

کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال با میزبان رسوبی عربشاه، جنوب خاور تکاب، شمال باختر ایران

سیدمهران حیدری^۱، مجید قادری^{۲*} و حسین کوهستانی^۳

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹

چکیده

کانسار طلای عربشاه طی فعالیت گرمایی حدود ۱۱ میلیون سال پیش (بر پایه سن‌سنجی اورانیم-سرب زیرکن به روش LA-ICP-MS)، در شمال باختر کشور تشکیل شده است. این فعالیت، بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر بوده که عامل کان‌زایی در این ناحیه، مشابه ذخایر طلای زرشوران، آق‌دره و ساری‌گونی شده است. سنگ میزبان کان‌زایی شامل مجموعه‌ای از توالی‌های رسوبی متعلق به پالئوزویک زیرین است که توسط توده‌های نیمه‌ژرف داسیتی کالک‌آلکان با تمایل آلکان (پتاسیم بالا) قطع شده‌اند. کان‌زایی طلا در این کانسار به لحاظ بافتی بیشتر به صورت رگه-رگچه، پُرکننده فضاهای خالی، پرشی، توده‌ای و دانه‌پراکنده رخ داده است. کان‌زایی طلا در کانسار عربشاه از دید نوع دگرسانی‌های گرمایی (کربنات‌زایی، آرژیلیک، دولومیتی، سولفیدی و سیلیسی شدن) و روند تکوین کان‌زایی در ارتباط با پرشی شدن و ته‌نشینی سولفیدهای فلزات پایه، آهن، آرسنیک و آنتیموان شبیه به کانسارهای مرتبط با سامانه‌های زمین‌گرمایی (اپی‌ترمال کم‌سولفید) در جایگاه‌های آتشفشانی است. با این تفاوت که سنگ میزبان آن رسوبی است. بیشتر کان‌های سولفیدی در این کان‌زایی، شامل پیریت، آرسنوپیریت، اریپمنت و رآلگار، استینیت، گالن، اسفالریت، طلا و کمتر کالکوپیریت است. طلا در این کان‌زایی به صورت آزاد شده از دانه‌های پیریت اکسیده، همچنین بسیار ریز (نامری) درون فازهای سولفیدی به صورت محلول جامد همچون پیریت‌های آرسنیک‌دار رخ داده است. با توجه به جایگاه ساختاری، سنگ میزبان، پاراژنز کانی‌ها، حضور آرسنیک، آنتیموان، جیوه و فلزات پایه، دگرسانی گرمایی و حضور طلا به صورت نامری در پیریت‌های آرسنیک‌دار، کانسار طلای عربشاه را می‌توان در گروه کانسارهای اپی‌ترمال با میزبان رسوبی که در محیط‌های کشتی درون‌قاره‌ای تشکیل شده‌اند، رده‌بندی کرد.

کلیدواژه‌ها: اپی‌ترمال، سن‌سنجی اورانیم-سرب، ژئوشیمی، عربشاه، ارومیه-دختر.

*نویسنده مسئول: مجید قادری

E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

به ترکیب (تجزیه عناصر اصلی و کمیاب به روش ICP-MS) و سن فعالیت ماگمایی مرتبط با کان‌زایی (سن‌سنجی به روش U-Pb) و نیز جایگاه زمین‌ساختی تشکیل آن (بر پایه مطالعات زمین‌شناسی صحرائی، سن‌سنجی و ترکیب ماگما) بپردازد.

۲- جایگاه زمین‌شناسی کانسار طلای عربشاه

کهن‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در این محدوده، شامل مجموعه‌ای از واحدهای دگرگونی-رسوبی پی‌سنگی است که با توجه به جایگاه چینه‌شناسی، معادل بخش‌هایی از سازند کهر، در حدفاصل نئوپروتوزویک-پالئوزویک زیرین هستند (فنودی و حریری، ۱۳۷۷؛ Alavi et al., 1982). این توالی از دید سنگ‌شناسی گوناگونی زیادی ندارد و بیشتر شامل شیست (میکاشیست، سربیسیت‌شیست و کالک‌شیست)، کوارتزیت و مرمر و روند کلی آن شمال باختر-جنوب خاور است (شکل ۲- A). این مجموعه پی‌سنگی بالاآمده توسط سنگ‌های رسوبی و آذرین الیگومیوسن به صورت دگرشیب پوشیده و یا قطع شده است، بنابراین بیشتر واحدهای رخنمون یافته در این ناحیه را سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن (هم‌ارز سازند قم و سازندهای سرخ زیرین و بالایی) تشکیل می‌دهد که از دید محیط رسوب‌گذاری، متعلق به حوضه‌های کم‌ژرفای درون‌قاره‌ای و آتشفشانی-رسوبی است (شکل ۲). کهن‌ترین آنها شامل مجموعه‌ای از واحدهای تخریبی همچون کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن (معادل سازند سرخ زیرین) به رنگ سرخ است که رخنمون آن به دلیل پوشیدگی توسط معادل‌های سازند قم، سرخ بالایی و کواترنری، محدود به گسل‌های راندگی در حواشی مجموعه‌های پی‌سنگی در باختر منطقه مورد مطالعه است.

۳- نمونه‌برداری و روش‌های تجزیه

به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین در منطقه مورد مطالعه، ۷ نمونه از بخش‌های کمتر دگرسان این مجموعه برای تجزیه ژئوشیمیایی سنگ کل

کانسار طلا-آرسنیک-آنتیموان (سرب و روی) عربشاه در ۲۷ کیلومتری جنوب خاور تکاب در استان آذربایجان غربی قرار دارد (شکل ۱). اگرچه شواهدی از کنده‌کاری‌های معدنی در این محدوده وجود دارد؛ اما این فعالیت‌ها مربوط به برداشت‌های نه‌چندان کهن به منظور برداشت زرنیخ و سرب است. از مهم‌ترین فعالیت‌های اکتشافی انجام شده پیشین در این محدوده می‌توان به گزارش بازدید از محدوده عربشاه (حیدری، ۱۳۷۶)، تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ توسط شرکت کانادایی Anglo American and Minorco در سال ۱۹۹۹، همراه با نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با شبکه ۵۰ در ۵۰ متر به سفارش شرکت زرکان در طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ و فعالیت‌های اکتشافی صورت‌گرفته توسط شرکت معدن زمین‌شناسی در سال ۱۳۸۱ اشاره کرد که شامل زدن ترانشه، نمونه‌برداری و تهیه نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ به منظور شناسایی پتانسیل سرب و روی (نه طلا) است (کرم‌سلطانی و همکاران، ۱۳۸۳). با توجه به نمونه‌برداری ژئوشیمیایی خاک و سنگ انجام شده در محدوده کان‌دار توسط WGM در شرکت Anglo American and Minorco، عیار اقتصادی طلا در این کانسار، محدود به رگه‌های سیلیسی و حاشیه‌های دگرسان آن است. با در نظر گرفتن ابعاد این رگه‌ها (۴۰۰ تا ۸۰۰ متر به صورت منقطع با سبترای ۰/۵ تا ۲ متر) و ترانشه‌های موجود روی آن، ذخیره‌ای در حدود ۱/۵ میلیون تن کانسنگ با عیار ۱ تا ۳ گرم در تن طلا (عیار میانگین ۱/۲ گرم در تن) برای این کانسار به دست آمده است (کرم‌سلطانی و همکاران، ۱۳۸۳).

کانسار عربشاه جزئی از ناحیه گرمایی طلا‌دار تکاب است که ذخایری چون طلای زرشوران و آق‌دره را دربرمی‌گیرد (شکل ۱). حضور کانسارهای بزرگ به عنوان کانسارهای مرتبط با توده‌های نیمه‌ژرف با سنگ میزبان رسوبی (Mehrabi et al., 1999; Asadi et al., 2000; Daliran, 2008) در این ناحیه و ارتباط زمانی و مکانی آنها، بستر مناسبی برای درک فلززایی طلا در این بخش از پهنه ساختاری سندج-سیرجان و ارتباط آن با کمان ماگمایی ارومیه-دختر فراهم خواهد آورد (شکل ۱). بر این اساس، این مقاله سعی دارد که افزون بر مرور زمین‌شناسی کانسار عربشاه و تعیین نوع کان‌زایی و ارتباط آن با توده‌های نیمه‌ژرف (پورفیری)

ستبرایی در حدود ۳۰ تا ۵۰ متر دیده می‌شوند (شکل‌های ۴- A تا C). همبری زیرین این واحد با واحد پی‌سنگی به صورت دگرشیب و همبری بالایی آن با واحد آهکی (به‌طور محلی) و با مارن‌های ماسه‌ای، پیوسته است. روند کلی این واحد، شمال باختری - جنوب خاوری با شیبی در سوی جنوب خاور است. این واحد، محصول فعالیت‌های خروجی منطقه در میوسن و به‌طور محلی در زمان تشکیل رسوبات آهکی است که به صورت لیتیک‌توف - توف برش اسیدی با ترکیب داسیتی - ریوداسیتی و کانی‌شناسی آن شامل فلدسپار، کوآرتز به مقدار کم و قطعات لیتیک است (شکل‌های ۴- D و E). فلدسپارها از نوع پلاژیوکلاز با ترکیب سدیک هستند و بیشتر به کانی‌های رسی و زیولیت تجزیه شده‌اند (حیدری، ۱۳۹۲).

واحد سیلتی - ماسه‌ای میوسن، که بخش‌های به نسبت گسترده‌ای را در جنوب محدوده مورد مطالعه پوشش می‌دهد (شکل ۵- A)؛ شامل ردیف ستبری از ماسه‌سنگ با لایه‌بندی به رنگ سرخ همراه با میان‌لایه‌هایی از مارن سرخ (منسوب به سازند سرخ بالایی) است. ستبرای لایه‌های ماسه‌سنگی از نازک لایه تا ستبر لایه میان ۰/۵ تا ۵ متر متغیر است. لایه‌های این واحد بیشتر امتداد شمال خاور - جنوب باختر دارند و با شیب ملایم به سوی جنوب خاور دیده می‌شوند و متناسب با شیب توپوگرافی رخنمون دارند. از سوی دیگر توده‌های نیمه‌ژرف داسیتی موجود در منطقه آنها را قطع کرده است (شکل ۵).

بررسی‌های سنگ‌شناسی و توالی واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده عربشاه، بیانگر خروج فعالیت‌های آتشفشانی و نفوذ توده‌های نیمه‌ژرف آتشفشانی است که در پی سنگ رسوبی و دگرگون منطقه در هنگام بالآمدگی ناحیه‌ای و در امتداد ساختارهای کششی با روند شمال خاور - جنوب باختر در زمان میوسن جایگزین شده‌اند. این مجموعه آذرین، در شرایط کششی (syn-extensional magmatism) و در یک حوضه کم‌ژرفای (syn-extensional basin) درون قاره‌ای (حوضه سازند قم) تشکیل شده است.

۴-۲. ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب

نتایج به دست آمده از بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین دو گروه نمونه مربوط به واحدهای آتشفشانی و نیمه‌ژرف میوسن در منطقه (جدول ۱) روی نمودار آلکالینیتی در برابر سیلیس (Le Bas et al., 1986) نشان داده شده است (شکل ۶- A). این مجموعه‌های آتشفشانی از دید ترکیبی در محدوده تراکی آندزیت، آندزیت، تراکی‌داسیت، داسیت و ریولیت (متعلق به بازه حدواسط تا اسیدی) جای دارد و تا حدودی روند تفریق را نشان می‌دهند. در این میان، مجموعه آتشفشانی آندزیتی دارای مقادیر SiO_2 متوسط (۶۰ تا ۶۴/۵٪) است و گنبد‌های داسیتی/ریولیتی مقادیر SiO_2 بیشتری (بیش از ۶۶٪) از خود نشان می‌دهند، در حالی که از دید K_2O و Na_2O هر دو گروه غنی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5\%$) هستند و درون سری سنگ‌های ساب‌آلکانل و در محدوده سنگ‌های با ویژگی کالک‌آلکانل متوسط قرار می‌گیرند. بررسی تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی نسبت به سیلیس، روند ملایم تفریق و در پی آن تفکیک این دو گروه را بهتر نمایان می‌سازد. بیشتر اکسیدهای اصلی با افزایش مقادیر سیلیس کاهش نشان می‌دهند؛ به‌جز اکسیدهای Na_2O و P_2O_5 که افزایش نشان می‌دهند و اشاره به تفریق و حضور آپاتیت در نمونه‌های تفریق یافته‌تر دارند (جدول ۱). کاهش میزان TiO_2 و Fe_2O_3 در این نمونه‌ها، اشاره به تبلور کانی‌های مگنتیت، تیتانومگنتیت و اسفن از ماگما و تفریق متفاوت این دو ماگما نسبت به هم دارد. میزان تمرکز Mg و Ti آنها به نسبت کم ($\text{TiO}_2 < 0.6\%$; $\text{MgO} < 5\%$) است، در حالی که غنی از آلومینیم هستند (بیش از ۱۵ درصد). Yb بیشتر این نمونه‌ها کمتر از ۲ گرم در تن و Y آنها کمتر از ۱۸ گرم در تن است (جدول ۱). بر این اساس و با توجه به دیگر متغیرهای تعیین کننده نوع سنگ‌های آلکانل پرتاسیم (Morrison, 1980; Peccerillo and Taylor, 1976; Muller and Groves, 1997)، بیشتر این نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶- B).

این مجموعه ماگمایی در نمودارهای عناصر کمیاب، الگوی مشابهی از خود نشان

(عناصر اصلی و کمیاب) و تعیین ترکیب ماگما برداشت شد. ۳ نمونه از این مجموعه (با شماره‌های 169; 148; SMH.134; 88) از واحدهای آندزیتی - تراکی آندزیتی بخش خاوری محدوده برداشت شده و ۴ نمونه دیگر متعلق به واحدهای داسیتی/ریولیتی (با شماره‌های 161; 160; 159; SMH.152; 88) است که بیشتر در بخش باختری منطقه و در محدوده کانه‌زایی عربشاه رخنمون دارند. نتایج تجزیه‌های عناصر اصلی و کمیاب از این مجموعه‌های آتشفشانی به سن میوسن در منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ آورده شده است. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها (خردایش و پودر کردن) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. عناصر اصلی به روش ICP-AES با دقت ۰/۱ درصد و عناصر فرعی به روش ICP-MS با دقت ۰/۱ تا ۰/۱ گرم در تن در آزمایشگاه شرکت ALS-Chemex کانادا تجزیه شدند.

به منظور تعیین سن فعالیت ماگمایی و نیز درک ارتباط زمانی - مکانی فعالیت‌های ماگمایی میوسن در منطقه مورد مطالعه، ۲ نمونه از فعالیت‌های ماگمایی درون محدوده کانسار عربشاه با حجم مناسب (حدود ۵ تا ۱۰ کیلوگرم) برداشت شد. خردایش و الک کردن نمونه‌ها در ابعاد ۵۰ تا ۱۸۰ میکرون در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. نمونه‌های خردایش شده با میز لرزان و سپس لاک‌شویی جدا شد. تفکیک کانی‌های سنگین توسط مایع سنگین (بروموفرم) صورت گرفت. سپس، کانی‌های مغناطیسی این بخش‌ها به روش جدایش مغناطیسی جدا شد. در پایان زیرکن‌های آن به صورت دستی و با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی جداسازی شد. نمونه‌ها به دانشگاه تاسمانیا استرالیا فرستاده و به روش LA-ICP-MS U-Pb تجزیه شدند. طبق گزارش فرستاده شده همراه با نتایج، تجزیه‌ها به پیروی از روش (Meffre et al., 2008) انجام شده که مشابه با روش (Black et al., 2004) و (Paton et al., 2010) است. استانداردهای استفاده شده شامل زیرکن 91500 (Wiendenbeck et al., 1995) به عنوان استاندارد اولیه و زیرکن‌های TEMORA (Black et al., 2003)، JG1 (Jackson et al., 2004) و (Black and Gulson, 1978) Mud Tank به عنوان استانداردهای ثانویه است که در ابتدای هر مرحله (پس از هر ۶ زیرکن) تجزیه شده‌اند. اندازه نقاط تجزیه برای زیرکن‌های استاندارد و نمونه‌ها یکسان بوده است. فاکتور تصحیح برای نسبت $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ از راه تجزیه ۳ نقطه بزرگ روی NIST-610 به دست آمده که در ابتدا و انتهای هر تجزیه صورت گرفته است. روش تصحیح به پیروی از روش پیشنهادی (Baker et al., 2004) است. فراوانی عنصری در زیرکن به پیروی از روش پیشنهادی (Kosler, 2001) و از راه استفاده از عنصر Zr به عنوان استاندارد داخلی و استفاده از زیرکن ۹۱۵۰۰ به عنوان تصحیح استاندارد برای محاسبه جرم بوده است. سن نمونه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار ISOPLOT 3.00 (Ludwig, 1998) به دست آمده است.

۴- بحث

۴-۱. سنگ‌شناسی

واحدهای دربرگیرنده کانه‌زایی طلای عربشاه، مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی دگرگون است که طی فرایندهای دگرشکلی، بالآمدگی، گسل‌خوردگی، رانده شدن و دگرسانی گرمایی، دچار به هم ریختگی شده‌اند. این مجموعه بیشتر شامل تناوبی از شیست‌های سبز، دولومیت‌های چرتی، کالک‌شیست و مرمر است که پس از تشکیل سازندهای قم و سرخ بالایی در زمان میوسن میانی - پسین، تحت تأثیر نفوذ توده‌های نیمه‌ژرف دیوریتی و گنبد‌های داسیتی با روند شمال خاور - جنوب باختر قرار می‌گیرد (شکل ۳).

روی واحدهای پی‌سنگی منطقه با دگرشیبی، واحدهای منسوب به سازند قم با سن میوسن قرار می‌گیرند؛ با این تفاوت که سازند سرخ زیرین در این محدوده رخنمون ندارد. بیشتر واحدهای سازند قم در این منطقه، توالی از آگلومرا و توف سبز رنگ است که در زمینه‌ای از آهک جای گرفته‌اند و در جنوب محدوده به صورت لایه‌ای با

می‌دهد (شکل ۷- A)؛ به گونه‌ای که این سامانه فعالیت ماگمایی منشأ یکسانی دارد. نمودارهای تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده با کندریت از این مجموعه، غنی‌شدگی در عناصر سنگ‌دوست بزرگ‌یون (LILE=Cs, Rb, Ba, Th, U, K, Pb, Sr) و عناصر خاکی کمیاب سبک (La, Ce, Pr, Nd) و تهی‌شدگی در عناصر با شدت میدانی زیاد (HFSE= Ti, Nb, P) نشان می‌دهند که از مشخصه‌های ماگماهای نوع I است. از دیگر ویژگی‌های این مجموعه، میزان کم $Y > 18.7 \text{ ppm}$ ، غنی‌شدگی ضعیف در عناصر خاکی کمیاب سنگین، همچنین محتوای کم اکسید منگنز ($< 0.2\%$) است. محتوای زیاد آب ماگما، با توجه به شواهدی همچون درشت‌بلورهای آمفیبول و حالت اکسایش (با در نظر گرفتن شواهدی مانند حضور مگنتیت) احتمالاً دلیل بر نبود بی‌هنجاری‌های یوروییم (شکل ۷- B) و جلوگیری از تبلور فلدسپار تا مراحل آخر تفریق و حضور یوروییم به صورت Eu^{3+} است که در حالت اکسایش ماگما انتظار می‌رود؛ در حالی که Eu^{2+} می‌تواند در فلدسپار وارد شود (Hanson, 1980). الگوهای ملایم REE (شکل ۷- B) با تفریق مجموعه درشت‌بلورهای کلینوپروکسن و آمفیبول در طی بالاآمدگی پوسته‌ای و جای‌گیری، سازگاری دارند (هورنبلند در مورد تقسیم شدن MREE، سبب تشکیل الگوهای با شیب ملایم در سنگ‌های تفریق یافته می‌شود) (Frey et al., 1978; Hanson, 1980; Lang and Tittle, 1998). تهی‌شدگی فسفر و تیتانیم نیز در آنها، احتمالاً به دلیل تفریق گسترده آپاتیت و فازهای تیتان‌دار (هورنبلند، بیوتیت، ایلمنیت) است. افزون بر آن، فراوانی زیاد عناصری همچون Pb و Th یا U شاهد روشنی از میزان آلودگی پوسته‌ای در این سنگ‌هاست (شکل ۷- B). این دو مجموعه ماگمایی بر پایه نمودار Castillo (2006) کاملاً از یکدیگر تفکیک می‌شوند و در دو موقعیت کمان و سنگ‌های آداکیتی قرار می‌گیرند (شکل ۷- C).

سنگ‌های منطقه دارای ترکیب حدواسط تا اسیدی با ویژگی کالک‌آلکالین پتاسیم‌دار هستند. کانی‌های مافیک در هر دو گروه از سنگ‌های محدوده مورد مطالعه شامل هورنبلند و گاه بیوتیت هستند که خود دلیلی بر آب‌دار بودن ماگمای تشکیل‌دهنده آنهاست. اینها از ویژگی‌های شاخص سنگ‌های آذرین در کمان‌های ماگمایی و به عبارت بهتر کوهزایی و بیشتر با کانه‌زایی همراه هستند (Richards et al., 2012).

برای تعیین خاستگاه تکنونوماگمایی هر دو گروه سنگ‌های آذرین میوسن در منطقه مورد مطالعه از نمودارهای Muller and Groves (1997) استفاده شد (شکل ۸). بر پایه این نمودارها، هر دو مجموعه ماگمایی محدوده مورد مطالعه، از دید جایگاه زمین‌ساختی (در سنگ‌های گرانیتی و بازالتی) در نمودارهای مختلف با توجه به نسبت‌های عناصر کمیاب (Pearce et al., 1984) در محدوده کمان حاشیه قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۸). بنابراین، این توده‌های نیمه‌ژرف از دید ترکیب شیمیایی، متعلق به مجموعه سنگ‌های کالک‌آلکالین پتاسیم‌دار و در ارتباط با فرایند فرورانش (کوهزاد زاگرس) در نظر گرفته می‌شوند و بخش بسیار کوچکی از کمربند ماگمایی ارومیه- دختر را در شمال باختر کشور تشکیل می‌دهند؛ که پهنه سندج- سیرجان را قطع کرده‌اند. از ویژگی‌های آشکار این توده‌ها نسبت به پالس‌های پیشین در این مجموعه آتشفشانی، ترکیب اسیدی‌تر آنها، تمایل بیشتر آنها به آلکالینیت، شوشونیتی بودن و تعلق آنها به گروه سنگ‌های آداکیتی است؛ که از این نظر کاملاً شبیه به فعالیت آتشفشانی میزان کانه‌زایی طلای ساری‌گونی در جنوب منطقه مورد مطالعه است (Richards et al., 2006).

۴-۳. سن سنجی

به منظور تعیین سن مجموعه‌های آتشفشانی مرتبط با کانه‌زایی عرشه‌ها به روش اورانیم-سرب، ۲ نمونه از واحدهای نیمه‌آتشفشانی داسیتی و مرتبط با کانه‌زایی در منطقه برداشت شد. نتایج تجزیه‌های سن سنجی U-Pb کانی‌های زیرکن مربوط به توده‌های نیمه‌ژرف در محدوده مورد مطالعه در جدول ۲ و روی نمودارهای کنکوردا در شکل ۹ نشان داده شده است. این نتایج در مورد گنبد‌های داسیتی لریولیتی نیمه‌ژرف، سنی با طیفی میان ۱۰ تا ۱۲ میلیون سال پیش

۴-۴. دگرسانی گرمایی

دگرسانی گرمایی با روند تقریباً شمال‌خاوری- جنوب‌باختری و گسترشی در حدود ۱ تا ۲ کیلومتر مربع در محدوده معدنی عرشه‌ها، بیشتر در واحدهای کالک‌سیست، دولومیت و مرمر گسترش یافته است. تفکیک واحدهای دگرسان با توجه به بازدیدهای صحرایی، بررسی‌های دورسنجی، مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک و صیقلی، مجموعه‌های کانی‌شناسی کانی‌های دگرسان و تجزیه‌های XRD، XRF و میکروپروپ (EPMA) در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ صورت گرفته است. بر این اساس، در این منطقه ۶ نوع دگرسانی قابل تشخیص است. این دگرسانی‌ها شامل کرنات‌زدایی، سیلیسی شدن، سولفیدی شدن، آرژلیک، کرناتی شدن، شستشوی اسیدی و فرایند برونزاد است.

سیلیسی شدن، مهم‌ترین و عمومی‌ترین نوع دگرسانی گرمایی در این محدوده است. شدت دگرسانی سیلیسی از ضعیف تا شدید و با توجه به میزان نفوذپذیری سنگ میزان و فاصله از مجاری عبور سیال‌های گرمایی تغییر نشان می‌دهد. از دیگر ویژگی‌های این نوع دگرسانی، نبود آن در گنبد‌های داسیتی دگرسان در محدوده کانه‌دار است. روابط بافتی و پاراژنزی نشان‌دهنده آن است که در این منطقه، دست کم دو نوع دگرسانی سیلیسی قابل تشخیص است که هر دو نوع با کانی‌های سولفیدی همراه هستند:

– **الف) سیلیسی شدن اولیه با هندسه رگه‌ای (زاسپرویدها):** این نوع دگرسانی بر پایه شدت شکستگی‌های سنگ میزان، ساخت و بافت‌های مختلفی همچون شکافه پُرکن، مشبک، متقاطع، جان‌شینی و به میزان بیشتر، رگچه‌ای از خود نشان می‌دهد. این دگرسانی شامل سیلیسی‌هایی است که در امتداد شکستگی‌های موازی و کششی با حواشی مشبک (لانه زنبوری) و روموندر (به صورت تیغه‌های منظم) در سنگ‌های میزان دگرسان جان‌شینی شده‌اند و گسترش زیادی نیز در منطقه دارند. روند اصلی تمرکز و جای‌گیری این نوع دگرسانی، شمال‌خاور- جنوب باختر است که منطبق با روند اصلی شکستگی‌های عادی و موازی منطقه است. این نوع دگرسانی در رگه‌های اصلی با سبترایی در حدود ۱ تا ۲ متر بیشترین حجم سیلیسی را دارد و با دور شدن از مرکز رگه از میزان سیلیسی آن کاسته خواهد شد. از ویژگی‌های این نوع دگرسانی، دانه‌ای و ریزبودن آن، نداشتن تخلخل فراوان و بافت توده‌ای و نهان‌بلور است و شواهدی همچون بافت‌های شانه‌ای، کوکاد و برشی شدن که نشان از دماهای پایین تشکیل دارند؛ نشان نمی‌دهند. چنین ساخت و بافت‌هایی که در هنگام جای‌گیری در شکستگی‌ها، درزه‌ها و رخ‌های سنگ میزان کانسار تشکیل می‌شوند، اشاره به ژرفاهای بیشتر و دمای تشکیل بیش از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به ساخت و بافت‌هایی دارند که به صورت پازل‌مانند همراه با سیلیسی‌های اوپال تشکیل می‌شوند (Pirajno, 2009).

– **ب) سیلیسی شدن به صورت شکافه و حفره پُرکن:** این نوع دگرسانی سیلیسی، بسته به شدت نفوذپذیری و شکستگی‌های موجود در سنگ میزان دگرسان شده، گروه دوم از دگرسانی سیلیسی را تشکیل می‌دهد. این فاز از دگرسانی سیلیسی، در تداوم با فاز اول سیلیسی شدن بوده و در بیشتر موارد، پُرکننده فضاهای ایجاد شده توسط فازهای دگرسانی پیشین است؛ ولی در همه بخش‌هایی که فاز اول حضور دارد؛ دیده نمی‌شود. بنابراین، این فاز کمی تأخیری‌تر و گاه حتی قطع‌کننده فاز پیشین است. ژاسپرویدها در این بخش به صورت کوارتزهای دانه‌ریز تا بلورین، پُرکننده فضاهای خالی و حفره‌های سنگ‌های آهکی میزان، به رنگ روشن تا خاکستری تشخیص داده می‌شوند. از ویژگی‌های این نوع دگرسانی، تظاهر به صورت رگه‌ای در بخش‌های دگرسان و نرم (کرنات‌زدایی شده) است؛ در صورتی که در سیلیسی‌های

فاز پیشین (ژاسپرویدها)، این فاز به‌صورت جانشینی تظاهر یافته است. در ضمن، این فاز با فرایند برشی شدن نیز همراه است. تخلخل این نوع دگرسانی نسبت به سیلیس‌های پیشین کمتر است و مقادیر سیلیس-سولفید کمتری نیز نسبت به نوع پیش دارد. این سولفیدها بیشتر به‌صورت بسیار دانه‌پراکنده، ریز، رونددار و گاه گروهی (توده‌ای در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی) در سنگ میزبان پراکنده‌اند و بیشتر شامل پیریت، پیریت‌های آرسنیک‌دار، استینیت، کالکوپیریت و کمتر سولفوسالت‌ها هستند. از ویژگی‌های این نوع دگرسانی، همراهی آن با دگرسانی آرزلیک همراه با سریستی شدن است.

۴-۵. کانه‌زایی

اگرچه کانه‌زایی در کانسار عربشاه در سنگ‌های رسوبی جای دارد؛ اما دارای نزدیکی مکانی با توده‌های نیمه‌ژرف داسیتی به سن میوسن میانی-پسین است. مشابه با سامانه کانه‌زایی و گرمایی در این ناحیه، ذخایر طلای زرشوران و آق‌دره هستند که به عنوان کانسارهای طلای مشابه با کارلین (Carlin like) و اپی‌ترمال معرفی شده‌اند (Mehrabi et al., 1999; Daliran, 2008). بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با کانه‌زایی در محدوده عربشاه، نشان از حضور آن درون پهنه دگرسان با گسترشی حدود 100×800 متر و محدود به پهنه‌های ژاسپرویدی و حاشیه دگرسان آنها دارد (شکل ۳). توده‌های ژاسپرویدی از دید هندسی به وسیله گسل‌های کشتی (نرمال) پُرشیب با روند شمال‌خاور-جنوب باختر کنترل می‌شوند. بنابراین، پهنه‌های کانه‌دار، چندان به حواشی و به سوی بیرون از گسل‌ها گسترش نشان نمی‌دهند. وجود دگرسانی گرمایی در جوار توده‌های نیمه‌ژرف در این منطقه، نشان از رخداد کانی‌سازی پس از جای‌گیری توده‌های نیمه‌ژرف دارد و عبور سیال‌های گرمایی درون همان ساختارهای کشتی صورت گرفته است که در هنگام جای‌گیری توده‌های آذرین میوسن، نقش کنترل‌کننده داشته‌اند. این بخش شامل مجموعه‌ای از سامانه‌های رگه‌های سیلیسی (با ستبراهای 1×2 متر و طولی در حدود یک کیلومتر) است که پهنه کانه‌دار کانسار عربشاه را تشکیل می‌دهد و کانه‌زایی‌های آریمنت و رآلگار، استینیت، طلا و کمتر گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و اکسیدهای آهن را دربر می‌گیرند. این کانه‌زایی از دید رخنمون، پهنه‌بندی عمودی (بخش خاوری دارای رآلگار، آریمنت، آرسنیک، آنتیموان، طلا و باریت و بخش باختری دارای فلزات پایه است) دارد که از این دید شبیه به کانسارهای طلای چشمه‌های آب گرم یا اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین است؛ با این تفاوت که تحت تأثیر فازهای زمین‌ساختی جوان‌تر توالی مورد نظر در سطح رخنمون یافته است. همچنین کانه‌زایی به‌صورت رگه‌ای و دانه‌پراکنده در این کانسار، اشاره به محیط کم‌ژرفای تشکیل آن دارد (Pirajno, 2009).

کانه‌زایی طلا در پهنه کانه‌دار عربشاه به لحاظ بافتی، بیشتر به‌صورت رگه-رگچه، پُرکننده فضاهای خالی، برشی، توده‌ای و دانه‌پراکنده دیده می‌شود. انطباق نتایج نمونه‌های درون ترانشه‌ها در پهنه کانه‌دار، نشان‌دهنده ارتباط قوی عیارهای طلا با واحدهای به شدت سیلیسی، برشی و سولفیددار است. میانگین عیار طلا در این بخش، با توجه به نمونه‌برداری از درون همه ترانشه‌ها، در حدود 0.34 گرم در تن با بیشینه $5/7$ گرم در تن اندازه‌گیری شده است. مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپ الکترونی صورت گرفته از واحدهای عیاردار و پرعیار در پهنه کانه‌دار عربشاه، به حضور طلا به‌صورت بسیار ریز (نامرئی) درون فازهای سولفیدی به‌صورت محلول جامد اشاره دارد که تجزیه آنها توسط الکترون میکروپروب، طلا‌دار بودن آنها را تأیید می‌کند. این نوع طلا معمولاً همراه با پیریت‌های آرسنیک‌دار و ریزدانه دیده می‌شود.

مراحل تکوین سامانه گرمایی عربشاه (مرحله ۳) و در پی آن کانه‌زایی (۴ فاز) با توجه به مطالعات صحرائی، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری، تجزیه شیمیایی، XRD و میکروپروب را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد: الف) مرحله پیش از کانه‌زایی با شستشوی اسیدی گسترده سنگ‌های کربناته و ایجاد سطوح حفره‌دار در آنها همراه است. عیار میانگین فلزات گرانبه‌های طلا-نقره و فلزات پایه در این مرحله، بسیار پایین و در حد سنگ میزبان اولیه است؛ ب) اولین مرحله از کانه‌زایی، با سیلیسی

و سولفیدی شدن همراه است که به‌صورت پُرکننده شکستگی‌ها و فضاهای خالی، رگه‌ای و جانشینی در محدوده کانه‌دار تظاهر یافته است. این مرحله از سه فاز A، B و C تشکیل شده است. فاز A از این مرحله، در ارتباط با اولین مرحله سیلیسی شدن (ژاسپرویدها) و کانه‌زایی سولفیدی در آن بیشتر به‌صورت دانه‌پراکنده درون رگه‌های کوارتزی و به‌صورت توده‌ای در حواشی آن درون سنگ میزبان رخ داده است. این مرحله همراه با دگرسانی کربناتی شدن، به‌ویژه دولومیتی شدن و در برخی بخش‌ها آرزلیک است. در برش نمونه‌هایی که این نوع سیلیسی شدن در آن به‌صورت شدید رخ داده باشد؛ می‌توان بقایایی از قطعات سنگ میزبان آهکی را به‌صورت انکلاو تشخیص داد که به دولومیت تبدیل شده‌اند. به دلیل تخریب این انکلاوها، ظاهر این نوع دگرسانی سیلیسی متخلخل و حفره‌دار است و بنابراین همه حجم سنگ دگرسان شده سیلیسی نیست. از ویژگی‌های سولفیدهای این فاز، حضور بیشتر آنها در سنگ‌های کربناته به همراه کوارتزهای جانشینی (درشت‌بلور و توده‌ای) و حضور آنها در رگچه‌ها و رگه‌های سیلیسی (به‌صورت ریز و دانه‌پراکنده تا تجمع‌ی) است؛ به‌گونه‌ای که تجمع آنها در حواشی کوارتزها و درون کربنات‌ها (دولومیتی شده) بیشتر است که احتمالاً به دلیل تأمین فضای لازم از سنگ میزبان (و یا تأمین گوگرد و فلز) به‌منظور تشکیل سولفید (سولفیدی شدن) است. بیشتر سولفیدها در این مرحله شامل پیریت و پیریت‌های آرسنیک‌دار و فلزات پایه به‌ویژه گالن، اسفالریت و کالکوپیریت هستند که بیشتر اکسید شده‌اند (شکل‌های ۱۰-A و B). ابعاد سولفیدها نیز از درشت تا ریز و از خودشکل تا بی‌شکل تغییر نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۰-C و D). مقادیر این سولفیدها در بخش‌های مختلف متفاوت و از کمتر از ۱ درصد تا بیش از ۳ درصد است. هم‌رشدی پیریت با کالکوپیریت، گالن با کالکوپیریت و اسفالریت با گالن، از شواهد هم‌فاز بودن فلزات پایه در این مرحله از کانه‌زایی است (شکل‌های ۱۰-E و F). برشی شدن و خُرد شدن کانه‌های این فاز به تأثیر فازهای بعدی (جوان‌تر از کانه‌زایی) روی آنها اشاره دارد (شکل ۱۰-F). عیار میانگین فلزات گرانبه‌ها برای طلا متوسط و در حد غنی‌شدگی چند ده برابری سنگ میزبان اولیه است. اگرچه عیار نقره در این کانسار کم است؛ اما بیشتر عیار نقره به این مرحله تعلق دارد که ممکن است اشاره به جایگزینی نقره در شبکه گالن داشته باشد. عیار سرب و روی به‌ویژه در پهنه کانه‌دار باختری، بالاست. همچنین حضور فلزات پایه (با کانه‌زایی ضعیف طلا و غنی از نقره) در بخش باختری و تجمع فلزات آرسنیک، آنتیموان و جیوه (با کانه‌زایی قوی طلا) در بخش خاوری اشاره به منطقه‌بندی فلززایی در این سامانه دارد که از این نظر بسیار مشابه سامانه‌های اپی‌ترمال (به‌ویژه با سولفیداسیون پایین) است؛ در حالی که از این لحاظ (بخش غنی از فلزات پایه) با سامانه‌های کارلین، کاملاً تفاوت نشان می‌دهد. فاز B از مرحله دوم سامانه گرمایی محصول سیلیسی شدن سنگ میزبان دگرسان به‌صورت پُرکننده درزه‌ها، برش‌ها، شکاف‌ها و حفرات است که در پهنه کانه‌دار تظاهر یافته است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). از ویژگی‌های آشکار این مرحله، حضور برش‌های گرمایی متشکل از قطعات فاز A و پیش از کانه‌زایی است که در زمینه‌ای از سیلیس قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱۱-A تا C). این فاز به‌صورت قطع‌کننده همراه با ایجاد برش‌های گرمایی در پهنه سیلیسی شده، ایجاد شده و شکستگی‌ها را پُر کرده است (شکل‌های ۱۱-D تا F). قطعات برش (فاز A) در آن بیشتر به‌صورت زاویه‌دار هستند (شکل‌های ۱۱-C تا A). این مرحله به دلیل ایجاد فضاهای خالی به واسطه برشی و خُرد شدن، نقش بسیار مهمی در کنترل کانه‌زایی داشته است. زمان تشکیل این فاز نسبت به فاز پیشین (A) کمی تأخیری‌تر است و به نوعی نشان از خُرد کردن و قطع کردن آن دارد. فاز B بیشتر به‌صورت دگرسانی سیلیسی به رنگ روشن تا خاکستری در پهنه کانه‌دار (بیشتر فاز A) به‌صورت رگچه‌ای، استوک‌ورک و پُرکننده حفرات گسترش نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۲-D تا F). این فاز با ویژگی‌هایی مانند کوارتزهای دانه‌ریز تا درشت (در حفرات) و محتوای سولفید زیاد (نسبت به کوارتز) با مقادیری میان ۱ تا ۲ درصد مشخص می‌شود (شکل‌های ۱۲-C تا F). محتوای سولفید در این فاز نسبت به فاز پیش کمتر بوده و بیشتر از کانی‌هایی مانند کوارتز، سریست، پیریت، پیریت

توسط توده‌های نیمه‌ژرف داسیتی کالک آلکان با تمایل آلکان (پتاسیم بالا) قطع شده‌اند. موقعیت جای‌گیری این توده‌های نیمه‌ژرف در ارتباط با فضاهای کشتی حاصل از تأثیر پهنه‌های بُرش ناحیه‌ای و راست‌گرد است. این کانه‌زایی از دید نوع دگرسانی‌های گرمایی، روند تکوین کانه‌زایی در ارتباط با پرشی شدن و ته‌نشینی سولفیدهای فلزات پایه، آهن، آرسنیک و آنتیمون، شبیه به کانسارهای مرتبط با سامانه‌های زمین‌گرمایی (اپی‌ترمال کم‌سولفید) در جایگاه‌های آتشفشانی است؛ با این تفاوت که سنگ میزبان رسوبی دارد. محیط تشکیل زمین‌شناسی کانسار عربشاه در پی سنگ بالاآمده و فضاهای کشتی حاصل تأییدی بر تشکیل این کانه‌زایی در ژرفاها و فشار کم است. بر پایه کانی‌های دگرسانی و ارتباط‌های بافتی می‌توان نتیجه گرفت که ته‌نشست طلا در این کانسار، احتمالاً متأثر از فرایندهای مختلف فیزیکی-شیمیایی در حالت‌هایی همچون سرد شدن یا جوش سیال‌های کانه‌دار، آمیختگی با انواع سیال‌ها و نیز واکنش با سنگ دیواره و احیای سیال‌ها توسط مواد آلی یا سولفیداسیون حاصل شده باشد. طلا در این کانه‌زایی به صورت نامرئی در سولفیدها رخ داده است؛ هر چند نمی‌توان احتمال حضور طلا به صورت آزاد درون کوارتزشها و پرشهای گرمایی را مردود دانست. طلا در سیال‌ها به صورت کمپلکس بی‌سولفیدی حمل شده است که این امر به نقش بسیار مهم H_2S در ارتباط با منشأ سیال‌های کانه‌دار اشاره دارد. اهمیت سولفیدی شدن به عنوان فرایند ته‌نشست با توجه به سولفیدی شدن آهن سنگ میزبان و نسبت بالای Au/Ag بسیار قابل توجه است.

بیشتر تفاوت تشکیل این کانسار با کانسارهای اپی‌ترمال نوع کم‌سولفید، در سنگ میزبان رسوبی آن است. بنابراین، سنگ میزبان، عامل اصلی ایجاد اختلافات کانی‌شناسی و دگرسانی‌هاست (که محصول واکنش‌های شیمیایی سیال‌های اسیدی با سنگ دیواره است). اگرچه در برخی موارد، کانسار طلای عربشاه مشابهت‌هایی نیز با کانسارهای طلای نوع کارلین به‌ویژه نوع با میزبان رسوبی دارد؛ ولی با توجه به نوع سنگ میزبان، پاراژنر کانی‌ها، حضور As، Sb، Hg و فلزات پایه، دگرسانی گرمایی و حضور طلا به صورت نامرئی در پیریت‌های آرسنیک‌دار، این کانسار بسیار شبیه کانسارهای طلای رگه‌ای اپی‌ترمال با میزبان رسوبی است. این کانه‌زایی با توجه به حضور سامانه‌های طلای اپی‌ترمال مرتبط با توده‌های نیمه‌ژرف زرشوران، آق‌دره و ساری‌گونی در ناحیه قروه-تکاب، مشابهت‌های زیادی از ناحیه، در بازه زمانی اتوسن رخ داده است؛ در حالی که در این منطقه، سن میوسن دارد. بنابراین، کانه‌زایی عربشاه را می‌توان در گروه کانسارهای اپی‌ترمال با میزبان رسوبی رده‌بندی کرد که در محیط‌های کشتی درون‌قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

سپاسگزاری

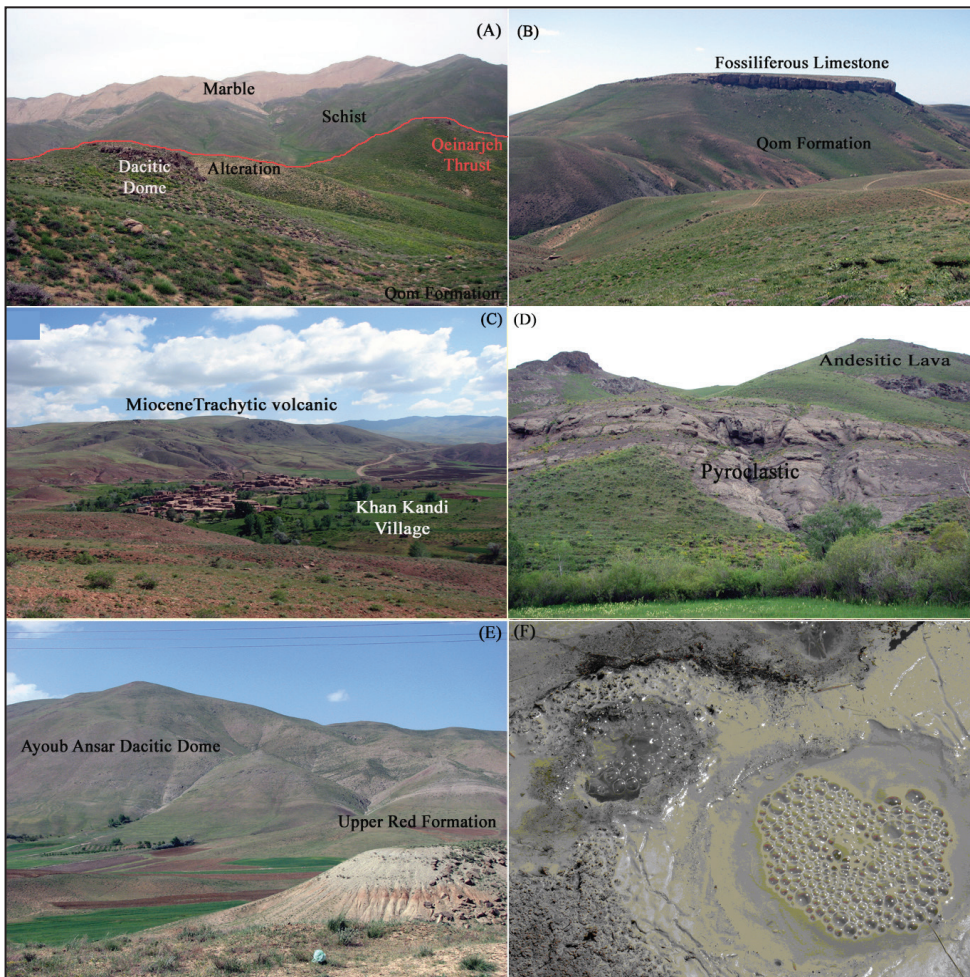
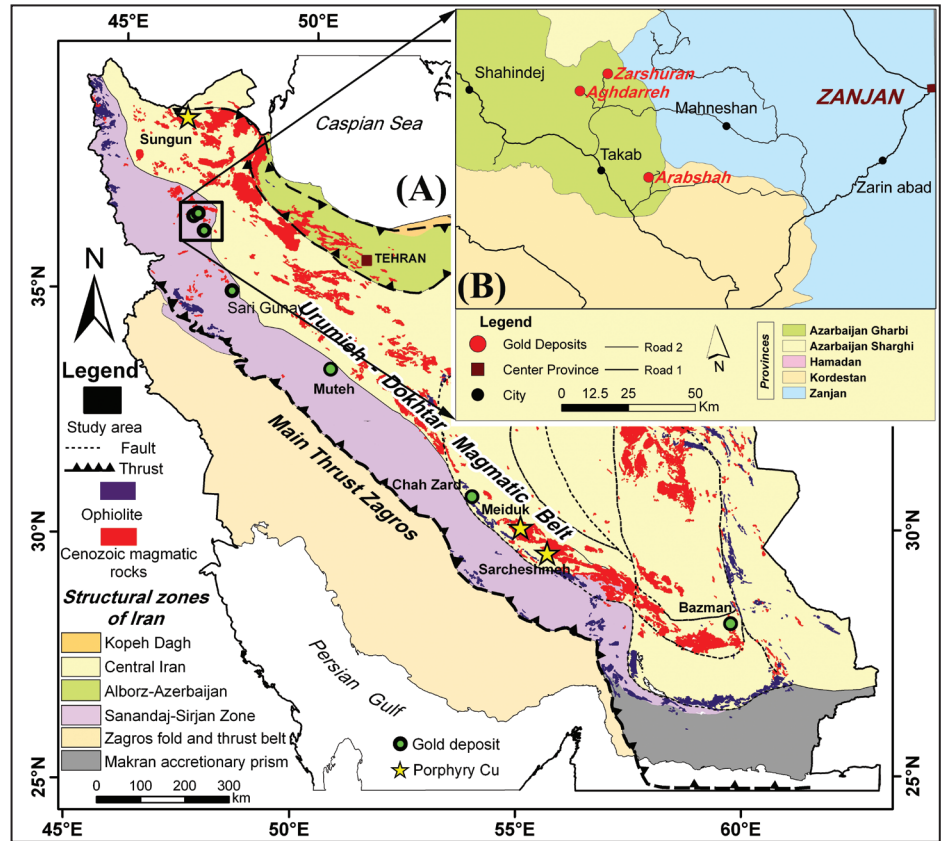
این نوشتار حاصل بخشی از رساله دکتری نگارنده اول در دانشگاه تربیت مدرس است. از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای حمایت‌های مربوط به تأمین وسیله نقلیه به منظور بازدیدهای صحرایی و نیز آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها و از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین برای راهنمایی‌های علمی ارزنده‌شان که سبب غنای بیشتر مقاله شده است؛ سپاسگزاری می‌شود.

آرسنیک‌دار و استیبیت تشکیل شده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). عیارهای کانه‌زایی طلا در این فاز بسیار بالاست و بیشترین شدت کانه‌زایی را تا ۱ تا ۳ گرم در تن با خود به همراه دارد. میانگین عیار طلا در این فاز میان ۰/۵ تا ۱ گرم در تن متغیر است که در آن طلا به صورت محلول جامد و در ابعاد میکرون تا انگستروم درون سولفیدها بیشتر همراه با آرسنیک وجود دارد. فاز C آخرین فاز از مراحل کانه‌زایی گرمایی است که به صورت پُرکننده سطوح شکستگی‌ها و فضاهای خالی تشکیل شده است (شکل‌های ۱۳-A و B). این مرحله، برخلاف مرحله پیش، تنها در بخش‌های پرشی نفوذ نکرده است و فضاهای خالی، عامل اصلی کنترل‌کننده آن به شمار می‌روند. در این مرحله، آثاری از پرشی شدن دیده نمی‌شود؛ ولی نشانه‌هایی از کاهش فشار و ته‌نشست سیال کانه‌دار در فضاهای خالی، مشهود است (شکل‌های ۱۳-A تا C). این مرحله بیشتر از آلگار و اریمنت تشکیل شده (شکل‌های ۱۳-C و D) و مقادیر فاز سیلیس در آن در صورت حضور بسیار کم است. عیارهای طلا در این مرحله کمتر از ۰/۳ تا ۰/۵ گرم در تن است؛ ج (آخرین مرحله (مرحله سوم)، مربوط به فرایند اکسایش (فاز D) است. اکسایش گسترده در عربشاه، سبب شستشوی اسیدی دوباره آهنک، ته‌نشست کمپلکس‌های هیدروکسیدی و غنی شدن طلا شده است (فاز چهارم کانه‌زایی). اکسایش در این بخش شامل دو بخش اکسایش حاصل از فرایند شستشوی اسیدی و فرایند برونزاد است. محصول این فرایند بیشتر شامل اکسیدها، هیدروکسیدها، کربنات‌ها و سولفات‌ها همچون گوتیت، همتایت، لیمونیت، پیرولوزیت، مالاکیت، آزوریت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، رودوکروزیت، سیدریت، آنکرتیت، ژپس و انیدریت است. اکسیدشدگی حاصل از فرایند برونزاد در این کانسار، ژرف به نظر می‌رسد (حدود ۵۰ متر). اکسایش برونزاد، فرایند مهمی در اقتصادی کردن کانه‌زایی (فاز D) در این کانسار به شمار می‌رود، زیرا بیشتر طلای موجود در سولفیدها به صورت ادخال‌های بسیار ریز (نامرئی) و یا محلول جامد در کانی‌های سولفیدی جای دارد و طی فرایند برونزاد به دلیل واکنش ناپذیری طلا، آزاد و بازیابی طلای آن آسان می‌شود. بنابراین، فازهای کانه‌زایی اقتصادی طلا در کانسار عربشاه، بیشتر در ارتباط با فازهای C، B و D از مرحله دوم و سوم یعنی پرشی شدن، کاهش فشار و اکسایش است که در آن طلا به صورت محلول جامد و یا به شکل ادخال‌های ریز دیده می‌شود (شکل ۱۴). البته تشخیص ندادن طلا به صورت آزاد همراه با سیلیس، دلیل بر نبود آن نیست؛ شاید در ابعاد بسیار ریز وجود دارد (شکل ۱۴). بر این اساس، توالی پاراژنری، مراحل کانه‌زایی و دگرسانی برای کانسار عربشاه در شکل ۱۵ آورده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

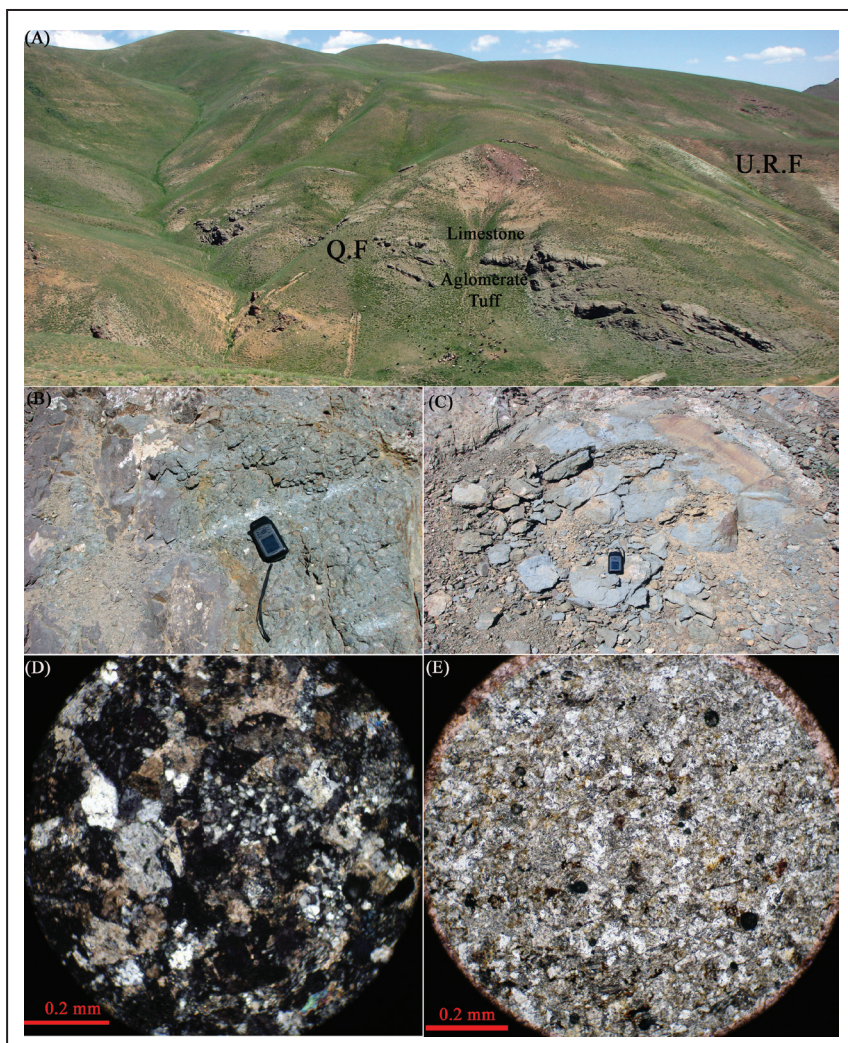
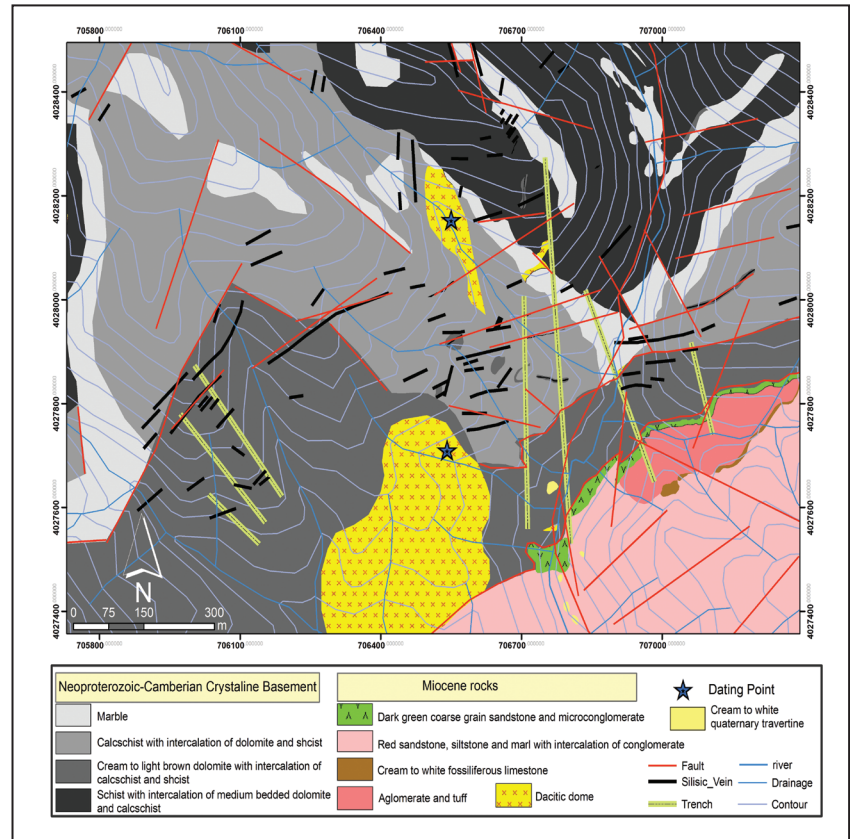
کانه‌زایی عربشاه، طی فعالیت گرمایی با سن کمی کمتر از ۱۱ میلیون سال (میوسن میانی-پسین) در شمال باختر کشور رخ داده است. این فعالیت گرمایی-آتشفشانی، بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر به شمار می‌رود که پهنه دگرگونی سندج-سیرجان را در این ناحیه و دیگر نواحی قطع کرده و عامل کانه‌زایی در این ناحیه، مشابه با شماری دیگر از ذخایر گرمایی (کانسارهای طلای زرشوران، آق‌دره و ساری‌گونی) در این بخش از کشور شده است. سنگ میزبان کانه‌زایی در کانسار عربشاه، مجموعه‌ای از توالی‌های رسوبی متعلق به پالئوزویک زیرین است که

شکل ۱- نمایی از پهنه دگرگونی- ماگمایی سندانج- سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه- دختر به همراه موقعیت کانسار طلای عربشاه و برخی از نوع‌های مهم کان‌زایی طلا (A) و موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی کانسار طلای عربشاه (B) (برگرفته از Heidari et al., 2014).

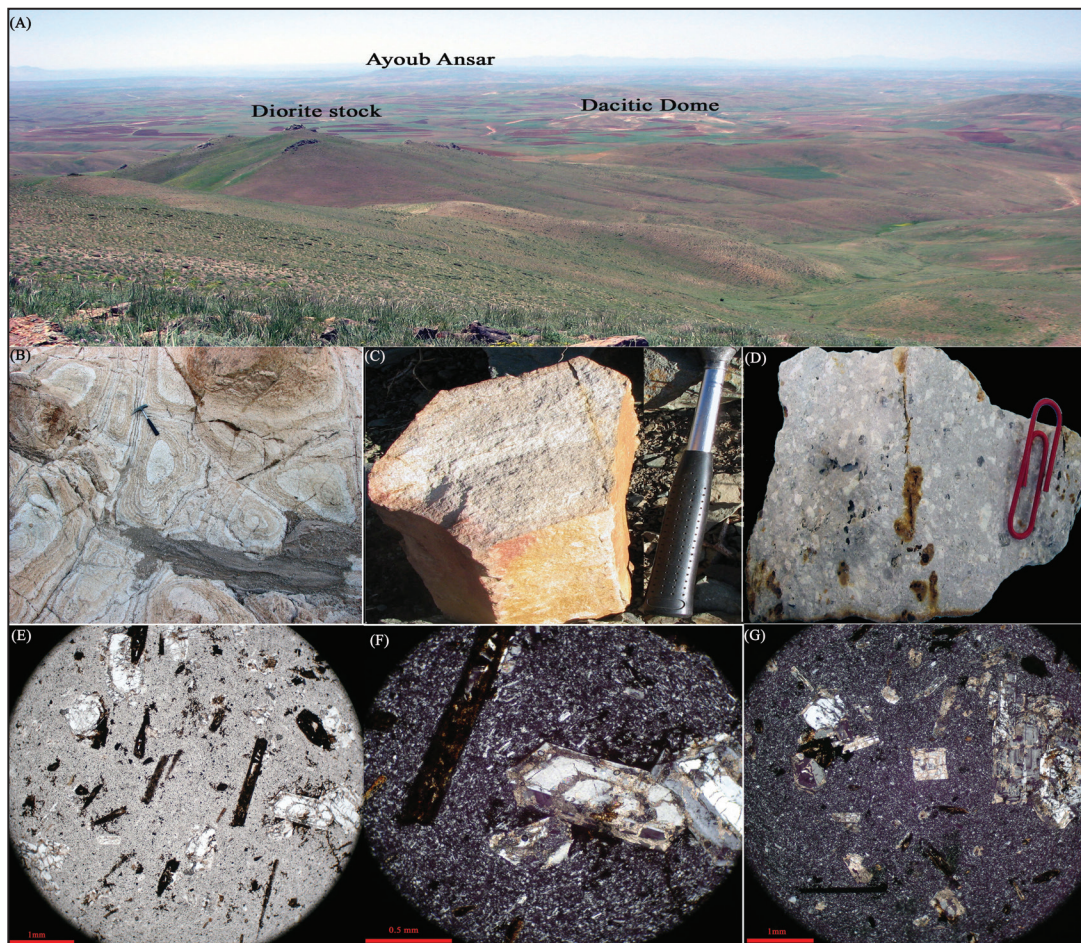


شکل ۲- نمایی از واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه؛ نمایی از پی‌سنگ دگرگون (مرمر و شیست) با روند شمال باختر- جنوب خاور در محدوده چیچکلو؛ دید به سوی شمال خاور که در آن راندگی قینرجه، گنبد داسیتی و دگرسانی پیرامون آن در واحدهای سازند قم نشان داده شده است؛ (B) نمایی از واحد قم همراه با آهک‌های فسیل‌دار به سن میوسن زیرین؛ (C) نمایی از گدازه‌های آندزیتی در جوار روستای خان‌کندی؛ (D) نمایی از تناوب واحدهای آذرآواری و گدازه‌ها در نزدیکی روستای چیچکلو؛ (E) نمایی از نفوذ گنبد داسیتی ایوب انصار در واحد سرخ بالایی؛ (F) نمایی از چشمه‌های گوگردساز در منطقه مورد مطالعه.

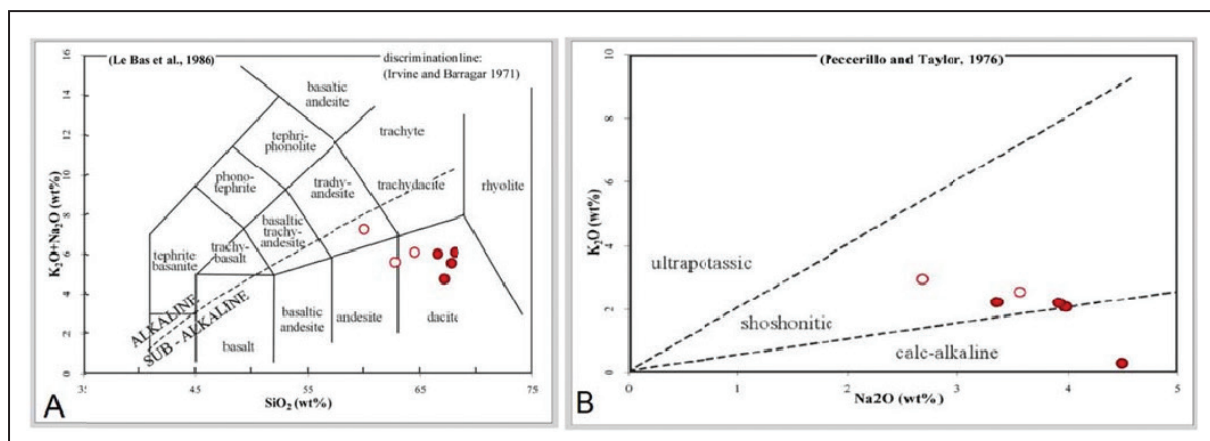
شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی کانسار عربشاه بر پایه داده‌های نقشه ۱:۱۰۰۰ منطقه و داده‌های حاصل از این پژوهش.



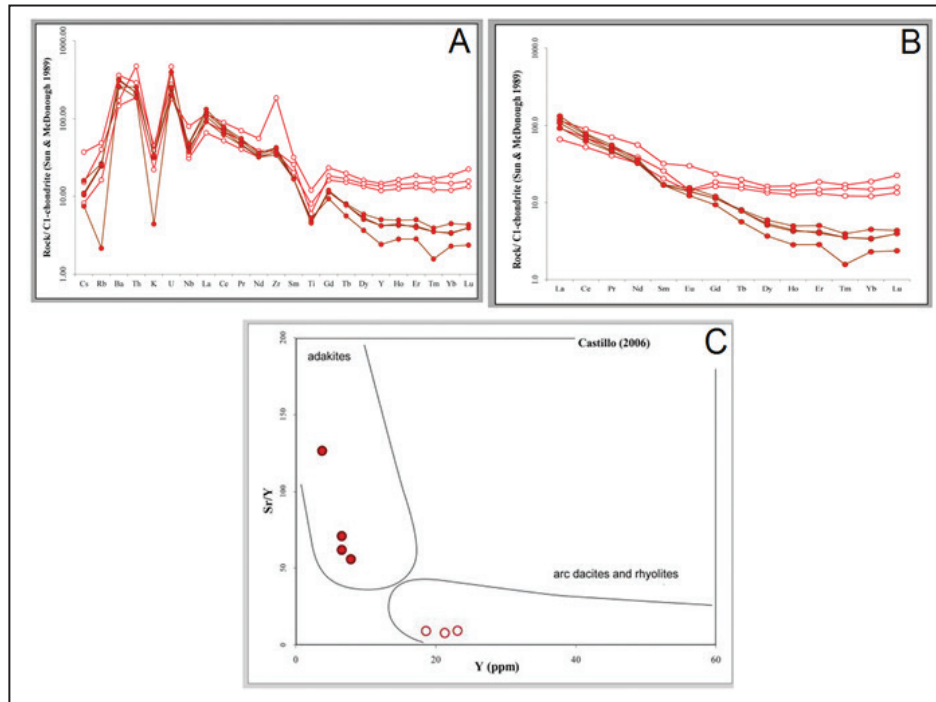
شکل ۴- نمایی از واحدهای آتشفشانی- رسوبی معادل سازندهای قم و سرخ بالایی در جنوب کانسار عربشاه؛ (A) نمایی کلی از موقعیت واحدهای معادل سازندهای قم، آگلومرا و توف در زیر و آهک فسیل‌دار روی آن و در واحدهای معادل سازندهای سرخ بالایی که آنها را پوشانده است؛ (B) نمایی نزدیک از واحد آگلومرایی همراه با قطعات گِردشده آذرین؛ (C) نمایی از توف سبز رنگ در منطقه؛ (D) مقطع میکروسکوپی از واحد آگلومرایی که از قطعات آذرین، پلاژیوکلاز، کوارتز، کلریت و آهک نانویه تشکیل شده است؛ (E) مقطع میکروسکوپی از واحد توف اسیدی که به شدت دگرسان شده و دارای کلریت، اکسیدهای آهن و کرنبات است. زمینه مقادیری آهک دارد.



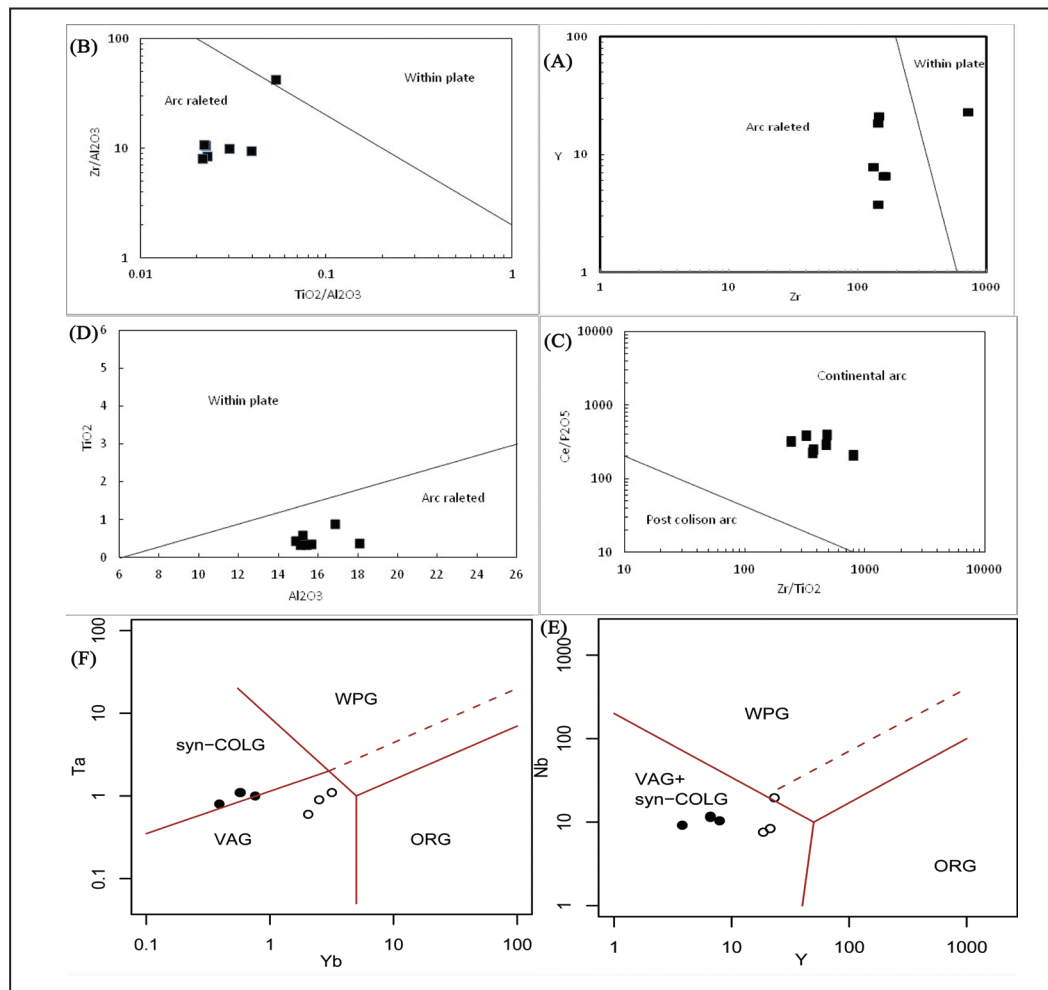
شکل ۵- A) نماهایی از آپوفیز دیوریتی و گنبد‌های داسیتی در منطقه عربشاه که واحدهای معادل سازند سرخ بالایی را قطع کرده‌اند؛ B) رخنمون داسیت همراه با هوازگی؛ C) نمونه دستی داسیت همراه با اکسیدشدگی کانی‌های سولفیدی به رنگ زرد و سرخ؛ D) سطح بُرش خورده از نمونه داسیتی با بلورهای درشت پلاژیوکلاز در زمینه خاکستری؛ E) بافت پورفیری همراه با درشت‌بلورهای تیغه‌ای آمفیبول اوپاسیته و پلاژیوکلازهای منطقه‌ای؛ F) نمایی نزدیک‌تر از بافت پورفیری و زمینه غنی از پلاژیوکلاز و کوارتزهای ریزبلور؛ G) نمایی از سوسوریتی شدن پلاژیوکلاز به اپیدوت، کانی‌های رسی و کلریت.



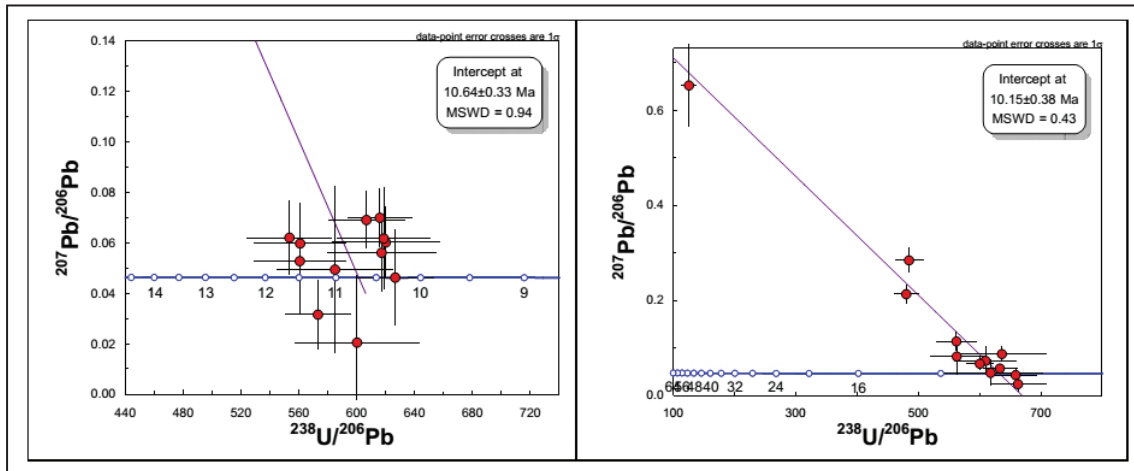
شکل ۶- A) موقعیت گروه‌های سنگی منطقه روی نمودار آلکالینیتی در برابر سیلیس (Le Bas et al., 1986) که در آن سری ماگمایی (آلکالن و ساب‌آلکالن) آنها نیز با توجه به نمودار (Irvine and Baragar, 1971) مشخص شده است؛ B) موقعیت نمونه‌ها در نمودار K_2O در برابر Na_2O (Peccerillo and Taylor, 1976).



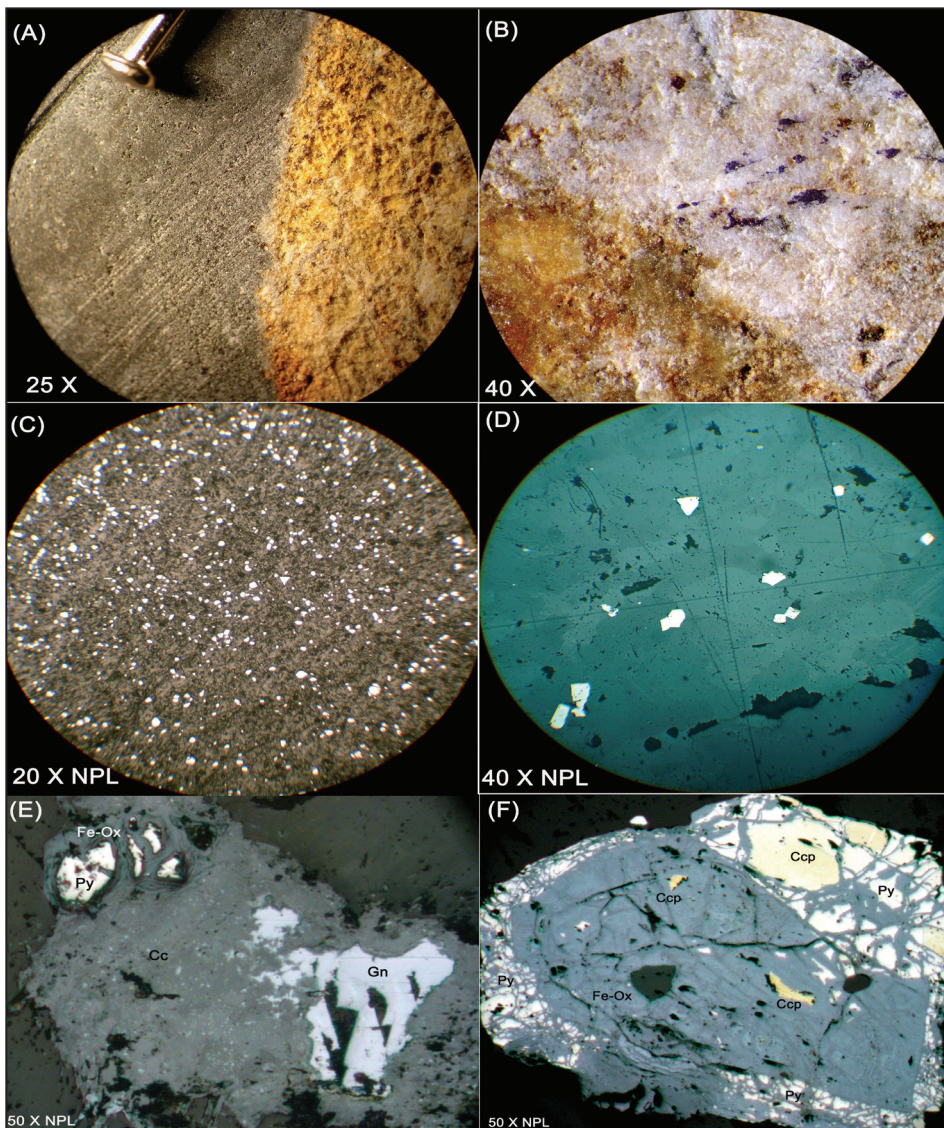
شکل ۷- A) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده با کندریت (McDonough and Sun, 1995) برای نمونه‌های منطقه عربشاه؛ B) الگوهای عناصر REE بهنجار شده با کندریت (McDonough and Sun, 1995) برای نمونه‌های منطقه عربشاه؛ C) موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار Sr/Y در برابر Y (Castillo, 2006).



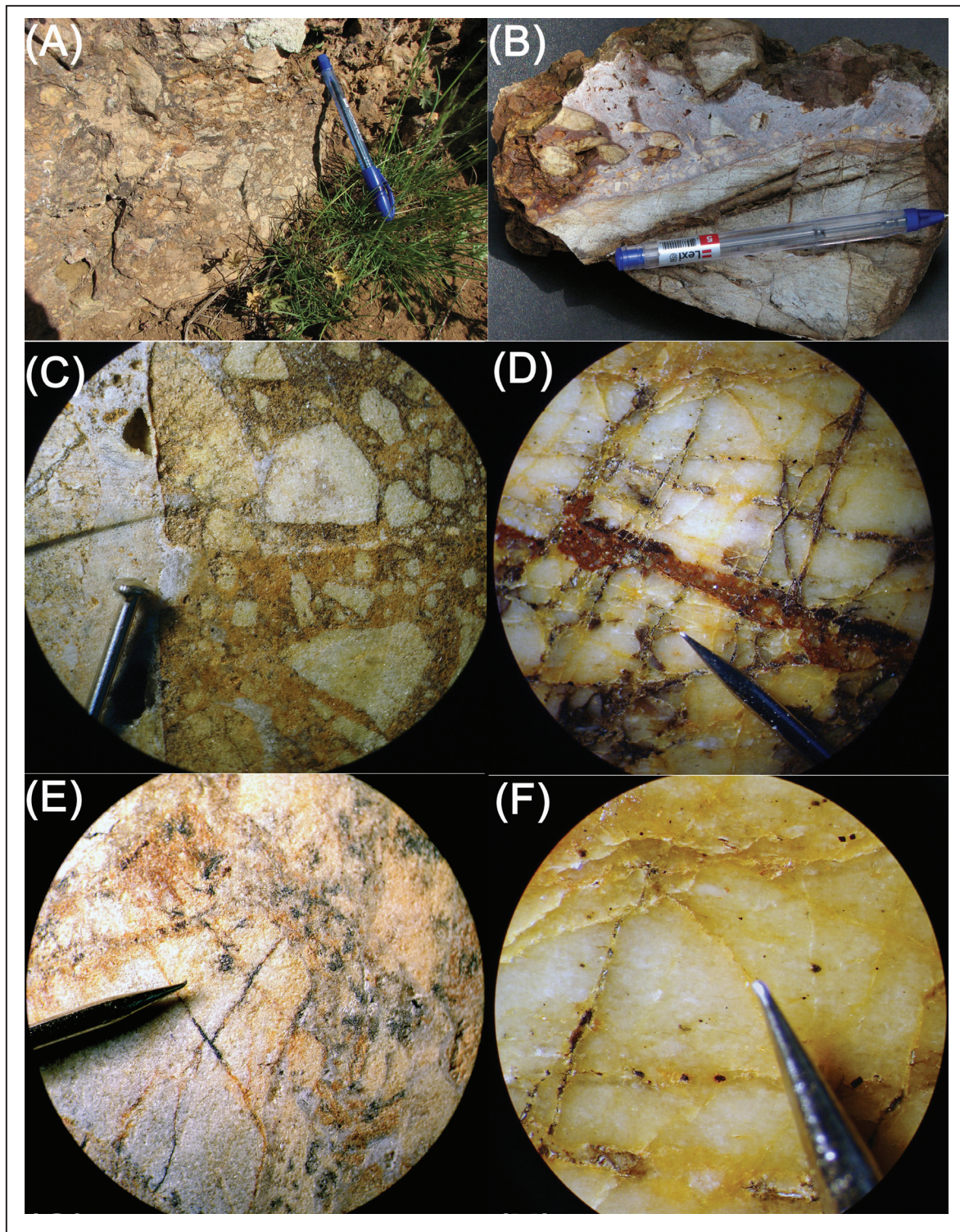
شکل ۸- نمودارهای $TiO_2-Al_2O_3$ ، $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ ، $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$ ، $Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3$ ، $Y-Zr$ (Muller and Groves, 1997) و $Ta-Yb$ ، $Nb-Y$ (Pearce et al., 1984) دو گروه ماگمایی در محدوده مورد مطالعه.



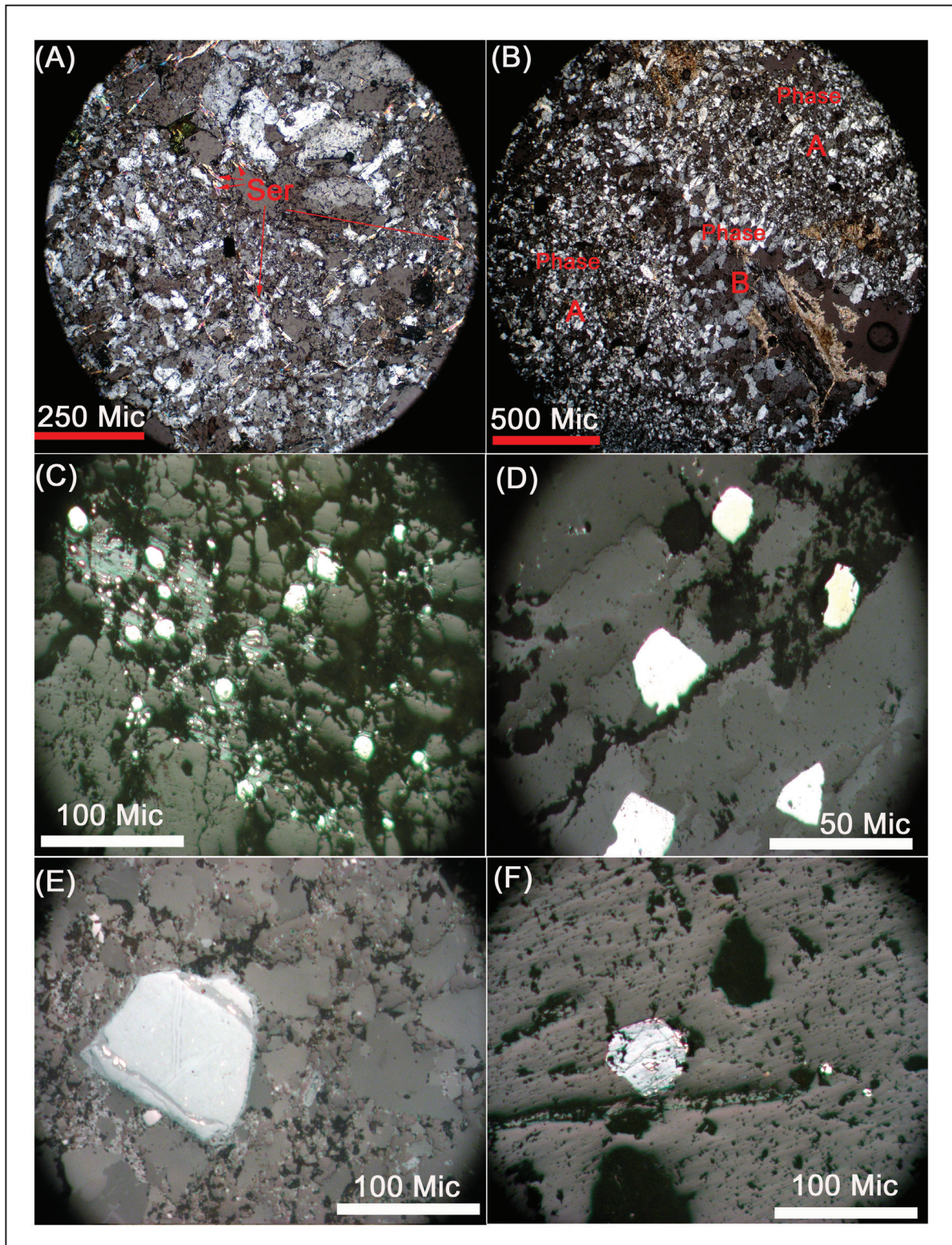
شکل ۹- نمودارهای کنکوردیا و میانگین نشان‌دهنده سن U-Pb برای نمونه‌های تجزیه شده از واحدهای آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی در منطقه و محدوده کانسار عربشاه.



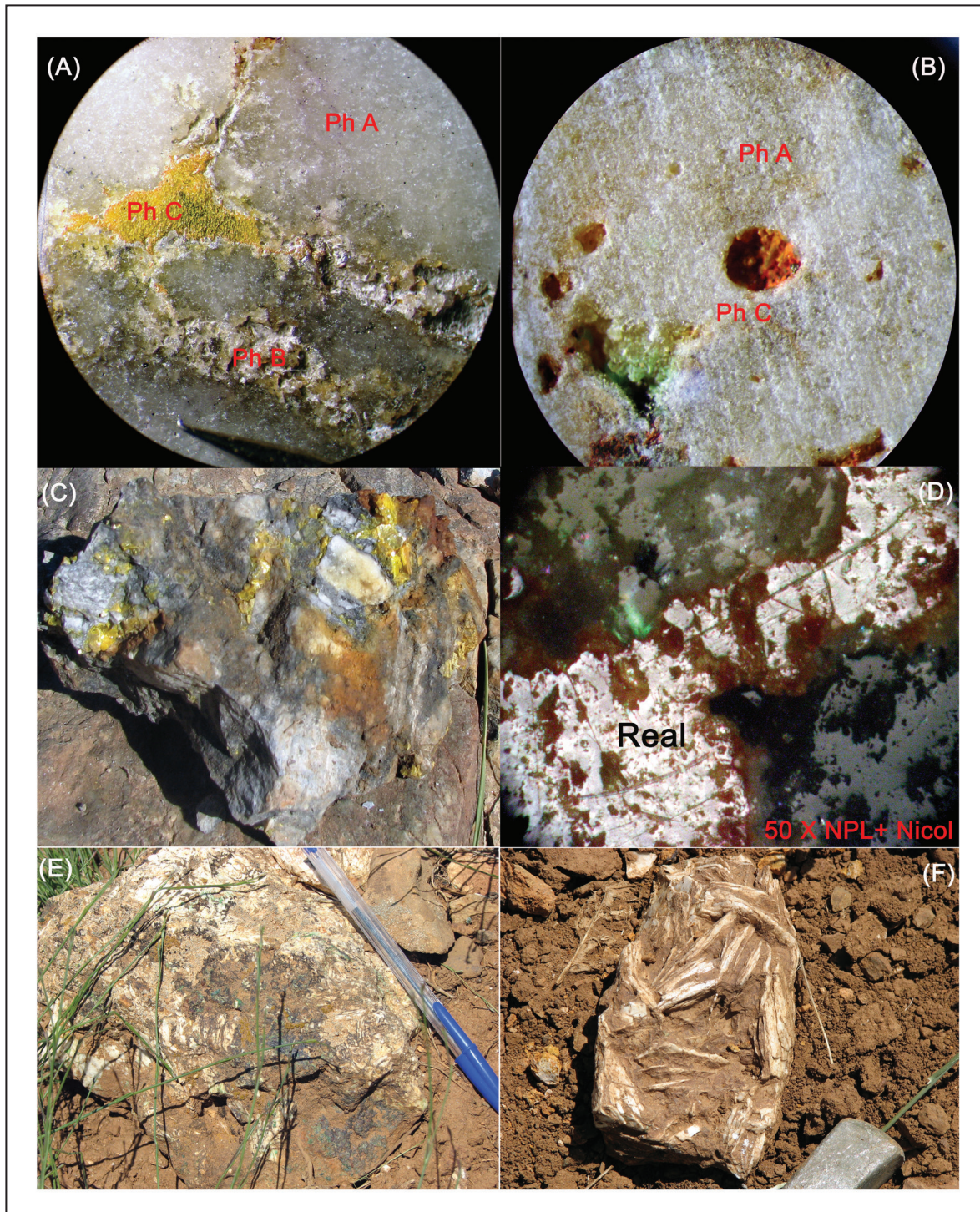
شکل ۱۰- فاز سولفیدی به همراه سیلیس در فاز A کانه‌زایی؛ (A) حضور فراوان سولفیدهای ریز همراه با سیلیس به رنگ تیره در جوار سنگ میزبان کربناته؛ (B) نمایی از سولفیدها با بافت دانه‌پراکنده (پیریت و کالکوپریت) و اکسید (اکسیدهای آهن و بورنیت) در سیلیس‌های این فاز؛ (C) نمایی از پیریت‌های آرسنیک‌دار در این فاز در مقطع میکروسکوپی به صورت دانه‌درشت و ریز و تجمعی؛ (D) نمایی نزدیک‌تر از پیریت‌های آرسنیک‌دار و خودشکل به صورت دانه‌پراکنده در این فاز؛ (E) نمایی از گالن (Gn) و پیریت (Py) در جوار اکسیدهای آهن و کالکوسیت‌های ثانویه (Cc) محصول فرایند اکسایش؛ (F) کانی کالکوپریت (Ccp) همراه با پیریت (Py) همراه با آثار برشی و خوردشدن که به اکسید آهن تبدیل شده و اکسیدهای آهن، فضاهای خالی آن را پر کرده است.



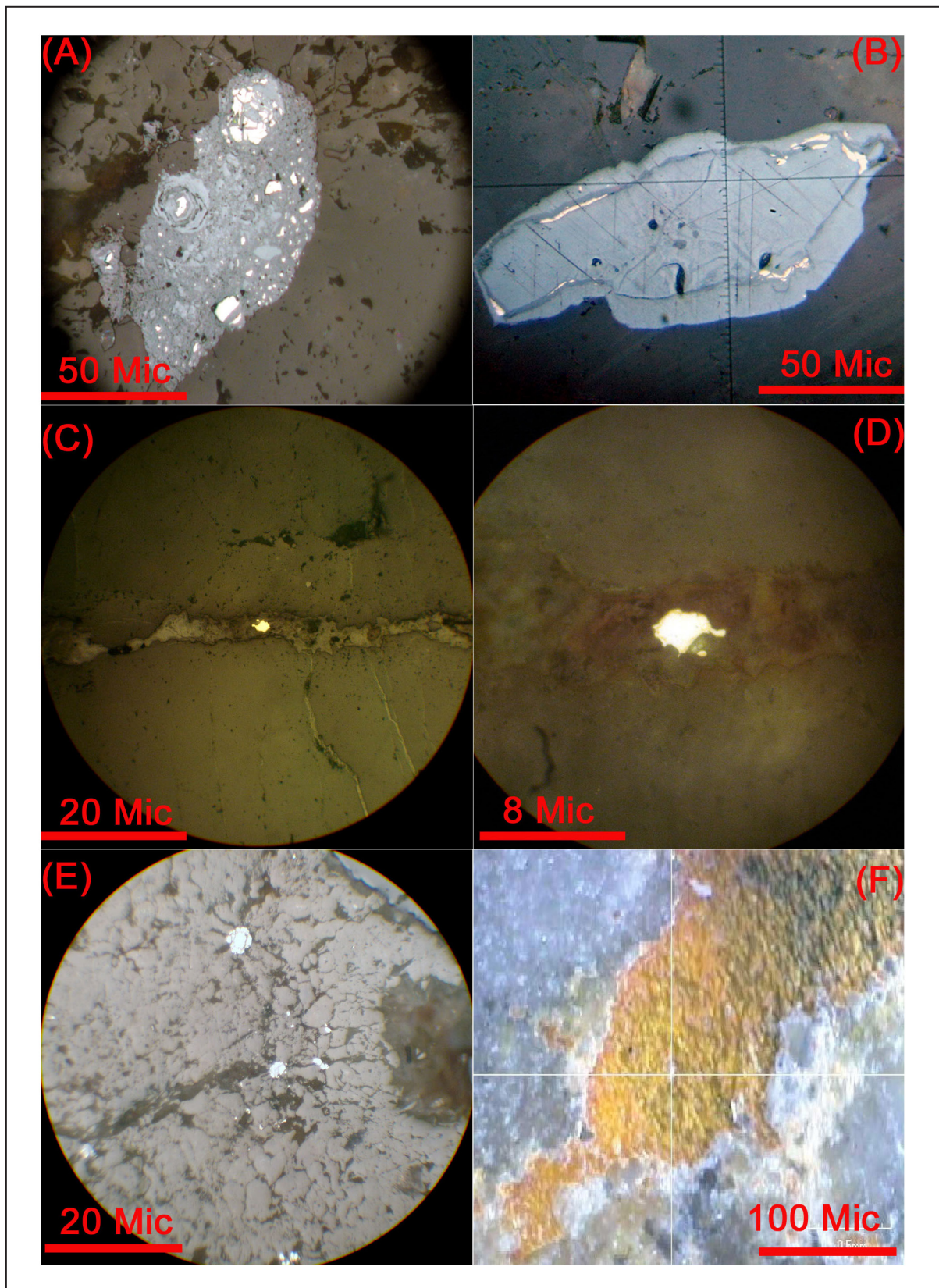
شکل ۱۱- نمایشی از تأثیر فاز B در مرحله دوم از سامانه گرمایی عربشاه؛ (A) نمایشی از برش‌های گرمایی در مقیاس رخنمون؛ (B) نمایشی از برش‌های گرمایی فاز B در حاشیه رگه فاز اول (A) در سنگ میزبان دگرسان در نمونه دستی؛ (C) نمایشی نزدیک‌تر از برش‌های گرمایی فاز B که از قطعات زاویه‌دار فاز A در زمینه سیلیس تشکیل شده است؛ (D) نمایشی از خرد شدن با بافت میکرواستوک‌ورک فاز سیلیسی نوع اول (A) توسط فاز B و پُر شدن آن توسط سیلیس-سولفید. از نکات بسیار جالب در این تصویر، همراهی برش‌های گرمایی در مقیاس بسیار کوچک در رگچه بزرگ‌تر با رنگ سرخ (اکسیدهای آهن) در مرکز نمونه است؛ (E) نمایشی بزرگ‌تر از رگچه‌های پُر شده توسط سولفیدهای فاز B که به صورت قطع‌کننده در فاز A قرار دارد؛ (F) نمایشی نزدیک‌تر از فاز B کانه‌زایی همراه با پُر شدن ریزشکستگی‌ها توسط سولفیدها درون سیلیس‌های فاز اول.



شکل ۱۲- فاز B کان‌زایی مرتبط با مرحله دوم سامانه گرمایی عربشاه در مقیاس میکروسکوپی؛ (A) مقطع میکروسکوپی از فاز B کان‌زایی که در آن سیلیس‌ها با سرستی شدن همراهند؛ (B) فاز B که فاز A را قطع کرده است؛ (C) پیریت‌های آرسنیک‌دار مربوط به فاز B در درزه و شکستگی‌ها؛ (D) نمایی نزدیک‌تر از پیریت‌های آرسنیک‌دار در شکستگی‌ها؛ (E) پیریت شکل‌دار فاز A خرد و اکسید شده و قرارگیری فاز سیلیسی- سولفیدی فاز B در آن؛ (F) پیریت شکل‌دار و اکسید شده فاز A همراه با پیریت‌های ریزدانه فاز B در شکستگی‌ها.



شکل ۱۳- فاز C کانه‌زایی مرتبط با مرحله دوم سامانه گرمایی عربشاه؛ (A) نمایی از ۳ فاز A، B و C در یک نمونه. فاز A زمینه را تشکیل داده است و شکستگی‌های آن توسط فاز B پر شده‌اند. فاز C به عنوان فاز تأخیری، فضاهای خالی فاز B را پر کرده است؛ (B) فاز C که حفره‌ای در فاز A را پر کرده است؛ (C) کانی‌های درشت رآلنگار مربوط به فاز C که درون فضاهای خالی رشد کرده‌اند؛ (D) نمایی میکروسکوپی از پرشدن فضاهای خالی توسط رآلنگار (فاز C)؛ (E) نمایی از باریت همراه با مقادیر کمی فلزات پایه همچون کالکوپیریت و پیریت (اکسید) مربوط به فاز C؛ (F) نمایی دیگر از باریت‌های تیغه‌ای و درشت بلور فاز C.



شکل ۱۴- تصاویر کانی‌ها و فازهای مختلف کان‌زایی در کانسار عربشاه؛ (A) نمایی از بلور درشت پیریت فاز A که طلادار نیست؛ (B) نمایی دیگر از پیریت اکسید شده فاز A کان‌زایی؛ (C) نمایی از پیریت طلادار فاز B کان‌زایی درون شکستگی‌ها؛ (D) نمایی نزدیک‌تر از شکل C؛ (E) نمایی از پیریت‌های آرسنیک‌دار فاز B کان‌زایی به صورت دانه‌پراکنده درون شکستگی‌ها؛ (F) نمایی از رآلگار فاز C کان‌زایی.

Minerals		Hydrothermal Alteration			Post Mineralization (Oxide Stage)	
		Pre Mineralization	Mineralization			
		Stage 1	Stage 2	Stage 3		
			Phase A	Phase B	Phase C	Phase D
Ore	Pyrite	----	██████	██████	██████	
	Arsenias pyrite	----	██████	██████	██████	
	Gold	----	██████	██████	██████	
	Electrum			-----		
	Chalcopyrite		██████		
	Chalcoite					====
	Covellite					====
	Galena		██████			
	Sphalerite		██████			
	Fe-Mn Oxide	—				=====
	Malachite					=====
	Azurite					=====
	Realgar				██████	
	Orpiment				██████	
	Stibnite			██████		
	Sulfosals			—		
	Smithsonite					=====
	Cerussite					=====
Rhodochrosite					=====	
Siderite					=====	
Ankerite					=====	
Gangue	Quartz		██████	██████	██████	
	Sericite		██████	██████	██████	
	Carbonate		██████	██████	██████	=====
	Gypsum					=====
	Jarosite					=====
	Kaolinite		██████	—		=====
	Chlorite					=====
	Epidote		██████			=====
	Illite		██████	██████		
	Montmorillonite		██████	██████		
	Barite		-----	-----	██████	=====

شکل ۱۵- توالی پاراژنزی کانه‌ها و کانی‌های موجود در کانسار عربشاه.

جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر اصلی و کمیاب مجموعه آتشفشانی منطقه مورد مطالعه (با کمترین دگرسانی). مقادیر اکسیدهای اصلی بر حسب درصد و عناصر کمیاب بر حسب گرم در تن هستند.

Sample No.	88-SMH-134	88-SMH-148	88-SMH-152	88-SMH-159	88-SMH-160	88-SMH-161	88-SMH-169
SiO ₂	60.1	62.8	66.5	68	67.7	67.1	64.5
Al ₂ O ₃	16.85	15.2	15.65	15.1	15.4	18.05	14.85
CaO	2.68	5.34	3.38	3.7	2.87	0.71	3.34
MgO	1.26	0.33	1.06	0.35	0.47	0.16	1.56
Na ₂ O	5.81	2.68	3.98	3.92	3.36	4.5	3.57
K ₂ O	1.45	2.95	2.07	2.2	2.22	0.29	2.55
Fe ₂ O ₃ T	5.68	4.68	2.99	2.42	1.94	1.22	4.12
MnO	0.08	0.13	0.06	0.04	0.02	<0.01	0.07
TiO ₂	0.9	0.6	0.36	0.34	0.34	0.39	0.45
P ₂ O ₅	0.26	0.1	0.17	0.16	0.12	0.17	0.11
LOI	4.21	4.51	2.49	2.07	4.71	5.55	3.14
Sum	99.4	99.5	98.8	98.5	99.3	98.3	98.3
Cs	1.54	6.99	3.01	1.97	2.07	1.41	2.85
Tl	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Rb	37.7	113	61.3	56.9	59.5	5	93.4
Ba	353	869	616	775	742	627	412
Th	5.41	8.38	7.39	6.18	6.33	5.42	13.7
U	1.46	2.19	3.16	1.88	1.59	2.03	3.73
Nb	19.6	7.6	10.4	11.4	11.8	9.2	8.4
Ta	1.1	0.6	1	1.1	1.1	0.8	0.9
La	27.2	15.6	22	28	31.2	25.4	21.7
Ce	54.6	31.9	38.1	45.9	47.6	42.1	42.1
Pb	9	26	15	16	25	6	18
Pr	6.65	3.85	4.32	4.88	5.25	4.44	4.95
Sr	213	167	441	467	408	480	164.5
Nd	26	15	15	15.9	16.9	15.2	18
Zr	715	144	132	160	164	144	146
Hf	13.5	4	3.3	3.9	4	3.5	4.1
Sm	4.87	3.11	2.56	2.57	2.6	2.56	3.93
Eu	1.73	0.82	0.8	0.81	0.9	0.71	0.84
Gd	4.79	3.32	2.31	2.32	2.46	1.92	3.78
Tb	0.74	0.57	0.3	0.29	0.29	0.21	0.63
Dy	4.09	3.41	1.5	1.29	1.35	0.93	3.71
Y	23.1	18.6	7.9	6.6	6.6	3.8	21.3
Ho	0.93	0.71	0.28	0.24	0.25	0.16	0.81
Er	3.06	2.16	0.83	0.69	0.66	0.47	2.42
Tm	0.43	0.31	0.1	0.09	0.09	0.04	0.39
Yb	3.17	2.04	0.76	0.57	0.58	0.39	2.5
Lu	0.57	0.34	0.11	0.1	0.1	0.06	0.4
V	42	132	41	30	31	49	81
Cr	30	70	50	50	20	30	30
Co	9.9	6.8	5.9	4.7	3.8	2.6	8.5
Ni	8	7	5	9	8	5	6
Cu	20	17	11	14	8	<5	16
Zn	99	48	51	59	118	9	71
Ga	19.2	14.6	15.7	16	16.7	16.5	13.8
Sn	2	1	1	1	1	1	2
W	1	2	3	3	2	2	3
Mo	2	2	2	2	2	<2	<2

جدول ۲- نتایج سن سنجی U-Pb کانی‌های زیرکن برای واحدهای آتشفشانی و گنبد‌های نیمه‌ژرف داسیتی در کانسار عربشاه.

	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		Hf	Pb	Th
	age	+/-1 ster	ratio	+/-1 RSE	ratio	+/-1 RSE	ratio	+/-1 RSE	ppm	ppm	ppm
SMH-1-1	9.3	0.6	0.0021	4.8%	0.0040	7.2%	0.2844	9.0%	13206	2	158
SMH-1-2	9.6	1.1	0.0016	11.3%	0.0002	130.2%	0.0870	17.4%	9958	0	36
SMH-1-3	9.8	0.6	0.0015	5.2%	0.0006	16.5%	0.0429	37.8%	12155	1	160
SMH-1-4	10.0	0.7	0.0015	6.9%	0.0005	37.2%	0.0240	65.9%	12614	0	72
SMH-1-5	10.0	0.5	0.0016	4.4%	0.0005	29.4%	0.0567	18.0%	13924	1	117
SMH-1-6	10.2	0.9	0.0016	8.3%	0.0003	75.8%	0.0728	41.7%	11522	1	89
SMH-1-7	10.4	1.5	0.0016	13.7%	0.0001	919.2%	0.0475	58.0%	10213	0	19
SMH-1-8	10.4	0.4	0.0017	3.8%	0.0007	14.8%	0.0668	18.2%	14429	1	190
SMH-1-9	10.5	0.7	0.0018	5.8%	0.0025	13.7%	0.1136	17.3%	15522	3	303
SMH-1-10	10.6	0.6	0.0021	4.3%	0.0043	7.6%	0.2133	9.2%	13609	2	153
SMH-1-11	10.9	1.0	0.0018	7.8%	0.0006	47.9%	0.0819	45.4%	11580	0	46
SMH-1-12	12.0	5.8	0.0079	9.3%	0.0616	10.0%	0.6525	13.4%	14639	5	45
SMH-4-1	10.1	0.4	0.0016	3.6%	0.0012	11.4%	0.0699	16.7%	13598	1	187
SMH-4-2	10.2	0.6	0.0016	6.0%	0.0002	50.1%	0.0602	23.3%	11873	1	103
SMH-4-3	10.2	0.6	0.0016	5.2%	0.0007	21.2%	0.0617	32.7%	11880	1	124
SMH-4-4	10.3	0.5	0.0016	4.3%	0.0004	27.4%	0.0462	41.2%	12958	1	104
SMH-4-5	10.3	0.7	0.0016	6.1%	0.0007	22.9%	0.0561	27.3%	11419	1	126
SMH-4-6	10.3	0.5	0.0016	4.4%	0.0008	17.0%	0.0691	16.4%	13558	1	142
SMH-4-7	11.0	0.9	0.0017	6.8%	0.0007	24.1%	0.0494	66.8%	11147	0	73
SMH-4-8	11.1	0.9	0.0017	7.2%	0.0004	41.4%	0.0205	130.5%	11719	0	76
SMH-4-9	11.3	0.7	0.0018	5.7%	0.0005	31.4%	0.0598	27.2%	11424	1	108
SMH-4-10	11.4	0.7	0.0018	5.6%	0.0009	14.7%	0.0528	39.2%	10256	1	136
SMH-4-11	11.4	0.6	0.0018	5.3%	0.0005	22.3%	0.0620	23.8%	10186	1	140
SMH-4-12	11.4	0.5	0.0017	4.0%	0.0007	29.2%	0.0315	42.5%	9395	1	140

کتابنگاری

- حیدری، ا.، ۱۳۷۶- گزارش بررسی اولیه توان معدنی در محدوده عربشاه- آی‌قلعه‌سی (تکاب)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدری، س.م.، ۱۳۹۲- زمین‌شناسی، سن‌سنجی و جایگاه تکنونیک ریخدادهای طلای توزلار، عربشاه و گوزلبلاغ و مقایسه آن با دیگر کانسارهای طلای ناحیه قروه- تکاب، شمال‌باختر ایران، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.
- فنودی، م. و حریری، ع.، ۱۳۷۷- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ تکاب، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کرم‌سلطانی، م.، امام‌جمعه، ا. و یارمحمدی، ع.، ۱۳۸۳- گزارش زمین‌شناسی و اکتشاف نهشته عربشاه (۱:۱۰۰۰)، جنوب شرق تکاب، شرکت معدن زمین.

References

- Alavi, M., Hajian, J., Amidi, M. and Bolourchi, H., 1982- Geology of Takab-Saein-Qaleh, 1:250000, Report No. 50, 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.
- Baker, J., Peate, D., Waight, T. and Meyzen, C., 2004- Pb isotopic analysis of standards and samples using a Pb-207-Pb-204 double spike and thallium to correct for mass bias with a double-focusing MC-ICP-MS. *Chemical Geology* 211: 275-303.
- Black, L. P. and Gulson, B. L., 1978- The age of the Mud Tank Carbonatite, Strangways Range, Northern Territory. *Journal of Australian Geology and Geophysics* 3: 227-232.
- Black, L. P., Kamo, S. L., Allen, C. M., Davis, D. W., Alenikoff, J. N., Valley, J. W., Mundil, R., Campbell, I. H., Korsch, R. J., Williams, I. S. and Foudoulis, C., 2004- Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS, and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology* 205: 115-140.

- Black, L. P., Kamos, L., Allen, C. M., Aleinikoff, J. N., Davis, D. W., Korsch, R. J. and Foudoulis, C., 2003- TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chemical Geology* 200: 155-170.
- Castillo, P. R., 2006- An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin* 51: 257-268.
- Daliran, F., 2008- The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran: Hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita* 43: 383-404.
- Frey, F. A., Chappell, B. W. and Roy, S. D., 1978- Fractionation of rare-earth elements in the Tuolumne intrusive series, Sierra Nevada batholith, California. *Geology* 6: 239-242.
- Hanson, G. N., 1980- Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 8: 371-406.
- Heidari, S. M., Daliran, F., Paquette, J. L. and Gasquet, D., 2014- Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews* 65: 460-486.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A., 2004- The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211: 47-69.
- Kosler, J., 2001- Laser-ablation ICPMS study of metamorphic minerals and processes. In: Sylvester, P. J. (ed) *Laser-ablation-ICPMS in the earth sciences; principles and applications*, Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook 29: 185-202.
- Lang, J. R. and Titley, S. R., 1998- Isotopic and geochemical characteristics of Laramide magmatic systems in Arizona and implications for the genesis of porphyry copper deposits. *Economic Geology* 93: 138-170.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica content. *Journal of Petrology* 27: 745-750.
- Ludwig, K. R., 1998- Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic isotope data, version 3.00.
- McDonough, W. F. and Sun, S. S., 1995- The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253.
- Meffre, S., Large, R. R., Scott, R., Woodhead, J., Chang, Z., Gilbert, S. E., Danyushevsky, L. V., Maslennikov, V. and Hergt, J. M., 2008- Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 2377-2391.
- Mehrabi, B., Yardley, B. W. D. and Cann, J. R., 1999- Sediment-hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, north-west Iran. *Mineralium Deposita* 34: 673-696.
- Morrison, G. W., 1980- Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos* 13, 97-108.
- Muller, D. and Groves, D. I., 1997- *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization*. 3rd ed., Springer, Berlin, 252 p.
- Paton, C., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hergt, J. M., Greig, A. and Maas, R., 2010- Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust down-hole fractionation correction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11: 1525-2027.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984- Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic-rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Pirajno, F., 2009- *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, Berlin, 1250 p.
- Richards, J. P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A. and Fletcher, T., 2012- High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: Examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology* 107: 295-332.
- Richards, J., Wilkinson, D. and Ulrich, T., 2006- Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran. *Economic Geology* 101: 1455-1496.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W., 1995- Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace-element and REE analyses: *Geostandards and Geoanalytical Research* 19: 1-23.

Sediment-hosted epithermal gold mineralization at Arabshah, SE Takab, NW Iran

S. M. Heidari¹, M. Ghaderi^{2*} and H. Kouhestani³

¹Ph.D., Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2016 October 19

Accepted: 2017 February 07

Abstract

Arabshah gold deposit formed through hydrothermal activity with an age of ~11 Ma (based on zircon U-Pb dating by LA-ICP-MS), in northwestern Iran. This hydrothermal activity is a part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (UDMA), leading to mineralization in this area, similar to Zarshouran, Aghdarreh and Sarigunay gold deposits. Host rocks are a series of lower Paleozoic sedimentary sequences, cut by calc-alkaline to alkaline (high potassium) dacitic domes. Gold mineralization is mainly observed as vein-veinlets, open space filling, disseminated and brecciation in the deposit. The mineralization in terms of hydrothermal alteration (decalcification, minor argillic, sulfidation, dolomitization and silicification) and mineralization development process is associated with brecciation and deposition of base metal sulfides, iron, arsenic and antimony, similar to deposits associated with geothermal systems (low sulfidation epithermal) in volcanic arcs, but the host rock here is sedimentary. Sulfide minerals in the ore include pyrite, arsenopyrite, orpiment and realgar, stibnite, galena, sphalerite and minor amounts of chalcopyrite. Gold mineralization occurred in the form of released grains of oxidized pyrite, the tiny (invisible) in the sulfide phases such as arsenian pyrite for solid solution. The Arabshah deposit shows characteristic alteration assemblages and ore minerals (As, Sb, Hg, base metals) of epithermal low sulfidation deposits. It has been formed in relation to the mid-upper Miocene, high-level magmatic-hydrothermal activity within an extensional regime at the last stages of the UDMA activity in northwestern Iran.

Keywords: Epithermal, U-Pb dating, Geochemistry, Arabshah, Urumieh-Dokhtar.

For Persian Version see pages 265 to 282

*Corresponding author: Majid Ghaderi; E-mail: mghaderi@modares.ac.ir