

نقش پی سنگ و ماگماتیسیم جوان در کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال و چندفلزی در منطقه تکاب- ماه‌نشان، شمال باختر ایران

مژگان صالحی‌یزدی^۱، منصور قربانی^{۲*}، نیما نظامی^۳ و منصور وثوقی عابدینی^۲

^۱گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲گروه علوم زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳موزه معدن آلمان، بوخوم، آلمان

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

پی سنگ، پرکامبرین

ماگماتیسیم میو- پلیوسن

کانه‌زایی طلا

منطقه تکاب- ماه‌نشان

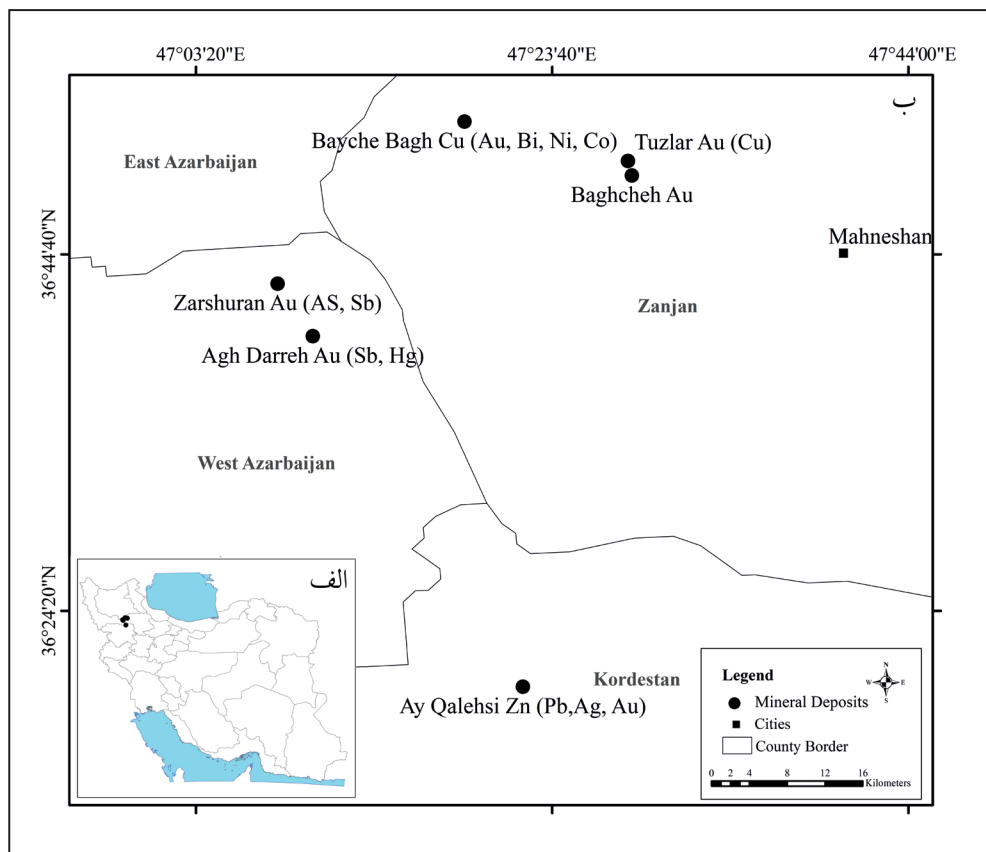
چکیده

منطقه فلزایی تکاب- ماه‌نشان از نظر کانه‌زایی طلا بسیار بااهمیت است. این منطقه بخشی از کمربند ماگمایی ارومیه- دختر شمالی است که در این ناحیه دارای دو ویژگی متمایز است. پی سنگ دگرگونی پرکامبرین و ماگماتیسیم جوان میو- پلیوسن که بر روی آن قرار گرفته است. پی سنگ پرکامبرین با دو نوع ترکیب متفاوت پوسته اقیانوسی و قاره‌ای (گنیس، گرانیت، میکاشیت، شیت سبز و آمفیبولیت، سربانتینیت و مرمر) وجود دارد. سنگ‌های جوان عموماً از هیالوکلاستیت، توف ریولیتی، گدازه آندزیت‌بازالتی، نفوذی‌های حدواسط تا فلسیک (دیوریت تا گرانیت) و سنگ‌های آهکی و مارنی سازند قم تشکیل شده‌اند که در چهار فاز بر اساس سن و موقعیت قرارگیری طبقه‌بندی شده است. اثر متقابل پی سنگ و ماگماتیسیم جوان در نتیجه نفوذ آخرین فاز ماگمایی باعث ایجاد محلول‌های گرمایی شده که به صورت موتور حرارتی موجب چرخش، تنوع و غنای کانه‌زایی در این مناطق شده است. بنابراین معادن، کانسارها، نشانه‌های معدنی طلا و عناصر همراه مانند کانسارهای توزلار، بایچه‌باغ، باغچه در منطقه ماه‌نشان و کانسارهای زرشوران، آق‌دره و آی‌قلعه‌سی در منطقه تکاب وجود دارند. کانسارهای توزلار و باغچه با کانه‌زایی از نوع طلا در یک زون سیلیسی- آرژیلیک شامل کانه‌های پیریت، کوآرتز، طلا، کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند. کانسار چندفلزی آی‌قلعه‌سی با کانه‌زایی غالب سرب و روی، کانسارهای زرشوران و آق‌دره از نوع طلا که در کانسار زرشوران تنوع کانه‌زایی سولفیدها و سولفوسالت‌ها و در کانسار آق‌دره کانه‌زایی ساده اکسیدی طلا دار می‌باشد. کانسار بایچه‌باغ از نوع چندفلزی و شامل کانه‌های کالکوپیریت، پیریت، روتیل، آرسنوپیریت، اسفالریت، بورنیت، اسمالتیت، کلوآنتیت، آزوریت و ملاکیت می‌باشند.

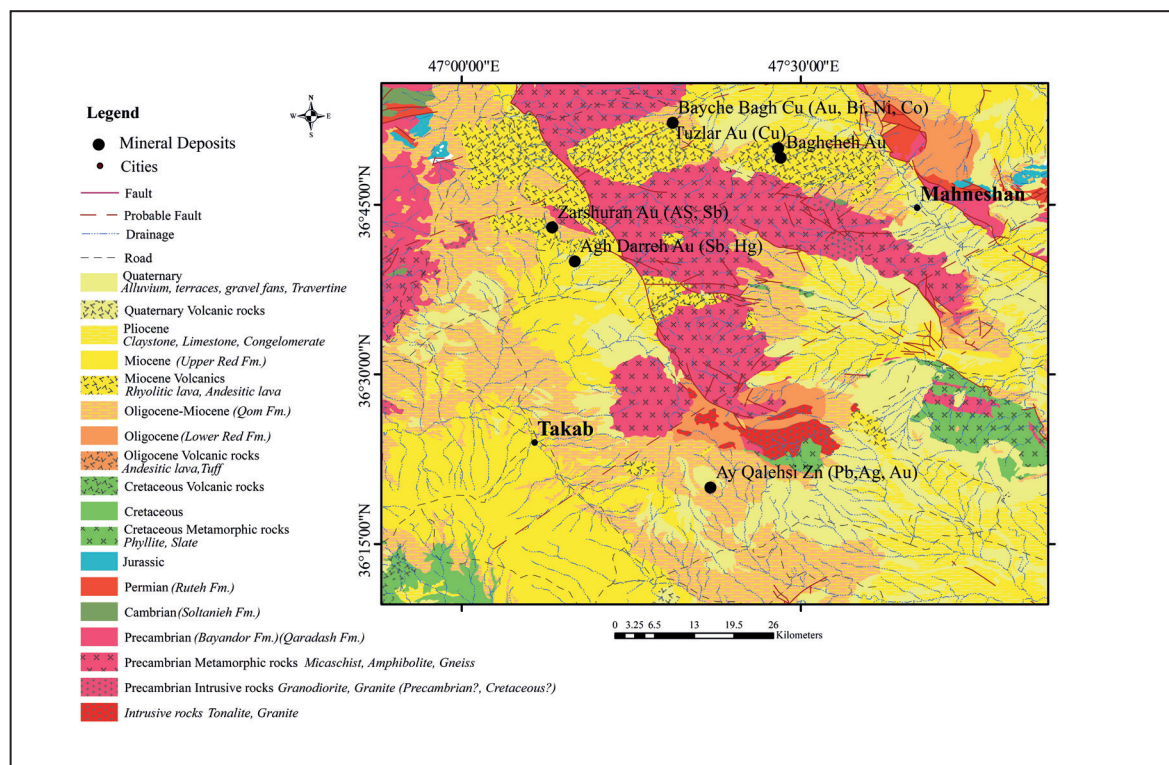
۱- پیش‌نوشتار

دیده می‌شود. کانه‌زایی‌های جوان (الیگومیوسن- میوپیوسن) با کانه‌زایی‌های طلا، مس، سرب و روی، آهن و منگنز همراه است آق‌دره (Daliran, 2008)، آی‌قلعه‌سی (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ محمدی‌نایی، ۱۳۹۴)، زرشوران (اجاقی، ۱۳۷۵؛ Mehrahi et al., 1999؛ Asadi et al., 2000) و توزلار (Heidari et al., 2013) و بایچه‌باغ (شکوهی، ۱۳۷۵؛ کریمی، ۱۳۸۰). این کانه‌زایی‌ها ریشه در پی سنگ پرکامبرین دارد (Ghorbani, 2013)، به این صورت که حضور پی سنگ پرکامبرین در مناطق تکاب و ماه‌نشان ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی عناصر کانه‌ساز را نشان می‌دهد (شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۷۶)، هر چند که منشأ پی سنگ در نقاط مختلف منطقه تکاب و ماه‌نشان متفاوت است. این پژوهش به مطالعه و بررسی پی سنگ پرکامبرین و سنگ‌های ماگماتیسیم جوان بر روی آنها و نقش آنها در کانه‌زایی برای کانسارهای توزلار، باغچه، بایچه‌باغ، زرشوران، آق‌دره و آی‌قلعه‌سی پرداخته است.

منطقه مورد مطالعه، در منطقه فلزایی تکاب- ماه‌نشان قرار دارد (شکل ۱). این منطقه بخشی از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تکاب (Alavi and Amidi, 1976) و نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان (Lotfi, 2001) و ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (Babakhani and Ghalamghash, 1990) می‌باشد (شکل ۲). به‌طور کلی در منطقه تکاب با توجه به زمین‌شناسی خاص (برونزد پی سنگ پرکامبرین و ماگماتیسیم جوان بر روی آن) کانه‌زایی وسیع فلزی و غیرفلزی در دو برهه زمانی (پرکامبرین پسین و الیگومیوسن به‌ویژه میو- پلیوسن) صورت گرفته است، از این رو این منطقه یک منطقه فلزایی معرفی شده (Ghorbani, 2013) و مطالعات بسیاری در آن انجام گرفته است. کانه‌زایی پرکامبرین پسین با کانه‌زایی روی، سرب و آهن همراه است، مانند کانه‌زایی‌های همزاد از نوع سولفید توده‌ای که در منطقه انگوران (غضنفری، ۱۳۷۰) برخی کانسار روی (سرب) انگوران را تیپ غیرسولفیدی درونزاد معرفی کرده‌اند (Boni et al., 2007) و کانه‌زایی‌های آهن رسوبی در ناحیه علم‌کندی، چهارتاق و خاور تکاب (کوهستانی، ۱۳۹۴؛ نوری و همکاران، ۱۴۰۰) انجام شده است،



شکل ۱- الف) قرارگیری کانسارهای مورد مطالعه در نقشه ایران؛ ب) نقشه موقعیت جغرافیایی کانسارهای مورد مطالعه.



شکل ۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (Modified from Alavi and Amidi, 1976; Babakhani and Ghalamghash, 1990; Lotfi, 2001)

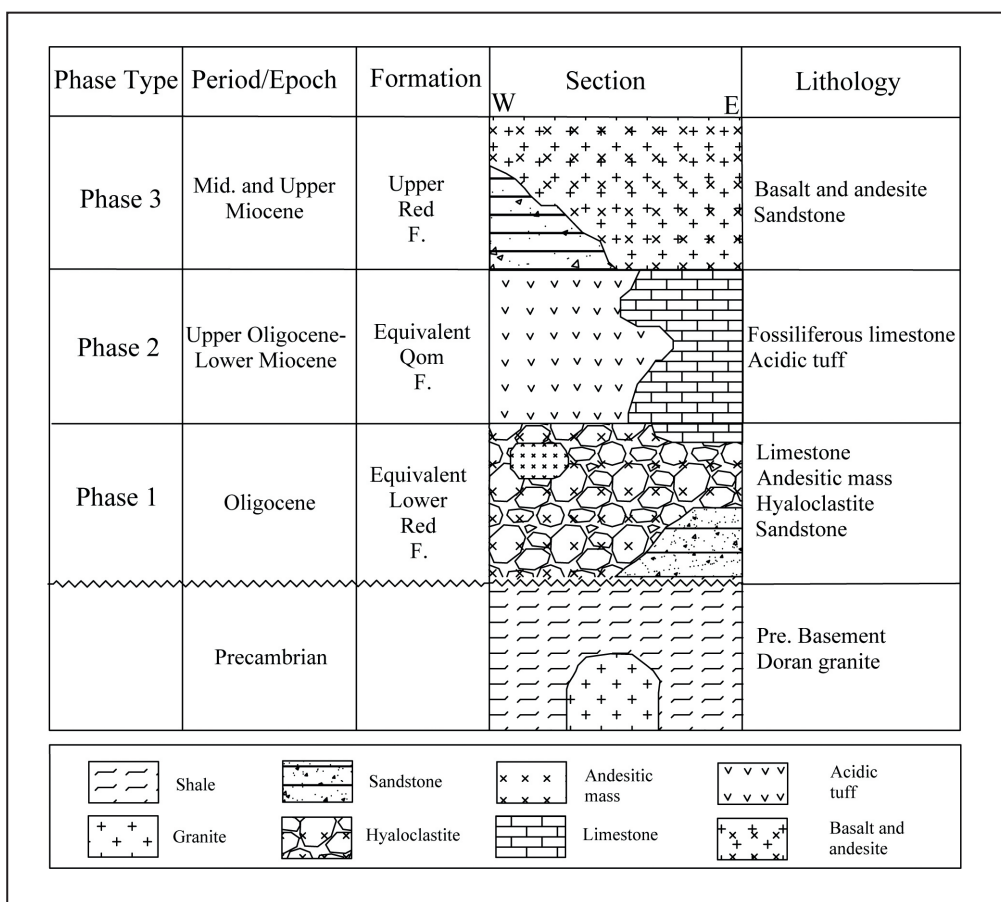
۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش سعی شد ابتدا مطالب موجود درباره کانسارهای طلا و چندفلزی در منطقه تکاب- ماه‌نشان مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. آنگاه پس از انجام پیمایش‌های صحرایی و نمونه‌برداری از رگه‌های معدنی و سنگ‌های میزبان کانه‌های کانسارهای توزلار، باغچه، بایچه‌باغ، زرشوران، آق‌دره و آی‌قلعه‌سی نمونه‌های مناسب برای انجام مطالعات آزمایشگاهی برداشت شد. سپس ارتباط کانه‌زایی‌ها با سنگ‌های میزبان در مقیاس صحرایی بررسی شد و برای مطالعات دقیق‌تر از نمونه‌ها، ۲۵ مقطع صیقلی تهیه شد و با آنالیز عناصر اصلی، فرعی و کمیاب ۱۲ نمونه به‌روش‌های طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما، مطالعه ۳ نمونه میانبارهای سیال از کانسارهای توزلار و بایچه‌باغ بر روی کانی کوارتز در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد، نتایج این پژوهش ارائه شد. به‌ویژه در این تحقیق تأکید و توجه فراوان بر مطالعات صحرایی و مقایسه زمین‌شناسی محدوده‌های کانه‌زایی با دیگر کانسارهای پیرامون انجام شده است و سعی شده است که پی‌سنگ در هر محدوده کانسار به‌طور دقیق از نظر سنگ‌نگاری و ژئوشیمی مورد مطالعه قرار گیرد.

۳- بحث و بررسی

۳-۱- زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر ساختاری- زمین‌شناسی ایران (Stocklin, 1968) بخشی از زون ایران مرکزی است. ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و ساختاری عمده در مرکز ایران است (Morley et al., 2009; Letouzey and Rudkiewicz, 2005).



شکل ۳- ستون سنگ- چینه‌ای محدوده مورد مطالعه.

جدول ۱- مشخصات کانسارهای محدوده مورد مطالعه.

Location of mineral deposits	Basement	Lithology	Minerals	Facies
Mahnesan area (Tuzlar and Baghcheh)	Metamorphosed continental	Gneiss, mica-schist, Dowran granite	Quartz, feldspar, muscovite, andalusite, kyanite, biotite	Greenschist to amphibolite
Alamkandi (Pari road to Bayche Bagh mine)	Metamorphosed ultramafic and mafic rocks	Actinolite-schist, epidote- amphibole- Schist, mica-Schist	Actinolite, biotite, epidote, amphibole, plagioclase, quartz	Greenschist to amphibolite
Agh-darreh	Continental + pelitic protolith	Gneiss, granite, mica-schist, green-schist	Quartz, feldspar, andalusite, kyanite, mica-muscovite, mica-biotite	Amphibolite
Zarshuran	Continental + schist with oceanic crust protolith	Actinolite-schist, tremolite-schist, serpentine, marble	Actinolite, serpentine, tremolite, calcite, amphibole	The end of the greenschist and the beginning of amphibolite
Ay-Qalesi	Continental + mafic tuff and pelitic protolith	Mica-schist, green-schist, amphibolite-schist, gneiss, granite	Muscovite, biotite, quartz, epidote, chlorite, amphibole	The end of the greenschist and the beginning of amphibolite

با این فاز می‌باشد و در تمام منطقه تکاب (بخش‌های میانی منطقه تکاب) در نزدیک و یا زیر کانه‌زایی‌های جوان مانند آق‌دره (Daliran, 2008)، آی‌قلعه‌سی (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ محمدی‌نیایی، ۱۳۹۴)، زرشوران (اجاقی، ۱۳۷۵) (Yousefi et al., 2018; Mousavi et al., 2018; Asadi et al., 2000; Mehrabi et al., 1999)، توزلار (ملکی، ۱۳۸۳؛ 2015؛ 2013؛ Heidari et al., 2013)، بایچه‌باغ (کریمی، ۱۳۸۰)، آق‌دره بالا (Rahimsouri et al., 2012)، عرب‌شاه (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶) قابل اثبات است. در ناحیه زرشوران نیز این توده در مطالعات سنجش از راه دور و مطالعات ساختاری به اثبات رسیده است (Asadi et al., 2000). در حفاری‌های ژرف ناحیه آق‌دره و آی‌قلعه‌سی این توده کاملاً مشخص شده است (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۸). در ناحیه بایچه‌باغ برونزدهای این توده در دره‌های ژرف بایچه‌باغ (در مسیر خویون، بایچه‌باغ) دیده شده است. نفوذ گنبد نیمه‌ژرف داسیتی به درون توالی رسوبی الیگومیوسن باعث ایجاد دگرسانی‌های مختلف و کانه‌زایی سرب، روی، نقره و عناصر همراه شده است (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۸). کانه‌زایی در کانسار طلای زرشوران حدود ۱۴ میلیون سال پیش افتاده است (Asadi et al., 2000). کانه‌زایی در منطقه عرب‌شاه در دوره میوسن میانی-بالایی و در فعالیت‌های ماگمایی با درجه گرمایی بالا در رژیم کششی فعالیت‌های ماگمایی کمربند ارومیه-دختر در شمال باختری ایران اتفاق افتاده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶). در مجموع عمده کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال منطقه مورد مطالعه از هر دو نوع با درجه سولفید بالا و پایین ناشی از محلول‌های گرمایی وابسته به این فاز می‌باشد.

۳-۲- دگرسانی

در محدوده کانه‌زایی، دگرسانی‌هایی که شاخص هستند، به قرار زیر می‌باشند:

(۱) دگرسانی سیلیسی، (۲) دگرسانی آرژلیک.

دگرسانی سیلیسی: این دگرسانی به‌صورت رگه‌های سیلیسی با سنگ میزبان

چهار فاز ماگمایی شامل: فاز ۱، فاز ماگمایی الیگوسن: این فاز ماگمایی سن الیگوسن دارد و هم‌ارز سازند سرخ زیرین است. بیشترین محتویات این فاز هیالوکلاستیت است که شرایط محیط دریایی کم‌ژرفا در هنگام ترزیک را نشان می‌دهد و در محدوده ماه‌نشان گسترش دارند و در نواحی پیرامون کم می‌باشد و یا دیده نمی‌شود و میزبان کانه‌زایی کانسار بایچه‌باغ است. فاز ۲، فاز آتشفشانی الیگوسن پسین-میوسن پیشین: این فاز شامل سنگ‌های ریولیتی-ایگنیمبریتی و توف‌های وابسته، آندزیت و کمی توده‌های ساب‌ولکانیکی است. این فاز بر پایه مطالعات صحرایی و مطالعات و اصول چینه‌شناسی فسیل‌ها که در میان‌لایه‌های آهکی قرار دارند در آکیتانین شدید بوده و در بوردیگالین فروکش کرده است. در این برهه زمانی که با ژرف شدن دریا و نهشته شدن رسوبات سازند قم در حوضه تکاب همراه بوده و لکانیسم اسیدی با رسوبات آهکی درهم آمیخته شده است و فعالیت‌های آتشفشانی از الیگوسن بالایی شروع و در میوسن ادامه می‌یابد و سنگ‌های هم‌ارز بخش زیرین سازند قم که بیشتر ترکیب توفی دارد را در این ناحیه ایجاد می‌کند (شکل ۳). در این حوضه سنگ‌های آهکی سازند قم با توف‌های اسیدی، ایگنیمبریتی، ریولیت و گاهی آندزیت در هم آمیخته شده‌اند و بر روی هیالوکلاستیت‌های الیگوسن قرار می‌گیرند. در این شرایط کانه‌زایی وسیع آهن شهرک در منطقه تکاب ایجاد شده است و نمونه بارز کانه‌زایی آهن در میوسن زیرین است (گزارش نقشه زمین‌شناسی کانسار آهن شهرک، ۱۳۷۰). فاز ۳، فاز ماگمایی میوسن میانی-بالایی: با فروکش کردن و لکانیسم فلسیک و توف‌های فلسیک در آکیتانین-بوردیگالین، و لکانیسم آندزیتی-بازالتی در میوسن میانی آغاز می‌شود و تا میوسن بالایی ادامه می‌یابد و کانه‌زایی قابل ملاحظه‌ای را نداشته است. این فاز با سنگ‌های سازند سرخ بالایی رابطه بین‌انگشتی دارد و یا بر روی آنها می‌نشیند و سنگ‌های این فاز میزبان کانه‌زایی کانسارهای توزلار و باغچه هستند. فاز ۴، فاز نفوذی میو-پلیوسن: این فاز شامل توده‌های نفوذی کوچک حدواسط تا فلسیک می‌باشد و بیشتر کانه‌زایی‌های جوان در ارتباط

هالوزیت و دیکیت)، سریسیت و کوارتز مشخص می‌شود. کانی‌های رسی در نتیجه تغییر موازنه نیمه‌پایدار فازهای آبدار و مواد فرار در یک سیستم گرمایی تشکیل می‌شوند (شهاب‌پور، ۱۳۷۹). در کانسارهای توزلار و باغچه این نوع دگرسانی دیده می‌شود. دگرسانی آرژیلیک در محدوده توزلار که مجاور دگرسانی سیلیسی دیده می‌شود، کانه‌زایی طلا دارد. هرچند میزان کانه‌زایی حاصل از دگرسانی آرژیلیک کمتر از دگرسانی سیلیسی است (این موضوع را در کانسار باغچه هم می‌توان شاهد بود). از آنچه مطالعات کانی‌شناسی به روش پراش‌سنجی اشعه ایکس (XRD) در بخش آرژیلیک نشان می‌دهد افزون بر کانی‌های رسی، کانی آلونیت دیده می‌شود که نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک پیشرفته است. این فرایند بیشتر در طی تخریب فلدسپارها ایجاد می‌شود. تشکیل و توسعه این دگرسانی گرمایی نقش بسیار مهمی در ایجاد نفوذپذیری لازم برای چرخش حجم عمده‌ای از سیال گرمایی و ایجاد رگه‌های معدنی به‌عده خواهد داشت زیرا در طی شستشوی محلول‌ها و تشکیل مناطق آرژیلیک به‌طور پراکنده در ناحیه مورد مطالعه به‌ویژه کانسارهای توزلار و باغچه دیده می‌شود (جدول ۲ و شکل ۴).

آندزیت‌بازالتی فاز ۳ در منطقه دیده می‌شود و یکی از دگرسانی‌های بارز و بسیار شاخص گرمایی در کانسارهای توزلار و باغچه است که به‌صورت رگه‌های اصلی و فرعی کانه‌دار در محدوده توزلار دیده می‌شوند. روند این دگرسانی در امتداد گسله‌های ناحیه است. ستبرای رگه کانه‌دار به توسعه گسله‌های محدوده مورد مطالعه مربوط است و هر چه محدوده گسلی توسعه یابد ستبرای این رگه‌ها و ابعاد طولی آن نیز بیشتر می‌شود. دگرسانی سیلیسی در کانسار زرشوران در واحد مرمر چالداغ و واحد زرشوران مربوط به پرکامبرین پسین، در کانسارهای آق‌دره و آی‌قلعه‌سی دگرسانی در واحدهای آهکی مربوط به سازند قم با سن میوسن پیشین دیده می‌شود و این دگرسانی‌ها با میزان‌های متفاوت نشان می‌دهند که دگرسانی جوان‌تر از میوسن پیشین که مربوط به فاز نفوذی چهارم است، رخ داده است و تقریباً تمام این دگرسانی‌ها با کانه‌زایی طلا همراه هستند.

دگرسانی آرژیلیک: این دگرسانی عموماً در مجاور با رگه‌های سیلیسی دیده می‌شوند. دگرسانی از نوع آرژیلیک پیشرفته است زیرا که ترکیب کانی‌شناسی در این نوع دگرسانی از کانی‌های کائولینیت، ایلیت، سریسیت و آلونیت همراه کوارتز می‌باشد. این دگرسانی با مجموع کانی‌های رسی (کائولینیت،



شکل ۴- دگرسانی‌های آرژیلیک و سیلیسی در منطقه توزلار (رنگ تیره: دگرسانی سیلیسی و رنگ سفید: دگرسانی آرژیلیک).

جدول ۲- کانی‌های شاخص دگرسانی‌های سیلیسی و آرژیلیک در کانسارهای توزلار و باغچه.

Type of alteration	Deposit	Main mineral
Silicic	Tuzlar	Quartz, hematite, goethite, sericite
	Baghcheh	Quartz, kaolinite, sericite
Argillic	Tuzlar	Kaolinite, halloysite, illite, chalcedony, alunite
	Baghcheh	Kaolinite, illite, quartz, alunite

۳-۳- کانه‌زایی

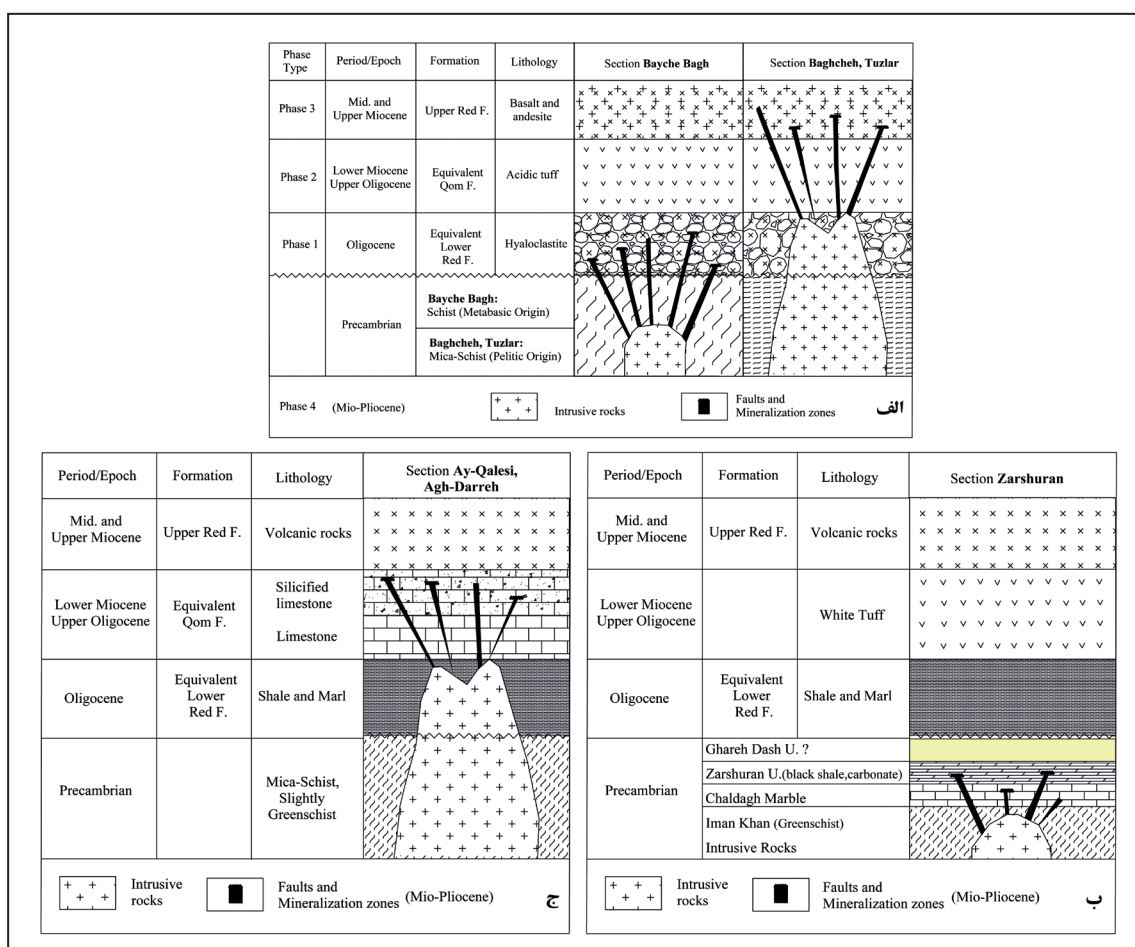
و حدود ۱۰ کیلومتری بخش پری در دو سوی یکی از سرشاخه‌های رودخانه قزل‌اوزن که از علم‌کندی سرچشمه می‌گیرد، قرار دارد. از این کانسار در سال‌های ۱۳۴۴ - ۱۳۱۸ بهره‌برداری می‌شد. کانسار بایچه‌باغ دارای پی‌سنگ الترامافیک و مافیک دگرگون‌شده از جنس شیست سبز (اکتینولیت و ترمولیت) است که توسط گسل بایچه‌باغ قطع شده است و سنگ‌های آتشفشانی الیگومیوسن بر روی سنگ‌های پراکمرین قرار دارند. میزبان کانه‌زایی در منطقه بایچه‌باغ سنگ‌های هیالوکلاستیک فاز ۱ است. در سنگ‌های هیالوکلاستیک بایچه‌باغ سیلیسی شدن را می‌توان شاهد بود (شکل ۵-الف).

کانسار زرشوران، در ۴۵ کیلومتری شمال تکاب قرار دارد. زرشوران به مانند کانسارهای جوان یاد شده پی‌سنگ پراکمرین با ترکیب شیستی با سنگ والد پوسته اقیانوسی و سنگ‌های جوان الیگومیوسن به‌ویژه میوسن برونزد دارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را مجموعه شیست‌های سبز پراکمرین پسین به نام ایمان‌خان تشکیل می‌دهد که بر روی آن مرمهرای چالداغ قرار گرفته‌اند و بر روی واحد چالداغ و سنگ‌های شیستی و دولومیتی واحد زرشوران قرار می‌گیرد. سنگ میزبان در کانسار طلا و آرسنیک زرشوران، واحد سنگی زرشوران است که بر روی مرمهرای چالداغ واقع شده و گاهی واحد چالداغ میزبان طلا است. این واحد شامل تناوبی از آهک، شیل سیاه، دولومیت و ماسه‌سنگ آهکی همراه با رگه‌هایی از سیلیس دانه‌ریز نهان بلورین و برشی است که بیشتر به‌وسیله واریزه‌های سطحی پوشیده شده است (قربانی، ۱۳۸۷؛ Mousavi et al., 2018).

کانسار طلای توزلار، در ۳۰ کیلومتری شمال باختری ماه‌نشان قرار گرفته است. کانسار طلای توزلار در ناحیه مورد مطالعه از زمین‌شناسی خاص ناحیه ماه‌نشان تبعیت می‌کند و در نزدیکی کانسار پی‌سنگ پراکمرین برونزد دارد که شامل گرانیت، گنیس، میکاشیست، شیست با سنگ والد غالب قاره‌ای می‌باشد و بر روی آن سه واحد آتشفشانی یاد شده یعنی هیالوکلاستیک‌ها و توف‌های اسیدی و سرانجام آندزیت‌بازالت قرار دارند، اما سنگ میزبان کانه‌زایی طلا سنگ‌های آندزیت‌بازالتی فاز ۳ می‌باشند. کانه‌زایی در محدوده توزلار در داخل رگه‌های کوارتزی که عموماً ناشی از محلول‌های گرمابی است، وجود دارد و همچنین مناطق آرژلیک و رگه‌های سیلیسی (کوارتزی) درون آنها طلا دارد می‌باشد (شرکت صنعتی معدنی طلای توزلار، ۱۳۹۸) (شکل ۵-الف).

کانسار چندفلزی باغچه، در باختر استان زنجان و در ۳۵ کیلومتری شمال باختر شهر ماه‌نشان در نزدیکی روستاهای قاضی‌کندی و کردی در شهرستان ماه‌نشان و در خاور معدن طلای توزلار قرار دارد. کانه‌زایی در کانسار باغچه به دلیل قرارگیری در حاشیه خاوری کانسار توزلار، مشابه کانه‌زایی در منطقه توزلار است. به این صورت که میزبان کانه‌زایی در منطقه، سنگ‌های آندزیت‌بازالتی فاز ۳ می‌باشد و کانه طلا در این منطقه یافت می‌شود، هر چند که رگه‌های سیلیسی کانه‌دار خیلی محدودتر است (شکل ۵-الف).

کانسار بایچه‌باغ، در کنار روستای متروکه احمدآباد از توابع شهرستان ماه‌نشان



شکل ۵- مدل‌های شماتیک سنگ-چینه‌ای و کانه‌زایی کانسارهای مورد مطالعه. کانه‌زایی در فازهای مختلف در نتیجه دو عامل اصلی پی‌سنگ پراکمرین و ولکانیسم جوان میو-پلیوسن ایجاد شده است. الف) کانسار بایچه‌باغ (میزبان کانه‌زایی در فاز ۱: هیالوکلاستیک‌های با سن الیگوسن)، توزلار و باغچه (میزبان کانه‌زایی در فاز ۳: سنگ‌های بازالت و آندزیت میوسن میانی و بالایی)؛ ب) کانسار زرشوران (میزبان کانه‌زایی در پراکمرین)؛ ج) کانسارهای آق‌قلعه‌سی و آق‌دره (میزبان کانه‌زایی در داخل سنگ آهک‌های سیلیسی شده هم‌ارز سازند قم).

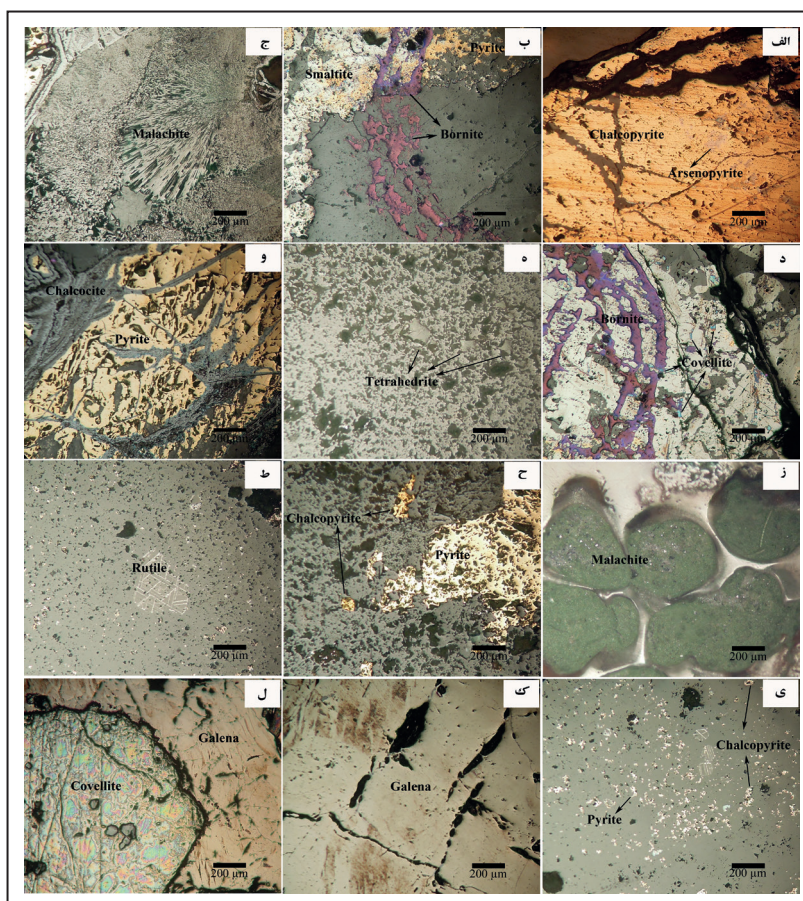
کانسار آی قلع‌سی، در ۲۵ کیلومتری جنوب خاوری تکاب قرار دارد. سنگ میزبان آن مشابه کانسار آق‌دره، سنگ‌های هم‌ارز سازند قم می‌باشد که در ارتباط با فاز کوهزایی میو- پلیوسن اتفاق افتاده است و بر روی سنگ‌های پرکامبرین قرار گرفته است. سنگ‌های پرکامبرین این ناحیه از نوع قاره‌ای و دارای سنگ والد توف‌های بازیک و پلیتی می‌باشند اما بخش پلیتی بر بخش سنگ‌های بازیک غالب است. در اینجا توده نفوذی فاز ۴ یعنی میو-پلیوسن در سنگ‌های واحدهای قم تا ژرفای زیر ۱۰۰ متر سطح بالا آمده به‌طوری که در حفاری‌های جدید در این کانسار دیده شده است (شکل ۵- ج).

۳-۴- مطالعات کانه‌نگاری

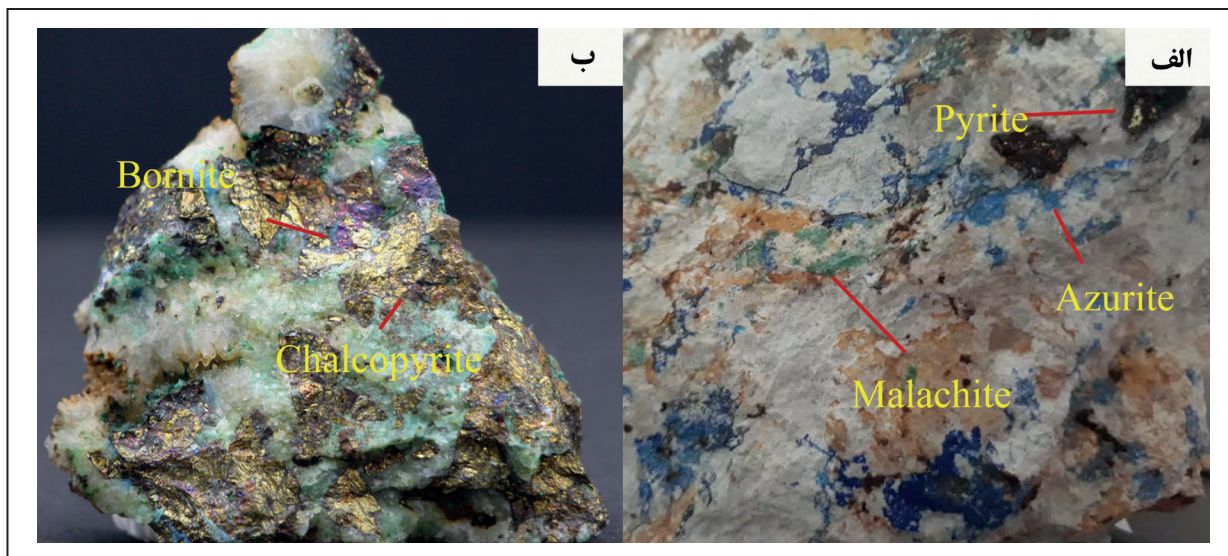
نتایج مطالعات کانه‌نگاری کانسارهای مورد مطالعه به قرار زیر است. در کانسار بایچه‌باغ، کانه‌های گسترده‌ای وجود دارد که شامل کالکوپیریت (CuFeS_2)، پیریت (FeS_2)، مگنتیت (Fe_3O_4)، روتیل (TiO_2)، کلوآنتیت ($(\text{NiCo})\text{As}_3\text{-x}$)، اسمالتیت ($(\text{Co Ni})\text{As}_3\text{-x}$)، به عنوان کانه اولیه و کالکوسیت (Cu_2S)، کوولیت (CuS)، آزوریت ($(\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) و مالاکیت ($(\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) به عنوان کانه ثانویه که حتی برخی از آنها در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است (شکل ۶- الف- ح و شکل ۷). کالکوپیریت‌ها تحت شرایط پروژند با حاشیه ظرفیتی توسط کوولیت جایگزین شده و متعاقباً با حاشیه ستبری به اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن تبدیل شده‌اند. روتیل در متن نمونه‌ها به صورت انفرادی یا تجمع چندبلور پراکنده است (شکل ۶- د).

نتایج مطالعات الکترون میکروپروب نشان می‌دهد که طلا عمدتاً به صورت ذرات بسیار ریز و پراکنده در متن کانسنگ وجود دارد و بیشترین گسترش طلا در کانی‌های اورپیمنت (As_2S_3)، رآلگار (AsS)، پیریت و کوآرتز دیده می‌شود. گسترده‌ترین دگرسانی در محدوده کانسار، از نوع سیلیسی و سپس آرژیلی است (قربانی، ۱۳۸۷؛ Paar et al., 2009). در زیر این پی‌سنگ توده‌های نفوذی که عامل کانه‌زایی است، قرار دارد ولی پروژند نیافته و شواهد آن از ویژگی‌های ساختاری و دورسنجی (Asadi et al., 2000)، دگرسانی و چشمه‌های آب گرم فعال در پیرامون آن (Ghorbani, 2013) مشخص است (شکل ۵- ب).

کانسار آق‌دره، کانسار آق‌دره در ۴۰ کیلومتری شمال باختری تکاب با پی‌سنگ دگرگون شده با ترکیب غالب میکاشیست و گنایس با سنگ والد پلیتی که بر روی آنها با ترادفی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن می‌باشد که با توف‌های سفید شروع شده و در ادامه لایه‌ها، مارن و توف با رسوبات سطحی مشاهده می‌شود. بخش زیرین این توالی نمایی از مارن‌های سفید تا سبز زیتونی میوسن را نشان می‌دهد که در میان آن لایه‌های آهکی به چشم می‌خورد. در میان لایه‌های آهکی، رگه‌هایی از ژاسپیروید و اکسیدهای آهن و منگنز دیده می‌شود که اطراف رگه‌ها شدیداً دگرسان شده است. رخساره کربناتی دگرسان شده غنی از منگنز و آهن با دگرسانی سیلیسی- کائولینیتی، از نظر کانه‌زایی طلا بسیار با ارزش است (قربانی، ۱۳۸۷). میزبان کانه‌زایی در کانسار آق‌دره آهک‌های الیگومیوسن هستند (Mousavi et al., 2018) (شکل ۵- ج).



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های کانسارهای مورد مطالعه: الف، ح (کانسار بایچه‌باغ): الف) آرسنوپیریت در میان کالکوپیریت؛ ب) قرارگیری بورنیت به صورت رگچه‌ای؛ ج) مالاکیت به صورت دستجات شعاعی؛ د) کالکوپیریت تحت دگرسانی پروژند توسط کوولیت جایگزین شده است؛ ه) تراندیت در فضاهای خالی سنگ با بافت Open Space؛ و) بلورهای کالکوپیریت که در حاشیه توسط کالکوسیت جایگزین شده‌اند؛ ز) مالاکیت با بافت شکافه پرکن؛ ح) قرارگیری کالکوپیریت‌ها و پیریت‌ها در فضاهای باز سنگ با بافت Open Space؛ ط، ی (کانسار توزلار): ط) بلور روتیل به صورت انفرادی؛ ی) پیریت و کالکوپیریت با بافت افشان (disseminated)؛ ک، ل (کانسار آی قلع‌سی): ک) گالن و ل) کوولیت خودشکل ناشی از دگرسانی.



شکل ۷- نمونه‌های دستی (کانسار بایچه‌باغ: الف) بلورهای پیریت، مالاکیت، آزوریت؛ ب) بورنیت و کالکوپیریت (طول تصاویر ۶ سانتی‌متر).

رالگار، اورپیمنت، کوارتز و پیریت و رگچه‌هایی از اسفالریت و کانه‌های فرعی مثل گالن و سولفوسالت‌های مختلف مانند دلیرانیت وجود دارد (Paar et al., 2009). در منطقه زرشوران افزون بر کانه‌زایی‌های سولفیدی مانند پیریت، رالگار و اورپیمنت بر اساس داده‌های ماهواره‌ای تصاویر سنجنده Aster در روش کروستا، ژاروسیت $(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{KFe}_3$ و هماتیت در تمام مناطق دگرسانی گرمایی (کانولینیتی، آلونیتی و کوارتز) دیده می‌شود (Yousefi et al., 2018). طیف‌سنجی رامان در مسیر جریان رودخانه ساروق در رسوبات آبراهه‌ای معادن زرشوران و آق‌دره، هماتیت (Fe_2O_3)، گوتیت ($\text{FeO}(\text{OH})$) و لپیدوکروسیت (FeOOH) را نشان داده است (Sharifi et al., 2016). از ویژگی‌های کانسار زرشوران وجود طلا در بین ورقه‌های اورپیمنت و رالگار است. در یک نمونه رالگار از کانه زرشوران می‌توان دانه‌های طلا را با میکروسکوپ بیناکولار برشمرد. با توجه به مطالعات انجام شده مقاطع صیقلی کانسارهای مورد مطالعه روند کانه‌زایی در آنها به صورت زیر می‌باشد (شکل ۸).

۴- نقش پی‌سنگ و ماگماتیسیم جوان در کانه‌زایی

منطقه تکاب- ماه‌نشان دارای برونزد وسیع پی‌سنگ پرکامبرین پسین است و چهار کمپلکس دگرگونی (سورسات، خیرآباد، ماه‌نشان و امیرآباد)، تنوع سنگ‌نگاری فراوانی را ایجاد کرده است، به همین دلیل است که کمپلکس‌های زیادی در این ناحیه نامگذاری شده‌اند هرچند رخساره همگی آنها یکسان ولی سنگ‌های والد (Protholite) آنها متفاوت است (Ghorbani, 2021). وجود سنگ‌های والد متفاوت در ناحیه تکاب و دگرگونی شدید آنها و غنی بودن آنها از عناصر کانه‌ساز (Hg , Zn , Pb , Sb , Ag , Au , Cu , Ni , Bi , Co) به همراه رخسادهای گسترده ماگماتیسیم جوان الیگوسن-پلیوسن و اثر آنها بر یکدیگر کانه‌زایی گسترده‌ای را در ناحیه مورد مطالعه موجب شده است (شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۷۶) (جدول ۱). ماگمای جوان که در زمان‌های الیگوسن تا پلیوسن در منطقه فعالیت داشت، توانست با نفوذ و گذر از پی‌سنگ و همراه با ذوب پی‌سنگ یاد شده عناصر کانه‌ساز را از متن این سنگ‌ها خارج کند. سپس در آخرین فاز ماگمایی نفوذی‌های کم ژرفا با ایجاد محلول‌های گرمایی و به عنوان موتور حرارتی موجب چرخش عناصر حاصل از توده جوان به همراه عناصر کانه‌ساز پی‌سنگ شده و در کانسارهای مورد مطالعه کانه‌زایی را ایجاد می‌کنند (شکل ۹) (جدول ۳).

آغشتگی کانه آزوریت در برخی نقاط نمونه‌ها دیده می‌شود. بلورهای مالاکیت با بافت شکافه پرکن و یا اغلب به صورت دستجات شعاعی با فراوانی حدود ۳ درصد در فضاها باز سنگ میزبان دیده می‌شود (شکل ۶-ج). کانه‌زایی بایچه‌باغ دارای ویژگی‌های خاص زیر است: ۱) هیچ‌گونه ارتباط پاراژنری بین کانه‌های اسمالتیت و کلوآنتیت با کالکوپیریت دیده نمی‌شود. این موضوع نشان‌دهنده منشأ و فاز جداگانه کانه‌زایی در کانسار بایچه‌باغ است، بدین صورت که کانه‌های نیکل و کبالت منشأ الترامافیک دارند و کانه کالکوپیریت منشأ سنگ‌های پوسته قاره‌ای و توده‌های نفوذی تأخیری دارند و نیز کانه‌های بالا هیچ‌گونه دگرسانی ندارند؛ ۲) ویژگی‌هایی که کانه کالکوپیریت نشان می‌دهد این است که کالکوپیریت‌ها قبل از مگنتیت‌ها به وجود آمده‌اند و آنیزوتروپی شدیدی نشان می‌دهند که دلالت بر درجه حرارت بالای تشکیل دارد؛ ۳) کانه‌های اسفالریت که پس از کالکوپیریت تشکیل شده‌اند، بر اساس مطالعات الکترون میکروپروپ غنی از آهن هستند که نشان از درجه بالای تشکیل برای این کانه دارد؛ ۴) کانه‌هایی چون گالن نشان از شکل و درجه حرارت‌های پایین تشکیل برای این کانه دارد؛ ۵) ویژگی‌های کلی کانه‌های بایچه‌باغ نشان می‌دهد که کانه‌زایی در طیف گسترده‌ای از درجه حرارت و از محلول‌های گرمایی با منشأهای متفاوت تشکیل شده است. در کانسارهای توزلار و باغچه، کانه فلزی اصلی از نوع پیریت (FeS_2) با بافت افشان (disseminated) است. اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن به مقدار نسبتاً کم در حفرات و فضاها باز سنگ میزبان مستقر شده‌اند. بلورهای روتیل به صورت منفرد و گاه به شکل تجمع چندین بلور در متن نمونه‌ها پراکنده‌اند (شکل ۶-ط، ی). کانه‌زایی و دگرسانی در منطقه آق‌دره شامل چند مرحله است: ۱) سیلیسی شدن در ارتباط با پیریت و اسفالریت؛ ۲) سیلیسی شدن با سولفیدهای As ، Pb و Sb ، سولفوسالت‌ها، تلوریدها و بیسموت؛ ۳) سینابر و باریت؛ ۴) کانسنگ اکسیدی و دگرسانی کربناته (مجموعه‌ای از اکسید-هیدروکسیدهای غنی از آهن و منگنز)، آرسنات، سولفات، کانی‌های سنگ آهک دگرسان شده (آلومینیم، فسفات و سولفات) و روتیل در سنگ‌های میزبان (Daliran, 2008). در کانسار آی‌قلعه‌سی کانه‌ها شامل کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت آهن‌دار، اسفالریت، گالن و رالگار است. افزون بر آنها، تنانیت مهم‌ترین سولفوسالت موجود در این کانسار است (محمدی‌نیایی، ۱۳۹۴). در این کانسار گالن به تنهایی یا به همراه کولیت دیده می‌شود (شکل ۶-ک، ل). در کانسار طلا-آرسنیک زرشوران، کانه‌های

توالی پاراژنزی کانی‌های کانسار آق‌دره		
کانی‌ها	کانی‌سازی اولیه	کانی‌سازی ثانویه
پیروتیت	_____	
کالکوپیریت	_____	
پیریت	_____	
بورنیت	_____	
کوارتز	_____	_____
کوارتز طلادار		_____
بولانژریت	_____	
گالن	_____	
استیبنیت	_____	
رالگار	_____	
طلا	_____	
هیدروکسیدهای آهن		_____
اروستیبنیت		_____
کرمزیت		_____

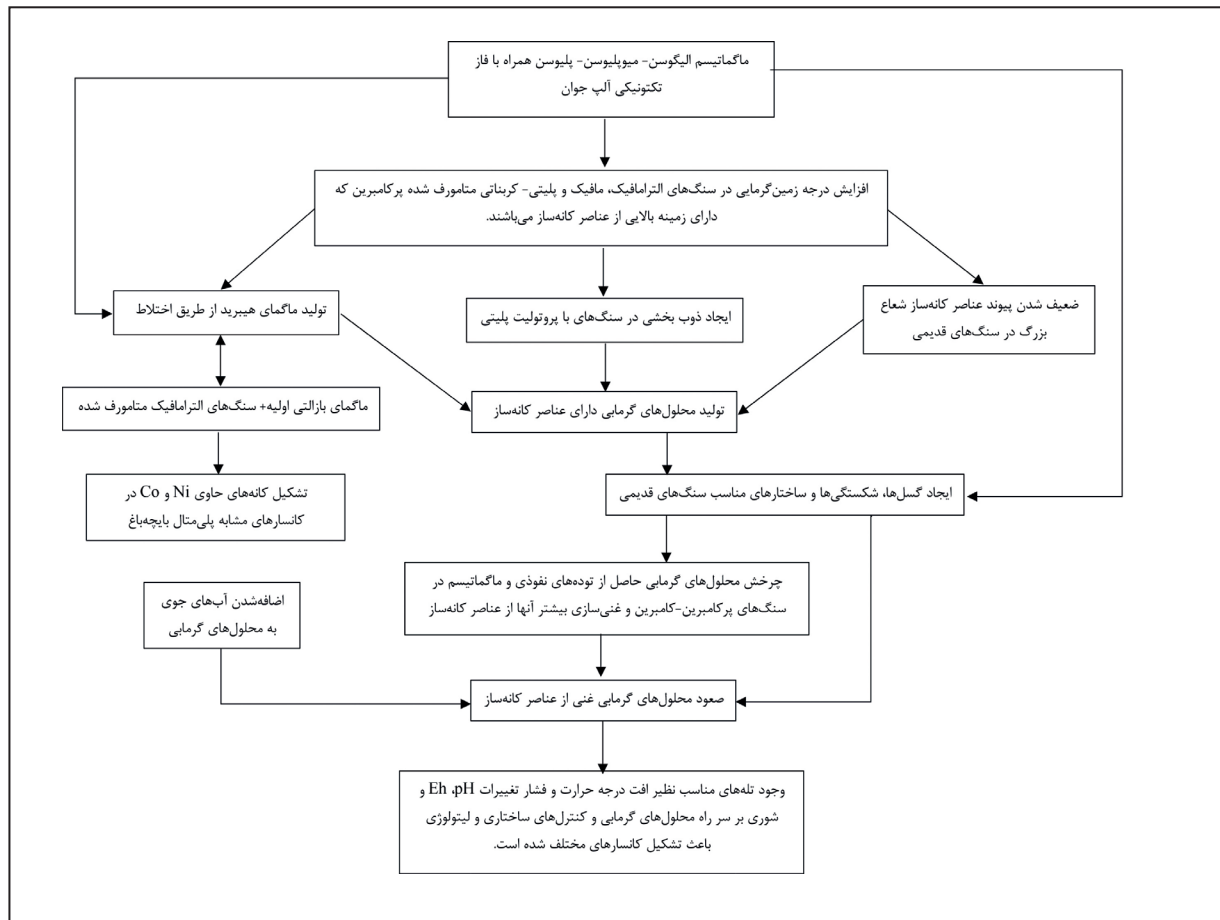
توالی پاراژنزی کانی‌های کانسار زرشوران		
کانی‌ها	کانی‌سازی اولیه	کانی‌سازی ثانویه
پیروتیت	_____	
کالکوپیریت	_____	
پیریت	_____	
اسفالریت	_____	
کوارتز	_____	_____
گالن	_____	
فلورین	_____	
گچ‌لیت	_____	
لوراندیت	_____	
دلیرانیت	_____	
استیبنیت	_____	
رالگار	_____	
اورپیمنت	_____	
سینابر	_____	
باریت	_____	_____
آرسنولیت	_____	_____
اسکورودیت		_____
ژاروسیت		_____

توالی پاراژنزی کانی‌های کانسار آی‌قلعه‌سی		
کانی‌ها	کانی‌سازی اولیه	کانی‌سازی ثانویه
کالکوپیریت	_____	
پیریت	_____	
اسفالریت	_____	
گالن	_____	
تتراهدریت	_____	
کوارتز	_____	_____
کالکوسیت		_____
آزوریت		_____
مالاکیت		_____
سروزیت		_____
اسمیت‌زونیت		_____
ژاروسیت		_____

توالی پاراژنزی کانی‌های کانسار بایچه‌باغ		
کانی‌ها	کانی‌سازی اولیه	کانی‌سازی ثانویه
مالاکیت		_____
آزوریت		_____
کوارتز		_____
هیدروکسید آهن		_____
کالکوسیت		_____
کولیت		_____
بورنیت	_____	
اسفالریت غنی از آهن	_____	
آرسنوپیریت	_____	
پیریت	_____	
کالکوپیریت	_____	
روتیل	_____	
کلواتنیت	_____	
اسمالتنیت	_____	
مگنتیت	_____	

توالی پاراژنزی کانی‌های کانسار توزلار-باغچه		
کانی‌ها	کانی‌سازی اولیه	کانی‌سازی ثانویه
اکسید آهن		_____
آرژلیک		_____
سیلیس طلادار		_____
پیریت	_____	
روتیل	_____	

شکل ۸- توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسارهای مورد مطالعه.



شکل ۹- مراحل تشکیل کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۳- مقادیر غلظت عناصر با استفاده از روش ICP-MS در نمونه‌های کانسارهای مورد مطالعه.

Tuzlar mineral deposit												
Elem.	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Mg
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
T1	2	1.17	31600	714	3990	-	570	78300	36	498	121	680
T2	1	1.18	25400	681	3185	-	450	75200	38	418	120	690
Baghcheh mineral deposit												
Elem.	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Mg
Unit	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BS1	500	0.15	12448	3.4	15993	0.22	13	26764	328	8	62	55626
BS5	< 1	0.14	16477	7.2	16584	0.19	19	33511	421	124	63	6485
Ay-Qalesi mineral deposit												
Elem.	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Mg
Unit	ppb	ppm	wt%	ppm	wt%	ppm	ppm	wt%	ppm	ppm	ppm	wt%
Iyq1	15	21	3	680	54	101	2540	15	158	143	256	0.1
Iyq2	17	8	0.7	620	36	95	1180	4	314	894	523	0.4
Agh-darreh mineral deposit												
Elem.	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Hg
Unit	ppb	ppm	-	ppm	wt%	ppm	ppm	wt%	ppm	ppm	ppm	ppm
Ag1	2100	45	-	13200	9.3	87	8	12	0.3	550	760	73
Agh2	1500	121	-	15200	11.3	98	10	5.9	0.5	61	80	15

ادامه جدول ۳-

Zarshursan deposit												
Elem.	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Sb	Te	Ti	Pb	Zn	Hg
Unit	ppm	ppm	wt%	wt%	wt%	-	wt%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Zr1	6.8	0.5	1	1.2	6	-	0.01	11	1.8	28	120	12
Zr2	5.3	0.6	1.5	0.8	5.6	-	0.03	16	2	27	125	9
Bayche Bagh mineral deposit												
Elem.	Ag	As	Ca	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Bi	Ni	Co
Unit	ppm	ppm	wt%	ppm	ppm	wt%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
By7	0.3	7.4	4.73	0.1	22	2.64	215	7	33	0.1	120	240
By8	0.4	4.3	4.33	0.1	25	2.15	315	6	50	0.1	150	300

چندفلزی بایچه‌باغ و آی‌قلعه‌سی با کانی‌شناسی نسبتاً پیچیده؛ ۲) کانسارهای طلای آقدوره، توزلار و باغچه با کانی‌شناسی خیلی ساده و ۳) کانسارهای طلای زرشوران با کانی‌شناسی متوسط. بنابراین بر پایه این بررسی‌ها و پاراژنهای یاد شده، دمای محلول‌های گرمایی برای کانسارهای یاد شده به این صورت در نظر گرفته می‌شود: در کانسارهای توزلار و باغچه وجود کانه پیریت به صورت کانه اولیه و همراه با کانه آرسنیک و گسترش دگرسانی آرزلیک همراه با سیلیس با کمی باریت نشانه درجه حرارت پایین و برای کانسار آقدوره وجود پیریت به همراه اسفالریت تا حدودی درجه حرارت بیشتری نسبت به دو کانسار توزلار و باغچه نشان می‌دهد. میانگین دمای همگن‌شدگی سیالات کانه‌ساز کانسار زرشوران ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است (Yousefi et al., 2018). درجه حرارت‌های تعادل ایزوتوپ گوگردی سولفیدهای اسفالریت و گالن کانسار آی‌قلعه‌سی ۲۹۲ و ۳۲۹ درجه سانتی‌گراد (محمدی‌نیایی، ۱۳۹۴) و درجه حرارت‌های همگن‌شدن سیالات میانبارهای کانسار آی‌قلعه‌سی بین ۲۳۸ و ۳۹۱ درجه سانتی‌گراد (شیرخانی و همکاران، ۱۳۸۸) است و در نهایت در کانسار بایچه‌باغ، به دلیل وجود کانه‌های اسمالتیت و کالکوپیریت دمای همگن‌شدگی سیالات میانبار بیشتر از دیگر کانسارهای مورد مطالعه می‌باشد (باغچه > توزلار > آقدوره > زرشوران > آی‌قلعه‌سی > بایچه‌باغ).

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به کلیه مطالعات صحرایی، سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و ژئوشیمی که بر روی سنگ‌های فراگیر کانسارهای منطقه تکاب- ماه‌نشان انجام شده و نیز مطالعه محدوده کانه‌زایی کانسارهای بایچه‌باغ، توزلار، باغچه، زرشوران و آقدوره نتایج زیر را می‌توان در این منطقه برشمرد. ۱) در محدوده کانسارهای مورد مطالعه دو گونه سنگی کاملاً متفاوت وجود دارد. سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین پسین و سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن تا پلیوسن؛ ۲) نوع پی‌سنگ در محدوده‌های کانسارهای یاد شده متفاوت است. در برخی از آنها ترکیب پوسته اقیانوسی غالب است و در محدوده برخی از کانسارها ترکیب پوسته قاره‌ای بارزتر است. این ترکیب متفاوت بر روی پاراژن عنصری و کانی‌شناختی کانسارها مؤثر بوده است؛ ۳) نقش ترکیب پی‌سنگ و عملکرد ماگماتیسیم جوان و غنی بودن منطقه از نظر کانه‌زایی را باید از عوامل اصلی فلزایی منطقه تکاب- ماه‌نشان دانست.

تنوع عناصر با توجه به ترکیب متفاوت پی‌سنگ در کانسارهای منطقه متفاوت است. در کانسارهای توزلار و باغچه پی‌سنگ اغلب از جنس قاره‌ای دگرگون شده است و کانه‌زایی از نوع طلا را نشان می‌دهد. همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد از میزان عنصر طلا و عناصر همراه آن در کانسار باغچه کاسته شده که به دلیل کم اثر شدن نقش پی‌سنگ در این محدوده است. در کانسار آی‌قلعه‌سی با غالب بودن پی‌سنگ قاره‌ای با سنگ والد پلیتی نسبت به پی‌سنگ شیستی یا پوسته اقیانوسی دارای ناهنجاری از عناصر کانه‌ساز می‌باشد. در سنگ‌های جوان آنومالی عناصر آهن، مس، سرب، روی و آرسنیک را گزارش کرده است (محمدی‌نیایی، ۱۳۹۴). در کانسار آقدوره پی‌سنگ دگرگونی با ترکیب قاره‌ای از نوع میکاشیست و گنایس با سنگ والد پلیتی وجود دارد. در پی‌سنگ منطقه آنومالی As، Hg، Au و Sb بسیار بالا است. دلیران (Daliran, 2008) بیان می‌کند کانه‌زایی طلا با مجموعه کانه‌های گرمایی همراه و عناصر همراه Ag، Cd، Bi، Zn، Ba، Ti، Se، Te، Sb، As و Pb و محتوای بسیار کم Cu می‌باشد. در کانسار زرشوران پی‌سنگ منطقه را شیست با منشأ الترامافیک تشکیل داده است. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2000) عناصر طلا، نقره، روی، تیتانیم، تلوریم، جیوه، آنتیموان و آرسنیک را گزارش کرده‌اند. پس از آن موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2018) بیان می‌کنند که در رسوبات آبراهه‌ای زرشوران- آقدوره عناصر آرسنیک، آنتیموان، نیکل، مس، کادمیم، کبالت، بیسموت، سرب و روی غنی‌شدگی دارد. در کانسار بایچه‌باغ وجود پی‌سنگ شیستی با منشأ الترامافیک و تا حدودی سنگ‌های پوسته قاره‌ای (درهم‌آمیختگی پوسته قاره‌ای و اقیانوسی) در تنوع بخشیدن پاراژن عنصری مؤثر بوده است و کانسار بایچه‌باغ یکی از کانسارهای معروف چندفلزی عناصر Ni، Co، Au، Zn، Pb، Cu و Bi می‌باشد.

۵- دمای تشکیل کانسارهای مورد مطالعه

سنگ‌نگاری سیال بر روی کانی کوآرتز در سه نمونه میانبار سیال از کانسارهای توزلار و بایچه‌باغ انجام شد و نتایجی ارائه نشد. برپایه ترکیب و توالی پاراژنزی کانه‌ها، درجه حرارت میانبارهای سیال (از جمله درجه حرارت تشکیل اسمالتیت در نتیجه حضور آن)، کنترل کانه‌زایی توسط گسل، نوع دگرسانی‌ها و وابسته بودن آنها به محلول‌های گرمایی برای هر کدام از کانسارهای توزلار، بایچه‌باغ، باغچه، آقدوره، زرشوران و آی‌قلعه‌سی به این صورت است. با توجه به پاراژن عناصر می‌توان کانسارهای مورد مطالعه را به این صورت تفکیک کرد: ۱) کانسارهای

کتابنگاری

- اجاقی، ب.، ۱۳۷۵، زمین‌شناسی اقتصادی و بررسی شکل توده کانسار طلای زرشوران (شمال تکاب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- حیدری، م.، قادری، م. و کوهستانی، ح.، ۱۳۹۶، کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال با میزبان رسوبی عربشاه، جنوب خاور تکاب، شمال باختر ایران، فصلنامه علمی علوم زمین، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، ص ۲۸۲-۲۶۵.
- شرکت توسعه علوم زمین، ۱۳۷۶، نقشه‌های ژئوشیمیایی تخت سلیمان و شاهین‌دژ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شرکت صنعتی معدنی طلای تزلار، ۱۳۹۸، گزارشات اکتشافات تکمیلی معدن تزلار.
- شکوهی، ح.، ۱۳۷۵، بررسی پترولوژی، ژئوشیمی و زون‌های آلتراسیون سنگ‌های آذرین منطقه بایچه‌باغ (جنوب غرب میانه)، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه تبریز، کارشناسی ارشد.
- شهاب‌پور، ج.، ۱۳۷۹، زمین‌شناسی اقتصادی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۳ ص.
- شیرخانی، م.، قادری، م.، رشیدزاد عمران، ن. و محمدی نیایی، ر.، ۱۳۸۸، تفسیر و کاربرد اکتشافی داده‌های آنالیز Enzyme leach SM در کانسار پلی‌متال آی قلع‌ه‌سی، جنوب شرق تکاب، مجله علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۳، ص ۳-۱۰.
- گزارش نقشه زمین‌شناسی کانسار آهن شهرک، ۱۳۷۰، شرکت آهن آجین.
- غضنفری، ف.، ۱۳۷۰، پتروژن سنگ‌های دگرگونی در شمال‌خاور تکاب با نگرشی ویژه به کانه‌سای سرب و روی در معدن انگوران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- قربانی، م.، ۱۳۸۷، زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران (جلد ۲)، انتشارات آراین زمین، ۶۳۹ ص.
- کریمی، م.، ۱۳۸۰، مطالعه کانی‌شناسی، پتروژن و نحوه تشکیل کانسار پلی‌متال بایچه‌باغ (زنجان)، پایان‌نامه دکتری دانشگاه علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.
- کوهستانی، ح.، ۱۳۹۴، گزارش پایان اکتشاف آهن میانج، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان.
- محمدی‌نیایی، ر.، ۱۳۹۴، ژن و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار سرب و روی آی‌قلعه‌سی با نگرش ویژه‌ای بر کانه‌زایی فلزات قیمتی، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ۲۱۱ ص.
- ملکی، س.، ۱۳۸۳، کانی‌شناسی و ژئوشیمی اندیس طلای تزلار (ماه‌نشان)، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم، کارشناسی ارشد.
- نوری، ف.، مختاری، م.، ایزدیار، ج. و کوهستانی، ح.، ۱۴۰۰، زمین‌شناسی و پتروژن توده گرانیتوبیدی و اسکارن آهن علم‌کندی (باختر ماه‌نشان، استان زنجان)، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، دوره ۱۳، شماره ۳، ص ۵۰۷-۵۳۶.

References

- Alavi, M., and Amidi, M., 1976. The 1: 250000 geology map of the Takab, Geological Survey of Iran.
- Asadi, H. H., Voncken, J. H. L., Kanel, R. A., and Hale, M., 2000. Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran, Mineralium Deposita, (35), 656-671, <https://doi.org/10.1007/s001260050269>.
- Babakhani, A., and Ghalamghash, J., 1990. The 1: 100000 geology map of the Takhte-Soleyman, Geological Survey of Iran.
- Berberian, M., and King, G., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences, 18 (2), 210-265, <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- 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, Mineralium Deposita, (42), 799-820, DOI:10.1007/s00126-007-0144-4.
- Daliran, F., 2008. The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran—hydrothermal alteration and mineralization. Mineralium Deposita, 43(4), DOI:10.1007/s00126-007-0167-x.
- Emami, M. H., 1992. The 1:100000 Magmatic geology map of Iran. Geological Survey of Iran.
- Ghorbani, M., 2013. Economic geology of Iran. Springer.
- Ghorbani, M., 2021. The Geology of Iran: Tectonic, Magmatism and Metamorphism. Springer.
- Heidari, S. M., Daliran, F., Paquette, J.-L., and Gasquet, D., 2015. Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran, Ore Geology Reviews, (65), 460-486, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.013>.
- Heidari, S. M., Ghaderi, M., and Afzal, P., 2013. Delineating mineralized phases based on lithogeochemical data using multifractal model in Touzlar epithermal Au-Ag (Cu) deposit, NW Iran, Applied Geochemistry, (31), 119-132, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.12.014>.
- Letouzey, J., and Rudkiewicz, J., 2005. Structural geology in the Central Iranian Basin, Institut Français du Pétrole. Rep. F, 214001. 79.
- Lotfi, M., 2001. The 1: 250000 geology map of the Mahneshan, Geological Survey of Iran.
- Mehrabi, B., Yardley, B., and Cann, J., 1999. Sediment-hosted disseminated gold mineralisation at Zarshuran, NW Iran. Mineralium Deposita, 34(7), 673-696. DOI:10.1007/s001260050227.
- Mohajjel, M., and Fergusson, C., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. International Geology Review, 56(3), 263-287, <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2013.853919>.
- Morley, C. K., Kongwung, B., Julapour, A. A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoorn, H., Srisuriyon, K., and Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area, Geosphere 5(4), 325-362, <https://doi.org/10.1130/GES00223.1>.

- Mousavi, S.P., Mokhtari, M.A.A., Khosravi, Y., Rafiee, A., and Hoseinzade, R., 2018. Investigation of environmental pollution in stream sediments for heavy metals at Zarshuran-Aghdarreh area (north of Takab, Iran), *Journal of Water and Soil Science*, 22(2), 127-140, DOI :10.29252/jstnar.22.2.127.
- Paar, W.H., Pring, A., Moelo, Y., Stanley, C.J., Putz, H., Topa, D., Roberts, A.C., and Braithwaite, R.S.W., 2009. Daliranite, PbHgAs₂S₆, a new sulphosalt from the Zarshouran Au-As deposit, Takab region, Iran. *Mineralogical Magazine*, 73(5), 871-881, <https://doi.org/10.1180/minmag.2009.073.5.871>.
- Rahimsouri, Y., Yaghubpur, A., and Modabberi, S., 2012. Environmental geochemistry of Aq-Darreh Bala abandoned Sb mine and its impacts on water, sediment, and soil pollution in the Aq-Darreh River Watershed, Takab, NW Iran, *Global Advanced Research Journals*, 1(5), 115-131, <http://garj.org/garjest/index.htm>.
- Sharifi, R., Moor, F., and Keshavarzi, B., 2016. Mobility and chemical fate of arsenic and antimony in water and sediments of Sarouq River catchment, Takab geothermal field, northwest Iran, *Journal of Environmental Management*, (170), 136-144, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.018>.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review, *AAPG bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Teknik, V., Ghods, A., Thybo, H., and Artemieva, I. M., 2019. Crustal density structure of the northwestern Iranian Plateau, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 56(12), 1347-1365, <http://dx.doi.org/10.1139/cjes-2018-0232>.
- Walker, R., and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23(5), <http://dx.doi.org/10.1029/2003TC001529>.
- Yousefi, T., Aliyari, F., Abedini, A., and Calagari, A. A., 2018. Integrating geologic and Landsat-8 and ASTER remote sensing data for gold exploration: a case study from Zarshuran Carlin-type gold deposit, NW Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 11(17), 1-19, <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-018-3822-x>.

Original Research Paper

The role of basement and young magmatism in epithermal gold and polymetallic mineralization in Takab-Mahnesan area, NW Iran

Mojgan Salehi Yazdi¹, Mansour Ghorbani^{2*}, Nima Nezafati^{1,3} and Mansour Vossoughi Abedini²

¹Department of Earth Sciences, Faculty of Basic Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³German Mining Museum, Bochum, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 October 03

Accepted: 2022 January 03

Available online: 2022 September 23

Keywords:

Precambrian Basement

Mio-Pliocene Magmatism

Gold Mineralization

Takab-Mahnesan Area

ABSTRACT

Takab-Mahnesan's metallogenic area is essential in gold mineralization, and it is a part of the northern Urmia-Dokhtar magmatic belt. The northern Urmia-Dokhtar has two distinctive features. It contains the Precambrian basement, and the young Mio-Pliocene magmatism rocks overlie its Precambrian basement. Precambrian basement has two different compositions, oceanic and continental crusts (gneiss, granite, mica-schist, greenschist, amphibolite, serpentinite, marble). The Young rocks are composed of hyaloclastite, acidic tuff, andesitic-basaltic, acidic to intermediate intrusions (diorite, granite), limestone, and marl of Qom formation. We categorized the Young rocks into four phases based on their age and positions. The mutual effect of the basement and young magmatism --in the latest phase --creates hydrothermal solutions in the form of a heat engine. The heat engine has caused rotation and variety, increasing mineralization in the area. As a result, there are mines, deposits, gold indications, and some associated gold elements, including Tuzlar, Bayche Bagh, Baghcheh at Mahnesan area, Zarshuran, Agh-darreh, and Ay-Qalesi in Takab. The Tuzlar and Baghcheh deposits with gold mineralization are in a Silicic-argillic zone, including pyrite, gold-bearing silica, argillic and ferrous hydroxides minerals. The Ay-Qalesi polymetallic deposits often contain zinc and lead. The Zarshuran and Agh-darreh deposits are the gold types that the first one has a variety of mineralization of sulfides and sulfosalts. The second one has simple gold mineralization, and finally, the Bayche Bagh deposit with polymetallic type includes chalcopyrite, pyrite, rutile, arsenopyrite, sphalerite, bornite, smaltite, chloanthite, azurite, and malachite minerals.

* Corresponding author: Mansour Ghorbani; E-mail: m-ghorbani@sbu.ac.ir

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

doi: 10.22071/GSJ.2022.307017.1938

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.3.4.8



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)