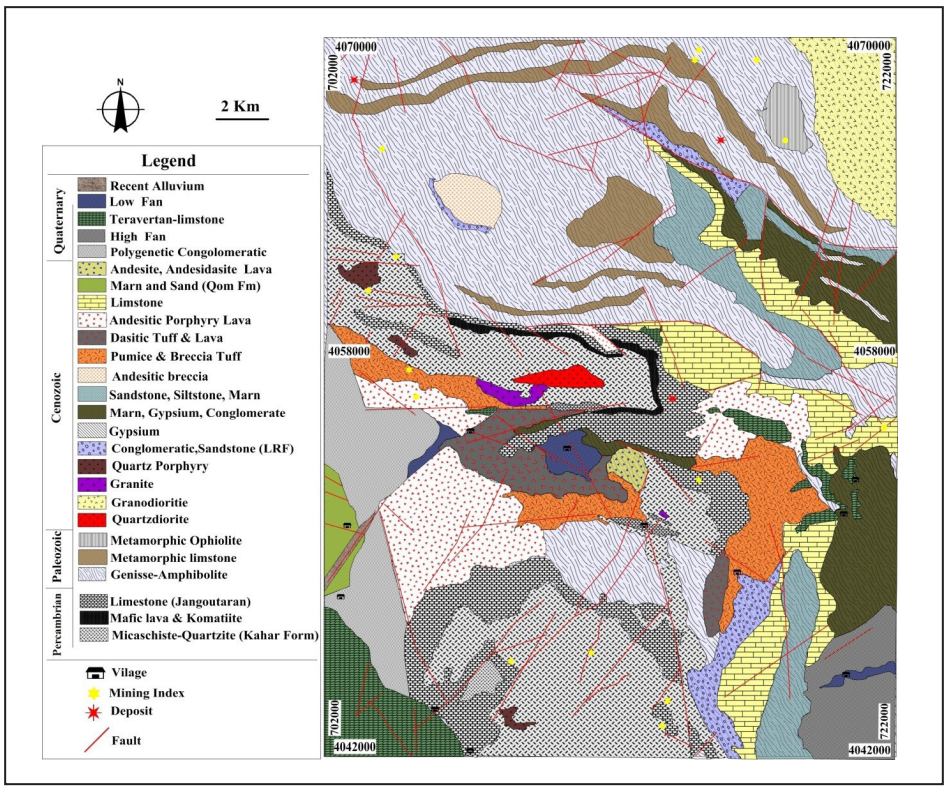
شکل ۱- موقعیت برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز.

۲- روش کار

اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ در محدوده قره‌ناز طی دو مرحله صورت پذیرفته است: مرحله اول شامل طراحی شبکه نمونه‌برداری و انجام عملیات نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای است و در مرحله دوم جهت کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به دست آمده، مبادرت به اخذ نمونه‌های کانی سنگین و نیز نمونه‌های سنگی (مینرالیزه) از نواحی کانی‌سازی شده، دگرسان شده و سیستم‌های کانالی محل عبور محلول‌ها شده است. در مجموع، ۲۲۰ نمونه ژئوشیمیایی آبراهه‌ای و ۴۷ نمونه کانی سنگین برداشت شد و برای پرهیز از آلودگی‌های محیطی در منطقه، فقط مرکز ثقل بخش‌های بالادست آبراهه که از آلودگی مصون است (Nude and Arhin, 2009؛ حسنی‌پاک، ۱۳۸۰) مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. همچنین ۶۲ عدد نمونه کانه‌دار برای کنترل بی‌هنجاری‌های حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمی آبراهه‌ای و کانی سنگین برای تهیه مقاطع صیقلی و نازک، و انجام آنالیزهای تجزیه دستگاهی و ICP به آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شد. ۳۰ نمونه تکراری برای کنترل و صحت نتایج، مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته‌اند. به‌منظور دست‌یابی به یک نتیجه‌گیری منطقی و جامع از کانه‌زایی‌های عناصر مختلف در برگه قره‌ناز، داده‌های خام ژئوشیمیایی گردآوری و ساماندهی شدند و مورد پردازش زمین‌آماری قرار گرفتند. در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی از نرم‌افزار SPSS و برای تهیه نقشه‌های بی‌هنجاری از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. در نهایت، با توجه به تمامی جوانب، با پردازش داده‌های ژئوشیمی و تلفیق آن با نتایج کانی سنگین، مناطق امیدبخش، معرفی، اولویت‌بندی و برای کنترل بی‌هنجاری پیشنهاد شده‌اند.

۳- زمین‌شناسی

ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت‌سلیمان (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶)، از نظر ساختمانی در محدوده سنندج- سیرجان (Stocklin, 1968)، زون خوی- مهاباد (نبوی، ۱۳۵۵) و محل برخورد زون‌های ساختمانی البرز- آذربایجان، ایران مرکزی و سنندج- سیرجان قرار دارد و از این رو دارای ویژگی‌های زون‌های یاد شده نیز است. برگه ۱:۵۰,۰۰۰ قره‌ناز در جنوب خاوری نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت سلیمان واقع (شکل ۱) و عمدتاً از سنگ‌های دگرگونی شیست، مرمر، آمفیبولیت و گنایس پوشیده شده است. قدیمی‌ترین واحد شناخته شده در منطقه شامل یک سری سنگ‌های دگرگونی میکاشیستی به رنگ سبز- خاکستری و کوارتزیت (سازندکهر) به سن پرکامبرین است که دو روند عمده شمال باختری- جنوب خاوری و شمالی- جنوبی دارند و بخشی از زون سنندج—سیرجان هستند (Aghanabati, 2006; Nutman et al., 2014). به نظر می‌رسد سنگ‌های دگرگونی که مجموعه‌ای با زمان پرکامبرین تا پالئوزوییک بالا را تشکیل می‌دهند، از دوران دوم تا اواسط ترشیری، بلندی‌های مرتفع را تشکیل می‌داده‌اند و هیچ‌گونه رسوب‌گذاری بر روی آنها صورت نگرفته و یا اینکه اندک رسوب‌گذاری احتمالی نیز در اثر بالاآمدگی و فرسایش از بین رفته است (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). به‌طور کلی، ردیف چینه‌ای منطقه مورد مطالعه از پایین به بالا شامل سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، سنگ‌های رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین و کامبرین- اردویسین، سنگ‌های دگرگونی پالئوزوییک، توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتی، سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن و نهشته‌های پلیوسن و کواترنر است (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین و پالئوزوییک را یک سری توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی، گرانیتی و کوارتز پورفیری قطع کرده است که به علت قرار گرفتن آنها در زیر رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی الیگومیوسن، سن دقیقی برای آنها نمی‌توان تعیین کرد. ولی با توجه به تشابهات کانی‌شناسی و نیز تأثیر آنها بر روی سنگ‌های رسوبی و دگرگونی پالئوزوییک، زمان تشکیل آنها را می‌توان به دوران دوم نسبت داد (باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۶). توده‌های نفوذی موجود در برگه ۱:۵۰,۰۰۰ قره‌ناز شامل توده نفوذی دیوریت- گابرویی (d)، توده نفوذی گرانودیوریتی (gd)، توده گرانیتی آق‌دره (g)، توده کوارتز پورفیری (qp) هستند (شکل ۲).



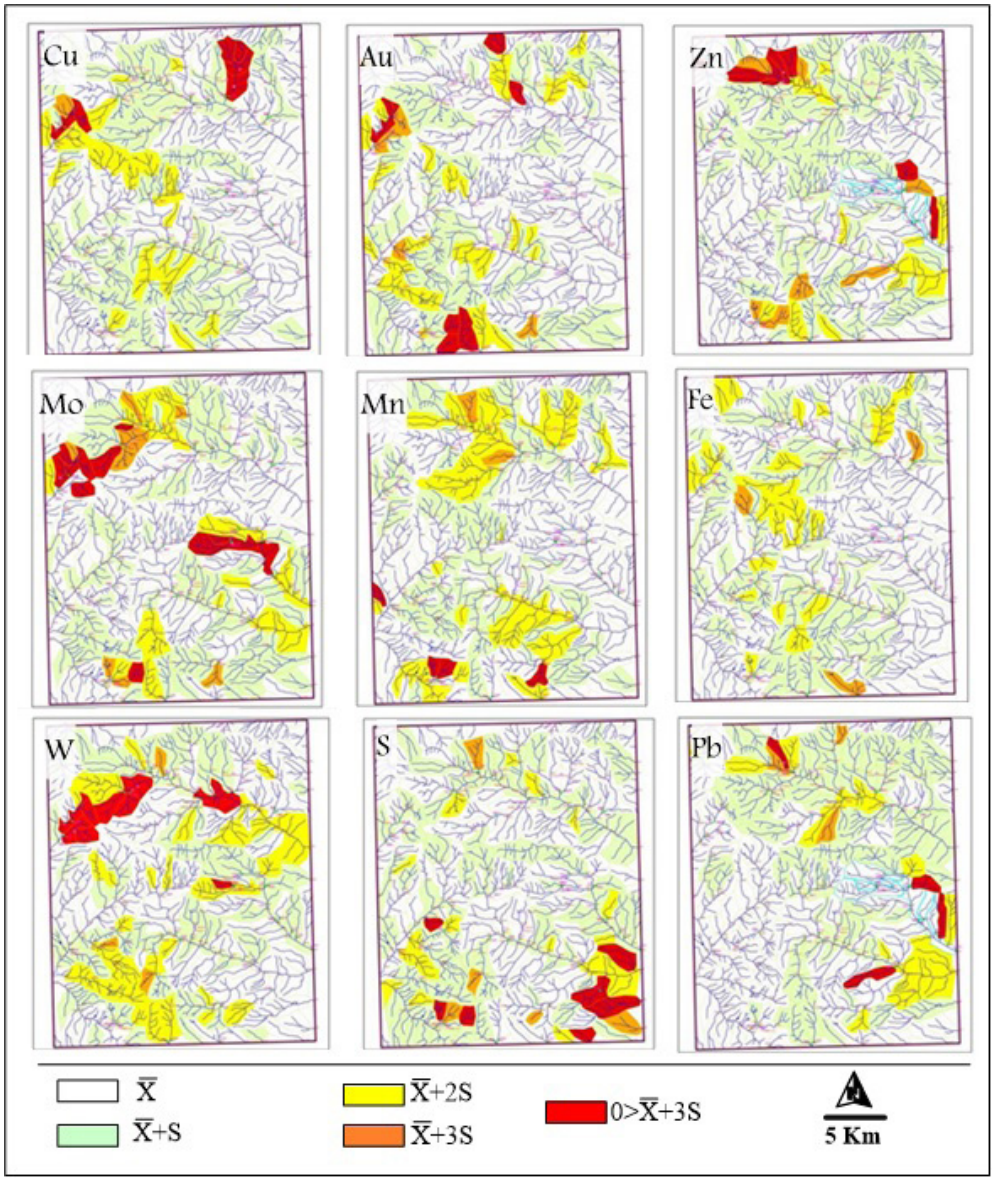
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۵۰,۰۰۰ قره‌ناز (ساده شده از باباخانی و قلمقاش، ۱۳۷۵).

۴- اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰

به منظور جداسازی رسوبات آبراهه‌ای مرتبط با کانی‌سازی احتمالی و آبراهه‌های بدون کانی‌سازی، که موجب تضعیف بیش از حد بی‌هنجاری‌ها می‌شود (Zuo et al., 2009)، حوضه‌های رسوبی مورد مطالعه به حوضه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شوند. جداسازی جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از داده‌های رسوبات آبراهه‌ای یک امر بسیار مهم در برنامه‌های اکتشافی ژئوشیمیایی منطقه‌ای است، به‌منظور مشخص کردن الگوهای مربوط به بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی، باید ویژگی‌های مختلفی از مجموعه داده‌های ژئوشیمیایی شامل توزیع فراوانی داده‌ها و تغییرپذیری مکانی آنها در نظر گرفته شود (Wang and Zuo, 2015). انواع روش‌های آماری کلاسیک مانند انتخاب حد آستانه برای جداسازی بی‌هنجاری‌ها، نمودارهای احتمال (Sinclair, 1976) و آنالیز داده‌های اکتشافی (Turkey, 1977)، در بسیاری از موارد ت کنون به کار گرفته شده‌اند. اما مشکل اصلی این روش‌ها، در نظر نگرفتن تغییرات فضایی داده‌ها و در نتیجه از دست دادن اطلاعات با ارزش از مجموعه داده‌های ژئوشیمیایی است (Wang and Zuo, 2015). با توجه به اهمیت مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای که می‌تواند در تشخیص محیط و فرایندهای مؤثر در اکتشافات مواد معدنی، غلظت و پراکندگی عناصر در رسوبات و تعیین عناصر ردیاب برای دسترسی به مناطق امیدبخش کمک کند، روش اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (Xie et al., 2010). ۲۲۰ نمونه رسوب آبراهه‌ای به‌منظور بارزسازی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مورد پردازش قرار گرفت که در ادامه نتایج حاصل از مجموعه مطالعات دفتری معمول در تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و ترسیم نقشه‌های مربوط خواهد آمد.

۵- تشریح بی‌هنجاری‌های عناصر مختلف در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز

برای رسم نقشه‌های بی‌هنجاری از روش جدایش بی‌هنجاری‌ها به روش X □+nS (بر اساس میانه و انحراف معیار) استفاده شده است (جدول ۱). شرط استفاده از این روش، فرض نرمال بودن داده‌هاست (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). بدین منظور، در این مرحله، از داده‌های نرمال شده استفاده شده است (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه بی‌هنجاری عناصر مس (Cu)، طلا (Au)، روی (Zn)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo)، تنگستن (W)، گوگرد (S) و سرب (Pb) بر پایه نتایج حاصل از تجزیه‌ی نمونه‌های آبراهه‌ای منطبق بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز. مقادیر عددی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- جدا کردن مقادیر بی‌هنجاری و زمینه برای هر کدام از عناصر.

	پارامتر مورد نظر	AU	CU	FE	MN	MO	PB	S	W	ZN
X median	میانه	0.0022	28.21	5.6	1078.39	1.57	36.84	280.54	1.08	100.6
S	انحراف معیار	0.0266	26.5	1.6	57.2	1.73	1.2	376.9	0.768	2.509
	زمینه	0.0288	54.71	7.2	1585.59	3.3	38.04	657.44	1.848	103.1
	حد آستانه‌ای	0.0552	81.21	8.8	2092.79	5.03	39.24	1034.34	2.616	105.6
	آنومالی ممکن	0.082	107.71	10.4	2599.99	6.76	40.44	1411.24	3.384	108.1
	آنومالی احتمالی	0.1086	134.21	12	3107.19	8.49	41.64	1788.14	4.152	110.6

۵- ۱. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی روی

حداکثر مقدار روی در محدوده مورد مطالعه معادل ppm ۳۵۰۰۰ در نمونه ۷۲۶۹ و حداقل آن برابر با ppm ۴۲/۲۷ در نمونه ۷۲۰۷ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۱۰۰/۵۷ است (شکل ۳- الف).

۵- ۲. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی طلا

حداقل مقدار طلا معادل ppb ۰/۰۰۱ در نمونه ۷۲۵۶ و حداکثر مقدار آن برابر با ppb ۰/۴ در نمونه ۷۲۲۳ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppb ۰/۰۰۲۲ است (شکل ۳- ب).

۵- ۳. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی مس

حداکثر مقدار مس معادل ppm ۲۲۰/۹ در نمونه ۷۲۱۲ و حداقل آن برابر با ppm ۳/۲۸ در نمونه ۷۲۵۶ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۲۸/۲۱ است (شکل ۳- پ).

۵- ۴. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی آهن

حداکثر مقدار آهن معادل ۹/۵۲ درصد در نمونه ۷۲۰۰ و حداقل آن برابر با ۱/۷۲ درصد در نمونه ۷۲۷۱ اندازه‌گیری شده ومیانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ۵/۶۳ درصد است (شکل ۳- ت).

۵- ۵. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی منگنز

حداکثر مقدار منگنز معادل ppm ۵۹۲۸/۳۳ در نمونه ۷۳۵۵ و حداقل آن برابر با ppm ۴۰۸/۵۲ در نمونه ۷۳۸۲ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۱۰۷۸/۳۸ است (شکل ۳- ث).

۵- ۶. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی مولیبدن

حداکثر مقدار مولیبدن معادل ppm ۱۷/۶ در نمونه ۷۴۰۱ و حداقل آن برابر با ppm ۰/۳۸ در نمونه ۷۳۹۲ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۱/۵۶ است (شکل ۳- ج).

۵- ۷. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی سرب

حداکثر مقدار سرب معادل ppm ۱۵۰۰۰ در نمونه ۷۲۶۹ و حداقل آن ppm ۶/۵۴ در نمونه ۷۳۹۶ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۳۶/۸۳ است (برای نشان دادن بی‌هنجاری‌های دیگر مناطق برگه مطالعاتی و به دلیل بالا بودن مقادیر سرب و روی در محدوده انگوران، داده‌های مربوط به این محدوده برای نشان دادن دیگر بی‌هنجاری‌های موجود در برگه حذف شده‌اند (شکل ۳- چ).

۵- ۸. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی گوگرد

حداکثر مقدار گوگرد معادل ppm ۳۴۳۱/۵۳ در نمونه ۷۳۴۶ و حداقل آن برابر با ppm ۶۲/۳۴ در نمونه ۷۱۲۶ اندازه‌گیری شده است. میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۲۸۰/۵۳ است (شکل ۳- ح).

۵- ۹. بی‌هنجاری ژئوشیمیایی تنگستن

حداکثر مقدار تنگستن معادل ppm ۶/۱۴ در نمونه ۷۳۹۹ و حداقل آن برابر با ppm ۰/۳۸ در نمونه ۷۱۸۱ اندازه‌گیری شده و میانگین این عنصر در برگه قره‌ناز معادل ppm ۱/۰۸ است (شکل ۳- خ).

۶- کنترل بی‌هنجاری‌ها به روش کانی سنگین در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز

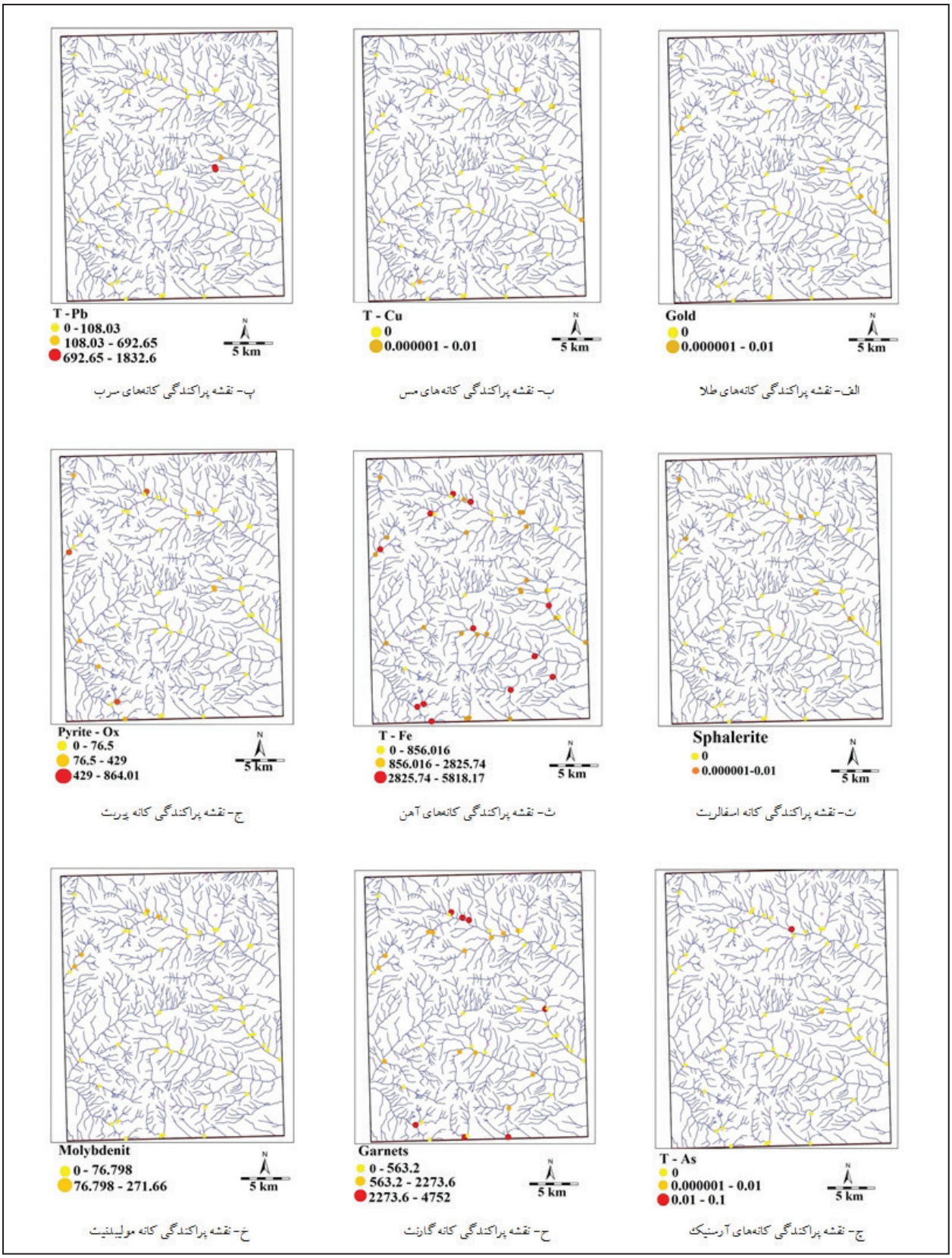
جهت تشخیص بی‌هنجاری‌های واقعی از بی‌هنجاری‌های کاذب و مشاهده کانه‌های فلزی در منطقه بی‌هنجار، اقدام به برداشت و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین شد. چرا که مشاهده کانه فلزی در منطقه بی‌هنجار، دلیلی بر تأیید آن بی‌هنجاری خواهد بود و حضور کانی‌های مستقل یک عنصر یا کانی‌های پاراژنز آن، بیانگر ارتباط بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به دست آمده با فاز کانه‌زایی است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های معمولاً مدنظر در مطالعات ژئوشیمیایی، چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط این عناصر با یکدیگر است. با استفاده از این روابط، تا حدودی می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرایندهای مؤثر در شکل‌گیری کانسار پی برد (Barnes, 1997). مطالعات ژئوشیمیایی کانی‌های سنگین از اوایل سده ۲۰ میلادی جهت آگاهی یافتن از منشأ رسوبات، همگام با رشد فناوری نوین تا به امروز به کار گرفته شده است (Mange and Wright, 2007). بزرگ‌ترین مزیت روش مطالعه کانی‌های سنگین در مقایسه با مطالعه سنگ‌نگاری آنها در مقاطع نازک، تمرکز بسیار کم کانی‌های سنگین درون مایعات سنگین و مطالعه آنها در جایی است که معمولاً نمی‌توانند طی مطالعات مقاطع نازک تشخیص داده شوند (Mange and Maurer, 1992). ۴۷ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای، جهت مطالعات کانی سنگین، برداشت شد. همزمان با برداشت نمونه‌های کانی سنگین، اقدام به کنترل چکشی مناطق دارای بی‌هنجاری ژئوشیمیایی شد و ۳۸ نمونه کانه‌دار نیز برداشت شده‌اند. در ادامه، نقشه‌های مربوط به هر یک از کانی‌های سنگین طلا، کانی‌های مس، کانی‌های سرب، کانی‌های روی، کانی‌های آهن، پیریت، پیریت اکسیده شده، کانی‌های آرسنیک، گارنت، مولیبدنیت، پیرولوزیت و شیلیت آورده شده است (شکل ۴).

۷- معرفی محدوده‌های امیدبخش و مطالعه مقدماتی کانی‌سازی در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز

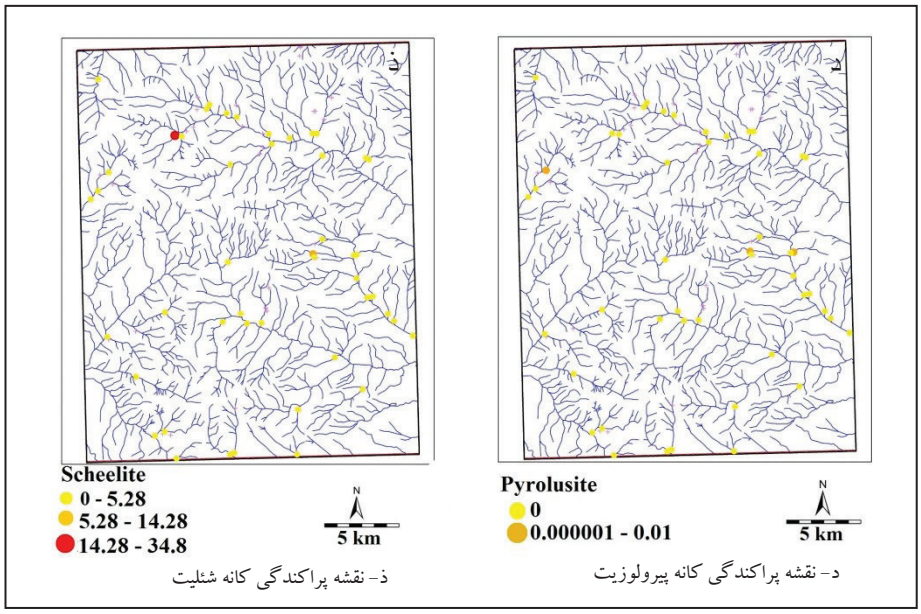
همان‌گونه که در بخش‌های قبل بیان شد و بر اساس مطالعات Barnes (1997) و Mange and Wright (2007) به منظور تعیین مناطق امیدبخش، نتایج داده‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین با هم تلفیق شد. شواهد صحرایی و همچنین نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌برداری و نقشه‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین، نشان‌دهنده ۵ محدوده امیدبخش مهم در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز است که از شماره ۱ تا ۵ شماره‌گذاری شده‌اند (شکل ۵). محدوده شماره ۲ مربوط به معدن علم‌کندی و محدوده شماره ۴ در ارتباط با معدن انگوران است. به منظور معرفی نواحی امیدبخش نهایی، اقدام

به کنترل صحرایی این مناطق و نمونه‌برداری تکمیلی از زون‌های کانه‌دار برای انجام آنالیزهای شیمیایی و مطالعات کانی‌شناسی و کانه‌نگاری شده است. صرفاً ۳ محدوده امیدبخش (محدوده‌های امیدبخش شماره ۱، ۳ و ۵) مورد بررسی‌های تکمیلی قرار گرفت و طی پیمایش‌های صحرایی، ۲۴ نمونه لیتوژئوشیمیایی از آنها برداشت شد. با توجه به مطالعات پیشین انجام شده در محدوده‌های امیدبخش شماره ۲ (محدوده اطراف معدن علم‌کندی) و شماره ۴ (محدوده اطراف معدن انگوران)، از برداشت نمونه‌های کانه‌دار و از تکرار عملیات انجام شده قبلی خودداری و بیشترین مطالعات و برداشت نمونه‌ها بر روی سایر محدوده‌ها متمرکز شده است.

نتایج حاصل از تمامی مطالعات در محدوده‌های امیدبخش شماره ۱، ۳ و ۵ به شرح زیر هستند:



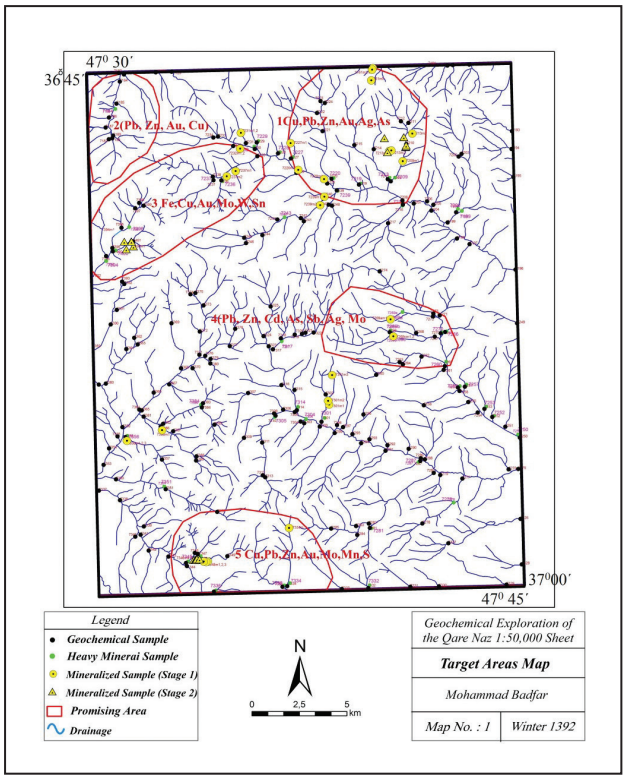
شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری و پراکندگی کانه‌های سنگین در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز.



ذ- نقشه پراکندگی کانه شئلیت

د- نقشه پراکندگی کانه پیرولوزیت

ادامه شکل ۴-



شکل ۵- موقعیت محدوده‌های امیدبخش معرفی شده (به همراه شبکه نمونه‌برداری) در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز.

۷- ۱. محدوده امیدبخش شماره ۱

این محدوده امیدبخش در بخش‌های شمال- شمال خاوری برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز واقع شده است. در این محدوده عناصر Ti، W، Sn، Sb، Ag، Au، Zn، Pb، Cu و Ba بی‌هنجاری نشان داده‌اند. نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده از این محدوده، واجد مقادیر فراوانی به‌ترتیب از کانه‌های عناصر آهن، باریم، و تیتانیم بوده‌اند. در برخی از این نمونه‌ها، ذراتی از کانه‌های عناصر (به‌ترتیب فراوانی) سرب، تنگستن، روی، مس، آرسنیک، جیوه و طلا نیز مشاهده شده است. طی مرحله کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به روش کانی سنگین، ۱۱ نمونه کانه‌دار از بخش‌های مختلف این محدوده گرفته شده است (جدول ۲). ۴ نمونه اخذ شده از بخش شمالی این محدوده، واجد مقادیری از ۱ تا ۴/۵ % مس، ۱۹۷ ppm تا ۰/۶۳ % روی، ۳۶ ppm تا ۰/۸۱ % سرب، ۲/۷ تا ۱۸۹/۶ ppm نقره، و ۹۰ تا ۲۱۳ ppb طلا بوده‌اند. در ۳ نمونه اخذ شده از بخش جنوب باختری محدوده، صرفاً مقادیر مربوط به مس از ۰/۰۲ % تا ۲/۱۳ % قابل توجه است و سایر عناصر، عیارهای خوبی ندارند. به نظر می‌رسد همبستگی خوبی بین عناصر مس و طلا در این بخش وجود داشته باشد. در ۴ نمونه اخذ شده از بخش خاوری محدوده، مقادیر قابل توجهی از مس تا ۱۲/۶۶ % اندازه‌گیری شده است. علاوه بر این نمونه، ۲ نمونه دیگری که از بخش خاوری محدوده اخذ شده‌اند نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از مس به میزان ۶/۲۰ تا ۹/۸۶ % بوده‌اند. نکته قابل توجه اینکه، تنها در یک نمونه مقدار ۰/۱۴ % روی به ثبت رسیده و همچنین بیشترین میزان طلا به مقدار ۱۴۸ ppb نیز در همین نمونه اندازه‌گیری شده است. این نمونه مربوط به بخش جنوبی محدوده اکتشافی قوزلو است.

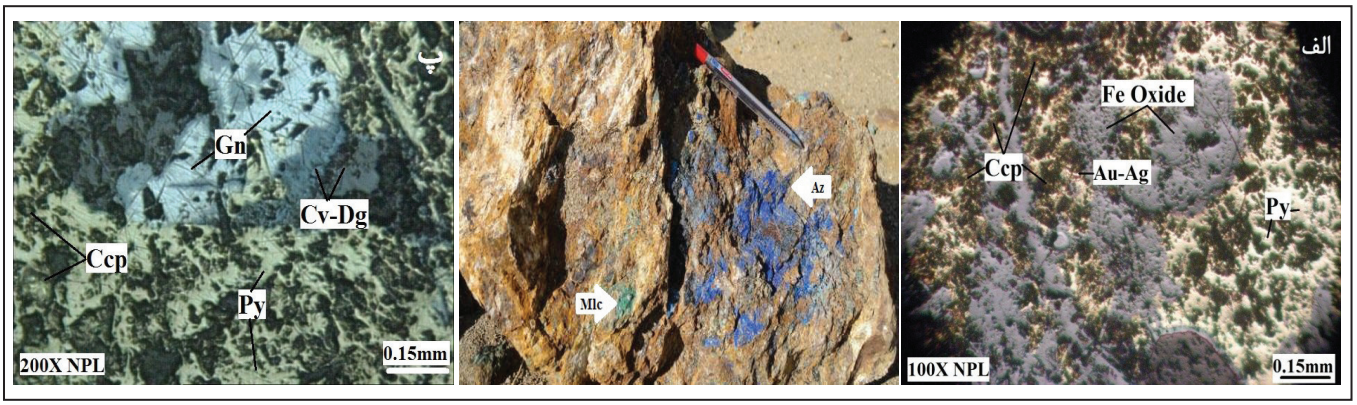
جدول ۲- مهم‌ترین نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از محدوده امیدبخش شماره ۱ طی کنترل بی‌هنجاری‌ها به روش کانی‌سنگین.

Sample No.	Area	X	Y	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
7161m2	North	715932	4069810	213	189.6	1.02	0.10 %	0.63 %
7161m3		702989	4050040	90	23.8	1.84	38	197
7161m4		715895	4069730	98	180.3	1.58	0.81 %	0.34 %
7161m5		715846	4069160	121	2.7	4.50	36	647
7209m1	East	717506	4064870	8	0.7	0.03	20	58
7213m1		716802	4065420	148	12.2	6.20	33	0.14 %
7213m2		716903	4065440	93	3.0	9.86	48	583
7213m3		718008	4066340	39	6.8	12.66	24	781
7220m1	South-west	713360	4063920	16	3.8	1.23	39	196
7220m2		712005	4064410	23	1.6	2.13	28	134
7227m1		711597	4065830	8	0.6	0.02	155	163

نظر به ثبت مقادیر بالایی از مس در بخش خاوری محدوده که به‌طور کامل منطبق بر بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی مس، طلا و بیسموت بوده، در مرحله کنترل نهایی محدوده‌های امیدبخش، صرفاً به بررسی بخش خاوری محدوده امیدبخش شماره ۱ پرداخته شده است (جدول ۳). در جنوب بخش خاوری محدوده امیدبخش شماره ۱، کانی‌سازی سولفیدی شامل پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، بورنیت و اکسیدهای آهن به ضخامت تا ۱۵ سانتی‌متر و طول مرئی ۱۵ متر و طول منقطع ۵۰ متر، به موازات برگوارگی سنگ میزبان دگرگون شده میکاشیستی- آمفیبولیتی رخنمون شده است. در نمونه‌های مربوط به این رخنمون، از ۱ تا ۱۰/۵ % مس، ۰/۶ تا ۹۴/۵ ppm نقره، و ۲۶ تا ۶۰۰ ppb طلا به ثبت رسیده است. مطالعات کانه‌نگاری این نمونه‌ها حاکی از حضور کانه کالکوپیریت معادل ۳۵ % از سطح مقاطع بوده است. ضمناً در نمونه‌ای که حاوی ۶۰۰ ppb طلا بوده، به ذرات ریزی (کمتر از ۵ میکرون) مشکوک به ترکیبات طلا و نقره یا کانی‌های گروه لینئیت و پنتلاندیت اشاره شده است (شکل ۶- الف). باختر بخش خاوری محدوده امیدبخش شماره ۱، مربوط به محدوده اکتشافی قوزلو بوده (شکل ۶- ب) که شامل سینه‌کارهای جنوبی و شمالی به فاصله ۷۵۰ متر است. نمونه‌های مربوط به سینه‌کار جنوبی واجد مقادیری از ۷/۳ تا ۹/۷ % مس، تا ۰/۲۴ % سرب، ۲۷۸ تا ۷۶۷ ppb طلا (۳ نمونه از ۴ نمونه واجد بیش از ۷۰۰ ppb طلا) و ۸۰/۶ تا ۴۱۱ ppm نقره (۲ نمونه از ۴ نمونه، واجد بیشترین مقادیر نقره معادل ۲۰۴ و ۴۱۱ ppm) بوده‌اند. در مقابل، نمونه‌های مربوط به سینه‌کار شمالی هر چند حاوی مس بیشتر (۹/۶ تا ۱۱ %) و طلا (۴۹۳-۳۶۰ ppb) و نقره (۸۹/۴-۲۱/۴ ppm) کمتر هستند، اما مقادیر قابل توجهی از سرب (۰/۸۳-۰/۶۳ %) و روی (۰/۵۷-۰/۱۲ %) در آنها اندازه‌گیری شده است. مطالعات کانه‌نگاری در نمونه‌های مربوط به بخش جنوبی محدوده اکتشافی قوزلو حکایت از آن دارد که هر چند مقادیر قابل مشاهده از کالکوپیریت در سطح مقاطع هر دو نمونه برابر با ۲۵ % بوده است، اما در نمونه دوم، شواهد دگرسانی سوپرژن کالکوپیریت به کوولیت و کالکوسیت مشاهده می‌شود (شکل ۶- پ) به همین دلیل، میزان مس اندازه‌گیری شده در آن بیشتر از نمونه اول بوده است. نتایج مطالعات کانه‌نگاری در نمونه‌های مربوط به بخش شمالی محدوده اکتشافی قوزلو حکایت از آن دارد که هر دو نمونه واجد پیریت، کالکوپیریت و گالن هستند، اما تنها در نمونه اول که واجد بیشترین میزان روی بوده و تقریباً ۵ برابر نمونه اول اندازه‌گیری شده، کانه اسفالریت مشاهده شده است.

جدول ۳- مهم‌ترین نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده از خاور محدوده امیدبخش شماره ۱.

Sample No.	Area	X	Y	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
QN1-01	زون کانه‌دار باختری (ضعیف‌تر)	۷۱۷۶۵۰	٤٠٦٥٦٣٠	۰/۱٤۹	۱۳/۰٦	۱/۲۳	٥۹	٤۲۰
QN1-02		۷۱۷٦٥٥	٤٠٦٥٦۳٥	۰/۰۲٦	۰/٦۰	۰/۱	٦۳	۳٤٥
QN1-03	زون کانه‌دار خاوری (شدیدتر)	۷۱۷٦۷۹	٤٠٦٥٦٥٦	۰/٥٥۹	۹٤/٤٦	۱۰/٥	۱٥	٤۷۰
QN1-04		۷۱۷٦۸۸	٤٠٦٥٦٥۰	۰/۱۸۷	٦٥/۲٥	٦/۲٥	۱٦	۳۱٥
QN1-05	نمونه واریزه‌ای	۷۱۷٥٥۲	٤٠٦٦۱٤٦	۰/۱۰٤	۱٥/٤٤	٥/٤٤	۱٤۰	۹٥۰
QN1-06	نمونه واریزه‌ای	۷۱۷٥٦۱	٤٠٦٦۱٥٥	۰/۷٦۷	۲۰٤	۷/۲٦	۳۸۰	۹٥۰
QN1-07	محدوده قوزلو- سینه‌کار جنوبی	۷۱٦٦۹۷	٤٠٦٥۳٥٦	۰/۷۱٤	۹۱/٥۷	۸/۹۱	۹۲	۹٤٥
QN1-08		۷۱٦٦۹۸	٤٠٦٥۳٥۷	۰/۲۷۸	۸۰/٥٥	۹/۷۲	۷۹	۷۰۰
QN1-09		۷۱٦٦۹۹	٤٠٦٥۳٥۸	۰/۷۱۸	٤۱۱	–	–	–
QN1-10	محدوده قوزلو- سینه‌کار شمالی	۷۱٦٥۳۸	٤٠٦٦۱۰٤	۰/۳٦۰	۲۱/۳٥	۹/٦٤	% ۰/٦۳	% ۰/٥۷
QN1-11		۷۱٦٥۳۹	٤٠٦٦۱۰٥	۰/٤۹۳	۸۹/۳٥	۱۱/۰۱	% ۰/۸۳	% ۰/۱۲



شکل ۶- تصاویر مربوط به محدوده امیدبخش شماره ۱. الف) مقطع صیقلی: نمونه دارای پیریت (Py)، کالکوپیریت (Ccp) و ذرات ریز مشکوک به کانی‌های گروه لینئیت و پنتلاندیت (ترکیبات نقره (Ag) و طلا(Au))؛ ب) نمونه دستی واجد کانی‌سازی آزوریت (Az) و مالاکیت (Mlc)؛ پ) مقطع صیقلی: گالن (Gn)، پیریت، کالکوپیریت، کوولیت (Cv) و دیژنیت (Dg).

۷- ۲. محدوده امیدبخش شماره ۳

این محدوده امیدبخش با کشیدگی در راستای شمال خاور- جنوب باختر، در شمال باختری برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز واقع شده است. در این محدوده، عناصر Ti، Fe، V، Sn، W، Mo، Bi، Au، Cu بی‌هنجاری نشان داده‌اند. نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده از این محدوده، واجد مقادیر فراوانی به ترتیب از کانه‌های عناصر آهن، باریم، تیتانیم، جیوه و تنگستن بوده‌اند. در برخی از این نمونه‌ها، ذراتی از کانه‌های عناصر (به‌ترتیب فراوانی) سرب، مولیبدن، روی، و آنتیموان نیز مشاهده شده است. طی مرحله کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به روش کانی سنگین، ۶ نمونه کانه‌دار از بخش‌های مختلف این محدوده گرفته شده است (جدول ۴).

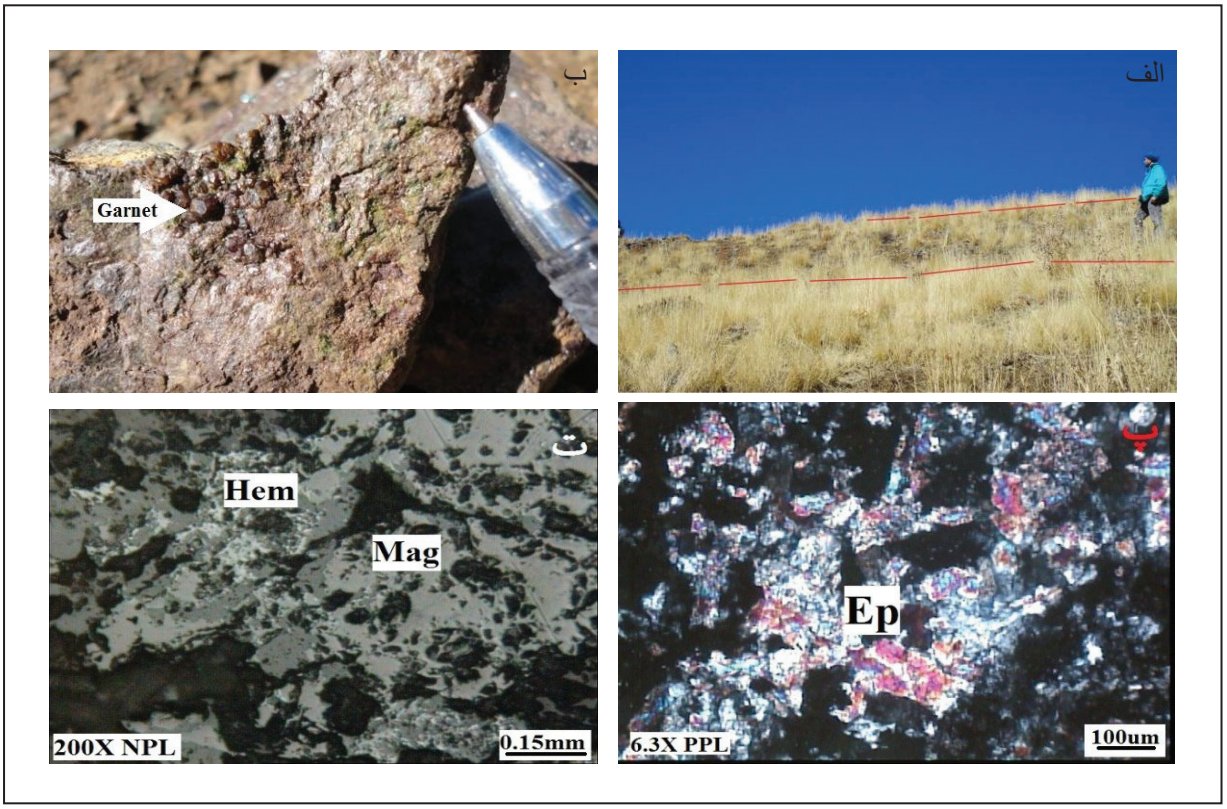
جدول ۴- مهم‌ترین نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از محدوده امیدبخش شماره ۳ طی کنترل بی‌هنجاری‌ها به روش کانی سنگین.

Sample No.	Area	X	Y	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
7232m1	North-east	708943	4065540	Z8	0.4	170	80	1702
7232m2		708943	4065540	11	0.5	85	29	404
7237m1		708705	4064350	6	0.4	35	22	101
7237m2		708241	4064070	18	2.5	190	50	752
7394m1	South-west	702401	4061150	191	1.0	0.62 %	67	628
7400m1		703267	4060510	39	0.8	0.11 %	36	126

از ۴ نمونه گرفته شده از بخش شمال خاوری این محدوده، صرفاً در یک نمونه مقدار ۰/۱۷ % روی اندازه‌گیری شده است. در ۲ نمونه اخذ شده از بخش جنوب باختری، مقادیر قابل توجهی مس از ۰/۱۱ تا ۰/۶۲ % اندازه‌گیری شده است. همچنین در بین این ۲ نمونه، نمونه واجد بیشترین مقدار مس، بیشترین مقدار روی (۶۲۸ ppm) و طلا (۱۹۱ ppb) را نیز دارا بوده و در مقابل، نمونه دوم حاوی بیشترین مقادیر مولیبدن (۵۰۰ ppm)، گوگرد (۲ %) و جیوه (۳۶ ppm) است. در جنوب باختری محدوده امیدبخش شماره ۳ می‌توان شاهد رخداد کانی‌سازی آهن در مجاورت سنگ‌های دگرگونی (میکاشیست و کوارتزیت به‌رنگ خاکستری- سبز، معادل دگرگون شده سازند کهر، همراه با باندهای آهکی- دولومیتی جانگوتاران) با توده نفوذی کوارتز پورفیری- آپلیتی بود. در زون سطحی منطقه، کانی‌هایی از جمله مگنتیت، هماتیت و گوتیت قابل مشاهده هستند. این کانی‌سازی در پیکر رگه‌هایی چند قابل مشاهده است. رگه اصلی دارای روند N180S/40E و طول ۳۰ متر با ضخامت تا ۷ متر بوده که به‌طور منقطع تا طول ۳۰۰ متر و ضخامت‌های ۱ تا ۲ متری قابل تعقیب است (شکل ۷- الف). در سنگ میزبان دگرگونی این کانی‌سازی، بلورهای رشد یافته اپیدوت و گارنت مشاهده می‌شود (شکل ۷- ب). مطالعه مقطع نازک یک نمونه حاکی از آن است که سنگ اولیه، سنگ بازیکی بوده که تحت تأثیر متاسوماتیسم یا دگرسانی محلول‌های گرمابی، به اپیدوتیت با بافت تجدید تبلور یافته تبدیل شده است (شکل ۷- پ). در مقطع نازک نمونه دوم که مربوط به رگه آهن‌دار است، مقادیر فراوانی کلینوپیروکسن‌ها که بعضاً جهت‌یافتگی نشان می‌دهند، همراه با دانه‌هایی از مگنتیت مشاهده شده است. مطالعه مقطع صیقلی یک نمونه از زون کانه‌دار، نشان می‌دهد که حاوی بلورهای مگنتیت با درصد فراوانی ۴۵ % از سطح مقطع است (شکل ۷- ت). لازم به ذکر است که در فاصله ۱ کیلومتری شمال خاور این رگه و در باختر کوه بلقیس، یک معدن آهن در حال بهره‌برداری است. در بالادست محل معدن واحدهای آهکی- دولومیتی جانگوتاران مشاهده می‌شوند که بر روی واحد دگرگونی قرار گرفته‌اند. با توجه به کلیه توصیفات فوق‌الذکر، می‌توان رخداد آهن در محدوده امیدبخش شماره ۳ را از نوع اسکارن معرفی کرد. لازم به توضیح است که میزان اکسید آهن اندازه‌گیری شده در نمونه مربوط به این رگه، معادل ۵۸/۴ % (Fe_2O_3) بوده است که عیار خوبی به شمار می‌رود. ضمناً این کانی‌سازی توسط میزان ۲/۰۶ % اکسید منگنز نیز همراهی می‌شود.

۷- ۳. محدوده امیدبخش شماره ۵

این محدوده امیدبخش در جنوب تا جنوب باختر برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز واقع شده است. در این محدوده، عناصر Sn، As، Zn، Mo، Mn، Bi، Au و W بی‌هنجاری نشان داده‌اند. نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده از این محدوده، واجد مقادیر فراوانی به ترتیب از کانه‌های عناصر آهن، باریم و تیتانیم بوده‌اند. در برخی از این نمونه‌ها، ذراتی از کانه‌های عناصر (به‌ترتیب فراوانی) سرب، تنگستن، مس و آنتیموان نیز مشاهده شده است. طی مرحله کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به روش کانی سنگین، ۷ نمونه کانه‌دار از بخش‌های مختلف این محدوده گرفته شده است (جدول ۵).



شکل ۷- تصاویر مربوط به محدوده امیدبخش شماره ۳. الف) امتداد رگه اصلی آهن در کنتاکت با توده نفوذی کوارتزپورفیری؛ ب) رشد سطحی بلورهای گارنت در سطح سنگ‌های زون اسکارن؛ پ) مقطع نازک: بلورهای اپیدوت (Ep) در نمونه‌ای از رگه آهن‌دار؛ ت) مقطع صیقلی: کانه‌های مگنتیت (Mag) و هماتیت (Hem) در کانسنگ آهن.

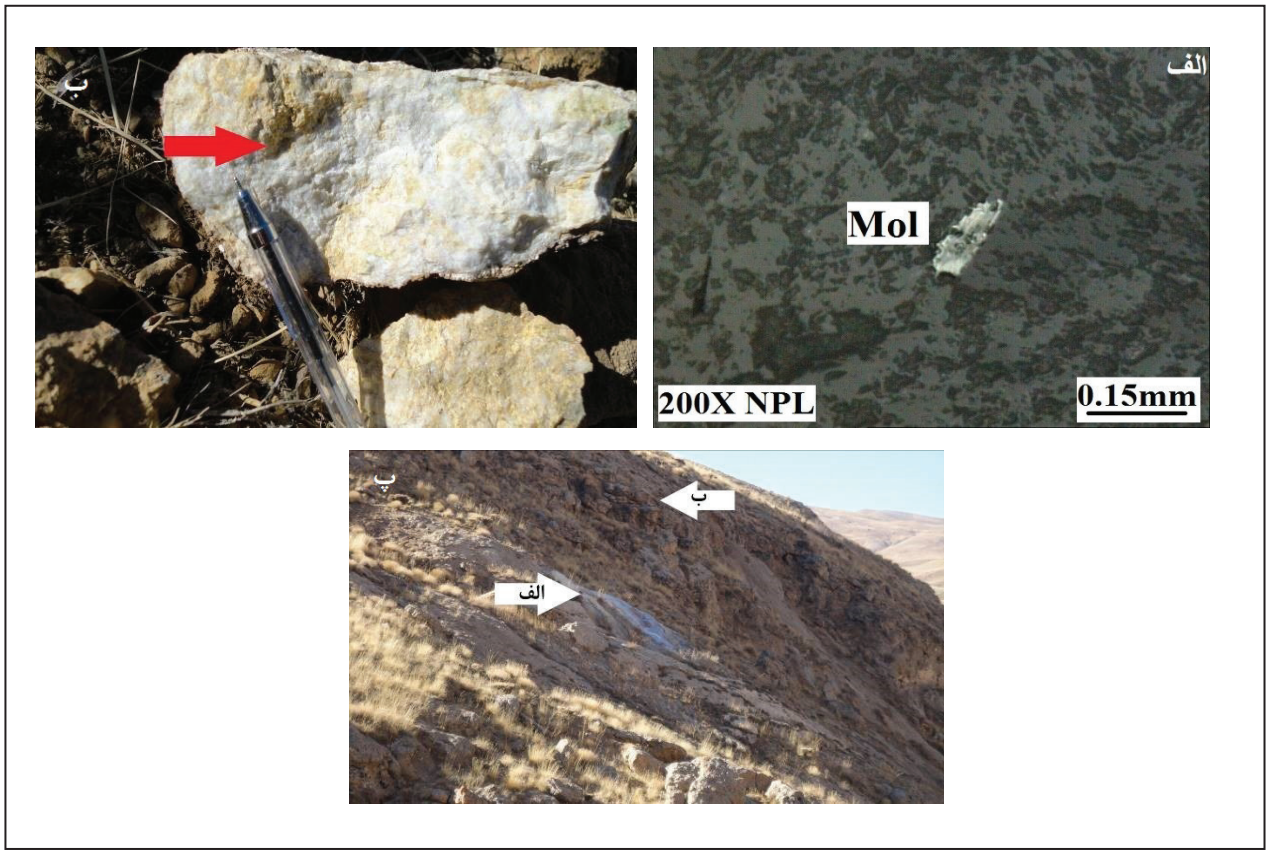
جدول ۵- مهم‌ترین نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از محدوده امیدبخش شماره ۵ طی کنترل بی‌هنجاری‌ها به روش کانی سنگین.

Sample No.	Area	X	Y	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe_2O_3 (%)	Mn (ppm)	S (ppm)
7334m	North-east	711517	4045410	5	0.5	454	33	0.24%	3.40	867	43
7348m1	West	707246	4043630	31	1.5	106	24	263	6.03	126	0.8%
7348m2		707162	4043610	11	0.9	514	67	181	16.64	110	0.17%
7348m3		707027	4043630	5	0.2	91	12	82	2.64	557	107
7348m4		706727	4043710	5	0.5	25	11	84	2.26	748	120
7348m5		706611	4043710	6	1.4	646	162	151	64.56	1084	0.7%
7348m6		706611	4043710	4	0.9	296	41	49	12.95	2747	5.2%

تنها نمونه اخذ شده از بخش شمال خاوری محدوده ۵، صرفاً حاوی مقدار ۰/۲۴ % روی بوده است. ۶ نمونه اخذ شده از بخش باختری محدوده، مقادیر بالایی از گوگرد (۵/۲ % در نمونه ۶ ۷۳۴۸ m) و مقادیر نسبتاً قابل توجهی از منگنز (۱۰۰ تا ۲۷۴۷ ppm) را نشان می‌دهند. ضمناً در نمونه‌ای که حاوی بیشترین مقدار منگنز و گوگرد بوده، بیشترین مقدار مولیبدن به میزان ۱۳۲ ppm اندازه‌گیری شده است. همچنین در یک نمونه میزان ۶۴/۵۶ % اکسید آهن اندازه‌گیری شده است که مقدار بسیار قابل توجهی است. در بخش باختری محدوده امیدبخش شماره ۵ و درون سنگ‌های سریسیت شیستی و میکاشیستی منسوب به سازند کهر دگرگون شده، یک

رخداد رگه‌ای سیلیسی کانه‌دار مشاهده می‌شود که دارای امتداد N60E/60SE و کمی زاویه‌دار با روند برگوارگی سنگ میزبان، ضخامت بین ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و طول مریی برابر با ۱۵ متر است. در سنگ‌های سیلیسی این رگه کانه‌های گالن، پیریت، کالکوپیریت و یک کانی بسیار شبیه به مولیبدنیت مشاهده شد. سطح سنگ‌ها نیز آغشته به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن حاصل از فروپاشی پیریت است. در مطالعه مقطع صیقلی نمونه‌ای از این رگه، چندین دانه کوچک از کانی مولیبدنیت همراه با پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، و مالاکیت مشاهده شده است. آنالیز ۲ نمونه از این رگه سیلیسی کانه‌دار حاکی از حضور مقادیر قابل توجهی مس از ۰/۱۹ تا ۰/۶۱ %، سرب از ۰/۰۷ تا ۱/۲۶ %، روی از ۱/۳۲ تا ۶/۳۳ % و گوگرد بوده است (جدول ۶). نکته قابل توجه اینکه مقادیر نسبتاً قابل توجهی از کادمیم به میزان ۱۲۲ تا ۴۱۱ ppm نیز در این ۲ نمونه به ثبت رسیده است. ضمناً میزان نقره نیز در این نمونه‌ها با مقادیر ۲۱ تا ۱۴۵ ppm نیز قابل توجه است. طلا در این ۲ نمونه دارای مقادیر قابل توجهی نیست. هر چند در نمونه دستی، کانه‌ای مشکوک به مولیبدنیت مشاهده شده و مطالعه کانه‌نگاری نیز این مطلب را تأیید کرده (شکل ۸- الف)؛ اما نتایج آنالیز شیمیایی (به روش ICP) صرفاً به مقادیری از ۳/۸۲ تا ۷/۳۱ ppm مولیبدن اشاره کرده است (جدول ۶). شاید آنالیز نمونه‌ها به روش پلاروگرافی، نتایج صحیح‌تری برای مولیبدن به دست می‌داد. این رگه پلی‌متال، به‌طور منقطع و به سمت شمال خاور، دارای ضخامتی تا ۳۵ متر می‌شود و تا طول ۲۰۰ متری قابل پیگیری است. با شکستن نمونه‌های سنگی از این رگه، در متن داخلی سنگ، آثاری به رنگ زرد مشاهده شد که بویی مشابه بوی گوگرد (بوی تخم مرغ گندیده) از آنها به مشام می‌رسد (شکل ۸- ب). این پدیده احتمالاً حاکی از کانی‌زایی گوگرد است، چنانچه این منطقه منطبق بر بی‌هنجاری‌های گوگرد نیز هست. یک توده نفوذی کوارتزپورفیری، میکروگرانیت- آپلیتی در مرکز محدوده رخنمون دارد. فاصله این توده با کانی‌سازی‌های رگه‌ای سیلیسی فوق‌الذکر، قریب به ۱۸۰۰ متر است. هر چند نمی‌توان فعالیت‌های گرمابی مربوط به چشمه‌های آهک‌ساز را در زایش برخی از کانی‌سازی‌های منطقه، دور از انتظار دانست، اما نظر به نوع کانی‌سازی و کانه‌های تشکیل شده در این رگه‌ها، به احتمال زیاد می‌توان این توده نفوذی و یا حتی آپوفیزهایی از آن را که در محل رخنمون نیافته‌اند، عامل کانی‌سازی‌های مذکور در نظر گرفت.

با توجه به وجود چشمه‌های آهک‌ساز متعدد و رخداد گسترده واحدهای تراورتنی، محدوده امیدبخش شماره ۵ از نظر وجود ذخایر سنگ‌های تزیینی و ساختمانی نیز دارای اهمیت خاص است (شکل ۸- پ).



شکل ۸- تصاویر مربوط به محدوده امیدبخش شماره ۵: الف) مقطع صیقلی: نمایی از کانی مولیبدنیت. در این نمونه کانی‌های مالاکیت و پیروتیت نیز مشاهده شده‌اند؛ ب) نمونه سنگی از رگه سیلیسی گوگرددار؛ رنگ زرد سنگ ناشی از حضور گوگرد در متن سنگ است؛ پ) وجود چشمه‌های تراورتن‌ساز (الف) و رخداد واحدهای تراورتنی (ب).

جدول ۶- نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از محدوده امیدبخش شماره ۵.

Sample No.	X	Y	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Mo (ppm)	S (ppm)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)
QN3-20	706496	4043713	60	0.42	247	44.97	173	3.07	7.63	452	8.27	0.28
QN3-21	706584	4043713	41	145	0.19%	1.26%	6.33%	441	7.31	> 10000	-	0.25
QN3-22	706608	4043710	3.75	20.87	0.61%	700	1.32%	122	3.82	> 10000	-	0.32
QN3-23	706668	4043758	-	1.44	160	95.67	856	6.01	3.56	421	-	0.04
QN3-24	706806	4043756	-	-	-	-	-	-	-	-	5.84	0.57

۸- نتیجه‌گیری

جدایش بی‌هنجاری‌ها به روش $\overline{X} + nS$ نتایج قابل قبولی ارائه داده است، به‌طوری که بیشتر بی‌هنجاری‌های به دست آمده، واقعی بوده و مورد تأیید قرار گرفته است. نتیجه قابل توجه به دست آمده از مطالعات کانی سنگین، انطباق بسیار خوب بین بی‌هنجاری-های ژئوشیمیایی به دست آمده و نتایج حاصل از مطالعات کانی سنگین است. به‌طوری که بیشتر نمونه‌های کانی سنگین که در آنها کانی‌های قابل توجهی مشاهده شده است، مربوط به محدوده‌های دارای بی‌هنجاری ژئوشیمیایی آبراهه‌ای بوده‌اند. بسیاری از بی‌هنجاری‌هایی که در مطالعات ژئوشیمیایی مشخص شدند، توسط مطالعات زمین‌شناسی صحرایی و اقتصادی تأیید می‌شوند. نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین، نشان‌دهنده ۵ محدوده امیدبخش مهم در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز است که بر همین اساس، ۳ محدوده امیدبخش (محدوده‌های امیدبخش شماره ۱، ۳ و ۵) مورد بررسی‌های تکمیلی قرار گرفتند که جهت ادامه عملیات اکتشافی در فازهای بعدی معرفی می‌شوند. محدوده امیدبخش شمال- شمال خاوری (۱) برداشت شده و آنالیز نمونه‌ها حکایت از آن داشته است که مقادیر مس بین ۵/۵ تا ۱۱ % در این بخش حضور دارند و رخداد کانی‌سازی سرب و روی با عیارهای به ترتیب ۰/۶ تا ۰/۸ % و ۰/۱ تا ۰/۶ % در آن قابل توجه است. هر چند کانی‌سازی طلا تا عیارهای ۰/۶ ppm نیز افزایش می‌یابد، اما عیارهای قابل توجه تا ۰/۸ ppm طلا را می‌توان در نمونه‌های متعددی در اطراف روستای قوزلو مشاهده کرد. عیارهای بسیار قابل توجه و بالایی از نقره نیز به میزان ۲۰۴ و ۴۱۱ ppm صرفاً در نمونه‌های بخش غربی این محدوده یعنی اطراف روستای قوزلو دیده شده که نسبت به سایر نمونه‌های اخذ شده از کل برگه قره‌ناز، حاوی مقادیر بالایی از برخی عناصر نادر بوده‌اند. بی‌هنجاری‌های کانی سنگین مشخص شده در محدوده شماره ۱، در بیشتر موارد مؤید بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی به ویژه طلا، مس، سرب، آرسنیک و تنگستن بوده‌اند. زون‌های کانه‌دار موجود در این محدوده در یک مجموعه سنگی شامل تناوبی از گنایس، مرمر و آمفیبولیت به‌عنوان بخش زیرین کمپلکس دگرگونی قبله‌داغ، به سن پالئوزوییک یا پرکامبرین زیرین میزبانی شده‌اند.

زون‌های کانه‌دار موجود محدوده امیدبخش شمال باختری (۳) در یک مجموعه سنگی مرکب از تناوب میکاشیست و کوارتزیت به‌رنگ خاکستری- سبز به سن پرکامبرین بالایی میزبانی شده‌اند که آنها را معادل دگرگون شده سازند کهر دانسته‌اند. حضور توده نفوذی کوارتز پورفیری، میکروگرانیت- آپلیتی درون سازند کهر، عامل رخداد کانی‌سازی آهن از نوع اسکارنی در بخش جنوب غربی این محدوده شده است. حضور گسترده زون‌های دگرسانی در بخش مرکزی محدوده و درون مجموعه دگرگونی مرکب از تناوب گنایس، آمفیبولیت، مرمر و کوارتز- میکاشیست (Mtgn) را نیز می‌توان متأثر از حضور توده نفوذی کوارتز پورفیری- آپلیتی در اعماق منطقه دانست. بدون شک، بیشتر بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی ثبت شده در این محدوده امیدبخش، ناشی از حضور دگرسانی‌های گسترده ناشی از نفوذ این توده بوده است. برداشت و آنالیز نمونه‌های این بخش صرفاً حکایت از حضور مقادیر قابل توجهی مس از ۰/۱۱ تا ۰/۶۲ % در بخش جنوب غربی داشته است که توسط میزان ۱۹۱ ppb طلا و ۵۰۰ ppm مولیبدن همراهی شده و منطبق بر بی‌هنجارهای ژئوشیمیایی مس، طلا، مولیبدن و تنگستن بوده‌اند. شواهد صحرایی و کانی‌شناسی حکایت از آن دارد که کانه‌زایی آهن مشاهده شده در مجموعه سنگی منسوب به سازند کهر دگرگون شده و در مجاورت نزدیک با توده نفوذی کوارتز پورفیری، میکروگرانیت- آپلیتی، از نوع اسکارن بوده و دارای عیار ۵۸/۴ % (Fe_2O_3) است که توسط مقدار ۲/۰۶ % اکسید منگنز همراهی می‌شود.

زون‌های کانه‌دار موجود در محدوده امیدبخش جنوب تا جنوب باختر (۵) در یک مجموعه سنگی مرکب از تناوب میکاشیست و کوارتزیت به رنگ خاکستری- سبز به سن پرکامبرین‌بالایی میزبانی شده‌اند. که آنها را معادل دگرگون شده سازند کهر دانسته‌اند. برداشت و آنالیز نمونه‌های این بخش صرفاً حکایت از حضور مقادیر قابل توجهی گوگرد ۵/۲ % در بخش غربی داشته است، که توسط میزان ۱۰۰ تا ۲۷۴۷ ppm منگنز و ۱۳۲ ppm مولیبدن همراهی شده و منطبق بر بی‌هنجارهای ژئوشیمیایی عناصر روی، سرب، مس، گوگرد و مولیبدن در بخش غربی بوده‌اند. همچنین در یک نمونه میزان ۶۴/۵۶ % اکسیدآهن اندازه‌گیری شده که مقدار قابل توجهی است. توده نفوذی کوارتز پورفیری، میکروگرانیت- آپلیتی (qp) که در مرکز این محدوده رخنمون دارد را می‌توان به همراه فعالیت‌های گرمابی مربوط به چشمه‌های آهک‌ساز، عامل کانی‌سازی‌های مذکور در نظر گرفت.

به دلیل وجود چشمه‌های آهک‌ساز متعدد و رخداد گسترده واحدهای تراورتنی، این محدوده از نظر وجود ذخایر سنگ‌های تزیینی و ساختمانی نیز دارای اهمیت است.

کتابنگاری

احمدی، ر.، ۱۳۷۸- مطالعه سنگ‌های دگرگونی جنوب باختر دندی، خاور تکاب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

باباخانی، ع. و قلمقاش، ج.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ تخت‌سلیمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

بادفر، م.، ۱۳۹۲- اکتشافات ژئوشیمیایی- کانی سنگین در مقیاس ناحیه‌ای و بررسی زون‌های مینرالیزه در برگه ۱:۵۰،۰۰۰ قره‌ناز، استان زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین.

حاجی‌علی‌اوغلی، ر.، ۱۳۸۶- بررسی پترولوژی سنگ‌های دگرگونی کالک‌سیلیکات و متابازیک مجموعه تخت‌سلیمان در شمال‌خاوری تکاب (باختر ایران)، رساله دکترا.

حسنی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.

غضنفری، ف.، ۱۳۷۰- پتروژنز سنگ‌های دگرگونی در شمال خاور تکاب با نگرشی ویژه به کانه‌سازی سرب و روی در معدن انگوران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، ۱۰۹ ص.

References

Aghanabati, A., 2006- Geology of Iran. 1st ed. Tehran, Iran: Geological Survey of Iran (in Persian).

Alavi-Naini, M., Hajian, J., Amidi, A. and Bolurchi, H., 1982- Geology of Takab-Saein Qaleh: Explanatory note of 1:250,000 map of Takab quadrangle, Geological Survey of Iran, Report No. 50.

Barnes, H. L. (ed), 1997- Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 972 pp.

Boni, M., Gilg, H. A., Balassone, G., Schneider, J., Allen, C. R. and Moore, F., 2007- Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran. Miner. Deposita, 42: 799–820.

Daliran, F., Hofstra, A., Walther, J. and Stüben, D., 2002- Agdarreh and Zarshuran SRHDG deposits, Takab region, NW-Iran. Annual meeting of the Geological Society of America, Denver, pp 63–68.

Daliran, F., Pride, K., Walther, W., Berner, Z. A. and Bakker, R. J., 2013- The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide–zinc carbonate mineralization. Ore Geol. Rev., 53: 373–402.

Gilg, H. A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D. and Moore, F., 2006- Marble-hosted sulphide ores in the Angouran Zn–(Pb–Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. Miner. Deposita, 41: 1–16.

Mange, M. A. and Maurer, H. F. W., 1992- Heavy Minerals in Colour. Chapman and Hall, London, 147 pp.

Mange, M. A. and Wright, D. T., 2007- Heavy minerals in use; Elsevier, Developments in Sedimentology, 58 pp.

Nude, P. M. and Arhin, E., 2009- Overbank sediments as appropriate geochemical sample media in regional stream sediment surveys for gold exploration in the savannah regions of northern Ghana, Journal of Geochemical Exploration, v. 103(1), p. 50–56.

Nutman, A. P., Mohajjel, M., Bennett, V. C. and Fergusson, C. L., 2014- Gondwanan Eoarchean–Neoproterozoic ancient crustal material in Iran and Turkey: zircon U–Pb–Hf isotopic evidence. Can J Earth Sci 51: 272–285.

Sinclair, A. J., 1976- Applications of probability graphs in mineral exploration (No. 4). Association of Exploration Geochemists.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: A review. Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull., K. 52, No. 7, p. 1229–1258.

Turkey, J. W., 1977- Exploratory data analysis. Reading 7 Addison-Wesley.

Wang, J. and Zuo, R., 2015- A MATLAB-based program for processing geochemical data using fractal/multifractal modeling. Earth Science Informatics, 1-11.

Xie, Sh., Cheng, Q., Xing, X., Bao, Z. and Chen, Z., 2010- Geochemical multifractal distribution patterns in sediments from ordered streams, Geoderma, v. 160(1), p. 36–46.

Zuo, R., Cheng, Q., Agterberg, F. P. and Xia, Q., 2009- Application of singularity mapping technique to identify local anomalies using stream sediment geochemical data, a case study from Gangdese, Tibet, western China, Journal of Geochemical Exploration, v. 101(3), p. 225–235.

Geochemical- Heavy Mineral Exploration and Determination of Promissing Ore-bearing Areas in the Qare-Naz 1:50,000 Sheet, Zanjan Province

M. Badfar[1], M. R. Jannessary[2*], R. Hosseinzadeh[3] and M. Ghaderi[4]

[1]M.Sc. Student, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[2]Ph.D., Exploration Department, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[3]M.Sc., Regional Exploration Group, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[4]Associate Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2016 May 29 Accepted: 2017 November 25

Abstract

This study is an investigation on geochemical exploration and economic geology of Qare-Naz 1:50,000 sheet, western Zanjan province. The scope of the study is to presentation of mineral pomissing area in a regional scale. For this reason, geochemical sampling was initially performed. The samples were analyzed by emission spectrometry, polarography and ICP methods. Then the results were processed using statistical methods. Anomaly samples were separated by $\overline{X}$ +nS method. In the control phase, the geochemical anomalies were studied using heavy mineral and economic geology studies viewpoint (field observation, study of polish and thin sections prepared from the mineralized zone as well as the analytical results for samples obtained from these zones). Combination of these results with geochemical anomalies the mineral promissing areas were defined, As follows: A) North – Northeast area has elements anomalies Au, Pb, Zn, Cu. B) Northwest area has elements anomalies Cu, Au, Fe, Mo, Bi and W. C) South – Southwest area has elements anomalies Cu, Pb, Zn, Mo, Mn and S.

Keywords: Geochemical exploration, Heavy mineral, Mineralized zone, Promising Ore-bearing Areas, Qare-Naz sheet.

For Persian Version see pages 121 to 132

*Corresponding author: M. R. Jannessary; E-mail: mrjanesari@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional