

بررسی کانی‌سازی طلا و مس در کانسار طلای تاریک‌دره، شمال تربت‌جام – خراسان رضوی

کوروش شعبانی^۱، نیما نضافتی^۱، مرتضی مؤمن‌زاده^۲، محمدحاشم امامی^۳ و سید جمال ذکریایی^۴

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ گروه پژوهشی زرنه اکتشاف، تهران، ایران

^۳ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران

^۴ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

کانسار طلای تاریک‌دره در ۴۰ کیلومتری شمال تربت‌جام در استان خراسان رضوی واقع است. سنگ میزبان کانسار تاریک‌دره سازند شیل - ماسه‌سنگی تریاس بالایی و سنگ‌های نفوذی با ترکیب گابرویی - کوارتز دیوریتی - گرانیتی است. دگرسانی آرژیلیک عمدتاً در سقف و یا همبری استوک‌های یادشده ایجاد شده است. زمین‌ساخت باعث ایجاد زون‌های خرد شده بوده و فرایندهای دگرسانی و کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه را آسان کرده است. کانه‌های عمده در رگه‌های سیلیسی این کانسار شامل آرسنوپریت، کالکوپریت و پریت است. کانی‌سازی تلسکوپ‌ی احتمالاً بیش از ۲ مرحله در این منطقه رخ داده و با توجه به نقش سیال‌های ماگمایی در کانه‌زایی تاریک‌دره، به‌نظر می‌رسد، دمای همگن شدن این سیالات ۲۲۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درصد شوری ۳/۱ تا ۱۲/۴ درصد بوده است. با توجه به مطالعات انجام شده کانسار طلای تاریک‌دره شبیه "کانسارهای مرتبط با توده‌های نفوذی" است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

طلا

مس

کانسار طلای تاریک‌دره

تربت‌جام

۱- پیش‌نوشتار

کانسار طلای تاریک‌دره در شمال خاور ایران، در استان خراسان رضوی و در فاصله ۴۵ کیلومتری شمال تربت‌جام بین طول‌های خاوری ۴۰° ۴۷' و ۴۰° ۴۰' و عرض‌های شمالی ۳۵° ۲۸' و ۳۵° ۳۱' قرار دارد. این ذخیره معدنی در راستای کمربند فلززایی بینالود و در شمال پهنه ایران مرکزی قرار دارد. رشته‌کوه‌های بینالود با روند تقریبی شمال باختری - جنوب خاوری بین صفحه مستحکم توران و خردقاره ایران مرکزی قرار دارد. با توجه به رخنمون واحدهای دگرگون و آذرینی، اعتقاد بر این است که این زون کانی‌سازی تا افغانستان ادامه دارد (نبوی، ۱۳۵۵). تاکنون مطالعات بسیاری بر روی محدوده اکتشافی تاریک‌دره نظیر گزارش‌های شناسایی رگه‌های آرسنوپریت و بی‌هنجاری‌هایی از طلا و تنگستن (Williams, 1965 and Taghizadeh, 1965)، مطالعات ژئوشیمی مقدماتی و زمین‌شناسی اقتصادی اندیس طلای تاریک‌دره (شفیع‌نیا، ۱۳۸۱)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تربت‌جام (علوی‌نائینی، ۱۳۷۹)، مطالعات زمین‌شناسی و سن‌سنجی ایزوتوپی تاریک‌دره (قوی و همکاران، ۱۳۹۹) انجام شده است. مجموعه گرانیتوئیدی تربت‌جام به عنوان بخشی از کمربند فلززایی بینالود شامل کانی‌سازی‌های فراوانی از جمله طلای فیروزکوه (قلیچ‌خانی و همکاران، ۱۳۹۲)، سرب و روی بوته‌گز (گندمکار و همکاران، ۱۳۹۲)

و مس انبورتا (مهندسین مشاور معدن‌آرا، ۱۳۹۰) می‌باشد. در نوشتار حاضر ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و دگرسانی کانسار تاریک‌دره ارائه شده است.

۲- روش مطالعه

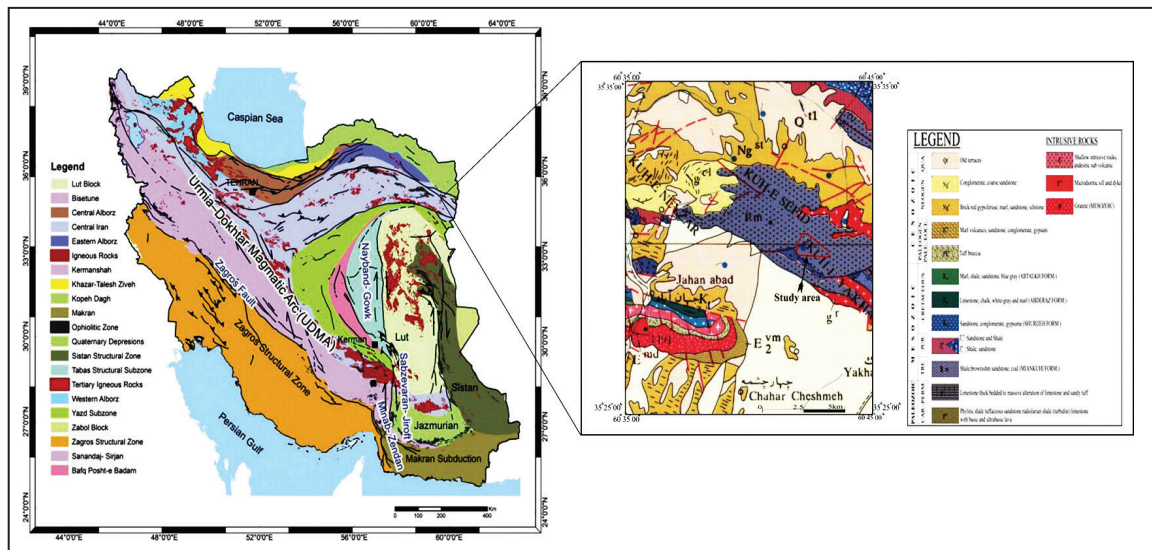
در مطالعات حاضر ماهیت زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه تاریک‌دره، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در بررسی‌های صحرایی، ۲۳۱ نمونه از بخش‌های مهم کانه‌زایی (رگه‌های سیلیسی) در حاشیه توده نفوذی برداشت شد و با هدف شناخت منشأ واحدهای زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی برداشت شد. از این تعداد، ۲۵ نمونه مورد مطالعه سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری قرار گرفت. ۲۳ نمونه به روش XRD از نظر مطالعه کانی‌شناسی مطالعه شد. تعداد ۱۸۳ نمونه به منظور تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب به روش (طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه Amdel کشور استرالیا مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی ۴ نمونه از رگه‌های سیلیسی - کلسیتی مورد در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با دستگاه گرمایش و سرمایش لینکام مدل THMS600 و میکروسکوپ نوری مدل زایس انجام شده

نفوذ چند توده گرانیتویدی (سن نسبی تریاس بالایی- ژوارسیک آغازی)، با ترکیب گابرویدیوریت، کوارتز مونزونیت، کوارتزیدیوریت و گرانیتی در شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند میانکوهی موجب دگرگونی مجاورتی و هورنفلسی شدن آنها شده است (قوی و همکاران، ۱۳۹۲) (شکل ۲). البته طبق آخرین مطالعات قوی و همکاران (۱۳۹۹)، سن واحدهای نفوذی معادل آشکوب نورین بوده و از این رو سن سنگ‌های میزبان احتمالاً به قبل از تریاس بالایی برمی‌گردد. در این منطقه گسل‌های متعددی با روند شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری موجب شکستگی سنگ‌های منطقه و تشکیل مناطق برشی شده است. ظاهراً گسلش خردشدگی سنگ‌های منطقه عامل تسهیل حرکت محلول‌های گرمایی و دگرسانی بوده است (قوی و همکاران، ۱۳۹۹).

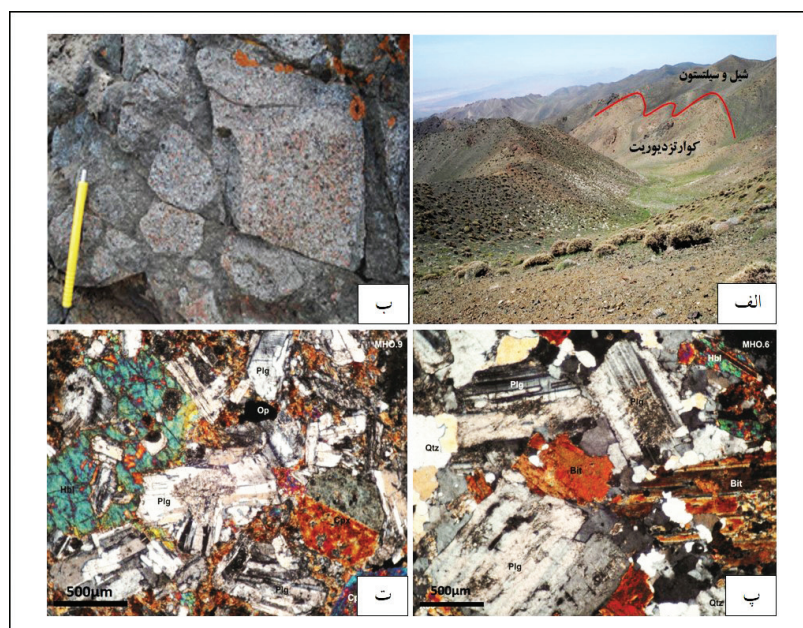
است. دقت اندازه‌گیری‌ها ± 0.6 درجه سانتی‌گراد برای گرمایش و ± 0.2 درجه سانتی‌گراد برای سرمایش بوده است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی، نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده و یافته‌های صحرایی، پردازش و ارائه شده‌اند.

۳-۱. زمین‌شناسی کانسار

همان‌طور که اشاره شد کانسار تاریک‌دره در شمال خاور ایران و در منطقه مرزی پهنه‌های ایران مرکزی و کپه‌داغ است. این کانسار در شمال نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام (علوی نایینی، ۱۳۷۹) و بخش جنوبی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آق‌دریوند (قائمی، ۱۳۸۴) واقع شده است (شکل ۱). کهن‌ترین واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی، گروه شیلی- ماسه‌سنگی آق‌دریوند (سازند میانکوهی) به سن تریاس بالایی است که دچار دگرگونی ناحیه‌ای (اسلیت) شده است (Rutner, 1991).



شکل ۱- A) نقشه ساختاری- رسوبی ایران (برگرفته از (Sahandi, 2013) B) موقعیت محدوده اکتشافی تاریک‌دره در روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌جام (افتخارتزاد و همکاران، ۱۹۹۳).



شکل ۲- الف) دورنمایی از واحدهای کوارتزیدیوریت در بین واحدهای شیل و ماسه‌سنگی سازند میانکوهی؛ ب) نمایی نزدیک از قسمت‌های برشی شده توده کوارتزیدیوریتی؛ پ و ت) تصویر میکروسکوپی از بافت گرانولار در سنگ‌های کوارتزیدیوریتی. در این تصاویر بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز، بیوتیت‌های نیمه‌شکل‌دار و کوارتزهای بی‌شکل نمایان است (عکس‌برداری میکروسکوپی در نور پولاترین بوده است).

۲-۳. دگرسانی

به ۴ زون شامل آرژیلیک، سرسیتیک، سیلیسی و اکسید آهنی تقسیم کرد (جدول ۱).
– دگرسانی آرژیلیک: گسترش اصلی این نوع دگرسانی در داخل توده نفوذی بوده است که در موارد زیادی با برشی شدن همراه است. اگر چه این دگرسانی به خوبی گسترش یافته است ولی بافت اولیه سنگ‌های نفوذی در آن قابل تشخیص است. این دگرسانی از دور شدن از توده نفوذی و دگرسانی سیلیسی کاهش یافته است و در اطراف به دگرسانی پروپیلیتیک می‌شود.

در محدوده کانسار طلای تاریک‌دره، دگرسانی‌ها غالباً در مرز توده‌های نفوذی با واحد متناوب شیل و ماسه‌سنگ و حاشیه گسل‌ها به صورت خطی رخ داده‌اند. دگرسانی در منطقه مرزی توده‌های نفوذی منطقه گسترش نسبتاً زیادی دارد و به صورت محلی شدت بیشتری پیدا کرده‌اند. مناطق دگرسانی با مساحت چند ده تا چند صد متر مربع است. بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی (XRD و سنگ‌نگاری) و ترکیب کانی‌شناسی، دگرسانی در محدوده تاریک‌دره را می‌توان

جدول ۱- نتایج مطالعاتی کانی‌شناسی به روش XRD برای شناسایی مناطق دگرسان در محدوده کانسار طلای تاریک‌دره.

ردیف	Samples	Major Phases									
		Qz.	Sco	Ano.	Hor.	Mos-Ill.	Chl.	Orth.	Ca.	Mon.	Al.
1	T4RD-10	*						*		*	*
2	TT18D-7									*	*
3	TT16D-9	*									*
4	TT18D-7									*	*
5	TT16D-9	*									*
6	TT19D-14	*								*	*
7	TT15D-7	*									
8	TT14D-5	*								*	*
9	TT18D-5	*					*			*	*
10	TT13D-12	*									*
11	TT9D-12	*				*	*				*
12	TT14D-11	*								*	*
13	TT11D-11	*				*					*
14	TT13D-13	*					*				*
15	TT5D-4	*									*
16	TT11D-12	*						*		*	*
17	T4SD-6	*					*		*		*
18	TT1D-15	*					*				*
19	TT19D-13										*
20	TT20D-12	*		*			*			*	
21	T4RD-2	*					*				*
22	T4SD-14	*			*		*				*
23	TCHD-5	*	*				*			*	

Qz= Quartz, Sco= Scorodite, Ano= Anortite, Hor = Hornblende, Mos-Ill= Moscovite-Illite, Chl= Chlorite, Orth= Orthoclase, Ca= Calcite, Mon= Montmorillonite, Al= Albite, Mos= Muscovite & Goe = Goethite.

ادامه جدول ۱-

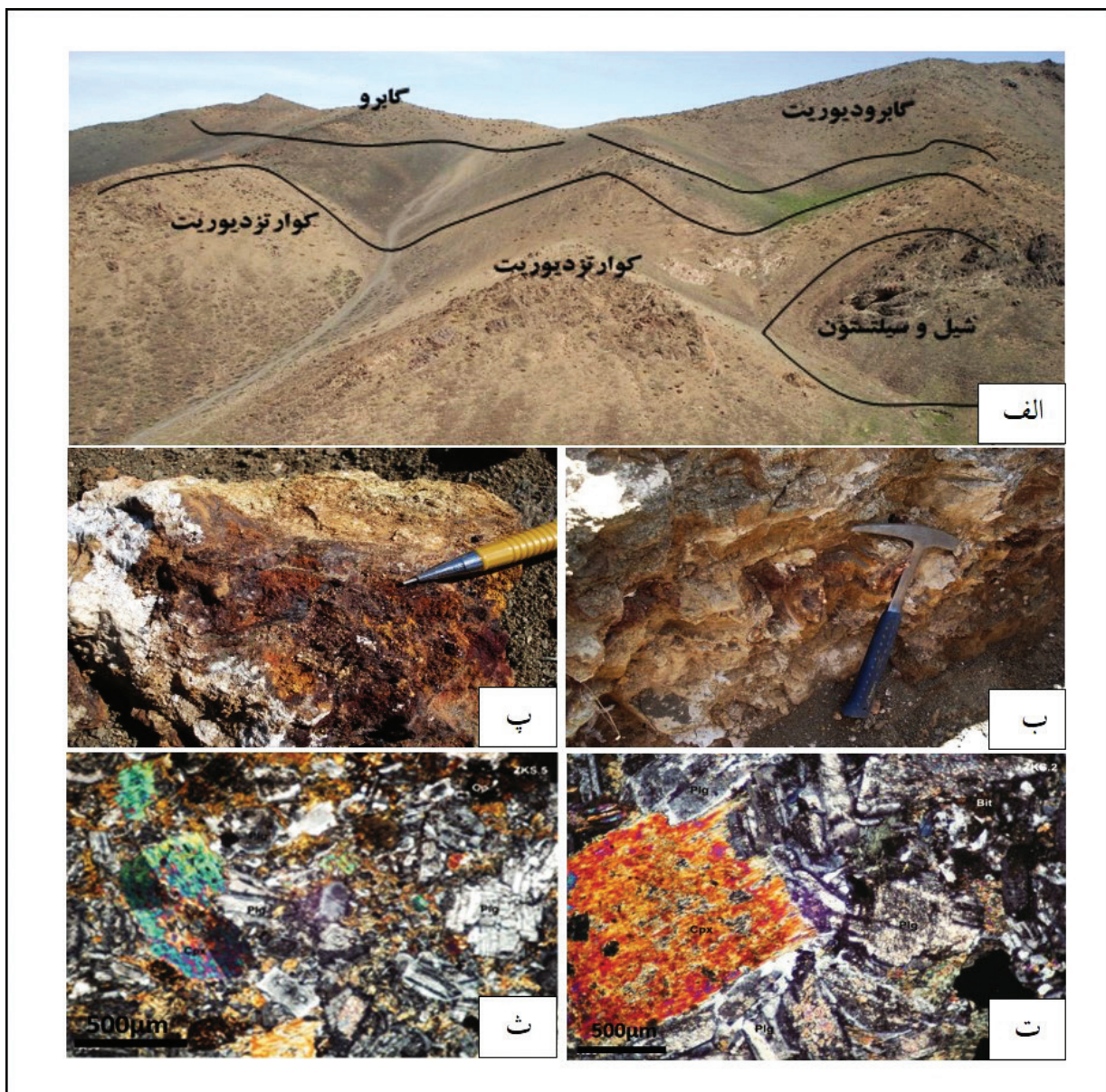
ردیف	Samples	Minor Phases										Trace Phases	
		Orth.	Mon.	Mos.	Mos-III.	Al.	Ca.	Geo.	Hor.	Chl.	Qz.	Hor.	Mos-III.
1	T4RD-10			*				*					
2	TT18D-7								*	*	*		
3	TT16D-9				*				*	*			
4	TT18D-7								*	*	*		
5	TT16D-9								*	*			
6	TT19D-14							*	*				
7	TT15D-7				*	*		*		*			
8	TT14D-5									*		*	
9	TT18D-5								*				
10	TT13D-12				*					*		*	
11	TT9D-12								*				
12	TT14D-11									*			
13	TT11D-11	*	*									*	
14	TT13D-13				*								
15	TT5D-4		*		*					*			
16	TT11D-12				*							*	
17	T4SD-6											*	*
18	TT1D-15		*		*								
19	TT19D-13		*				*		*		*		
20	TT20D-12				*			*	*				
21	T4RD-2												
22	T4SD-14												*
23	TCHD-5					*			*				

سیلیسی رخنمون‌یافته به صورت زون‌ها و رگه‌های سیلیسی از روند زون‌های گسلی و شکستگی‌های منطقه پیروی می‌کنند. نتایج آنالیز و مشاهدات صحرایی در منطقه تاریک دره نشانگر ارتباط قوی بین نمونه‌های عیار بالای طلا با رگه‌های سیلیسی، برشی و سولفیددار در جوار و یا درون توده‌های نفوذی می‌باشد (شکل ۳).

اکسیدهای آهن: در این منطقه کانی‌های ثانویه گوتیت، ژاروسیت و لیمونیت به فراوانی دیده می‌شود. این دگرسانی‌ها نیز در اطراف توده نفوذی و در جوار دگرسانی‌های آرژلیک و سربستیک و سیلیسی همراه است (شکل ۳).

دگرسانی سربستیک: این دگرسانی به طور پراکنده در بخش‌های مرکزی و باختری منطقه مورد مطالعه گسترش دارد، و به طور مشابهی موجب تغییرات کانی‌شناسی در سنگ‌های دیوریتی، مونزوگرانییتی، کوارتمونزونیتی و گرانیتی به ویژه در منطقه مرزی بوده است. کوارتز، سربست، پیریت مهمترین کانی‌های ثانویه در این منطقه دگرسانی هستند که از تجزیه پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپات پدید آمده‌اند. این دگرسانی با زون‌های کانی‌سازی و رگه‌های حاوی اکسید آهن در ارتباط است.

دگرسانی سیلیسی: مهمترین دگرسانی در توده نفوذی و حواشی آن می‌باشد. بخش‌های

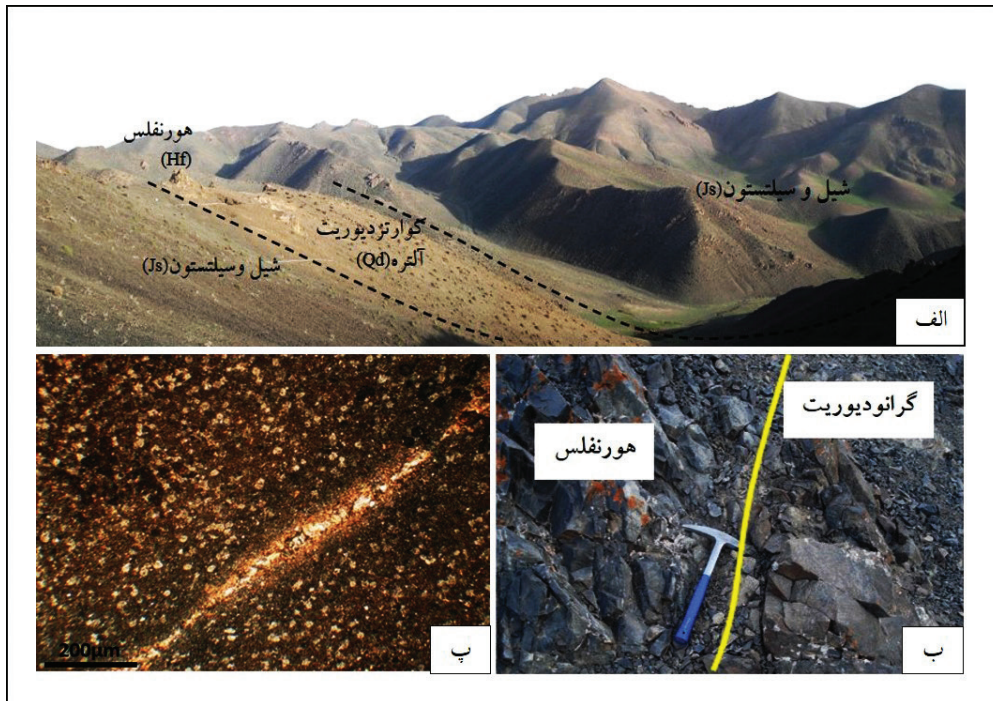


شکل ۳- الف) نمایی از توده‌های گابرو دیوریتی، گابروی و کوآرتز دیوریتی در بین سنگ‌های شیلی و سیلتستونی در منطقه؛ ب) نمایی از مناطق دگرسانی آرژلیکی و سریستی در همبری توده گابرو دیوریتی؛ پ) منطقه دگرسانی اکسید آهنی در سنگ‌های دیوریت منطقه؛ ت و ث) تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های نفوذی دگرسان منطقه (عکس‌برداری میکروسکوپی در نور پولاریزان بوده است).

۳-۳. کانی‌سازی و کانه‌نگاری کانسار

مشابه با رگچه‌های آرسنوپیریت‌دار هستند. رگه‌های سیلیسی با ستری در حد سانتی‌متر تا بیشینه ۵۰ سانتی‌متری مشاهده می‌شوند که گاهی تا حدود ۹۰ درصد آرسنوپیریت دارند. در مجاورت زون‌های کانی‌سازی معمولاً می‌توان واحد سیلتستون و شیل تریاس بالایی را به صورت هورنفلس خرد شده مشاهده کرد. در مواردی که خردشدگی شدید است و پس از آن، دگرسانی ضعیفی در اطراف شکستگی‌ها رخ داده و کانی‌سازی مس به صورت پراکنده در آنها دیده می‌شود (شکل ۴). به نظر می‌رسد که کانی‌سازی توسط گسل‌های فعال در زمان جایگیری توده‌های نفوذی کنترل شده است. کانی‌سازی با مجموعه دگرسانی آرژلیک، سریستی و به‌ویژه آغشتگی‌های اکسید آهن همراهی کامل دارد. در منطقه تاریک‌دره رگه‌های کلسیتی نیز وجود دارد که از حجم کانی‌سازی کمتری برخوردار هستند.

در منطقه تاریک دره سنگ‌های آذرین نفوذی به شکل توده‌ای و صفحه‌ای (دایک) رخنمون یافته و طبق بررسی‌های کانی‌شناسی سنگ‌های نفوذی دارای طیفی از گابرو تا کوآرتز مونزونیت می‌باشند. در این کانسار کانی‌سازی طلا - مس محدود به مناطق گسلی بوده و مهمترین کانی‌سازی در رگه و رگچه‌های آرسنوپیریت - سیلیسی است. بیشتر رگه‌ها دارای روند عمومی تقریباً شمال‌خاوری - جنوب‌باختری هستند. کانی‌سازی در ارتباط تنگاتنگ با همبری توده نفوذی آذرین با سنگ دربرگیرنده خود یعنی واحد سیلتستون و شیل است. حفاریات قدیمی بر روی این رگه‌ها و زون‌های شدیداً دگرسان وجود دارد که همگی برای استحصال طلا و مس انجام گرفته‌اند. این رگه‌ها در مجموعه‌ای دگرسان با وسعت اندک در حد چند ده تا چند صد متر مربع نمایان هستند. زون‌های دگرسان، خود دارای رگه و رگچه‌های متعددی هستند و مجموعاً دارای غنی‌شدگی‌های



شکل ۴- الف) نمای از واحدهای رسوبی، نفوذی و دگرگونی در مرکز محدوده کانسار طلای تاریک‌دره (دید به سوی جنوب خاور)؛ ب) نمای از زون هورنفلسی شده در همبری توده گرانودیوریتی؛ پ) تصویر میکروسکوپی از رگه سیلیسی نازک در زون هورنفلسی.

مواردی کالکوپیریت و پیریت توسط آرسنوپیریت دربرگرفته شده‌اند. کانی‌سازی آرسنوپیریت در بعضی از نمونه‌ها به صورت دانه‌های اتومورف و درشت بوده ولی در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی دارای بافت کاتاکلاستیک هستند. آرسنوپیریت در این نمونه‌ها، توسط کولین و هیدروکسیدهای آهن جانشین شده و بقایای آنها به صورت جزیره‌ای دیده می‌شوند. داخل آرسنوپیریت انکلوژون‌های ۲۰ تا ۱۲۰ میکرونی کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل ۶-ب). این بلورها به طور فشرده در کنار هم قرار گرفته و فرایند دگرسانی از حواشی دانه‌ها آغاز و از طریق شکستگی‌ها گسترش نموده است. ابعاد آرسنوپیریت بین ۵۰ تا ۴۰۰ میکرون است. فراوانی کالکوپیریت که بیشتر همراه با آرسنوپیریت هستند، حدود ۳ تا ۴ درصد حجمی است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانه دار، نشان می‌دهد که طلا به عنوان کانی‌سازی اصلی در منطقه است. در رتبه‌های بعدی مس، بیسموت و تلوریم قرار دارند. فلزات نقره، آنتیموان و مولیبدن نیز غنی‌شدگی خوبی نشان داده‌اند.

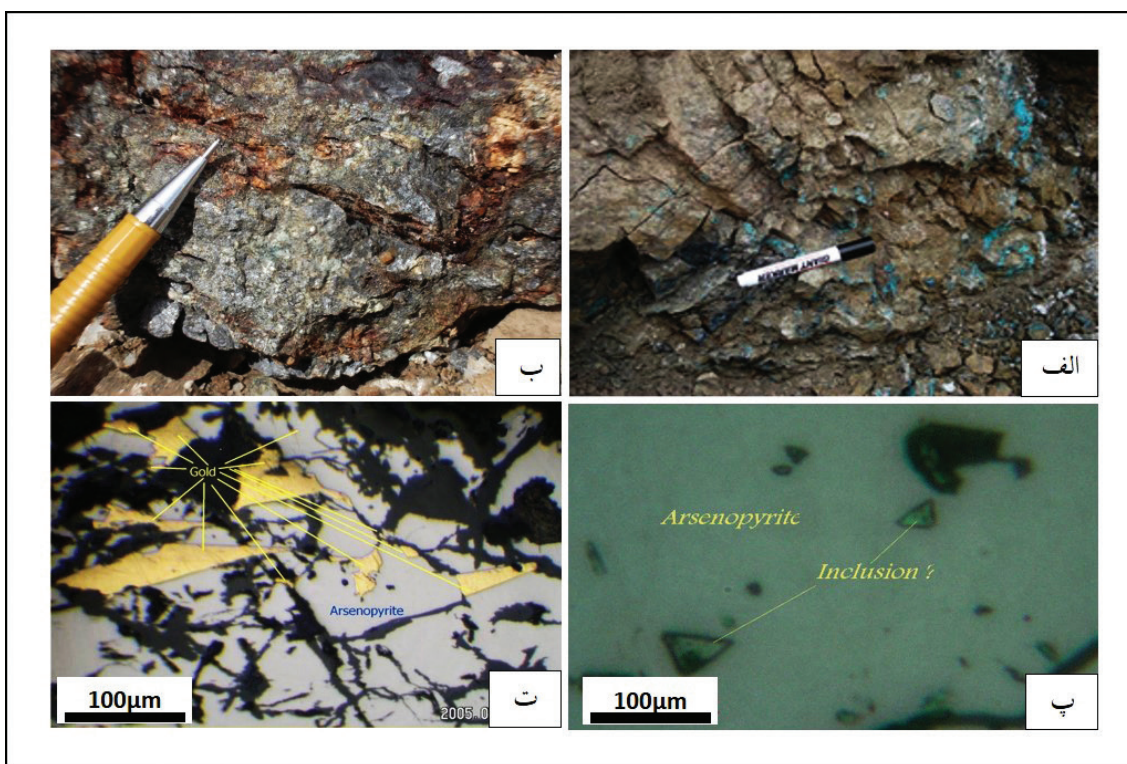
۳-۴. ژئوشیمی

تاکنون بررسی‌ها و تلاش‌های بسیاری برای شناخت مجموعه گرانیتویدهای گوناگون و محیط زمین‌ساختی پیدایش ماگمای سازنده آنها بر اساس ترکیب شیمیایی انجام شده است (Clemens and Stevens, 2012; Grebennikov, 2014). در نمودار دوتایی SiO_2 در برابر نسبت $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ نشان داده است که گرانیتوید منطقه تاریک دره از نوع گرانیت‌های مولد کانه‌زایی مس-طلا با ماهیت اکسیدان هستند (شکل ۷). با توجه ویژگی‌های منطقه مطالعاتی می‌توان گفت که کانه‌زایی در شمال تربت‌جام از نوع کانسارهای طلای وابسته به توده‌های نفوذی است. در این کانسارها یک زون‌بندی از مرکز به طرف حاشیه سیستم قابل مشاهده است (Baker and Lang, 2001) (شکل ۸) به طوری که در مرکز سیستم، کانه‌زایی عناصر آرسنیک-طلا و تنگستن دیده شده، سپس کانه‌زایی بیسموت-تلور-طلا-آرسنیک، و در بیرونی‌ترین بخش سیستم کانه‌زایی فلزات پایه و نقره تشکیل می‌شود.

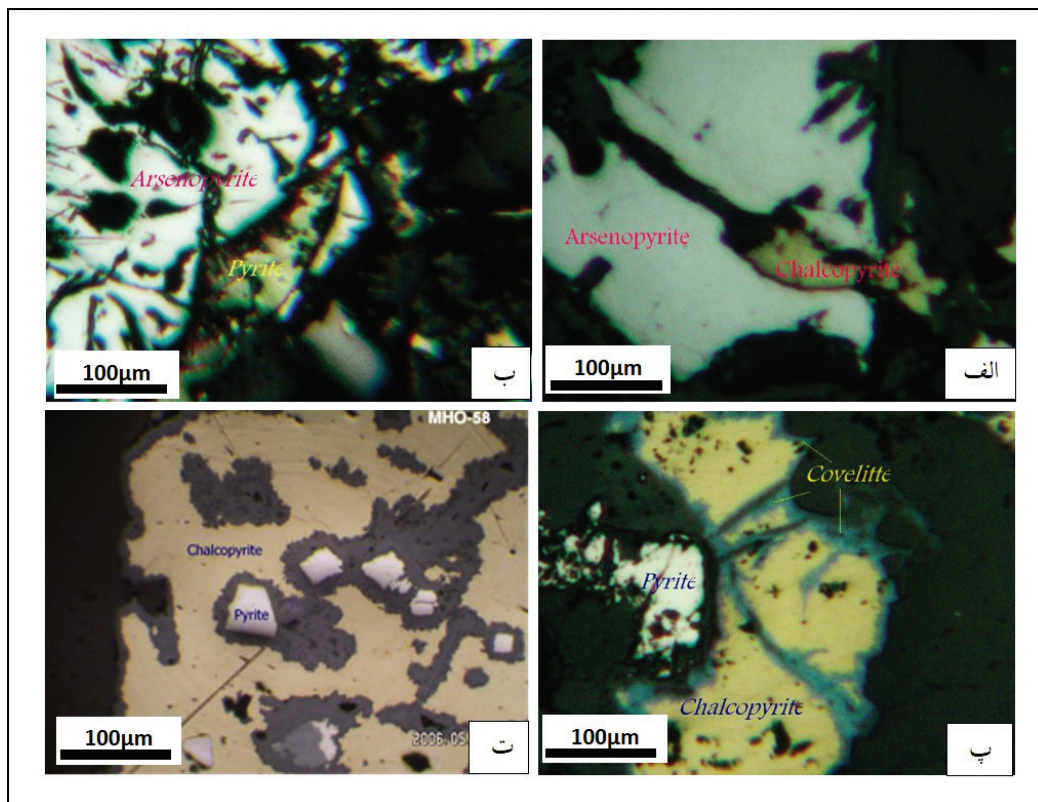
در صحرا، کانی‌های مس‌دار در شکل‌های مختلف و تقریباً در همه بخش‌های دگرسان در محدوده دیده می‌شوند (شکل ۵-الف و ب). به طوری که در محل خردشدگی گسل‌ها در واحد سیلستون و شیل نیز می‌توان آغشتگی به مالاکیت را مشاهده کرد. کانی‌سازی مس به صورت وسیع در ارتباط با شکستگی‌های ثانویه نیز دیده می‌شود که نشان‌دهنده کانی‌سازی تأخیری آن است. بر اساس مطالعات کانه‌شناسی، کانه‌های آرسنوپیریت، پیریت و کالکوپیریت، کانه‌های اصلی موجود در رگه‌های سیلیسی هستند و تقریباً همیشه در کنار هم حضور دارند (شکل ۵). به نظر می‌رسد که در این مناطق آرسنوپیریت، پیریت و کالکوپیریت را احاطه کرده است (شکل ۴-ت و پ) نشانگر توالی پاراژنزی پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت می‌باشد (شکل ۵) که با توجه به فراوانی بیسموت و تلوریم، می‌توان کانی‌های زیادی را به صورت ادخال در آنها پیش‌بینی کرد. طبق مطالعات کانه‌نگاری، آرسنوپیریت، پیریت، کالکوپیریت و گالن فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی در منطقه هستند. آرسنوپیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی است که به شکل توده‌ای، دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی تشکیل شده است. آرسنوپیریت ۱۰ تا ۲۰ درصد کانی‌سازی موجود در رگه‌های سیلیسی-کربناتی در منطقه تاریک‌دره را تشکیل داده است.

بلورهای اتومورف پیریت با فراوانی حدود ۲٪ در نمونه‌ها دیده می‌شود. گاهی چند بلور در کنار هم قرار گرفته و اجتماعات بزرگ‌تری را تشکیل داده‌اند. ابعاد بلورهای آنها از ۱۰ میکرون تا ۲۵۰ میکرون متغیر است. طبق مطالعات کانه‌نگاری، پیریت توسط هیدروکسیدهای آهن در حال جانشینی بوده و به دو صورت در نمونه‌ها دیده می‌شوند. یک دسته دانه‌های اتومورف که دارای ابعاد تا حدود ۲۰۰ میکرون و دسته دیگر دارای بافت کلوییدی که در حال جذب یکدیگر و تبلور دانه‌های اتومورف هستند. ابعاد لکه‌های تشکیل شده به این شکل گاهی تا ۳۰۰ میکرون می‌رسد که در هیچکدام طلا مشاهده نشد (شکل ۶-پ و ت).

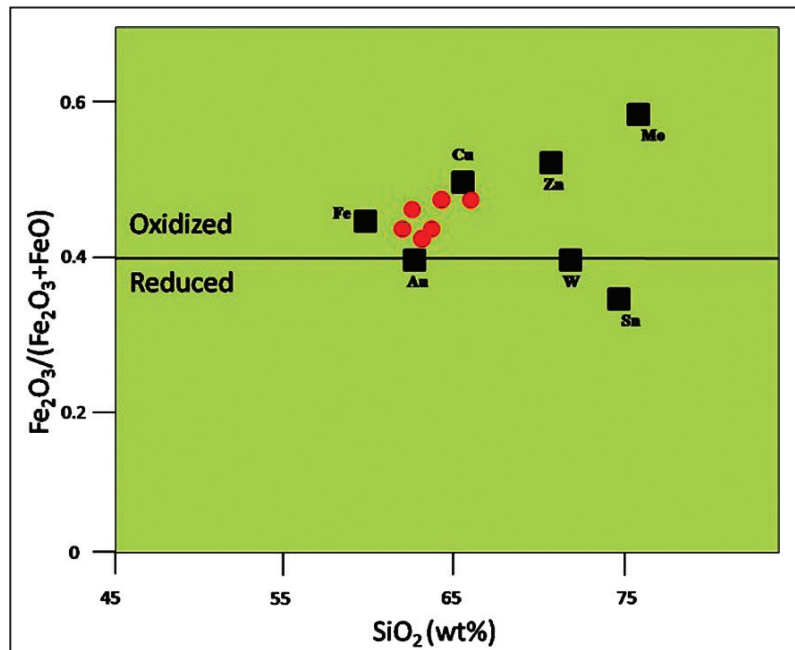
فراوانی کالکوپیریت با ابعاد حدود ۱۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر و در برخی نمونه‌ها با فراوانی حدود ۲۰ درصد حجمی است. این کانه در برخی از نمونه‌ها، ظاهراً تحت تأثیر دگرسانی توسط کولین در حال جانشینی هستند (شکل ۶-الف، ب). در



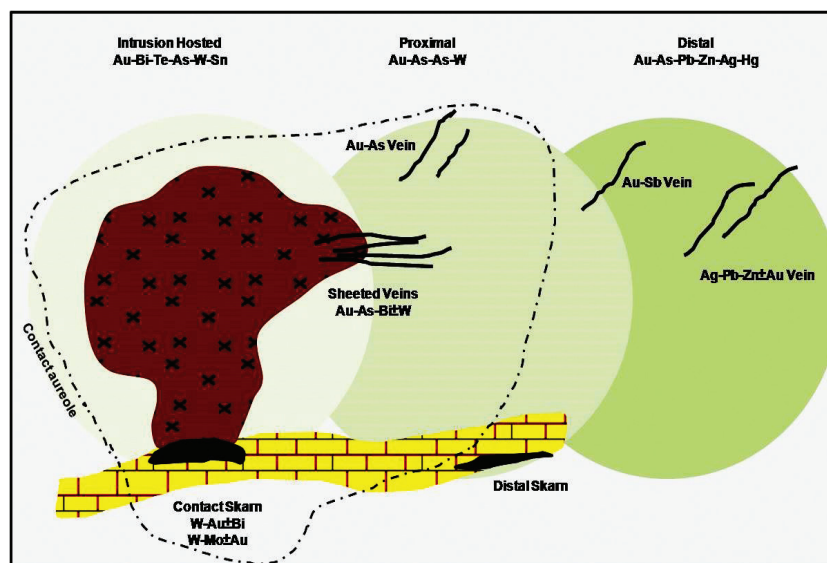
شکل ۵- الف) نمای از کانی‌سازی مس (مالاکیت) در سنگ‌های خرد شده کوارتزیدوریتی؛ ب) نمای نزدیک از کانی‌سازی آرسنوپیریت همراه با کوارتز واکسیدهای آهن در شکستگی‌ها؛ پ) نمای میکروسکوپی از نمونه آرسنوپیریت؛ ت) طلا به صورت پرکننده فضای خالی در شکستگی‌های آرسنوپیریت.



شکل ۶- الف) و ب) نمای میکروسکوپی از کالکوپیریت و پیریت که توسط آرسنوپیریت در برگرفته شده‌اند؛ پ) نمای میکروسکوپی از پیریت و کالکوپیریت و کانی ثانویه کولین؛ ت) نمای میکروسکوپی از پیریت و کالکوپیریت.



شکل ۷- نمودار دوتایی SiO_2 در برابر نسبت $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (Middlemost, 1991). این نمودار نشان می‌دهد گرانیتوید منطقه تاریک دره از نوع گرانیت‌های مولد کانه‌زایی مس - طلا با ماهیت اکسیدان است.



شکل ۸- نمایی از زون‌بندی ژئوشیمیایی از مرکز سیستم به طرف حاشیه در کانسارهای طلای مرتبط با توده نفوذی برگرفته از (Lang and Baker, 2001). براین اساس تاریک‌دره در بخش درونی این سیستم کانه‌زا واقع شده است.

کانی‌سازی طلا به ترتیب با عناصر تلوریم، آرسنیک، بیسموت و آنتیمون نیز پاراژنز دما بالای کانی‌سازی در این منطقه را نشان می‌دهند (جدول ۲). همبستگی متوسط طلا با کانی‌سازی مس و عناصر خاکی نادر که دارای شرایط دمایی کمتری هستند (به‌ویژه برای مس که حجم کانی‌سازی قابل توجهی دارد) می‌تواند ناشی از کانی‌سازی تلسکوپ‌ی مس در محل کانی‌سازی پیشین باشد. تظاهر کانی‌سازی مس در مناطقی با یا بدون کانی‌سازی طلا رخداد کانی‌سازی تلسکوپ‌ی در منطقه را تأیید می‌نماید. با توجه همبستگی طلا با سریم و عدم وجود همبستگی بالای سرب و روی یک رابطه مستقیم بین عناصر تنگستن، مس و آرسنیک، مس و طلا، آرسنیک و آنتیمون و طلا و آنتیمون در منطقه کانسار وجود دارد.

همچنین بر اساس مطالعات قوی و همکاران (۱۳۹۹) درباره خصوصیات مغناطیسی سنگ‌های آذرین، پذیرای مغناطیسی به عنوان یک شاخص سنگ‌نگاری برای تمایز برخی از توده‌های آذرین در شمال خاور ایران به کار گرفته شد (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵)، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتویدهای سری مگنتیت (اکسیدان) را بیش از SI ۵-۱۰*۸۰ و سری ایلمینیت (احیایی) را کمتر از این مقدار می‌داند (Ishihara, 2004)، توده‌های نفوذی تاریک دره دارای حالت احیایی به دسته ایلمینیت مرتبط هستند (قوی و همکاران، ۱۳۹۹).

از بررسی هیستوگرام‌های تک متغیره داده‌های لیتوژئوشیمیایی این محدوده، شکل و فرم کلی نزدیک به توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد. براین اساس همبستگی

جدول ۲- جدول همبستگی عناصر به روش اسپیرمن برای نمونه‌های برداشت شده از کنسار تاریک دره (در این جدول عناصری که با هم همبستگی معنی‌داری دارند خاکستری و عناصری که همبستگی منفی دارند با رنگ زرد مشخص شده‌اند).

	AuI	Mn	Pb	Ba	Ti	Fe	Al	K	Mg	Na	P	S	Hg
AuI	1.00	0.04	0.23	-0.28	-0.17	0.59	-0.41	-0.11	0.24	-0.40	0.02	0.43	0.43
Te	0.77	-0.14	0.35	-0.25	-0.38	0.61	-0.48	-0.11	0.10	-0.44	-0.18	0.59	0.36
As	0.76	-0.10	0.27	-0.28	-0.38	0.71	-0.59	-0.11	0.14	-0.53	-0.16	0.61	0.43
Bi	0.76	-0.23	0.36	-0.32	-0.42	0.59	-0.55	-0.07	-0.02	-0.51	-0.2	0.61	0.34
Sb	0.70	-0.08	0.39	-0.36	-0.41	0.59	-0.61	-0.22	0.05	-0.52	-0.13	0.61	0.41
Cu	0.61	-0.07	0.24	-0.21	-0.13	0.63	-0.37	0.04	0.17	-0.39	-0.05	0.54	0.25
Co	0.61	0.31	0.28	-0.29	-0.18	0.52	-0.32	-0.28	0.40	-0.40	0.03	0.33	0.32
Fe	0.59	0.14	0.15	-0.24	0.02	1.00	-0.49	-0.15	0.32	-0.66	0.12	0.51	0.32
Ce	0.50	0.44	0.24	0.00	0.05	0.41	-0.09	-0.05	0.47	-0.26	0.28	0.07	0.40
Ag	0.48	-0.27	0.34	-0.3	-0.28	0.54	-0.50	-0.08	-0.05	-0.42	-0.20	0.54	0.25
Sn	0.46	-0.18	0.3	-0.14	-0.13	0.49	-0.38	0.32	0.00	-0.51	-0.22	0.37	0.17
Hg	0.43	-0.05	0.18	-0.03	-0.13	0.32	-0.08	-0.04	0.11	-0.18	-0.07	0.19	1.00
Mo	0.43	-0.34	0.36	-0.39	-0.43	0.52	-0.61	-0.20	-0.21	-0.47	-0.18	0.66	0.19
S	0.43	-0.32	0.33	-0.39	-0.44	0.51	-0.50	-0.19	-0.15	-0.35	-0.18	1.00	0.19
Tl	0.39	-0.13	0.15	0.08	0.07	0.42	-0.11	0.48	0.20	-0.35	-0.06	0.22	0.34
Rb	0.39	0.08	0.19	0.05	0.29	0.29	0.08	0.48	0.31	-0.27	0.27	0.08	0.22
W	0.35	-0.32	0.16	-0.05	-0.12	0.35	-0.30	0.33	-0.14	-0.27	-0.31	0.25	0.51
Zn	0.29	0.27	0.39	-0.09	0.15	0.42	-0.12	0.04	0.37	-0.26	0.18	0.26	0.09
Mg	0.24	0.76	-0.14	0.09	0.42	0.32	0.17	-0.13	1.00	0.09	0.48	-0.15	0.11
Pb	0.23	-0.15	1.00	-0.08	-0.31	0.15	-0.22	0.14	-0.14	-0.32	-0.27	0.33	0.18
Mn	0.04	1.00	-0.15	0.15	0.37	0.14	0.20	-0.21	0.76	0.11	0.46	-0.32	-0.05
P	0.02	0.46	-0.27	0.03	0.61	0.12	0.27	-0.23	0.48	0.25	1.00	-0.18	-0.07
K	-0.11	-0.21	0.14	0.43	0.15	-0.15	0.27	1.00	-0.13	-0.05	-0.23	-0.19	-0.04
Ti	-0.17	0.37	-0.31	0.19	1.00	0.02	0.40	0.15	0.42	0.18	0.61	-0.44	-0.13
Ba	-0.28	0.15	-0.08	1.00	0.19	-0.24	0.47	0.43	0.09	0.30	0.03	-0.39	-0.03
Na	-0.40	0.11	-0.32	0.3	0.18	-0.66	0.57	-0.05	0.09	1.00	0.25	-0.35	-0.18
Al	-0.41	0.2	-0.22	0.47	0.4	-0.49	1.00	0.27	0.17	0.57	0.27	-0.50	-0.08

	Ag	As	Bi	Co	Cu	Mo	Sb	Zn	Sn	W	Te	Ce	Tl	Rb
AuI	0.48	0.76	0.76	0.61	0.61	0.43	0.70	0.29	0.46	0.35	0.77	0.50	0.39	0.39
Te	0.64	0.84	0.89	0.59	0.67	0.61	0.69	0.38	0.51	0.33	1.00	40	0.45	0.19
As	0.58	1.00	0.82	0.66	0.68	0.57	0.77	0.3	0.54	0.43	0.84	0.43	0.46	0.3
Bi	0.69	0.82	1.00	0.54	0.66	0.68	0.76	0.27	0.50	0.37	0.89	0.34	0.38	0.23
Sb	0.56	0.77	0.76	0.54	0.52	0.63	1.00	0.17	0.46	0.35	0.69	0.40	0.28	0.24
Cu	0.63	0.68	0.66	0.55	1.00	0.57	0.52	0.51	0.64	0.44	0.67	0.30	0.53	0.31
Co	0.38	0.66	0.54	1.00	0.55	0.31	0.54	0.44	0.25	0.1	0.59	0.55	0.22	0.24
Fe	0.54	0.71	0.59	0.52	0.63	0.52	0.59	0.42	0.49	0.35	0.61	0.41	0.42	0.29
Ce	0.09	0.43	0.34	0.55	0.3	0.17	0.4	0.42	0.23	0.13	0.40	1.00	0.25	0.44
Ag	1.00	0.58	0.69	0.38	0.63	0.69	0.56	0.40	0.52	0.41	0.64	0.09	0.35	0.04
Sn	0.52	0.54	0.50	0.25	0.64	0.43	0.46	0.43	1.00	0.54	0.51	0.23	0.52	0.32
Hg	0.25	0.43	0.34	0.32	0.25	0.19	0.41	0.09	0.17	0.51	0.36	0.40	0.34	0.22
Mo	0.69	0.57	0.68	0.31	0.57	1.00	0.63	0.27	0.43	0.30	0.61	0.17	0.25	-0.03

ادامه جدول ۲-

	Ag	As	Bi	Co	Cu	Mo	Sb	Zn	Sn	W	Te	Ce	Tl	Rb
S	0.54	0.61	0.61	0.33	0.54	0.66	0.61	0.26	0.37	0.25	0.59	0.07	0.22	0.08
Tl	0.35	0.46	0.38	0.22	0.53	0.25	0.28	0.36	0.52	0.50	0.45	0.25	1.00	0.61
Rb	0.04	0.30	0.23	0.24	0.31	-0.03	0.24	0.29	0.32	0.19	0.19	0.44	0.61	1.00
W	0.41	0.43	0.37	0.10	0.44	0.30	0.35	0.17	0.54	1.00	0.33	0.13	0.50	0.19
Zn	0.40	0.30	0.27	0.44	0.51	0.27	0.17	1.00	0.43	0.17	0.38	0.42	0.36	0.29
Mg	-0.05	0.14	-0.02	0.40	0.17	-0.21	0.05	0.37	0.00	-0.14	0.10	0.47	0.20	0.31
Pb	0.34	0.27	0.36	0.28	0.24	0.36	0.39	0.39	0.30	0.16	0.35	0.24	0.15	0.19
Mn	-0.27	-0.10	-0.23	0.31	-0.07	-0.34	-0.08	0.27	-0.18	-0.32	-0.14	0.44	-0.13	0.08
P	-0.20	-0.16	-0.20	0.03	-0.05	-0.18	-0.13	0.18	-0.22	-0.31	-0.18	0.28	-0.06	0.27
K	-0.08	-0.11	-0.07	-0.28	0.04	-0.20	-0.22	0.04	0.32	0.33	-0.11	-0.05	0.48	0.48
Ti	-0.28	-0.33	-0.42	-0.18	-0.13	-0.43	-0.41	0.15	-0.13	-0.12	-0.38	0.05	0.07	0.29
Ba	-0.30	-0.28	-0.32	-0.29	-0.21	-0.39	-0.36	-0.09	-0.14	-0.05	-0.25	0.00	0.08	0.05
Na	-0.42	-0.53	-0.51	-0.40	-0.39	-0.47	-0.52	-0.26	-0.51	-0.27	-0.44	-0.26	-0.35	-0.27
Al	-0.50	-0.59	-0.55	-0.32	-0.37	-0.61	-0.61	-0.12	-0.38	-0.30	-0.48	-0.09	-0.11	0.08

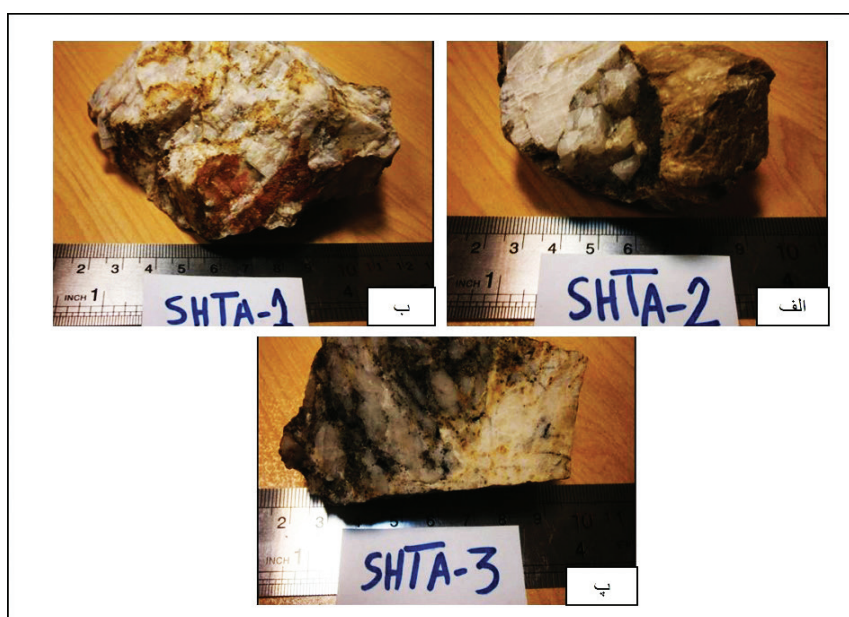
۴- بحث

۴-۱. میانبارهای سیال

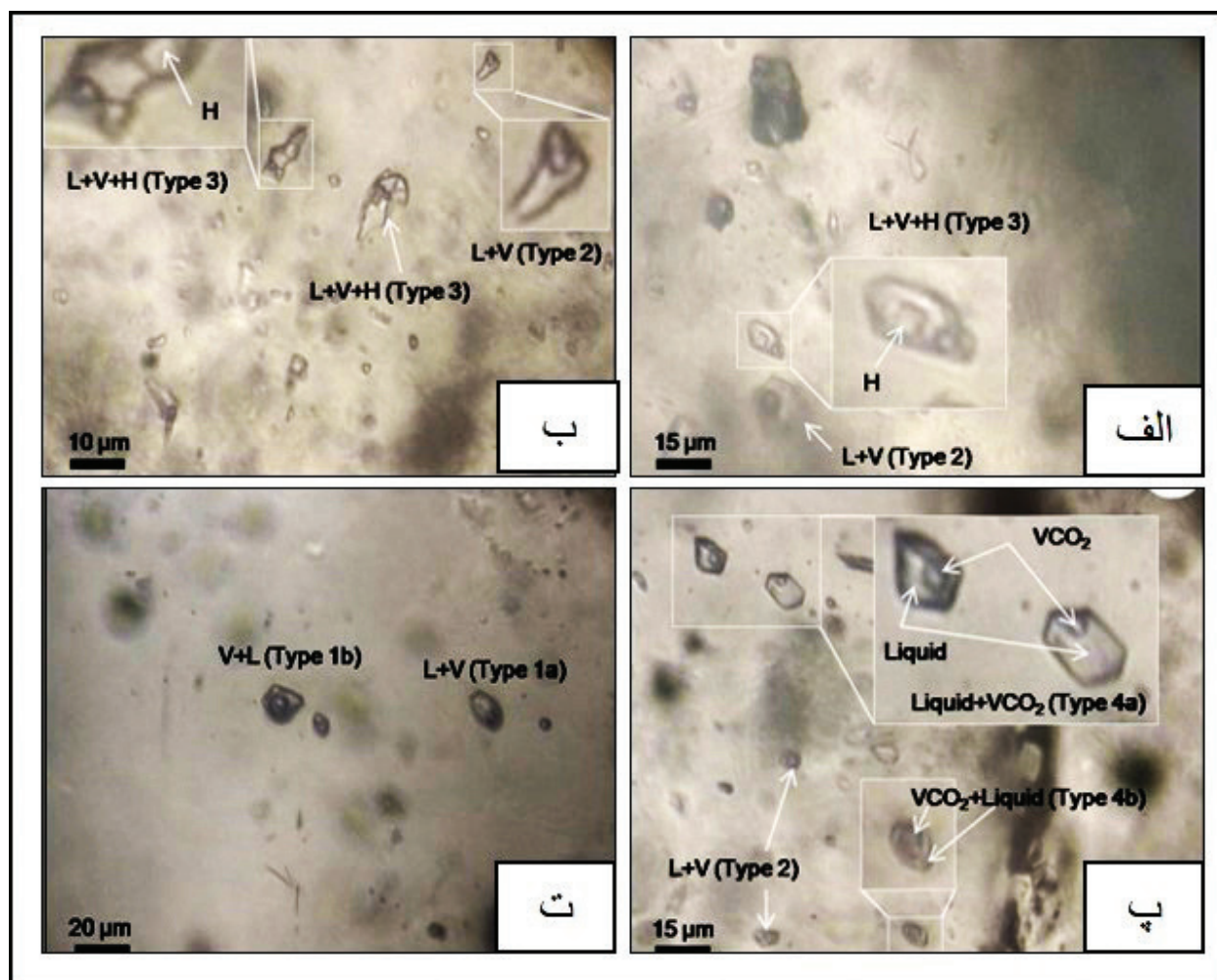
شامل و انواع دو فاز مایع-گاز (L+V)، سه فاز (L+V+H) و نوع غنی از بخار فاز کربنیک CO₂ می‌باشند (شکل ۱۰).

طبق مطالعات میانبارهای سیال، بیشترین درجه حرارت همگن شده (Th) در این نمونه‌ها ۲۲۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است و حداکثر درصد شوری اذخال‌های حاوی فاز جامد (بلور هالیت) با استفاده از فرایند انجماد و تعیین نقطه ذوب آخرین بلور یخ ۳/۱ تا ۱۲/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام تعیین شده است (شکل ۱۱). با توجه به این نتایج اولیه می‌توان پی برد دما و شوری سیال بالا و نزدیک به سیال ماگمایی و توده نفوذی است.

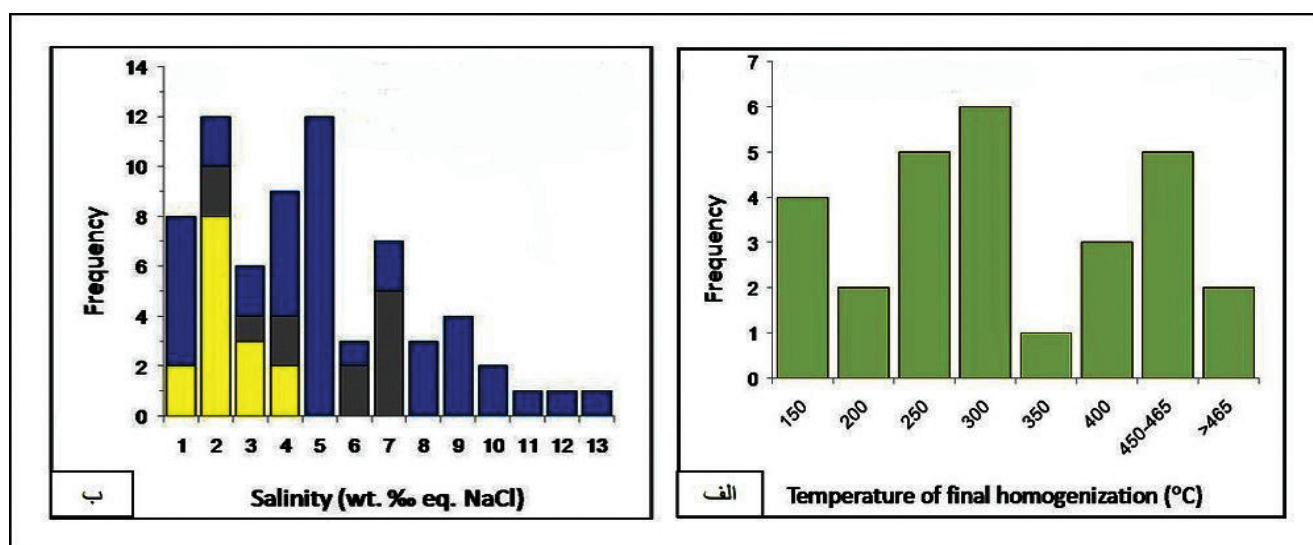
بررسی میانبارهای سیال نتایج مهمی در رابطه با ماهیت فیزیکوشیمیایی از جمله فشار-دما و ترکیب محلول کانه‌دار را در پی دارد و از مهمترین ابزارها، برای تعیین خاستگاه کانسارها محسوب می‌شود (Roedder, 1984). برای بررسی میانبارهای سیال در منطقه تاریک‌دره بر روی رگه‌های سیلیسی و کلسیتی تعداد ۴ نمونه برداشت شد (شکل ۹). بررسی‌های سنگ‌شناسی این نمونه نشان داده است که اغلب آنها به شکل‌های اولیه P و ثانویه S بوده و در امتداد خطوط رشد رگه‌های سیلیسی دارای میانبارهای سیال هستند. با توجه به تقسیم‌بندی صورت گرفته توسط رودر (Roedder, 1984) و شفرد (Shepherd et al., 1985) انواع میانبارهای سیال در نمونه‌های تاریک‌دره



شکل ۹- نمایی نمونه‌های از رگه‌های سیلیسی- کلسیتی منطقه تاریک‌دره که به روش میانبارهای سیال مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی از میانبرهای سیال منطقه تاریک‌دره. الف، ب و پ) تصویر سیالات سه فازی و سیالات دو فازی (L+V)؛ ت) تصویر سیالات دو فازی انواع (L+V) و (V+L).



شکل ۱۱- الف) نمودار فراوانی درجه حرارت همگن شدن و ب) نمودار فراوانی میزان شوری در نمونه‌های کانسار تاریک‌دره.

۴-۲. جایگاه زمین‌ساختی

طلا عنصری است که در طیف وسیعی از ذخایر ماگمایی- گرمایی مانند اپی‌ترمال، مزوترمال، کارلین و پورفیری وجود دارد (Sillitoe, 1997). این تیپ‌ها بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، دگرسانی و کانی‌سازی طبقه‌بندی می‌شوند. شناسایی کانی‌های اصلی و فرعی و زون‌بندی آنها برای تشخیص مناطق غنی‌سازی هیپوژن اولیه و سوپرژن و فرایند تشکیل کانسار و مطالعات اکتشافی کمک شایانی می‌نمایند (Pirajno, 2009; Roper et al., 2012; Cai et al., 2019).

پژوهشگران گروه جدیدی از ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی (Intrusion-Related Gold Deposit: IRGD) را معرفی کرده‌اند که در ارتباط با توده‌های گرانیتویدی نوع I موجود در کمان‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای شکل می‌گیرند. تشکیل کانی‌سازی طلا - مس در مناطق دگرسانی موجود در توده‌های نفوذی با ترکیب گابرویی- کوارتزیدیوریتی در منطقه تاریک دره، این فرضیه را تقویت می‌نماید که این کانسار از انواع مرتبط با توده‌های نفوذی یا IRGD است. به باور پژوهشگران بسیاری از جمله (Lang et al., 2000; Thompson and Newberry, 2000). کانسارهای مرتبط با توده‌های نفوذی معمولاً در ارتباط مکانی و زمانی نزدیک با توده‌های نفوذی و در کمربندهای دگرگونی و کوهزایی در دما و فشار بالا تشکیل می‌شوند. ظاهراً در این مناطق عامل انتقال فلزات (طلا و مس) محلول‌های گرمایی هستند که جایگیری آنها توسط پهنه‌های برشی و زون‌های خرد شده گسلی کنترل می‌شوند (Orlandea and Vlad, 2020). در منطقه تاریک دره، توده نفوذی (تریاس پایانی- ژوراسیک آغازی) در درون سنگ‌های رسوبی- دگرگونی منسوب به تریاس بالایی تزریق شده است. این گرانیتوید از نوع I بوده و در مراحل پایانی کوهزایی کیمیرین پیشین و در ارتباط با فروانش پوخته اقیانوسی تتیس کهن تشکیل شده است (اکرمی، ۱۳۷۳). مناطق دگرسانی متنوعی در همبری توده نفوذی یادشده و سنگ‌های دربرگیرنده وجود دارد که نقش پلوتونیزم در تشکیل دگرسانی و کانی‌سازی منطقه را کاملاً آشکار می‌نماید.

به باور گروه زیادی از پژوهشگران (برای نمونه Thompson et al., 1999; Lang et al., 2000; Hart, 2005) سیالات ماگمایی در تشکیل ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی نقش اصلی را داشته، و نوع دگرسانی و کانی‌سازی در ارتباط با نوع گرانیتوید (انواع S و یا I، White and Chappell, 1974) و ترکیب شیمیایی

آنها (مافیک تا فلسیک، کالک آلکالن، متآلومین تا پرآلومین و...) است. در منطقه تاریک دره بخش اصلی دگرسانی در ارتباط با فلسیک‌ترین واحدهای نفوذی منطقه رخ داده و به نظر می‌رسد که تفریق ماگمایی، افزون بر تشکیل سنگ‌های فلسیک، موجب ایجاد ماگمای آبدار و سیالات ماگمایی نیز بوده است (اکرمی، ۱۳۷۳).

نتایج مطالعات شیمیایی و مشاهدات صحرایی در منطقه تاریک دره نشان داده است که همبستگی معنی‌داری بین نمونه‌های عیار بالای طلا و دگرسانی سیلیسی در جوار و یا درون توده‌های نفوذی وجود دارد. در این کانسار، زون‌های دگرسانی سیلیسی با تشکیل کانی‌های ثانویه کوارتز، کانی‌های رسی، کلسیت و سریسیت مشخص می‌شوند که معمولاً به کانی‌های آهن و آرسنیک‌دار آغشتگی دارند. رگه‌های سیلیسی طلا- مس‌دار در ارتباط با دگرسانی نشان‌دهنده اهمیت توده‌های نفوذی در کانی‌سازی منطقه دارد. در تاریک‌دره، کانی‌سازی اصلی در رگه‌های سیلیسی و زون‌های دگرسانی است که بر اساس مطالعات کانه‌نگاری و شیمیایی عمدتاً شامل طلا، آرسنیک، مس، بیسموت، تلوریم و مولیبدنیم می‌باشد. به باور گلدفارب و همکاران (Goldfarb et al., 2005) کانی‌سازی ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی، بیشتر به شکل رگه‌ای است که توسط پهنه‌های برشی و کنترل گسلی تشکیل می‌شوند. این نوع کانی‌سازی طلای در ارتباط با سیالات بوده و عمدتاً حاصل چرخش سیالات ماگمایی در داخل توده نفوذی و سنگ‌های درونگیر آنها رخ می‌دهد (Orlandea and Vlad, 2020). با توجه به پاراژنز آرسنوپیریت، کالکوپیریت و پیریت طلا‌دار در رگه‌های سیلیسی تاریک دره، احتمالاً کانی‌سازی در دمای بالای رخ داده است (Kontak and Kyser, 2011). به باور هارت (Hart, 2005) این رگه‌ها معمولاً در حاشیه و یا بخش‌های بالایی توده‌های گرانیتویدی قرار دارند. در کانسارهای مرتبط با توده‌های نفوذی یک زون‌بندی از مرکز سیستم به طرف حاشیه سیستم دیده می‌شود به طوری که در مرکز سیستم کانه‌زایی عناصر آرسنیک- طلا و تنگستن، سپس کانه‌زایی بیسموت- طلا- آرسنیک و در بیرونی‌ترین بخش سیستم کانه‌زایی فلزات پایه و نقره تشکیل می‌شود که به طور قابل قبولی در کانسار تاریک‌دره وجود دارد (Baker and Lang, 2001). در جدول ۳ به طور خلاصه ویژگی‌های کانی‌سازی طلا در کانسار تاریک دره برای مقایسه سیستم‌های مرتبط با توده‌های نفوذی (Intrusion-Related Gold Systems) آورده شده است.

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی طلا در کانسار تاریک‌دره و ذخایر مرتبط با توده‌های نفوذی.

ویژگی‌ها	کانسار چاه‌پلنگ جنوبی	کانسار نظام‌آباد	کانه‌زایی کانسار طلای تاریک‌دره	کانسارهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی
جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی	بلوک یزد، حاشیه فعال قاره‌ای	زیر پهنه با دگرشکلی سنندج- سیرجان	قرارگیری در محل برخورد مرزهای صفحات ساختاری- رسوبی کپه‌داغ و ایران مرکزی	قرارگیری در محیط تکتونیکی مرزهای صفحات همگرا که دارای ماگماتیسم آلکالن متآلومینوس کالکوآلکالن و پرآلومینوس هستند
سنگ میزبان	ماسه‌سنگ دگرگون شده سازند شمشک	رسوبی دگرگونه	شسازند میانکوهی شیل و سیلت استون با دگرگونی ضعیف	رسوبی دگرگونه
مشخصه‌های توده نفوذی	کوارتز دیوریت	کوارتز دیوریت	همراه با توده نفوذی کوارتز دیوریت	همراهی با توده‌های نفوذی فلسیک تا متوسط، ساب‌آلکالن، متآلومینوس و نسبتاً احیایی
سیال‌ها	سیالات گرمابی	سیالات گرمابی	سیالات گرمابی با ماهیت سیلیسی و کربناتی	سیالات گرمابی با ماهیت کربناته
دگرسانی	دگرسانی گرمابی	دگرسانی گرمابی	دگرسانی گرمابی	دگرسانی گرمابی ضعیف
بی‌هنجاری عناصر	Au, W, Cu	Au, W, Cu	Au, W, Cu, Te, As, Fe, Bi, Sb	Sb, Bi, W, As, Mo, Te
منبع	(قادری و همکاران ۱۳۹۰)	(Nezafati, 2006)	(قوی و همکاران، ۱۳۹۹)	(Baker and Lang, 2001)

۵- نتیجه‌گیری

توده‌های نفوذی تاریک‌دره، شامل توده‌هایی که ترکیب آنها از گابرو دیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت در تغییر است. سنگ میزبان توده‌های نفوذی شیل‌های دگرگون شده (اسلیت) سازند میانکوهی با سن تریاس بالایی است. دگرسانی‌های متعدد و متنوعی را در همبری سنگ‌های نفوذی و سنگ دربرگیرنده دیده می‌شود. رگه‌های سیلیسی آرسنوپیریت‌دار و کانی‌سازی کالکوپیریت و پیریت در ارتباط با این دگرسانی‌ها نشان‌دهنده اهمیت این فاز نفوذی و بارور بودن آن از نظر کانی‌سازی است. کانی‌سازی در کانسار تاریک‌دره به صورت رگه‌ای در

زون‌های دگرسانی است و شامل طلا، آرسنیک، مس، سرب، بیسموت، تلوریم، طلا و نقره می‌باشد. همگن شدن سیالات کانی‌ساز در دمای ۲۲۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درصد شوری ۳/۱ تا ۱۲/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام بوده است. پاراژنز عناصر دما بالا و استقرار کانی‌سازی در سقف و حواشی توده نفوذی نشان‌دهنده مرتبط بودن این کانی‌سازی‌ها با پلوتونیسم است. با توجه به شواهد موجود کانسار طلای تاریک‌دره بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی دارد.

کتاب‌نگاری

- افتخارنژاد، ج.، علوی نائینی، م. و بهروزی، ا.، ۱۹۹۳، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌جام، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اکرمی، م.، ۱۳۷۳، بررسی پترولوژی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی تربت‌جام و هاله دگرگونه آن، دانشکده علوم دانشگاه تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- الماسی، ع.، کریم‌پور، م.، ابراهیمی نصرآبادی، خ.، رحیمی، ب. و کلوترلی، ا.، ۱۳۹۵، زمین‌شناسی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق کاشمر (شمال بلوک لوت) مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و چهارم، شماره سوم، صفحات ۵۳۹ تا ۵۵۶.
- شفیع‌نیا، ح.، ۱۳۸۱، مطالعات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی اقتصادی اندیس طلای تاریک‌دره (شمال تربت‌جام)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۹، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ تربت‌جام، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قائمی، ف.، ۱۳۸۴، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ آق‌دریوند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قادر، س.، راستاد، ا.، قادری، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و محجل، م.، ۱۳۹۰، کانه‌زایی رگه‌ای و چینه‌کران تنگستن (مس - طلا) در ایران، با تأکید بر کانسار چاه پلنگ جنوبی، جنوب خاور انارک، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قلیچ‌خانی، م.، ملک‌زاده شفاوردی، آ. و حیدریان شهری، م.، ۱۳۹۲، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت‌جام، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و یکم، شماره ۴، صفحه ۶۸۵ تا ۷۰۲.
- قوی، ج.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، ا.، قادر، م. و رحیمی، ب.، ۱۳۹۲، شناسایی هاله‌های پراکندگی دومین و توزیع ژئوشیمیایی عناصر در خاک‌های پیرامون نشانه معدنی طلا- تنگستن تاریک‌دره، شمال خاوری ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و یکم، شماره ۱، صفحات ۱۰۷ تا ۱۲۰.
- قوی، ج.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، ا.، قادر، م. و رحیمی، ب.، ۱۳۹۹، زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و سن‌سنجی ایزو توپی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی تاریک‌دره، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحات ۲۰۳ تا ۲۲۵.
- گندمکار، ا. ح.، ملک‌زاده شفاوردی، آ. و حیدریان شهری، م.، ۱۳۹۰، آلتراسیون، ژئوشیمی و کانی‌سازی منطقه اکتشافی بوته‌گزر، شمال شرق تربت‌جام، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران.
- مهندسین مشاور معدن آرا، ۱۳۹۰، اکتشاف مقدماتی پلی‌متال فیروزکوه و تاریک‌دره - تربت‌جام، سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی، صفحه ۱۰۵.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صفحه ۱۰۹.

References

- Baker, T., and Lang, J., 2001. Fluid inclusion characteristics of intrusion-related Gold mineralization, Tombstone-Tungsten magmatic belt, Yukon Territory, Canada; Mineralium Deposita, Volume 36, no 6, pages 563-582. doi: 10.1007/s001260100189.
- Cai, W.Y., Wang, Z.G., Li, J., Fu, L.J., Wang, K.Y., Konare, Y., and Li, S.D., 2019. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology and geochemistry of Jinchang porphyry gold-copper deposit, NE China: two-phase mineralization and the tectonic setting. Ore Geol. Rev. 107, 735-753. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.03.018.
- Chappell, B. W., and White, A. J. R., 1974. Two contrasting granite types. PAC GEOL 8, 173-174.
- Clemens, J.D., and Stevens, G., 2012. What controls chemical variation in granitic magmas? Lithos, 134-135: 317-329. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.01.001.
- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J.R., and Gosselin, P., 2005. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. In: Economic Geology 100th Anniversary, pp. 407-450.
- Grebennikov, A.V., 2014. A-type granites and related rocks: Petrogenesis and classification. Russian Geology and Geophysics, 55(11): 1353-1366. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.10.011.
- Hart, C.J.R., 2005. Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems: the Gangue MDD Newsletter. 1.87 1, 4-9.
- Ishihara, S., 2004. The redox state of granitoid relative to tectonic setting and earth history; the magnetite-ilmenite series 30 years later. In: S. Ishihara, W.E. Stephens, L. Harley, M. Arima, and T. Nakajima (Editors), Fifth Hutton Symposium: The Origin of Granites and Related Rocks. Geological Society of America, Toyohashi, Japan, pp. 23-33.
- Kontak, D. J., and Kyser, K., 2011. A fluid inclusion and isotopic study of an intrusion-related gold deposit (IRGD) setting in the 380 Ma South Mountain Batholith, Nova Scotia, Canada: evidence for multiple fluid reservoirs. Mineralium Deposita, 46(4), 337-363. doi:10.1007/s001261-0331-011-.
- Lang, J.R., Baker, T., Hart, C.J.R., and Mortenson, J.K., 2000. An exploration model for intrusion-related gold systems. Society of Economic Geologists Newsletter 40 (1), 6-15. doi: 10.5382/SEGnews.200040-fea.
- Lang, J., and Baker, T., 2001. Intrusion-related Gold systems: the present level of understanding. Mineralium Deposita 36:477-489. doi: 10.1007/s001260100184.
- Middlemost, E. A., 1991. Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas. Earth-Science Reviews, 31(2), 737-787. doi:10.1016/90016(91)8252-0012/.

- Nezafati, N., 2006. Au-Sn-W-Cu Mineralization in the Astaneh-Sarband area, West Central Iran, Ph.D thesis, University of Tubingen, Germany, 128 p.
- Orlandea, E., and Vlad, S.N., 2020. A novel conceptual model of intrusion-related gold-bearing systems and exploration tools. *Studia UBB Geol.* 63 (1), 1–12. <https://doi.org/10.50388602.63.1.1304-1937/>.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, Berlin, p. 1250.
- Rutner, A., 1991. The Triassic of Agh darband, *Scientific Quarterly Journal Geo sciences* 2795-87 28-.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. *Rev. Mineralogy, Mineral. Soc. Am.*, p. 12644-.
- Roper, A.J., Williams, P.A., and Filella, M., 2012. Secondary antimony minerals: phases that control the dispersion of antimony in the supergene zone. *Chem. Erde* 72, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.01.005>.
- Sahandi, R., 2013. Structural geology map of Iran (1:1000000 scale). *Geol. Surv. of Iran*. doi:10.1016/j.oregeorev.2015.02.016.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. *A practical guide to fluid inclusion studies*. London, Blackie, 239 pp.
- Sillitoe, R. H., 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 373.388-
- Taghizadeh, N., 1965. Prospecting at Tarik Dareh-Cheshmegool area. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 1, 8 pp.
- Thompson, J.F.H., and Newberry, R.J., 2000. Gold deposits related to reduced granitic intrusions. *Society of Economic Geologists. Rev. Econ. Geol.* 13, 377–400.
- Thompson, J.F.H., Sillitoe, R.H., Baker, T., Lang, J.R., and Mortensen, J.K., 1999. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces. *Miner. Deposita* 34, 197–217. <https://doi.org/10.1007/s001260050207>.
- Williams, G. j., 1965. Note on the mineralization in Cheshmegool area, khorasan, *Geo, Sur of Iran*, 3 p.

Original Research Paper

Study of Tareek Darreh Gold and Copper Occurrence North Torbat-e-Jam-Khorasan-Razavi Province, NE-Iran

Kourosh Shabani¹, Nima Nezafati^{1*}, Morteza Momenzadeh², Mohammad Hashem Emami³ and Seyed Jamal Shaykhzakyai⁴

¹Department of Geology, Faculty of Convergent Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

²Zarneh Ektashaf Research Group, Tehran, Iran

³Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

⁴Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 September 13

Accepted: 2021 October 25

Available online: 2022 June 22

Keywords:

Gold

Copper

Tareek Darreh Gold deposit

Torbat-e-Jam

ABSTRACT

The Tareek Darreh gold & Copper deposit is located 40km north of Torbat-e Jam in the Khorasan-Razavi province, NE-Iran. The study area is mainly comprised of slightly metamorphosed, sedimentary rocks of Jurassic age including alternation of shale, siltstone, and sandstone. These rocks have been intruded by plutonic rocks such as gabbro, diorite, quartz-diorite, and rhyodacite. The ore bodies are exposed by trenching and pitting. The alteration minerals quartz, chlorite, albite, and sericite which are observed mostly on the top or margin of the stocks. Alteration is more intensive at the contacts of the stocks where vein type mineralization has occurred. The veins are mainly composed of silica type and calcite type, arsenopyrite, chalcopyrite, and pyrite main ore minerals. Probably more than 2-stages telescopic mineralization occurred in these zones and the conditions of temperature and pressure, as seen below. Appears to be a continuation of tectonic activity in the same place as intrusive and a little later the main cause of this phenomenon. According to our studies, The Tareek Darreh gold deposit is considered to be similar to the "intrusion-related gold" type.

* Corresponding author: Nima Nezafati; E-mail: nezafati@srbiau.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2022.313817.1955

 dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.2.10.2

