

کانه‌زایی طلا (قلع - تنگستن) مرتبط با توده‌های نفوذی در منطقه آستانه - سربند، شمال

پهنه سندج - سیرجان

نیما نظافتی^{۱*}، مرتضی مؤمن زاده^۲، پیتر مایکل هرتزیگ^۳، گرگور مارکل^۴ و ارنست پرنیتسکا^۴

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

^۲ گروه پژوهشی زرنه اکتشاف، تهران، ایران

^۳ گروه مینرالوژی، دانشگاه کیل، آلمان

^۴ دانشکده علوم زمین، دانشگاه توبینگن، آلمان

چکیده

منطقه آستانه - سربند که در بخش شمالی کمربند دگرگونی سندج - سیرجان (پیرامون شهر آستانه اراک) واقع شده، عمدتاً شامل شیست‌های مزوزوییک، سنگ‌های نفوذی ژوراسیک میانی - پالئوژن، هاله‌های دگرگونی آن‌ها و پگماتیت می‌باشد. دگرگونی ناحیه‌ای به حد رخساره شیست سبز می‌رسد، اما در حاشیه گرانیتوئیدهای منطقه، دگرگونی مجاورتی نیز مشاهده می‌گردد. توده‌های بزرگی از سنگ‌های نفوذی با ترکیب فلسیک تا حدواسط با روند عمومی شمال باختر - جنوب خاور در منطقه رخنمون دارند. در این تحقیق، سه کانسارده حسین، آستانه و نظام آباد با استفاده از روش‌های مختلف شامل بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی (پلاریزان و مایکروپروب) و ایزوتوپی (سرب، اکسیژن، گوگرد و سن سنجی به روش‌های روبیدیم - استرانسیم و تک زیرکن) از نظر زمین شناسی، کانی‌سازی و ژئوشیمی مورد مطالعه قرار گرفتند. بر این اساس، کانی‌سازی ده حسین که عمدتاً به صورت رگه - رگچه‌های کوارتز، کوارتز - سولفیدی و کوارتز - گوسانی با شیب قائم اغلب در سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک رخ داده، وجود تا ۱۳/۳ گرم در تن طلا و تا ۶/۷٪ قلع در کانسنگ را به نمایش می‌گذارد. کانی‌سازی طلا در کانسار آستانه محدود است به توده نفوذی آستانه و استوک شیرمزد (به سن ائوسن) که در آن‌ها طلا به هر دو شکل مرئی و نامرئی رخ داده (تا ۹/۵ گرم در تن طلا) است. کانی‌سازی نظام آباد در یک واحد کوارتز دیوریتی (به سن ائوسن پائینی - میانی) که توسط دایک‌های آپلیتی و رگه‌های کوارتز و کوارتز - تورمالین قطع شده رخ داده است. در این کانسار، طلا به صورت نامرئی عمدتاً در ارسنوپیریت حاوی اذخال‌های بیسموت (تا ۳۶/۲ گرم در تن طلا) وجود دارد. در هر سه کانسار، طلا همبستگی مثبتی را با ارسنیک، بیسموت، آنتیموان، نقره، سلنیم و تلوریم نشان می‌دهد. روش ژئوتمومتری ارسنوپیریت نشان دهنده دماهای از ۳۸۰ تا ۵۶۵ درجه سانتیگراد برای سیال اولیه کانه دار (به ترتیب) در کانسارهای مورد بررسی می‌باشد. نتایج مطالعات ایزوتوپی اکسیژن و گوگرد، منشئی دگرگونی یا یک منشأ دگرگونی - ماگماتیک را برای کانی‌سازی‌ها پیشنهاد می‌کند. نسبت‌های ایزوتوپی سرب در کانسنگ هر سه کانسار مقادیری نزدیک به یکدیگر را به نمایش گذارده، نشانگر همخوانی خوب این نسبت‌های ایزوتوپی در کانسنگ ده حسین با ماسه سنگ دگرگون شده، در کانسنگ آستانه با گرانودیوریت شیرمزد و در کانسنگ نظام آباد با واحد کوارتز دیوریتی می‌باشد. کانسارهای مورد بررسی شباهت‌های فراوانی را از نظر کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دمای تشکیل، نسبت‌های ایزوتوپی، دگرسانی و نحوه رخداد طلا با یکدیگر نشان می‌دهند. علاوه بر این، کانسارهای منطقه خصوصیات مشابه فراوانی را با "سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های نفوذی" به نمایش می‌گذارند.

کلید واژه‌ها: ده حسین، آستانه، نظام آباد، طلای مرتبط با توده‌های نفوذی، مطالعات ایزوتوپی

Email:nnezafati@gmail.com

* نویسنده مسئول: نیما نظافتی

۱- مقدمه

و پیرویت و فاقد مگنتیت یا هماتیت اولیه، محتوی پایین سولفیدی در مجموعه کانسنگ (عمدتاً کمتر از ۵ درصد حجمی کانی‌سازی)، غنی‌شدگی ژئوشیمیایی از طلا، بیسموت، ارسنیک، تنگستن، مولیبدن، تلوریم و یا آنتیموان همراه با همبستگی عمدتاً قوی طلا و بیسموت، وجود رگه‌های صفحه‌ای موازی از کوارتز کم سولفید (*Sheeted Veins*)، دگرسانی گرمایی ضعیف یا محدود به بخش‌های خاص، از نظر تکنیکی مرتبط با مرزهای صفحه‌ای همگرا، قرارگیری در ایالت‌های ماگمایی که برای وجود کانسارهای تنگستن و یا قلع شناخته شده‌اند (McCoy et al. 1997; Thompson et al. 1999; Lang et al. 2001; Baker 2002).

مدت‌ها است که منطقه آستانه - سربند از نظر کانی‌سازی طلا و تنگستن مورد توجه زمین شناسان و معدنکاران می‌باشد. شناسایی کانی‌سازی ده حسین در سال‌های اخیر لزوم انجام بررسی‌های دقیق‌تر در مورد این منطقه را مشخص نمود (Momenzadeh et al. 2002). نوشتار حاضر به ارائه خلاصه‌ای از بررسی -

اخیراً - عمدتاً بر مبنای مطالعه کانسارهای منطقه فربنکس آلاسکا و کانسارهای مشابه در منطقه یوکن کانادا - تیپ ویژه‌ای از "کانسارهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی" معرفی شده است (McCoy et al. 1997; Lang et al. 2001). این کانسارها عمدتاً در ایالت‌های ماگمایی فانروژنیکی واقع شده‌اند که مدت‌ها به عنوان مناطق غنی از کانی‌سازی تنگستن و یا طلا شناخته شده بودند. این ایالت‌ها شامل توده‌های نفوذی گرانیتی تا گرانودیوریتی هستند که در محیط‌های حاشیه قاره‌ای همگرا شکل گرفته و در سنگ‌های رسوبی دگرگونه (متاسدیمنتاری) جایگزین شده‌اند. چنین توده‌هایی تاحدودی کاهیده و عمدتاً دارای منشأ قاره‌ای هستند. به طور کلی مشخصاتی که کانسارهای طلای مرتبط با توده‌های نفوذی را به عنوان تیپ ویژه و متمایزی معرفی می‌کنند می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود: ارتباط با توده‌های نفوذی متالومین ساب آلکالن با ترکیب حدواسط تا فلسیک، کانی‌سازی احیایی (با شرایط پایداری ارسنوپیریت

نمونه به روش فعال‌سازی نوترونی در آزمایشگاه Actlabs کانادا، بررسی ۶۵ مقطع نازک، صیقلی و نازک- صیقلی با میکروسکوپ پلاریزان و دستگاه الکترون مایکروپروپ (JEOL (JXA-8900RL، آنالیز ایزوتوپی رویدیم- استرانسیم و سرب- سرب (به روش تخیل تک کانی زیرکن) بر روی دو نمونه و مطالعات ایزوتوپی سرب (۷۰ نمونه)، اکسیژن (۱۷ نمونه) و گوگرد (۱۰ نمونه) در آزمایشگاه‌های دانشگاه برگ آکادمی فرایبرگ و دانشگاه توینگن آلمان بوده است. جهت داماسنجی ارسنوپیریت نیز ۱۰ مقطع نازک- صیقلی به صورت کمی توسط WDS-EPMA (جهت تعیین درصد اتمی ارسنیک در ارسنوپیریت) مورد آنالیز قرار گرفتند.

۴- زمین‌شناسی و کانی‌سازی

کانی‌سازی ده‌حسین عمدتاً در سنگ‌های دگرگونی و متاسدیمتری (به سن ژوراسیک) جنوب توده نفوذی آستانه رخ داده است، گرچه بخش کوچکی از کانی‌سازی تا درون توده نفوذی آستانه (در بخش جنوبی آن) نیز ادامه می‌یابد. بخش مهمی از اطلاعات ما از شکل کانی‌سازی در سطح به آثار کنده‌کاری‌های معدنی باستانی محدود می‌شود که عمدتاً به صورت فرورفتگی‌های مخروطی شکلی در وسعتی حدود $6 \times 4/5$ کیلومتر مربع پراکنده‌اند. این کنده‌کاری‌ها دارای حداکثر طول- عرض- عمق (به ترتیب) ۷۰-۵۰-۱۵ متر هستند که گاه با قرار گرفتن پشت سرهم، طول‌شان به ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. سنگ‌های درون‌گیر اصلی کانی‌سازی ده‌حسین شامل تناوبی از متاسندستون، فیلیت، شیست، اسلیت لکه‌دار و هورنفلس هستند. براساس مشاهدات صحرایی، اگرچه کانی‌سازی در همه سنگ‌های مذکور رخ داده است- و به عبارتی به واحد سنگی خاصی محدود نیست- همبستگی مشخصی را با میان‌لایه‌های متاسندستونی که به صورت میان‌لایه‌ای درون واحدهای دیگر قرار دارد نشان می‌دهد (شکل ۲ا). روندهای اصلی گسل‌ها و شکستگی‌ها در منطقه شمال‌غرب و نیز شمال شرق است که به نظر می‌رسد هر دو بر روند کانی‌سازی مؤثر بوده‌اند. کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه و رگچه‌هایی از کوارتز، کوارتز- سولفید و کوارتز- گوسن رخ داده که این رگه‌ها در بعضی جاها ساختار موازی با هم دارند (شکل ۲ب). این رگه و رگچه‌ها دارای روندهای شمال‌غرب، شمال‌شرق و تا حدودی شرقی- غربی بوده و عرض آن‌ها به ۱/۵ متر و طول آن‌ها به چندین ده متر می‌رسد. علاوه بر این، کانی‌سازی- به ویژه در اطراف رگه‌ها به صورت افشان و آغستگی نیز رخ داده است. دگرسانی در این منطقه گسترده نبوده و عمدتاً محدود است به بخش‌های اطراف رگه‌های کوارتز و کانی‌سازی و شامل مجموعه‌ای است از کوارتز + سریسیت + تورمالین + موناژیت + هماتیت (ثانویه).

کانی‌سازی طلا در آستانه، محدود است به توده نفوذی آستانه که دارای روند عمومی شمال‌غرب- جنوب شرق بوده، عمدتاً ترکیب بیوتیت گرانیتی دارد (به سن $1/0 + 98/8$ میلیون سال: Masoudi 1997) ولی بخش‌های گرانودیوریتی، کوارتزدیوریتی و تورمالین گرانیتی نیز در آن دیده می‌شود. این واحدهای سنگی به طور محلی دگرسان شده و یا توسط رگه‌های آپلیتی و کوارتزی قطع شده‌اند. در بخش شمال شرقی توده آستانه، استوک گرانودیوریتی شیرمزد با قطری حدود ۴۰۰ متر درون این توده نفوذ کرده است (به سن ائوسن، به روش- های رویدیم- استرانسیم و سرب- سرب- زیرکن Nezafati 2006). خود این استوک نیز توسط دایک‌های میکروگرانودیوریتی با روند شمال شرق- جنوب

های انجام شده بر روی سه کانی‌سازی موجود در منطقه آستانه- سربند از نظر زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانستگ می‌پردازد و سپس مشخصات این کانسارها را با سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های نفوذی مقایسه می‌نماید (Lang et al. 1997, 2000; McCoy et al. 1997; Thompson et al. 1999)، در نهایت، با توجه به داده‌های موجود، مدلی اولیه برای خاستگاه و نحوه شکل- گیری کانسارهای منطقه آستانه- سربند ارائه شده است. قابل ذکر است که نوشتار حاضر خلاصه‌ای است از نتایج رساله دکتری نیما نظافتی که در سال ۲۰۰۶ میلادی در دانشگاه توینگن آلمان به پایان رسیده است. از آن تاریخ تاکنون مطالعات دیگری بر روی توده‌های نفوذی و کانی‌سازی‌های منطقه آستانه- سربند و مناطق نزدیک به آن توسط احمدی خلجی (۲۰۰۷)، عبدی (۱۳۸۶)، نکوقت تک (۲۰۰۸)، عبدی و دیگران (۱۳۸۸)، میکائیلی و دیگران (۱۳۸۹)، اسماعیلی و دیگران (۲۰۱۱)، و نیز دیگر پژوهشگران به انجام رسیده که در این نوشتار به بحث در مورد آن‌ها پرداخته نشده است.

۲- جایگاه زمین‌شناسی

منطقه آستانه- سربند در غرب ایران و غرب- جنوب غرب آستانه واقع شده است (شکل ۱). تاکنون پنج کانسار و اثر معدنی تنگستن و طلا در این منطقه شناخته شده‌اند که از آن میان سه کانسار طلای آستانه، طلا- قلع- مس- (تنگستن) ده حسین و طلا- تنگستن نظام آباد مورد بحث این نوشتار هستند. تقریباً تمامی این ذخایر معدنی ابتدا با ردیابی آثار معدنکاری باستانی (یا قدیمی) مس، طلا و یا قلع مورد شناسایی مجدد قرار گرفتند. منطقه مورد مطالعه از نظر ساختاری در بخش شمالی پهنه سندانج- سیرجان، جایی که مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی درون سنگ‌های دگرگونی (عمدتاً دگرگونی متوسط) مزوزوئیک جایگزین شده‌اند، واقع شده است. علاوه بر توده‌های نفوذی و شیست، مجموعه‌ای از هورنفلس در اطراف توده‌ها و نیز سنگ‌های پگماتیتی منطقه وجود دارد. دگرگونی ناحیه‌ای در منطقه تا حد رخساره شیست سبز رخ داده، اگرچه دگرگونی مجاورتی نیز به طور محلی در اطراف توده‌های نفوذی به شکل هاله- های دگرگونی (هورنفلس) صورت گرفته است. ماگماتیسم که از ژوراسیک تا نئوژن در منطقه فعال بوده است (Nezafati 2006) سبب جایگزینی توده‌های نفوذی بزرگی با روند عمومی شمال‌غرب- جنوب شرق در سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک و تریاس گردیده است. سه توده نفوذی اصلی منطقه یعنی توده‌های آستانه، بروجرد و توان‌دشت- گوشه عمدتاً ترکیب گرانیتی، گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی دارند (رادفر ۱۳۶۶ و Masoudi 1997). روند اصلی گسل‌ها، شکستگی‌ها و سایر ساختارهای منطقه شمال‌غرب- جنوب شرق است که در تطابق مشخصی با روند عمومی پهنه سندانج- سیرجان می‌باشد.

۳- روش مطالعه

تحقیق حاضر بر اساس مجموعه‌ای از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی تدوین گردیده است. مطالعات صحرایی بیشتر شامل برداشت‌های مفصل سطحی از سه ذخیره معدنی ده حسین، آستانه و نظام آباد و برداشت بیش از ۲۵۰ نمونه از سنگ دربرگیرنده، کانستگ، رگه‌های کوارتز و آپلیت و دگرسانی‌ها از سطح، درون کنده‌کاری‌های معدنی باستانی و قدیمی و ترانسه‌های حفر شده در محل کانی‌سازی‌ها بوده است. مطالعات آزمایشگاهی شامل آنالیز عنصری تعداد ۶۴

مشاهده شده است. بعضی از سایر کانی‌هایی که در این کانی‌سازی اغلب به مقدار کم مشاهده شده‌اند عبارتند از: مارکاسیت، لولینگیت، مس طبیعی، گالن، اسفالریت، کروپکائیت، استروکائیت، استانتیت، بورنیت، کولیت، کوپریت، تنوریت، دلافوزیت، مالاکیت، اسکوترودیت، گوتیت، لیمونیت، پلاموجاروسیت، پیرولولزیت، گوگرد طبیعی، روتیل، و آپاتیت. در کانی‌سازی ده‌حسین محتوی سولفید کانسنگ به طور عمومی کمتر از ۲ درصد حجمی است. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی به عمل آمده به نظر می‌رسد که در این کانی‌سازی، محلول‌های گرمایی نخستین با محتوی گوگردی بسیار پایین موجب تشکیل کانی‌هایی چون کاسیریت، فربریت، پیرولولوسیت و فلزات طبیعی مانند مس و بیسموت شده‌اند. طلا در انتهای این مرحله وارد سامانه کانی‌سازی شده است که با فراوانی کم در دانه‌های بیسموت طبیعی ردیابی شده است. سپس بالا رفتن مقدار گوگرد در سیستم، تنوع قابل توجهی از کانی‌های سولفیدی از جمله ارسنوپیریت، پیریت و کالکوپیریت را موجب گردیده است که بیشترین مقدار طلا را نیز همین مرحله در خود جای داده است. بر اساس نتایج آنالیز عنصری و میکروپروب در ده‌حسین مقادیر بالای طلا در نمونه‌هایی مشاهده گردید که ارسنوپیریت، کالکوپیریت، پیریت، سولفوسالت‌ها و نمونه‌های اکسید آهنی (گوسن) به طور واضح در نمونه دستی قابل مشاهده بودند. به هر حال با وجود مطالعه تعداد زیادی مقطع صیقلی و نازک - صیقلی از این کانی‌سازی هیچ اثری از رخداد طلا به صورت طبیعی یا الکتروم مشاهده نگردید (بجز یک مورد دانه طلای ۵ میکرونی آن هم در یک رگه کوارتز درون توده آستانه - شکل ۵۲). بر این اساس به نظر می‌رسد که طلا در ده‌حسین عمدتاً به صورت نامرئی (Invisible gold-Maddox et al. 1998) رخ داده باشد. تجزیه عنصری ۴۳ نمونه کانسنگ، رگه کوارتز و سنگ درون‌گیر مینرالیزه و غیر مینرالیزه به روش فعال سازی نوترونی نشانگر وجود ۰/۰۵ تا ۱۳/۳ گرم در تن طلا، تا ۱۰٪ مس، تا ۶/۷ درصد قلع، تا ۲۴۲۰ گرم در تن تنگستن و تا ۱۸۰۰ گرم در تن بیسموت در این کانی‌سازی می‌باشد. براساس مطالعات تجزیه‌ای و میکروپروب، بیشترین تمرکز طلا به ترتیب در رگه‌های ارسنوپیریت، رگه‌ها و بخش‌های سولفیدی و گوسنی و سنگ میزبان مینرالیزه و رگه‌های کوارتز (بدون سولفید) مشاهده شدند. اگرچه طلا به صورت طبیعی (به جز یک مورد که به آن اشاره شد) در مطالعات کانه‌نگاری و میکروپروب مشاهده نگردید، ولی براساس بررسی‌های ژئوشیمیایی و میکروپروب، ارسنوپیریت (محتوی تا ۱۹۰۰ ppm طلا)، پیریت (محتوی تا ۱۲۰۰ ppm طلا)، کالکوپیریت، بیسموت طبیعی (محتوی تا ۴۰۰۰ ppm طلا)، بیسموتینایت (محتوی تا ۲۰۰ ppm طلا) و سولفوسالت‌های سرب (محتوی تا ۹۰۰ ppm طلا) مهم‌ترین کانه‌های طلا دار در ده‌حسین هستند، اگرچه ارسنوپیریت با توجه به فراوانی و پراکندگی بالای آن در کانی‌سازی و نیز محتوی بالای طلای آن، مهم‌ترین کانه طلا دار می‌باشد. طلا همبستگی ژئوشیمیایی مشخصی را با آرسنیک، سلنیم، تلوریم و آنتیموان به نمایش می‌گذارد. براساس مطالعات ژئوشیمیایی، عناصری چون طلا و نقره در متاسندستون رقیق‌شدگی نشان می‌دهند، در حالی که آرسنیک در این سنگ غنی شده است (مقایسه با متوسط مقدار این عناصر در سنگ‌های مشابه - بر اساس Widepohl et al. 1978). مقدار بالای قلع در کانی‌سازی ده‌حسین نیز از موارد جالب توجه می‌باشد، چرا که تاکنون چنین مقدار بالای کانی‌سازی قلع به صورت درجا کمتر در کشور گزارش شده است.

غرب قطع شده است. وجود طلای پلاستی در دره‌های اطراف استوک شیرمزد واقع در شمال توده نفوذی آستانه مدت‌های طولانی است که برای مردم منطقه شناخته شده است. آثاری از کنده‌کاری‌های معدنی قدیمی نیز در بخش‌هایی از این کانی‌سازی مشاهده می‌شود. کانی‌سازی درجای طلا عمدتاً در استوک شیرمزد و دایک‌های قطع کننده آن و نیز بعضی استوک‌های کوچک گرانودیوریتی اطراف (مانند تپه خیل) رخ داده است. در دایک‌ها کانی‌سازی افشان پیریت و کالکوپیریت و نیز رگه‌های کوچک ارسنوپیریت رخ داده است. به طور کلی کانی‌سازی طلای آستانه به صورت رگه - رگچه‌های کوارتز و کوارتز - سولفیدی با روند شمال شرق و نیز به صورت افشان در درون سنگ درون‌گیر رخ داده است (شکل ۳). دگرسانی در محدوده کانی‌سازی چندان وسیع نیست و کانی‌های اصلی آن عبارتند از سریسیت، کلریت، کوارتز، کلسیت و به طور محلی کائولینیت.

در منطقه نظام آباد مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی گرانیتی، گرانودیوریتی و کوارتزیدوریتی درون سنگ‌های دگرگونی (شیست) نفوذ کرده‌اند. شمعیان (۱۳۷۳) یک منشأ کالک آلکان پرآلومین از نوع I را برای توده‌های منطقه نظام آباد پیشنهاد نموده است. استوکی کوارتزیدوریتی به سن ۴۰ تا ۵۲ میلیون سال (اوسن زیرین - میانی - فرهادیان ۱۳۷۰) که (در جنوب روستای کهنه حصار) در واحدهای گرانیتی، گرانیتی و شیست نفوذ نموده، میزبان اصلی کانی‌سازی است. این استوک کوارتزیدوریتی خود توسط رگه‌های متعدد آپلیتی، کوارتزی و کوارتز - تورمالینی قطع شده است. آثار معدن کاری هم به صورت باستانی (به شکل فرورفتگی‌های مخروطی شکل - همانند کنده‌کاری‌های ده‌حسین - در بالای تونل شماره یک) و هم به صورت مدرن (مربوط به سده خورشیدی جاری به شکل حفر تونل، دستک و ترانشه‌هایی در شمال و غرب گرگ دره، جعفرآباد، حسن آباد، فیزونه و روش - در حال حاضر متروکه) در کانی‌سازی نظام آباد مشاهده می‌گردد. در این کانسار رگه‌های کوارتز و کوارتز تورمالینی با عرض نیم تا دو متر و طول چندین متر میزبان اصلی کانی‌سازی هستند، گرچه کانی‌سازی به صورت شبکه‌ای، پراکنده دانه و آغشتگی نیز در درون توده نفوذی و به ویژه در اطراف رگه‌ها مشاهده می‌شود. روند اصلی شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه، شمال غرب - جنوب شرق، شمال شرق - جنوب غرب و شمالی - جنوبی است. روند عمومی رگه‌های کانه‌دار کوارتز و کوارتز - تورمالین شمال غرب - جنوب شرق است، گرچه روند شمال شرق - جنوب غرب نیز در آن‌ها دیده می‌شود. این رگه‌ها حاوی کانه‌های سولفیدی و آغشتگی مالاکیت هستند. رگه‌های کوارتز و کوارتز - تورمالین بدون کانی‌سازی نیز در نظام آباد دیده می‌شوند که گاه توسط رگه‌های کانه‌دار قطع شده‌اند. در نظام آباد نیز دگرسانی چندان وسیع نبوده و کانی‌های اصلی آن شامل بیوتیت، کوارتز، کلریت، سریسیت و تورمالین هستند.

۵- کانی‌شناسی و ژئوشیمی

۳۵ کانی فلزی طی پژوهش حاضر در کانسار ده‌حسین شناسایی شده‌اند. ارسنوپیریت کانه سولفیدی غالب است که با مقادیر کمتری از کالکوپیریت، پیریت و پیرویت همراهی می‌شود. کاسیریت و فربریت نیز کانه‌های نسبتاً فراوان اکسیدی هستند (شکل ۲d و ۲c). ارسنوپیریت اولیه عموماً محتوی اذخال - های یک تا ۱۵۰ میکرونی از بیسموت طبیعی، بیسمایت و بیسموتینایت است (شکل ۲f). البته بیسموتینایت به صورت پراکنده دانه در رگه‌های کوارتز نیز

میکروسکوپی و میکروپروب هیچ گونه ذره‌ای از طلای قابل رؤیت را در نمونه‌ها آشکار نداشت. در عوض بررسی‌های میکروپروب مشخص نمودند که طلا به صورت نامرئی در مقادیر بالا در کانی‌های ارسنوپیریت (تا ۵۸۰ ppm)، کولیت (تا ۴۶۰ ppm)، پیرویت (تا ۸۰۰ ppm)، شایدرهونایت (تا ۱۳۶۰ ppm) و کانی‌های بیسموت‌دار (تا ۳۴۰ ppm) حضور دارد. براساس موارد ذکر شده می‌توان گفت که طلا در نظام آباد به صورت نامرئی عمدتاً در ارسنوپیریت حاوی ادخال‌های بیسموت رخ داده است. به نظر می‌رسد که در مرحله نخستین کانی‌سازی کانی‌هایی چون کوارتز، تورمالین، شلیت و کاسیتريت شکل گرفته باشند. در مرحله بعدی کانی‌سازی، حضور یون‌های فلزی در کنار مقادیر کم گوگرد تنوع نسبتاً وسیعی از کانه‌های سولفیدی را به وجود آورده است. طلا نیز در این مرحله رخ داده است. در مرحله نهایی نیز کانه‌های سولفیدی ثانویه شکل گرفته‌اند. تجزیه عنصری به روش فعال‌سازی نوترونی نشانگر وجود ۰/۰۵ تا ۳۶/۲ گرم در تن طلا، تا ۱۰٪ مس، تا ۰/۸۷ درصد قلع، تا ۳/۳۷ درصد تنگستن (فرهادیان ۱۳۷۰) و تا ۵۴۸ گرم در تن بیسموت در کانسنگ نظام آباد می‌باشد. در این کانسار نیز، طلا همبستگی مثبتی را با ارسنیک، بیسموت، آنتیموان، نقره، سلنیوم و تلوریوم نشان می‌دهد.

۶- زمین دماسنجی ارسنوپیریت

طبیعت دیرگداز و دما بالای ارسنوپیریت (که به طور کلی فراوان‌ترین کانه در هر سه کانی‌سازی مورد بررسی است) تخمین شرایط تشکیل این کانی را بر اساس بررسی ارتباط ترکیب آن با فوگاسیته گوگرد و درجه حرارت زمان تشکیل امکان پذیر ساخته است (Kretschmar and Scott 1976; Scott 1983; Sharp 1985).

بررسی‌های میکروپروب بر روی ارسنوپیریت نشان‌دهنده درصد اتمی ارسنیک معادل ۳۲/۳ تا ۳۴/۳ در کانسار ده حسین، ۳۰/۷ تا ۳۱/۴ در آستانه و ۳۳/۶ تا ۳۵/۶ در نظام آباد می‌باشد (جدول ۱). میانگین مقادیر فوق نمایان‌گر درجه حرارت‌های سیال اولیه کانه‌داری حدود ۴۶۰ درجه سانتیگراد برای کانسار ده-حسین، ۳۸۰ تا ۴۱۰ درجه سانتیگراد برای کانسار آستانه و ۵۱۰ تا ۵۶۵ درجه سانتیگراد برای کانسار نظام آباد می‌باشد (شکل ۴).

۷- مطالعات ایزوتوپی

بر اساس مطالعات سن‌سنجی به روش‌های رویدیم - استرانسیم و تبخیر تک کانی زیرکن (Nezafati 2006) استوک شیرمزد سنی معادل ائوسن دارد. نسبت-های ایزوتوپ اکسیژن برای رگه‌های کوارتز طلا در منطقه از ۱۳/۶ تا ۱۹/۲ در هزار برای ده حسین، ۱۱/۵ تا ۱۳/۷ در هزار برای آستانه و ۱۱/۶ تا ۱۵ در هزار برای نظام آباد تغییر می‌کنند (جدول ۲). نتایج مطالعات ایزوتوپی اکسیژن، منشأ دگرگونی یا یک منشأ دگرگونی - ماگماتیک را برای رگه‌های کوارتز پیشنهاد می‌کند (براساس مقایسه با نتایج Rollinson 1993). مقادیر اندازه‌گیری شده ایزوتوپ گوگرد برای پیرویت، کالکوپیریت، گالن و ارسنوپیریت در رگه‌های کوارتز - سولفیدی مقادیر صفر تا منفی ۵/۶ در هزار برای ده حسین، منفی ۰/۵ تا ۱/۸ در هزار برای آستانه، و ۱/۲ تا ۴ در هزار برای نظام آباد را نشان می‌دهند (جدول ۳) که نمایان‌گر یک منشأ ماگمایی برای گوگرد می‌باشند (براساس مقایسه با نتایج Rollinson 1993). نسبت‌های ایزوتوپی سرب در کانی‌های سولفیدی و سنگ درون گیر کانسارهای مورد مطالعه نشان‌گر هم‌خوانی خوب

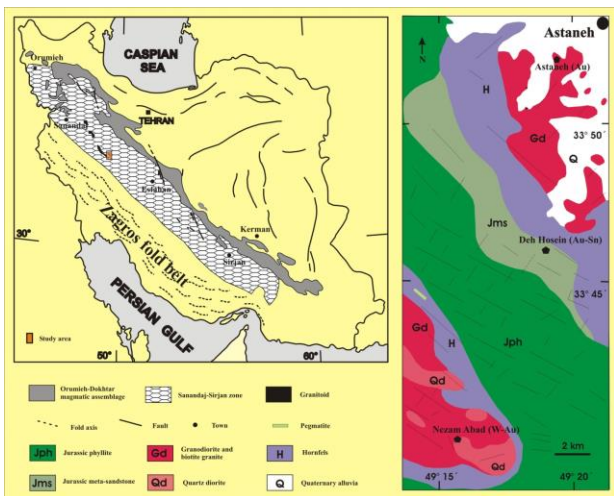
در کانی‌سازی آستانه، نتایج آنالیز عنصری و میکروپروب مقادیر بالای طلا را عمدتاً در نمونه‌های گرفته شده از رگچه‌های کوارتز - گوسنی، دانه‌های افشان کالکوپیریت درون گرانودیوریت شیرمزد و دایک‌های میکروگرانودیوریتی و رگه‌های ارسنوپیریت به نمایش می‌گذارند. تجزیه عنصری به روش فعال‌سازی نوترونی نشانگر حضور ۰/۰۵ تا ۹/۵ گرم در تن طلا، تا ۱٪ مس، تا ۰/۰۵ درصد قلع، تا ۱۰۰ گرم در تن تنگستن و تا ۱۳۸ گرم در تن بیسموت می‌باشد. کالکوپیریت و ارسنوپیریت کانی‌های اصلی سولفیدی در این کانی‌سازی هستند که با فراوانی نسبتاً بالا در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی مشاهده می‌شوند. سایر کانه‌های مشاهده شده طی مطالعه حاضر (توسط مطالعات کانه‌نگاری و بررسی‌های میکروپروب) و مشاهدات خونی (۱۳۶۱) و هاشمی (۱۳۸۰) عبارتند از: پیرویت، پیرویت، اسفالریت، بیسموت طبیعی، بیسمایت، روزولتایت (BiAsO₄)، طلای طبیعی، بورنیت، گالن، شلیت، ایلمنیت، روتیل، مولیبدنیت، مارکازیت، کالکوزین و کانی‌های ثانویه مرتبط با آن‌ها. طلا به هر دو صورت مرئی و نامرئی در این کانی‌سازی مشاهده شده است. هاشمی (۱۳۸۰) دانه‌های بسیار کوچک (با اندازه کمتر از ۱۵ میکرون) را درون کالکوپیریت و گوتیت حاصل از اکسیدشدگی کالکوپیریت و نیز در پلاژیوکلاز سریشیته شده مشاهده نموده است. با مطالعه دقیق (میکروسکوپی و میکروپروب) نمونه‌های حاوی ارسنوپیریت - که مقادیر بالای طلا را در نتایج آنالیز به نمایش گذارده‌اند - هیچ گونه ذره‌ای از طلای طبیعی یافت نگردید. ارسنوپیریت دارای ادخال‌های یک تا ۵۰ میکرونی از بیسموت طبیعی و بیسمایت است (شکل ۳). بررسی‌های میکروپروب مقادیر بالای طلا را در ارسنوپیریت و ادخال‌های بیسموت دار درون آن نشان دادند (تا ۱۳۰ ppm در ارسنوپیریت و تا ۳۴۰۰ ppm در ادخال‌های بیسموت‌دار درون ارسنوپیریت). در بعضی بخش‌های کالکوپیریت، ادخال‌های ستاره‌ای شکلی از اسفالریت (به صورت اکسولوشن - شکل ۳) دیده می‌شود که نشانگر درجه حرارت‌های تشکیل ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به بالا می‌باشد (Hutchison and Scott 1981). از نظر نحوه کانی‌سازی به نظر می‌رسد که محلول‌های دما بالای کانه‌ساز ابتدا موجب تشکیل مقادیر کمی از شلیت و مولیبدنیت گردیده‌اند و سپس در مرحله اصلی کانی‌سازی بخش عمده کانه‌های سولفیدی شامل ارسنوپیریت و کالکوپیریت شکل گرفته‌اند. در مرحله پایانی نیز کانی‌های همچون مارکازیت و پیرویت ثانویه تشکیل شده‌اند.

در نظام آباد، محتوی سولفیدی رگه‌های کانه‌دار حدود ۲ تا ۳ درصد می‌باشد و کانه‌های سولفیدی اصلی که در نمونه دستی به راحتی قابل مشاهده‌اند شامل ارسنوپیریت، کالکوپیریت و پیرویت هستند که عمدتاً در سطح تا حد زیادی اکسیده شده‌اند. شلیت تا حد زیادی توسط عملیات معدن‌کاری قبلی از سطح زدوده شده ولی به صورت دانه‌ریز با لامپ ماورای بنفش در رگه‌ها و اطراف آن‌ها قابل ردیابی است. به طور کلی تاکنون (براساس مطالعه حاضر و فرهادیان ۱۳۷۰ و شمعیان ۱۳۷۳) بیش از بیست نوع کانه در این کانی‌سازی شناخته شده‌اند که شامل شلیت، کاسیتريت، ارسنوپیریت، کالکوپیریت، پیرویت، پیرویت، اسفالریت، وورتزیت، آنتیمونیت، بیسموت طبیعی، مالدونیت (Au₂Bi)، روزولتایت، بیسمونیت، جوزیت، ماکوویکیت، باکسانایت، کانه‌های اکسیدی بیسموت و بیسموت - ارسنیک، شایدرهونایت، مارکازیت، ایلمنیت، روتیل و کانه‌های اکسیدی مرتبط با آن‌ها هستند (شکل ۳). با وجود مقادیر بالای طلا در نتایج حاصل از آنالیز عنصری، مطالعات فراوان

متاسدیمتری، (۵) مجموعه کانه‌ای احیایی عمدتاً شامل ارسنوپیریت، پیرویت، پیریت و فاقد مگنتیت و هماتیت اولیه، (۶) دگرسانی گرمایی کم وسعت، (۷) محتوی پایین سولفید کانسنگ (کمتر از ۵ درصد)، (۸) غنی‌شدگی ژئوشیمیایی نسبت به طلا، بیسموت، آرسنیک، تنگستن، تلوریم و یا آنتیموان، (۹) رخداد طلا در رگه‌های کوارتز موازی، (۱۰) دمای محلول بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد، (۱۱) منشأ ماگمایی و دگرگونی برای محلول‌های کانه‌ساز و عدم حضور محلول‌های با منشأ جوی. از جمله محدود تفاوت‌های کانسارهای منطقه آستانه - سرپند با سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های نفوذی می‌توان به نسبتاً بالا بودن مقدار فلزات پایه (فقط) در کانی‌سازی ده‌حسین اشاره نمود.

Hart et al. (2000) سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های نفوذی را بر اساس مجموعه‌ای از خصوصیات از جمله دوری و نزدیکی به توده منشأ به سه گروه کانسارهای "توده- میزبان (Intrusion-hosted)", "پروکسیمال" و "دیستال" تقسیم بندی نموده‌اند که بر این اساس کانسارهای آستانه و نظام آباد در رده "توده- میزبان" و کانی‌سازی ده‌حسین در رده کانسارهای "پروکسیمال" قرار می‌گیرند. Goldfarb et al. (2000) معتقدند که ذخیره‌های پلاسری طلا و گاه قلع و تنگستن عمدتاً از سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های نفوذی مشتق می‌شوند.

روی هم رفته، براساس اطلاعات موجود چنین به نظر می‌رسد که یک ماگمای بارور با تحت تأثیر قرار دادن سنگ‌های دگرگونی منطقه (و جنبایش بعضی عناصر موجود در آن‌ها) منشأ کانی‌سازی بوده و موجب کانی‌زایی نسبتاً وسیعی از طلا طی دوره کوهزایی پیرنه در منطقه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

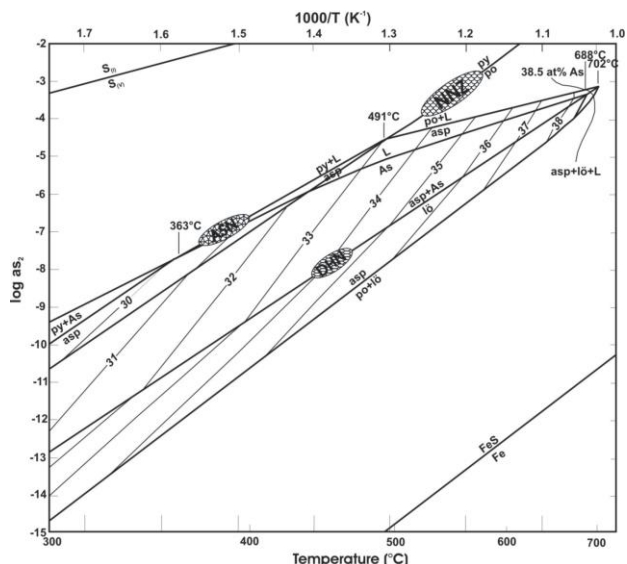
این نسبت‌های ایزوتوپی بین کانسنگ ده‌حسین و متاسندستون، کانسنگ آستانه و گرانودیوریت شیرمزد و نیز کانسنگ نظام آباد و سنگ درون‌گیر کوارتز دیوریتی آن می‌باشد (تصویر ۵). نسبت‌های ایزوتوپی سرب کانسنگ در هر سه کانسار مورد مطالعه مقادیری نزدیک به یکدیگر را به نمایش می‌گذارند. بر اساس مدل پلومبوتکتونیکس (Zartman and Doe 1981) نسبت‌های ایزوتوپی سرب در کانسنگ‌ها نشان‌گر منشأی از پوسته زیرین برای آن‌ها است.

۸- نتیجه گیری

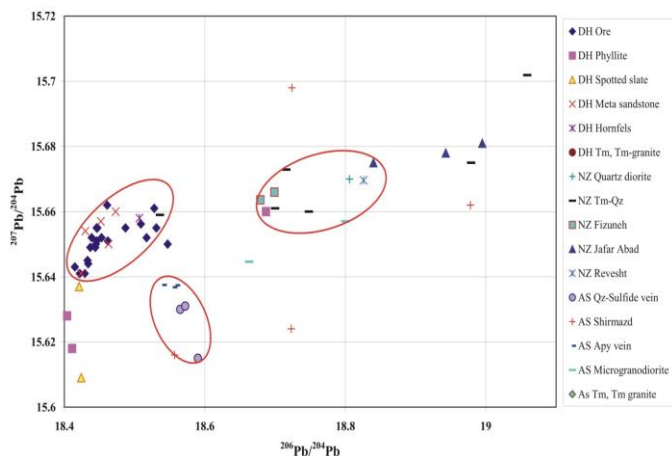
در کانسار ده‌حسین مشاهدات صحرایی و نتایج ایزوتوپی سرب تطابق مشخص میان‌لایه‌های متاسندستون و کانی‌سازی را به نمایش می‌گذارند. براساس مطالعات ژئوشیمیایی عناصری چون طلا و نقره در متاسندستون رقیق‌شدگی نشان می‌دهند. از طرف دیگر مطالعات ایزوتوپی اکسیژن یک منشأ دگرگونی و یا دگرگونی- ماگمایی را برای محلول‌های تشکیل‌دهنده کوارتز دربرگیرنده کانی‌سازی نشان می‌دهند، درحالی که داده‌های ایزوتوپ گوگرد منشأی ماگمایی را برای سولفیدها پیشنهاد می‌نمایند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌های کانه‌ساز دما بالایی (حدود ۴۶۰ درجه سانتیگراد) با منشأ دگرگونی- ماگمایی درون سنگ‌های منطقه اعم از دگرگونی و پلوتونیک (و به ویژه درون میان‌لایه‌های متاسندستون با تخلخل و نفوذپذیری بالاتر نسبت به سنگ‌های اطراف) نفوذ کرده و ضمن فروشست بعضی عناصر سنگ‌های درون‌گیر، موجب کانی‌سازی در شکستگی‌ها و فضاها خالی موجود شده‌اند. در این مورد احتمالاً یک توده ماگمایی تأمین‌کننده دما، گوگرد و بعضی عناصر غنی شده در کانی‌سازی بوده است. در آستانه با توجه به تمامی داده‌ها به نظر می‌رسد که یک ماگماتیسم نوع I به سن ائوسن و پسائوسن مسئول اصلی کانی‌سازی طلا بوده است. در نظام آباد توده کوارتز دیوریتی تأمین‌کننده اصلی دما، محلول کانه‌ساز و بخشی از فلزات مربوطه بوده است، اگرچه به نظر می‌رسد که سنگ‌های دگرگونی منطقه نیز بر روی نوع محلول و فلزات نهشته شده مؤثر بوده‌اند.

کانسارهای مورد بررسی شباهت‌های فراوانی را از نظر کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دمای تشکیل، نسبت‌های ایزوتوپی، دگرسانی و نحوه رخداد طلا با یکدیگر نشان می‌دهند، اگرچه تفاوت‌های مشخصی نیز بین این کانسارها دیده می‌شود از جمله اینکه سنگ میزبان کانسارهای نظام آباد و آستانه توده‌های نفوذی (نوع I، کالک آلکالن و پرآلومین) هستند، درحالی که کانی‌سازی ده‌حسین عمدتاً به وسیله سنگ‌های دگرگونی میزبانی می‌شود. دگرسانی موناژیته فقط در کانی‌سازی ده‌حسین مشاهده شده است. کانسنگ ده‌حسین تنوع کانی‌شناسی بیشتری نسبت به کانسنگ دو کانسار دیگر دارد و میزان قلع در آن قابل توجه است.

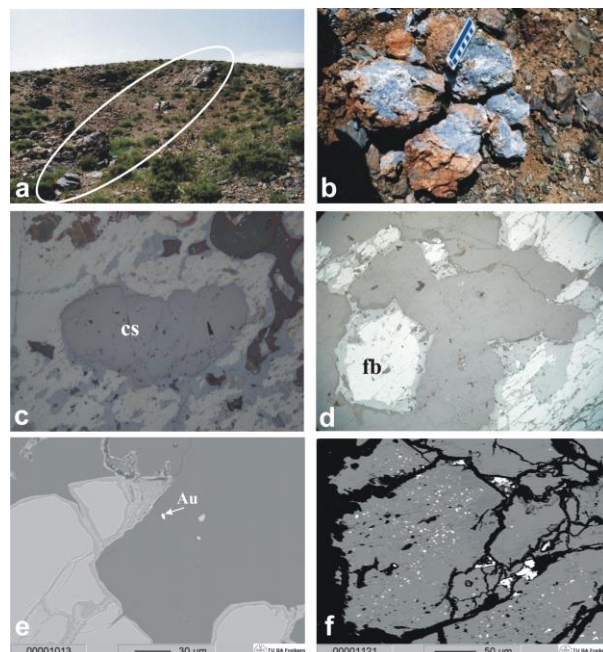
به طور کلی، کانسارهای منطقه خصوصیات مشابه فراوانی را با "سیستم‌های طلای مرتبط با توده‌های آذرین نفوذی" به نمایش می‌گذارند. چنین سیستم‌هایی از آلاسکا، منطقه یوکون و نقاط دیگری از جهان گزارش شده‌اند (Lang et al. 1999; Thompson et al. 1997; McCoy et al. 2000; 1997). از جمله مهم‌ترین شباهت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) رخداد در موقعیت تکتونیک همگرا، (۲) ماگماتیسم کالک آلکالن پرآلومین تا متالومین، (۳) رخداد در ایالت ماگمایی شناخته شده برای کانی‌سازی تنگستن و یا قلع، (۴) ارتباط با توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی جایگزین شده در سنگ‌های دگرگونی و



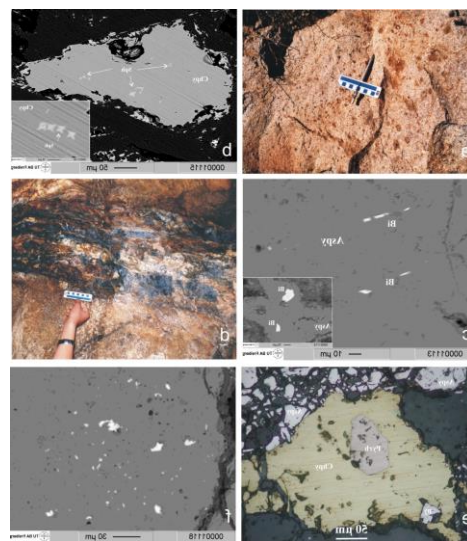
شکل ۴- موقعیت نمونه‌های بررسی شده برای کانی‌سازی‌های ده‌حسین (DHN)، آستانه (ASN) و نظام آباد (NNZ) بر روی نمودار روابط فاز برای سازوکار Fe-As-S در تعادل با بخار. ایزوپلت‌ها به صورت درصد اتمی ارسنیک در ارسنوپیریت هستند. بر گرفته از Kretschmar and Scott 1976; Scott 1983



شکل ۵- نمودار سرب-سرب معمولی و مقایسه علامت ایزوتوپی انواع مختلف نمونه‌های برداشته شده از کانی‌سازی‌های ده‌حسین (DH)، آستانه (AS) و نظام آباد (NZ) اعم از انواع سنگ‌های درون‌گیر، کوارتز و کانسنگ سولفیدی.



شکل ۲- a- میان‌لایه‌ای از متاسندستون مینرالیزه درون واحد فیلیتی که توسط معدن-کاران باستانی استخراج شده است. b- بخشی از یک رگه ارسنوپیریت در موقعیت احمدجیگی ۲. c- تصویر میکروسکوپی از کاسیتیت درون اکسیدهای آهن، طول تصویر ۴۰۰ میکرون. d- تصویر میکروسکوپی فربریت درون کوارتز، طول تصویر ۴۰۰ میکرون. e- تصویر برگشتی (BSE) از تنها دانه طلای مشاهده شده در کانی‌سازی درون کوارتز. f- تصویر برگشتی (BSE) از ادخال‌های بیسموت طبیعی پراکنده در ارسنوپیریت.



شکل ۳- a- بخشی از گرانودیوریت شیرمزد (کانی‌سازی آستانه) با کانی‌سازی پراکنده دانه (سولفیدی) در آن. b- تصویر برگشتی (BSE) از ادخال‌های ستاره ای اسفالریت درون کالکوپیریت (کانی‌سازی آستانه). c- تصویر برگشتی (BSE) از ادخال‌های بیسموت طبیعی درون ارسنوپیریت (کانی‌سازی آستانه). d- بخشی از یک رگه کوارتز-تورمالین مینرالیزه در تونل شماره یک نظام آباد. e- تصویر میکروسکوپی از ادخال‌های پیروتیت و پیریت درون کالکوپیریت در کانی‌سازی نظام آباد. f- تصویر برگشتی (BSE) از ادخال‌های مالدونیت (Au_2Bi) و بیسموت طبیعی درون ارسنوپیریت (کانی‌سازی نظام آباد).

جدول ۲- داده‌های ایزوتوپ اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}\%$) برای نمونه‌های کانی-سازهای ده‌حسین (DHN)، آستانه (ASN) و نظام آباد (NNZ). خطای اندازه‌گیری و آماده‌سازی کمتر از $\pm 0.2\%$

Sample No.	Description	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} \%$
DHN-1A	Quartz + Chalcopyrite	13.6
DHN-1B	Quartz + Galena	16.7
DHN-6	Quartz	17.0
DHN-15A	Quartz + Fe oxides	19.2
DHN-16A	Quartz + Fe oxides	17.2
DHN-39	Quartz + Arsenopyrite	17.4
DHN-45	Quartz + Cu-Fe oxides	14.0
ASN-16	Quartz + Fe oxides	13.3
ASN-25	Quartz	13.5
ASN-28	Quartz	13.7
ASN-37	Quartz + Fe oxides	11.5
NNZ-9	Quartz + tourmaline + ore (arsenopyrite, chalcopyrite, pyrite)	14.2
NNZ-11	Quartz + tourmaline + Cu-Fe oxides	11.6
NNZ-25	Quartz + malachite	12.7
NNZ-28	Quartz	13.9
NNZ-31	Quartz	15.0
NNZ-34	Quartz	12.5

جدول ۱- ترکیب و دمای بدست آمده برای ارسنوپیریت (آنالیز شده توسط مایکروپروپ) برای کانی‌سازی‌های ده‌حسین (DHN)، آستانه (ASN) و نظام آباد (NNZ)، n تعداد آنالیزها، T درجه حرارت محاسبه شده. براساس روش برگرفته از Kretschmar and Scott 1976; Scott 1983.

Sample	Sulfide assemblage	n	As (at%)	Standard deviation	T (°C)
Deh Hosein					
DHN-38	Arsenopyrite + Pyrite + Chalcopyrite	9	32.29	0.44	460°C
DHN-78	Arsenopyrite + Loellingite	4	34.28	0.32	460°C
DHN-93	Arsenopyrite + Loellingite + Chalcopyrite	28	34.31	1.1	460°C
Astaneh					
ASN-31	Arsenopyrite	13	31.4	0.54	410°C
ASN-38	Arsenopyrite + Pyrite + Chalcopyrite	21	30.74	0.37	390°C
ASN-40	Arsenopyrite	23	30.66	0.29	380°C
Nezam Abad					
NNZ-21	Arsenopyrite + Pyrrhotite	5	33.65	0.98	510°C
NNZ-27	Arsenopyrite + Chalcopyrite + Pyrrhotite	8	35	0.41	565°C

جدول ۳- داده‌های ایزوتوپ گوگرد ($\delta^{34}\text{S}\%$ CDT) برای نمونه‌های سولفیدی کانی‌سازی‌های ده‌حسین (DHN)، آستانه (ASN) و نظام آباد (NNZ). خطای اندازه‌گیری و آماده‌سازی کمتر از $\pm 0.2\%$

Sample No.	Description	$\delta^{34}\text{S}\%$ CDT
DHN-1B	Galena	-5.6
DHN-7A	Pyrite + Chalcopyrite	-2
DHN-10B	Chalcopyrite + Pyrite	-3.8
DHN-38	Arsenopyrite	0
DHN-47	Chalcopyrite	-0.4
ASN-31	Arsenopyrite	-0.5
ASN-38	Arsenopyrite	1.8
ASN-40	Arsenopyrite	-0.4
NNZ-21	Arsenopyrite	4
NNZ-27	Arsenopyrite + Pyrite	1.2

کتابنگاری

- خویی، ن. ۱۳۶۱. بررسی نحوه شکل‌گیری طلا در گرانتیت آستانه. سازمان زمین‌شناسی کشور. گزارش داخلی.
- رادفر، ج. ۱۳۶۶. بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه - گوشه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ایران.
- شرکت صمیم. ۱۳۸۰. گزارش اکتشاف طلا در کانسار آستانه (طلا در سنگ سخت). گزارش داخلی.
- شمعانیان اصفهانی، غ. ۱۳۷۳. مطالعات ژئوشیمی، کانی‌شناسی و سیالات درگیر در معدن متروکه تنگستن نظام آباد استان مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
- عبدی، م. ۱۳۸۶- بررسی لیتوژئوشیمیایی و خاستگاه کانی‌سازی در کانسار تنگستن - مس (قلع) ده حسین و نظام آباد و مقایسه آن با کانسار بامسر، جنوب غرب شازند اراک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- عبدی، م.، قادری، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و نجفی، ع. ۱۳۸۸. بررسی ژئوشیمیایی کانه‌زایی رگه‌های تنگستن مس در جنوب باختری شازند، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. زمستان ۸۸، سال نوزدهم، شماره ۷۳.
- عبدی، م.، قادری، م.، رشیدنژاد عمران، ن. و راستاد، ا. ۱۳۸۸. معرفی رخداد کانه‌زایی تنگستن (مس) چینه سان - چینه کران در باختر ازن، استان لرستان، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. زمستان ۸۸، سال نوزدهم، شماره ۷۴.

فرهادیان، م. ب. ۱۳۷۰. مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی بر روی کانی‌سازی نظام آباد اراک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
 میکائیلی، ر.، نقره‌نیا، م. ک.، مکی‌زاده، م. ع.، تقی‌پور، ب. و زهرا طهماسبی، ز. ۱۳۸۹. مطالعه سیالات درگیر و کانی‌شناسی در دگرسانی‌های گرمایی گرانیتوئید آستانه (پهنه
 سندیج-سیرجان)، پترولوژی، شماره سوم.
 هاشمی، م. ۱۳۸۰. نحوه کانی‌سازی احتمالی طلا در توده آذرین آستانه اراک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

References

- Ahmadi-Khalaji A, Esmaeily D, Valizadeh MV and Rahimpour-Bonab H (2007) Petrology and Geochemistry of the Granitoid Complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 29: 859-877.
- Baker T, Lang JR (2001) Fluid inclusion characteristics of intrusion-related gold mineralization, Tombstone-Tungsten magmatic belt, Yukon Territory, Canada. *Mineralium Deposita*. 36: 563-582.
- Baker T (2002) Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusion in intrusion-related gold deposits. *Economic Geology*. 97: 1111-1117.
- Esmaeily D, S.Z. Afshooni SZ, Mirnejad H, and Rashidnejad-e-Omran N (2011) Mass changes during hydrothermal alteration associated with gold mineralization in the Astaneh granitoid rocks, western Iran, *Geochemistry: Exploration, Environment, analysis*, Geological Society of London, 12:161-175.
- Hutchison MN, Scott SD (1981) Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S system. *Economic Geology*, 76: 143-153.
- Kretschmar U, Scott SD (1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Can Mineral*. 14:364-386.
- Lang JR, Baker T (2001) Intrusion related gold systems: the present level of understanding, *Mineralium Deposita*. 36: 477-489.
- Maddox LM, Bancroft GM, Scaini MJ, Lorimer JW (1998) Invisible gold: Comparison of Au deposition on pyrite and arsenopyrite. *American Geologist*. 83: 1240-1245.
- Maloof TL, Baker T, Thompson JFH (2001) The Dublin Gulch intrusion-hosted gold deposit, Tombstone plutonic suite, Yukon Territory, Canada. *Mineralium Deposita*. 36: 583-593.
- Masoudi F (1997) Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak, Iran. PhD thesis. The University of Leeds, UK.
- McCoy D, Newberry RJ, Layer P, DiMarchi JJ, Bakke A, Masterman DL (1997) Plutonic-related gold deposits of Interior Alaska. In: Goldfarb RJ, Miller LD (eds) *Mineral Deposits of Alaska*. *Economic Geology Monograph*. 9: 191-241.
- Momenzadeh M, Nezafati N, Pernicka E (2002) First indication of tin at the ancient mining site near Deh Hosein, West central Iran: a possible source for Luristan bronze, Abstract, 33rd International symposium on Archaeometry, Amsterdam, The Netherlands.
- Nekouvaght Tak MA (2008) Magmatism and metallogeny of the Astaneh-Nezam Abad Area, Sanandaj-Sirjan Zone, West-Central Iran. Ph.D. Thesis, Technical University of Clausthal, Germany.
- Nezafati N (2006) Au-Sn-W-Cu-Mineralization in the Astanhe-Sarband Area, West Central Iran; including a comparison of the ore with ancient bronze artifacts from Western Asia, Ph.D. thesis, University of Tübingen, Germany.
- Scott SD (1983) Chemical behavior of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Mineralogical magazine*. 47: 427-435.
- Sharp ZD, Essene EJ, Kelly WC (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages. *Can Mineral*. 23: 517-534.
- Stöcklin J (1968) Structural history and tectonics of Iran, A review. *Am Assoc of Petrol Geol Bull.*, k 52, 7: 1229-1258.
- Thompson JFH, Sillitoe RH, Baker T, Lang JR, Mortensen JK, (1999). Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces, *Mineralium Deposita* 34: 323-334.
- Zartman RE, Doe BR (1981) Plumbotectonics-The model. *Tectonophysics*. 75: 135-162.