تفکیک مناطق ناهنجار با استفاده از بررسی هاله اولیه ژئوشیمی در محدوده صاحب‌دیوان- شمال غرب مشکین‌شهر

مصطفی نادی[1]*، دکتر ایرج رسا، محمدهای نظام‌پور

چکیده

محدوده اکتشافی صاحب‌دیوان در استان اردبیل و شمال‌غرب شهرستان مشکین‌شهر واقع است. در این محدوده مطالعات ژئوشیمی در محیط سنگی با هدف تعیین بخش‌های دارای احتمال کانی‌سازی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ انجام شد. در راستای این مطالعات، تعداد ۷۸۲ نمونه سنگی در شبکه‌های منظم ۱۰۰×۱۰۰ متری به صورت لب‌پری برداشت گردید. این نمونه‌ها برای تعیین عیار ۴۵ عنصری به روش‌های ICP-MS و Fire Assay در آزمایشگاه AMDEL کشور استرالیا آنالیز شدند. پس از تعیین عیار این عناصر، پردازش‌های آماری بر روی داده‌های حاصل از آن‌ها انجام گرفت. برای این کار ابتدا داده‌ها به حالت توزیع نرمال در آمده و پس از آن پارامترهای آماری معمول برای هر عنصر محاسبه شدند. همچنین عیار میانگین عناصر مختلف در واحدهای سنگی و زون‌های دگرسانی محدوده، تعیین و با عیار میانگِن جهانی سنگ‌های مشابه خود، مقایسه شدند. در این مقایسه بالاترین عیار عنصر مس در واحد نفوذی Ogd مشاهده شد. عناصر دیگر نیز با وجود غنی‌شدگی‌های نسبی نسبت به عیار میانگین جهانی، از ارزش بالایی بر خوردار نمی‌باشند. نقشه‌های توزیع عیار داده‌های نرمال‌شده در مورد پنج عنصر طلا، مس، مولیبدن، سرب و روی نیز در مرحله نهایی تهیه و با نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی محدوده منطبق شدند که در این رابطه انطباق نسبتاً بالایی با شواهد زمین‌شناسی نشان دادند. در پایان نیز با توجه به وجود آنومالی‌های احتمالی در محدوده، دو زون با نام‌های زون۱ و زون۲ که دارای اهمیت اکتشافی می‌باشند، معرفی شدند. زون شماره۱که دارای اولویت اکتشافی برای عنصر مس می‌باشد، به صورت یک نوار باریک با جهت شمال‌شرقی- جنوب‌غربی در مرکز محدوده منطبق بر رخنمون توده‌های نفوذی Ogd و Omz و به طول حدود ۱۲۰۰ متر می‌باشد. زون دوم که در اولویت دوم اکتشاف قرار دارد و جهت اکتشاف عناصر طلا، مولیبدن، مس و به طور کم‌تر سرب معرفی شده است، به صورت مربعی‌شکل در بخش شمال‌شرقی محدوده منطبق بر زون‌های دگرسانی سیلیسی و آرژیلیک پیشرفته در محدوده می‌باشد.

مقدمه

مطالعات لیتوژئوشیمیایی در محدوده صاحب‌دیوان به مقیاس ۱:۵۰۰۰ پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی- دگرسانی انجام گرفت. هدف از این مطالعات تعیین بخش‌های احتمالی کانی‌سازی و یا مرتبط با کانی‌سازی پنهان در این محدوده بوده است. شرایط زمین‌شناسی در محدوده مورد بررسی، همچون مثل کوهستانی‌بودن، گسترش کم آبراهه‌ها در این محدوده، گسترش هاله اولیه ژئوشیمیایی و وجود توده‌های آذرین که احتمال کانی‌سازی را در اطراف خود دارد و همچنین وسعت نه چندان بالای محدوده اکتشافی،

[1] - دانشگاه شهید بهشتی تهران- دانشکده علوم زمین، Email: Nadi_Mo62@Yahoo.com

باعث گردید تا روش اکتشاف ژئوشیمی سنگی به عنوان مناسب‌ترین روش در این مطالعات انتخاب و مراحل نمونه‌برداری آن انجام شود.

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده اکتشافی صاحب‌دیوان در استان اردبیل و در فاصله ۲۷ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان مشکین‌شهر بین طول‌های جغرافیایی ″۵۰ ′۳۲ °۴ °۴۷ و ″۵۰ ′۳۵ °۴ °۴۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۵۰ ′۳۲ °۳۸ و ″۴۰ ′۳۴ °۳۸ شمالی قرار گرفته است و وسعت آن تقریباً ۷،۵ کیلومترمربع می‌باشد

از نظر آب وهوایی منطقه مورد مطالعه دارای شرایط کوهستانی بوده و دارای آب و هوای سرد تا نسبتاً سرد در زمستان و معتدل تا نیمه گرم وخشک در تابستان می‌باشد. سطح وسیعی از این منطقه ۴ تا ۵ ماه از سال خشک بوده و در ۲ تا ۳ ماه از سال نیز شرایط یخبندان بر منطقه حکم‌فرما است. این محدوده در واقع مناطق کوهستانی در بخش‌های شرقی و شمالی اطراف رودخانه قره‌سو را شامل می‌شود.

زمین‌شناسی محدوده‌ی مطالعاتی

این محدوده در منتهی‌الیه بخش جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود قرار گرفته است و از لحاظ تقسیم‌بندی زمین ساختی ایران بخشی از زون البرز غربی و آذربایجان می‌باشد (نبوی۱۳۵۵، درویش‌زاده۱۳۷۰). واحدهای سنگی رخنمون یافته در این محدوده شامل سنگ‌هایی با ترکیب داسیت تا ریوداسیت پورفیری، توف‌های شیشه‌ای و بلوری، تناوب گدازه آندزیتی- بازالتی و توف و آندزیت‌های پورفیری به سن ائوسن می‌باشند که در بخش‌های شرقی، مرکزی، شمالی و جنوب‌غربی آن رخنمون دارند. سنگ‌های نفوذی این محدوده به سن الیگوسن بوده و به صورت دو استوک جداگانه با ترکیب میکروگرانودیوریت پورفیری و میکرو کوارتزمونزونیت تا میکرودیوریت پورفیری در بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب‌غربی محدوده دیده می‌شوند. نفوذ این سنگ‌ها به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، باعث ایجاد زون‌های وسیع دگرسانی در محدوده شده‌است. این زون‌ها شامل دگرسانی‌های پروپلی‌تیک ضعیف، آرژیلیک متوسط، فیلیک، سیلیسی، آرژیلیک‌پیشرفته و به طور خیلی محدوده پتاسیک می‌باشند (شرکت ملی صنایع مس ایران، مهرماه ۱۳۸۶).

مطالعات ژئوشیمیایی

برنامه‌ریزی

پس از بررسی لایه‌های اطلاعاتی موجود، طراحی شبکه نمونه برداری صورت گرفت و با توجه عدم وجود امتداد خاص که در خصوص تغییرپذیری موجود در این محدوده، و همچنین محدودیت تعداد نمونه‌ها، شبکه طراحی به صورت مربعی‌شکل با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر برای طراحی در نظر گرفته شد. بر این اساس تعداد ۷۸۲ سلول طراحی گردیده و نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌های برجای واحدهای سنگی در هر سلول و به صورت لب‌پری برداشت گردید. نمونه‌های برداشت‌شده جهت تعیین عیار ۴۴ عنصری به روش

ICP-MS و تعیین عیار عنصر Au به روش Fire Assay در آزمایشگاه Amdel کشور استرالیا تجزیه شدند.

پردازش داده‌ها

ابتدا عیارهای حاصله مورد پردازش آماری قرار گرفتند. بدین منظور و قبل از هر اقدام دیگر، در مورد برخی عناصر دارای نمونه‌های با عیار پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه، مقادیر مناسب بر پایه روش‌های ارائه‌شده توسط حسنی‌پاک، شرف‌الدین (۱۳۸۴) محاسبه و جایگزین شدند. با توجه به اینکه غالب روش‌های آماری، به ویژه انواع پارامتری، شرط نرمال بودن را با خود دارند (حسنی‌پاک، شرف‌الدین،۱۳۸۴) لذا از آزمون کولوگروف- اسمیرنوف برای برای آزمودن نوع توزیع بهره گرفته شد. در صورت نرمال نبودن از تبدیل لگاریتم نپرین و حذف داده‌های خارج از ردیف برای نزدیک نمودن توزیع به حالت نرمال استفاده شد. در نهایت داده‌های ژئوشیمیایی در محدوده مورد نظر تحت سه نوع تابع توزیع که شامل توزیع نرمال، لاگ‌نرمال و کج‌شدگی مثبت می‌باشند و در ۴ مرحله به حالت نرمال نزدیک شدند. سپس توسط نرم افزارSPSS پارامترهای آماری تک متغیره بر روی این داده‌ها محاسبه شد.

محاسبات و پردازش‌های آماری تک متغیره

پس از آن که داده‌های ژئوشیمیایی با روش‌های مختلف نرمال شدند، پارامترهای آماری میانگین، میانه، مُد، انحراف معیار، واریانس، کج‌شدگی، کشیدگی، ماکزیمم، مینیمم و مقادیر نظیر میانگین ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ ، موسوم به مقادیر چارکی، در مورد هر عنصر محاسبه شدند. نتایج این محاسبات برای ۱۰ عنصر مهم در جدول۱ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که درمی‌یابیم که بر اساس میانگین در مورد هیچ‌یک از عناصر، غنی‌شدگی چندانی نسبت به مقدار جهانی آن‌ها در محدوده رخ نداده است (Levinson, A.A, 1974) و بخش عمده‌ای از محدوده فاقد کانی‌سازی عمده و یا شاخصی می‌باشد. سیاری از عوارض نمونه‌برداری فاقد ارزش اقتصادی می‌باشند. با این حال افزایش مقدار عیاری برخی از عناصر باعث می‌گردد تا بررسی اکتشافی جهت یافت پتانسیل‌هایی از آن‌ها و یا عناصر همراهشان انجام گیرد.

Variable		Au	S	Ag	As	Mo	Zn	Sn	W	Pb	Cu
N		782	782	782	782	782	782	782	782	782	782
Mean		35.45	20375.41	0.91	113.28	33.03	35.38	3.35	5.18	120.52	75.48
Median		7.00	12100.00	0.60	75.30	12.30	15.95	2.20	4.40	59.95	51.95
Mode		2.00	16100.00	0.34	48.50	2.70	18.10	1.30	3.30	117.00	109.00
Std. Deviation		1.70	1.18	0.92	0.92	1.29	1.22	0.74	0.55	1.11	0.81
Variance		21286.22	1249971073.13	1.09	17129.99	4664.19	4235.92	8.11	9.50	35669.79	5370.32
Skewness		0.37	-0.83	-0.73	0.40	0.20	-0.05	0.50	0.42	-0.04	0.78
Kurtosis		-0.75	0.57	2.37	1.04	-0.21	0.98	-0.65	0.78	0.58	2.58
Minimum		0.75	110.00	0.01	6.10	0.40	0.15	0.50	0.90	1.15	6.70
Maximum		1920.00	70300.00	6.51	5390.00	1520.00	980.00	30.40	49.20	3691.00	7300.00
Percentiles	25.00	2.00	5179.97	0.34	40.92	5.87	7.80	1.40	3.10	29.77	32.50
	50.00	7.00	12100.00	0.60	75.30	12.30	15.95	2.20	4.40	59.95	51.95
	75.00	32.00	24524.96	1.19	127.00	35.82	36.22	4.60	6.00	132.00	83.75

جدول۱. پارامتهای آماری محاسبه‌شده برای داده‌های ۱۰ عنصر از ۴۴ عنصر آنالیز شده در محدوده صاحب‌دیوان.

برای تعیین مقدار عیار عناصر کانی‌ساز در هر واحد سنگی محدوده صاحب‌دیوان، نمودار میانگین عناصر مس، مولیبدن، طلا، سرب وروی، که در سیستم‌های کانی‌سازی پورفیری نقش اصلی را در کانی‌سازی

ایفا می‌کنند، به طور جداگانه برای هر واحد سنگی رسم شده و با سنگ‌هایی با ترکیب مشابه آن‌ها در مقیاس جهانی مقایسه شده است (Levinson, A.A, 1974). این نمودارها در شکل۱ آورده شده است. با بررسی این ۵ نمودار نتایج زیر حاصل می‌گردد:

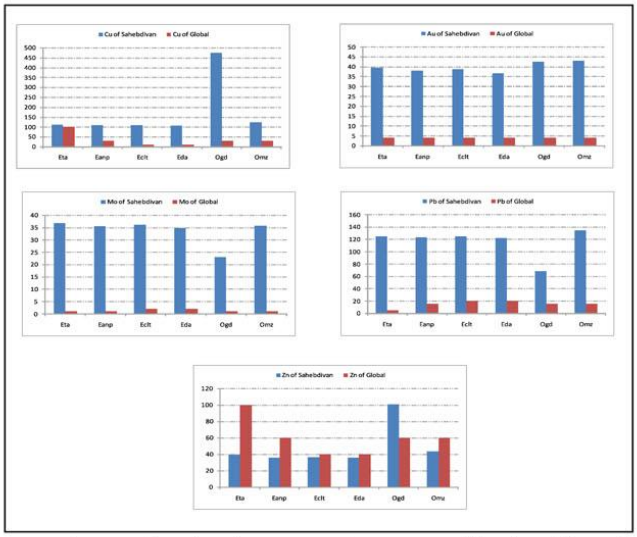
الف) عنصر طلا عیار نسبتاً یکسانی در تمامی واحدهای سنگی محدوده نشان می‌دهد. با این حال این عنصر در واحدهای نفوذی Ogd و Omz تا حدود ۱۰ برابر مقدار زمینه سنگ‌های مشبه خود غنی‌شدگی نشان می‌دهد.

ب) عنصر مس در تمامی گروه‌های سنگی نسبت به سنگ‌های مشابه آن در مقیاس جهانی غنی‌شدگی نسبی نشان می‌دهد. اما این غنی‌شدگی در اغلب گروه‌های سنگی محدوده اندک بوده و در حدود ۲ تا ۳ برابر مقدار زمینه می‌باشد که چندان با ارزش نمی‌باشد. غنی‌شدگی به نسبت زیاد این عنصر در واحد Ogd در محدوده قابل توجه بوده که میانگین این مقدار حدود ۲۰ برابر مقدار زمینه در سنگ‌هایی با ترکیب مشابه می‌باشد. این موضوع اهمیت این واحد سنگی را در محدوده صاحب‌دیوان را برای کانی‌سازی مس نشان می‌دهد.

ج) عنصر سرب نیز در واحدهای سنگی محدوده عیار تقریباً مشابهی دارد. عیار این عنصر در ۵ گروه از ۶ گروه سنگی محدوده تقریباً یکسان می‌باشد و تنها در واحد نفوذی Ogd عیار پایین‌تری نسبت به دیگر واحدهای سنگی منطقه دارد. عیار این عنصر در واحد نفوذی Omz به مقدار ناچیزی نسبت به سایر گروه‌های سنگی بیشتر می‌باشد که قابل توجه نیست.

د) عنصر مولیبدن در تمامی گروه‌های سنگی نسبت به عیار جهانی سنگ‌های مشابه آن‌ها، غنی‌شدگی نسبی نشان می‌دهد و مقدار آن به حدود ۲۰ برابر می‌رسد. عیار این عنصر در واحد Ogd نسبت به دیگر واحدهای سنگی محدوده پایین‌تر می‌باشد. این امر تا حدودی با غنی‌شدگی عنصر مس متفاوت می‌باشد.

هـ) عنصر روی وضعیت غنی‌شدگی کاملاً متفاوتی با ۴ عنصر قبلی مخصوصاً با عنصر سرب نشان می‌دهد و به گونه‌ای است که در ۵ گروه از ۶ گروه سنگی محدوده تهی‌شدگی نسبی نشان می‌دهد در حالی‌که تنها در واحد Ogd دارای عیار بالاتری است. بدین جهت غنی‌شدگی نسبی این عنصر در محدوده مورد مطالعه را می‌توان وابسته به حضور توده نفوذی Ogd دانست. با توجه به گسترش محدود این واحد سنگی در محدوده مورد مطالعه، طبیعی است که فراوانی این عنصر نیز در محدوده بسیار پایین باشد. نظر به اینکه فرآیندهای دگرسانی و هوازدگی در کل محدوده به طور نسبی شدید می‌باشد، می‌توان یکی از دلایل تهی‌شدگی نسبی این عنصر در رخنمون‌های سنگی محدوده را تحرک بالای آن نسبت به چهار عنصر دیگر (حسنی‌پاک، ۱۳۸۴) در محدوده (به دلیل وجود محیط اکسیدان در این محدوده) و خروج آن در اثر فرآیندهای دگرسانی و هوازدگی که در کل محدوده غالب می‌باشد، دانست. ضمن اینکه عیار بالای این عنصر نیز تا حدود زیادی به دلیل حضور لیتولوژی‌های حدواسط تا بازیک‌تر محدوده (واحد نفوذی Ogd) می‌باشد.



شکل ۱ نمودارهای مقایسه میانگین عناصر طلا، مس، سرب، مولیبدن و روی در واحدهای سنگی محدوده نسبت به سنگ‌های مشابه خود در مقیاس جهانی

در محدوده صاحب‌دیوان به دلیل رخداد دگرسانی‌های متنوع و نسبتاً شدید، اقدام به تهیه نمودار مقایسه مقادیر میانگین ۵ عنصر کانی‌ساز به همراه عنصر گوگرد در هر یک از زون‌های دگرسانی شده‌است تا عیار این عناصر در هر یک از زون‌های دگرسانی نیز مشخص گردد. این نمودار در شکل۲ آورده شده است و با توجه به آن می‌توان گفت که:

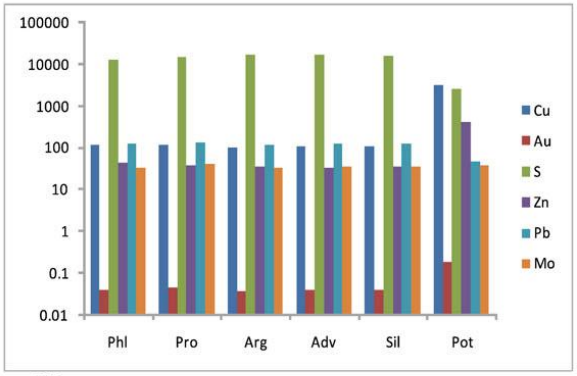
الف) بیش‌ترین غنی‌شدگی از عناصر مس، طلا و روی در زون دگرسانی پتاسیک که وسعت کوچکی را در بین دیگر زون‌های دگرسانی تشکیل داده است، مشاهده می‌گردد.

ب) نسبت گوگرد به پنج عنصر دیگر در زون دگرسانی پتاسیک در مقایسه با دیگر زون‌های دگرسانی محدوده پایین‌تر می‌باشد. به طوریکه کم‌ترین مقدار گوگرد در بین زون‌های دگرسانی محدوده، متعلق به همین زون دگرسانی است.

ج) عیار اغلب عناصر کانی‌ساز مانند روی، مس، طلا، مولیبدن و سرب در زون‌های دگرسانی آرژیلیک، فیلیک، پروپلی‌تیک، آرژیلیک‌پیشرفته و سیلیسی نسبتاً یکسان می‌باشد.

د) عنصر گوگرد در تمامی زون‌های دگرسانی محدوده غنی‌شدگی قابل توجه نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار این عنصر در داخل زون‌های آرژیلیک، فیلیک و آرژیلیک‌پیشرفته و کم‌ترین مقدار آن نیز در داخل زون دگرسانی پتاسیک مشاهده می‌گردد.

هـ) عیار عنصر سرب در تمامی زون‌های دگرسانی به نسبت مشابه بوده و تنها در زون دگرسانی پتاسیک مقدار کم‌تری را نشان می‌دهد.



شکل۲ نمودار مقایسه میانگین عیار عناصر کانی‌ساز در زون‌های دگرسانی محدوده صاحب‌دیوان (Phl: زون فیلیک، Pro: زون پروپلی‌تیک، Arg: زون آرژیلیک، Adv: زون آرژیلیک‌پیشرفته، Sil: زون‌ها و رگه‌های سیلیسی و Pot: زون پتاسیک).

ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی

نمایش دادن نتایج آنومالی ژئوشیمیایی به مناطقی با تمرکز بالاتر عناصر نسبت به مقادیر حد آستانه گفته می‌شود که برای رسم نقشه‌های غیر ساختاری بر اساس پارامترهای آماری راف معیار (σ) در نظر گرفته می‌شود. در این منطق مقدار حد آستانه به صورت $(\bar{X}+2\sigma)$ تعریف شده است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۴). در این پژوهش نقشه‌های ناهنجاری برای ۵ عنصر مهم که در محدوده مورد مطالعه نقش مهمی را در کانی‌سازی ایفا می‌کنند، تهیه شده است. این نقشه‌ها بر اساس داده‌های نرمال‌شده، با لحاظ نمونه‌های خارج از رده، در نمونه‌ها می‌باشند.

آنومالی عنصر Au:

پراکندگی این عنصر در محدوده مورد مطالعه مربوط به بخش‌های مرکزی، شرق و شمال‌شرق می‌شود که مقایسه آن با نقشه دگرسانی محدوده (شکل۴)، نشان می‌دهد که عیارهای بالای آن به طور مشخصی منطبق بر زون دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و زون‌های سیلیسی محدوده می‌باشد. این زون‌های سیلیسی که در برخی موارد ساخت استوک‌ورکی دارند، اغلب در زون‌های گسلی و مناطقی که دانسیته درزه و شکاف‌ها در محدوده بیشتر می‌شود، حضور دارند. حضور بالای مقادیر Au در این مناطق و همراهی زون‌های سیلیسی، امری توجیه‌پذیر می‌باشد. با نگاهی به ساختارهای گسلی در محدوده و تشکیل چند دسته گسل عمود بر هم در مرکز و رو به شرق محدوده، می‌توان دریافت که زون های گسلی و شکستگی‌های متعلق به این ساختارها، که در امتداد این شکستگی‌ها، رگه‌های سیلیسی نیز تشکیل شده‌اند، بر تمرکز مقادیر بالایی از عنصر Au در محدوده تأثیر به سزایی گذاشته و تشکیل مناطق آنومال در واقع به دلیل تسهیل حرکت و مهاجرت سیالات گرمابی حاوی این عنصر در بخش‌های مذکور می‌باشد.

آنومالی عنصر Cu:

پراکندگی عنصر Cu در محدوده مورد مطالعه به صورت یک نوار طویل با عرض کم و با جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب دیده می‌شود. بیشترین عیار این عنصر منطبق بر بخش‌های جنوب‌غربی و مرکز

محدوده می‌باشد. مقایسه نقشه آنومالی این عنصر با نقشه دگرسانی و زمین‌شناسی محدوده نشان می‌دهد که بیش از آنکه حضور این عنصر مربوط به زون دگرسانی خاصی در محدوده باشد، مربوط به حضور توده‌های نفوذی Ogd و Omz در مرکز محدوده است. رخنمون این دو توده نفوذی در بخش مرکزی محدوده در راستای گسل بزرگی با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب می‌باشد. در بخش‌های شمال‌شرقی محدوده که رخنمون‌های توده‌های نفوذی مشاهده نمی‌شود، نیز عیار نسبتاً بالایی از عنصر Cu دیده می‌شود که هم‌جهت با راستای عمومی گسل بزرگ محدوده است. از آن‌جایی که در بخش‌های غربی محدوده نیز رخنمون‌هایی از توده‌های نفوذی فاقد آنومالی عنصر Cu دیده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که حضور مقادیر بالای عنصر Cu در این محدوده در درجه اول مربوط به زون گسلی اصلی محدوده با راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب و در درجه دوم مربوط به حضور رخنمون‌های نفوذی مخصوصاً توده گرانودیوریتی (واحدOgd) می‌باشد.

آنومالی عنصر Mo:

پراکندگی عنصر Mo در محدوده متعلق به بخش‌های مرکزی، شرق و شمال‌شرق می‌باشد. مقایسه نقشه آنومالی این عنصر با نقشه دگرسانی محدوده، نشان می‌دهد که بیش‌ترین عیار عنصر Mo منطبق بر زون‌های سیلیسی محدوده می‌باشد که شدت دگرسانی نیز در آن‌ها بالاتر می‌باشد. رگه‌ها، زون‌ها و لژهای سیلیسی در محدوده که بیشتر در بخش‌های مرکزی رو به شرق و شمال‌شرق محدوده گسترش دارند، منطبق بر بیش‌ترین حضور زون‌های گسلی در محدوده می‌باشند. این واقعیت نشان می‌دهد که در بخش‌های گسل‌خورده محدوده همراه با تشکیل زون‌های سیلیسی و تسهیل حرکت سیالات گرمابی، غنی‌شدگی نسبی از عنصر Mo نیز در سنگ‌ها ایجاد شده است. در نتیجه عامل غنی‌شدگی عنصر Mo در محدوده، حضور زون‌های گسلی و زون‌های سیلیسی همراه با آن می‌باشد.

آنومالی عنصر Pb:

نقشه آنومالی عنصر Pb شباهت نسبی با نقشه آنومالی عنصر Mo در محدوده نشان می‌دهد که بیش‌ترین عیار این عنصر متعلق به بخش‌های مرکزی و شرق محدوده می‌باشد. غنی‌شدگی عنصر سرب در محدوده می‌تواند مربوط به شدت دگرسانی و وجود زون‌های سیلیسی باشد که در نقشه دگرسانی محدوده مورد مطالعه آن را به وضوح می‌توان دید. در بخش‌های مرکزی بیش‌ترین عیار عنصر Pb منطبق بر زون‌های سیلیسی همراه با زون دگرسانی فیلیک می‌باشد. در این بخش‌ها رگه‌های سیلیسی فراوانی دیده می‌شوند که اغلب به صورت ساخت استوک‌ورکی تشکیل شده‌اند. در محل این گونه زون‌ها، شدت دگرسانی به خصوص دگرسانی فیلیک افزایش یافته است. بنابراین غنی‌شدگی عنصر Pb در محدوده مورد مطالعه وابسته به حضور زون‌های سیلیسی و استوک‌ورک‌ها در بخش‌هایی که شدت دگرسانی بالا است، می‌باشد.

آنومالی عنصر Zn:

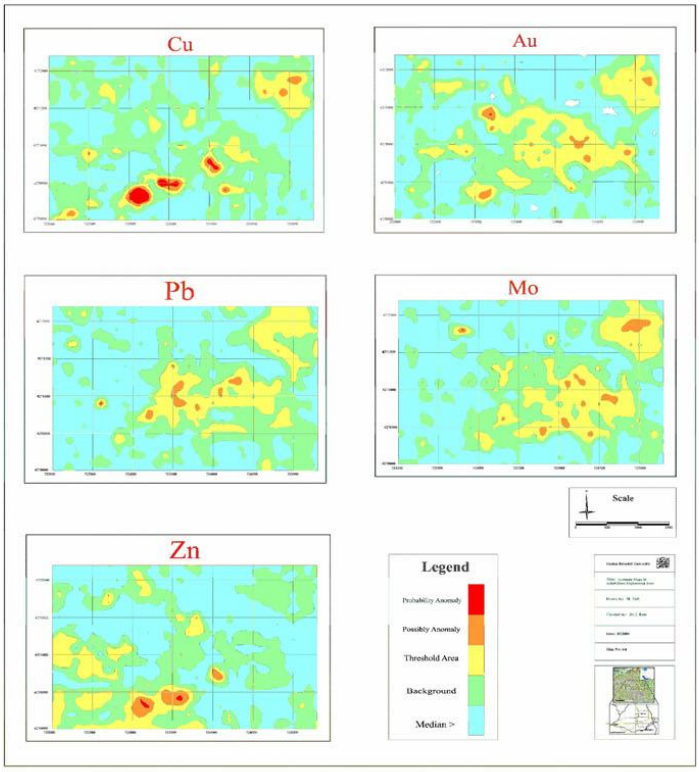
با این وجود که در بسیاری از محیط‌های زمین‌شناسی دو عنصر Pb و Zn معمولاً با یکدیگر همراه هستند، اما نقشه آنومالی این دو عنصر نشان می‌دهد که غنی‌شدگی این دو عنصر هم‌پوشانی ضعیفی را در محدوده دارند. نقشه آنومالی عنصر Zn نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد از مساحت کل محدوده مقادیر زیر حد آستانه و زمینه را نشان می‌دهند. عیار بالای این عنصر متعلق به سه رخنمون کوچک از توده‌های

نفوذی Ogd و Omz در مرکز محدوده می‌باشد که هم‌خوانی نسبتاً بالایی با نقشه آنومالی عنصر Cu نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در محل این رخنمون‌ها در محدوده، ،فرآیند دگرسانی تـأثیر نـسبتاً کمـی داشـته است، این پدیده نمی‌تواند عاملی برای حضور مقادیر بالایی از عنصر Zn در محدوده باشـد. از آنجـایی‌کـه در محیط‌های اکسیدان (از جمله در این محدوده)، عنصر Zn تحرک نسبتاً بالایی دارد، احتمال می‌رود کـه بـه دلیل گسترش زون‌های دگرسانی و وجود محیط اکسیدان در کل محدوده، مقادیر زیادی از این عنصر کاهش یافته و تنها در بخش‌های نسبتاً سالم‌تر، مقادیر بالایی از این عنصر باقی مانده است. آنومـالی ایـن عنـصر در سنگ‌های نفوذی محدوده نشان می‌دهد که مقدار اولیـه عنـصر Zn در آن‌هـا بـالا بـوده کـه در اثـر پدیـده دگرسانی شدید، شاهد یک تهی‌شدگی از این عنصر در کل محدوده می‌باشیم. بنابراین حضور مقـادیر بـالای این عنصر در محدوده مورد مطالعه وابسته به حضور توده‌های نفوذی در مرکز محدوده می‌باشد که خود متأثر از پدیده سنگ‌شناسی است تا پدیده‌های دیگری مثل دگرسانی و کانی‌سازی.

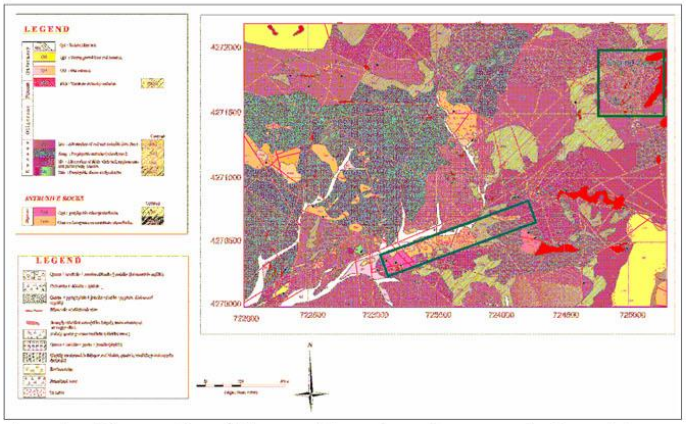
نتیجه گیری

بر اساس مطالعات آماری ژئوشیمی و همچنین بررسی نقشه‌های ناهنجاری پنج عنصر طـلا، مـس، مولیبدن، سرب و روی، که در اکتشاف این محدوده حائز اهمیت هستند، دو زون دارای کانی‌سازی احتمـالی را می‌توان در این محدوده مشخص نمود. این دو زون با عنوان زون شماره یک بـا ناهنجـاری عناصـر مـس و روی و زون شماره دو با ناهنجاری عناصر طلا، مولیبدن، مس و بـه طـور کـم‌تـر سـرب در محـدوده معرفـی شده‌اند. زون شماره یک که دارای اولویت اکتشافی می باشد بـه صـورت یـک نـوار باریـک از بخـش جنـوبی محدوده شروع و تا مرکز آن ادامه می‌یابد. راستای این زون در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب بـوده کـه ایـن راستا با راستای گسل اصلی محدوده هم‌جهت می‌باشد. زون مورد نظر منطبق بر رخنمون توده‌هـای نفـوذی کوچک محدوده، واحدهای Ogd و Omz می‌باشد. بر اساس نقشه ناهنجاری عنصر مس در محـدوده مـورد مطالعه، زون مذکور دارای بالاترین عیار از دو عنصر مس و روی می‌باشد که در حد آنومالی احتمالی معرفـی شده است. مشاهده نمونه‌های سنگی مینرالیزه در بخش‌هایی از این زون و حضور نشانه‌هایی از زون دگرسانی پتاسیک در چندین نمونه پتروگرافی از زون مذکور در بررسی‌های صحرایی، انطباق حضور کانی‌سازی مس را در این بخش مورد تأیید قرار می‌دهد. بنابراین مطالعات ژئوشیمیایی در این بخش، انطباق کاملی بـا شـواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد. زون شماره یک بر روی نقشه زمین‌شناسی- دگرسانی محدوده به صورت یک نوار باریک به عرض حدود ۲۰۰ متر و طول حداکثر ۱۲۰۰ متر در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب مشخص شده است. زون شماره دو که دارای اولویت اکتشافی دوم می‌باشد، در بخش شمال‌شرقی محـدوده صـاحب‌دیـوان واقع است. بالاترین عیار عناصر طلا، مولیبدن، مس و به طور کم‌تر سرب در این بخش دیده می‌شـود. بخـش مذکور منطبق بر زون‌های سیلیسی و دگرسانی‌های شدید (آرژیلیک پیشرفته) در محدوده است. با توجه بـه حضور بالا و افزایش دانسیته درزه و شکاف‌ها در این بخش، که در نقشه زمین‌شناسی محدوده نیـز مـشخص می‌باشد، می‌توان حضور زون‌های گسلی را در این بخش دلیل مناسـبی بـرای گـسترش زون‌هـای سیلیـسی دانست. بنابراین حضور مناطق مذکور می‌تواند باعث افزایش فعالیـت سـیالات گرمـابی و در نتیجـه افـزایش شدت دگرسانی در این بخش شده که همراه با نفوذ این سیالات به سنگ‌های میزبان، عیـار عناصـری ماننـد

طلا، مولیبدن، مس و سرب نیز افزایش پیدا کرده‌اند. زون کانی‌سازی شماره۲ بر روی نقشه زمین‌شناسی-دگرسانی محدوده به صورت مربعی‌شکل به ابعاد حدود ۵۰۰ در ۵۰۰ متر در بخش شمال‌شرقی محدوده مشخص می‌باشد. نکته قابل توجه در این محدوده جدایش عنصر روی از عناصر همراه و تهی‌شدگی آن در بخش بزرگی از محدوده، با توجه به نقشه ناهنجاری این عنصر، می‌باشد که تحرک بالای این عنصر در محیط اکسیدان (نظیر محیط محدوده مورد نظر) می‌تواند دلیلی مناسبی برای تهی‌شدگی آن در محدوده می‌باشد. همچنین همراهی این عنصر با عنصر مس در بخش‌های غنی‌شده توده‌های نفوذی مرکز محدوده، می‌تواند به دلیل فرآیند سنگ‌شناسی این واحد به دلیل ترکیب بازیک‌تر آن در محدوده باشد.



شکل ۳. نقشه‌های ناهنجاری عناصر طلا، مس، مولیبدن، سرب و روی در محدوده صاحب‌دیوان.



شکل۴. نقشه‌های زمین‌شناسی- دگرسانی محدوده صاحب‌دیوان در مقیاس ۱:۵۰۰۰ که در آن دو زون کانی‌سازی نشان داده شده است.

منابع

- حسنی پاک، علی اصغر (۱۳۷۷). زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۸۹، ۳۱۴ص.
- حسنی پاک، علی اصغر (۱۳۸۱). اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۰۸۰، ۶۱۵ ص.
- شهاب‌پور، جمشید، زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنرکرمان، چاپ دوم، کرمان ۱۳۸۲
- حسنی پاک، علی‌اصغر - شرف‌الدین، محمد (۱۳۸۱). تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۵۳۶، ۹۷۷ ص.
- نظام‌پور، محمدهادی (۱۳۸۴). پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان ژئوشیمی، دورسنجی و سنگ‌شناسی جهت تعیین خاستگاه کانه‌زایی‌ها در منطقه خونی نایین، دانشگاه شهید بهشتی، ۴۹۹ ص.
- نبوی، محمدحسن، زمین‌شناسی ایران، تهران ۱۳۵۵.
- درویش‌زاده، علی، زمین‌شناسی ایران، تهران ۱۳۷۰.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، مهرماه ۱۳۸۶، گزارش مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون در محدوده صاحب‌دیوان، ۱۰۸ص.

Reference

- Thompson, A.J.B, Thompson, J.F.H, Dunne, K.P.E, Atlas of Alteration, Geological Association of Canada, 1995.
- Levinson, A.A, introduction to Exploration Geochemistry, 1974