

مطالعات زمین‌شیمیایی و ساختاری کانسار روی و سرب حسین‌آباد (استان مرکزی)

مریم خسروبیگی^۱، زهرا اعلمی‌نیا^{۲*}، میثم تدین^۳ و محمدعلی جزی^۴

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: *z.alaminia@sci.ui.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

چکیده

ذخیره روی و سرب حسین‌آباد با سنگ میزبان اسلیت و فیلیت ژوراسیک در بخش شمالی کمربند فلززایی ایرانکوه-آهنگران جای دارد. اندازه‌گیری‌های ساختاری نشانگر حضور گسلی اصلی با پهنای تقریبی ۲۰ متر با امتداد خاوری-باختری با سازوکار معکوس در محدوده مطالعاتی است که واحدهای ژوراسیک، کرتاسه و کانی‌سازی را متأثر کرده است. کانی‌سازی اصلی اسفالریت، گالن و کمتر پیریت و کالکوپیریت با بافت‌های برشی، رگه-رگچه و جانیشینی رخ داده است. کوارتز، سیدریت، کلسیت، دولومیت، سریسیت، و کلریت کانی‌های دگرسانی هستند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی، جایگاه زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای و غنی‌شدگی غیرعادی سرب و روی را در سنگ میزبان آواری دگرگون شده ژوراسیک نشان می‌دهد. عناصر سرب، روی، گوگرد، مس، نقره و آرسنیک ارتباط ژنتیکی با کانسار دارند. نسبت Zn/Cd اسفالریت گستره وسیعی بین ۳۷ تا ۵۸۱ را در برگرفته است. ترکیبات ایزوتوپ سرب گالن، تحرک مجدد سرب را از توالی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین پیشنهاد می‌کنند. بازه کلی دمای همگن‌شدگی و شوری میان‌بارهای سیال محلول کانه‌دار به ترتیب بین ۱۰۰ تا ۳۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰/۵ تا ۱۳/۳ درصد وزنی نمک طعام هستند. پیامد فعالیت پهنه گسلی معکوس حسین‌آباد سبب تشکیل تاقدیس فرادیواره‌ای و ناودیس فرودیواره‌ای با امتدادهای خاوری-باختری شده است. با دور شدن از پهنه گسلی، اثر چین‌خوردگی کم می‌شود و لایه‌ها با روند ساختاری غالب منطقه، شمال باختر-جنوب خاور، هم‌راستا می‌شوند. از سوی دیگر بخشی از کانی‌سازی نوع برشی کانسار حسین‌آباد در برش‌های مجاور پهنه گسلی خاوری-باختری حسین‌آباد توزیع و جانیشین شده و با فاصله گرفتن از پهنه گسلی، این نوع کانی‌سازی قطع می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپ سرب، گسل معکوس، زمین‌شیمی، میان‌بار سیال، سنندج-سیرجان

پیشگفتار

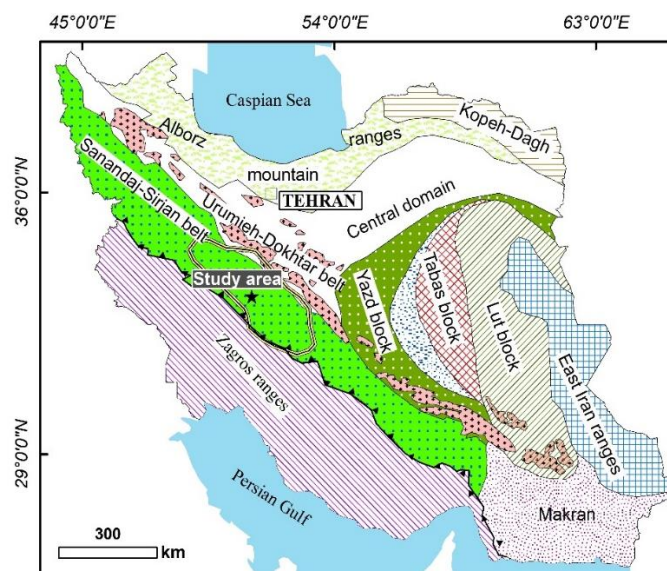
سنگ میزبان آواری پدید می‌آید و نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) که غیرهمزاد و در اثر تحرک دوباره ماده معدنی بوجود می‌آید. دو گروه دیگر کانسارهای سرب و روی (نوع ماسه‌سنگی یا SSH) و نوع همراه با میزبان کمی دگرگون-شده (یا CMH) شباهت زیادی با نوع می‌سی‌سی‌پی دارند و آخرین نمودهای کوهزایی در طی تکامل این نوع کمربندها هستند (بودئین و سنگستر، ۱۹۹۶؛ لیچ و همکاران، ۲۰۱۰). کانسارهای می‌سی‌سی‌پی در آخرین دسته‌بندی از منظر مکان جغرافیایی، زمین‌شناسی و سایر موارد، به انواع آلپی، ایرلندی، آپالاش^۱، سیلشیا^۲، راسن^۳ و ویرنم‌ترند^۴ تقسیم‌بندی شده‌اند (لیچ و همکاران، ۲۰۰۵).

نوار فلززایی تتیس با طیف سنی مزوزوئیک-سنوزوئیک که در حاشیه جنوبی صفحه اوراسیا، ورقه‌های آفریقا-عربی و هند، محدود می‌شود، برای اولین بار از سوی یانکویک (۱۹۷۷) شناخته و معرفی شد. به باور یانکویک و پتراچک (۱۹۸۷) توزیع مکانی کانسارهای سرب و روی خاور و مرکز تتیس (سرزمین‌های ایران و ترکیه با عنوان کمربند کوهزایی بیتلیس-زاگرس) مرتبط با فرورانش و برخورد رو به شمال خاور ورقه‌های عربستان به سمت ایران بوده است. لیچ و همکاران (۲۰۱۰) کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی (CD) را به دو دسته اصلی رده‌بندی کرده است که عبارتند از رسوبی-بروندی (SEDEX) که بطور همزاد در

³ Reocin⁴ Viburnum trend¹ Appalachian² Silesia

۲۰۱۰؛ نژادحداد و همکاران، ۲۰۱۶؛ نژادحداد و همکاران، ۲۰۱۸؛ کریم‌پور و صادقی، ۲۰۱۸؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۹). درحالی‌که در سال‌های اخیر تعدادی از زمین‌شناسان این پهنه فلززایی را به محیط تکتونیکی کششی قاره‌ای پشت قوسی نسبت داده و اغلب کانسارهای با میزبان آواری را همزاد و از نوع شبه رسوبی-بروندی و برخی ایرلندی معرفی می‌کنند (رجبی و همکاران، ۲۰۱۲؛ بویری کناری و همکاران، ۲۰۱۷؛ محمودی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۲۰۲۰؛ معانی‌جو و همکاران، ۱۳۹۴؛ ۲۰۲۰). بر اساس مطالعات سن‌سنجی به روش Re-Os که بر روی پیریت‌های منطقه ایرانکوه انجام گرفته، سن کانه‌زایی سرب و روی جوان‌تر از سنگ میزبان کربناته-آواری (اواخر کرتاسه-اویل پالتوسن) تعیین شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹).

به عنوان مهم‌ترین زیر مجموعه از نوار فلززایی مرکز تتیس، کمربند فلززایی ملایر-اصفهان (زایسرمن و مومن‌زاده، ۱۹۷۲)، در بخش میانی پهنه سنندج-سیرجان با راستای شمال باختر- جنوب خاور، مهم‌ترین و غنی‌ترین منطقه سرب و روی‌دار در ایران محسوب می‌شود (شکل ۱). اغلب این کانسارهای سرب و روی، سنگ میزبان کربناته به سن کرتاسه دارند در حالی‌که برخی در هر دو میزبان کربناته و آواری (مانند ایرانکوه و آهنگران از کمربند سرب و روی ایرانکوه-آهنگران) شکل گرفته‌اند و تعدادی از آن‌ها در توالی آواری دگرگون‌شده با درجه پائین ژوراسیک (مانند حسین‌آباد و بابا قلعه) دیده می‌شوند (شکل ۲). مطالعات متعدد چاپ شده بیشتر کانه‌زایی‌های سرب و روی این کمربند ایرانکوه-آهنگران را در ارتباط با برخورد ورقه‌های عربی و ایرانی در حاشیه شمالی پهنه رورانده زاگرس می‌دانند (غضبان و همکاران، ۱۹۹۴؛ احیا و همکاران،



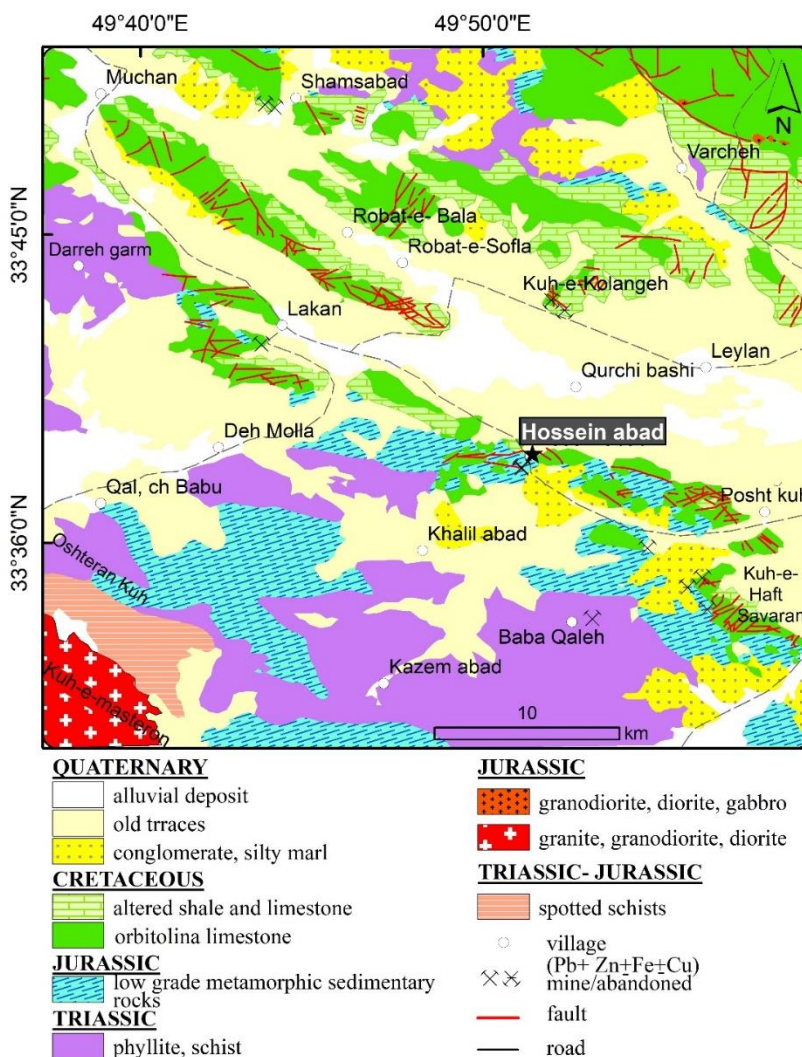
شکل ۱. موقعیت کمربند شمال باختری- جنوب خاوری ملایر-اصفهان در بخش میانی پهنه تکتونیکی- رسوبی سنندج- سیرجان و بلافاصله بعد از زمین درز زاگرس. موقعیت جغرافیایی محدوده حسین‌آباد نیز با ستاره نمایش داده شده است (آقناباتی، ۱۹۹۸، ۲۰۰۴).

اشاره کرد که بر اساس مطالعات ایزوتوپی گوگرد بر روی کانی‌های سولفیدی، این کانسار را از نوع دره می‌سی‌سی‌پی دانسته‌اند. این درحالی است که محمودی و همکاران (۲۰۱۸ و ۲۰۲۱) عنایتی به دگرگونی ناحیه‌ای سنگ‌ها نداشتند و عامل کنترل کننده اصلی کانه‌زایی را گسلش نوع نرمال دانسته و با بررسی ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، کربن و گوگرد، کانی‌سازی را همزمان با تشکیل توالی آواری ژوراسیک در محیط کششی دانسته و آن را از نوع رسوبی-بروندی معرفی کرده‌اند. همچنین کریم‌پور و

ناحیه معدنی روی-سرب حسین‌آباد، در فاصله ۲۷ کیلومتری باختر خمین از توابع استان مرکزی، جای گرفته است. این کانسار با ذخیره ۳ تا ۶ میلیون تن، از دیر باز فعال بوده است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) و در حال حاضر علاوه بر روی و سرب، شن و ماسه آن نیز بهره‌برداری می‌گردد. میانگین عیارهای روی و سرب به ترتیب ۲/۷ و ۱/۰۶ درصد می‌باشد و نقره آن بین ۲ تا ۷۴ گرم در تن تغییرات دارد. از مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته بر روی کانسار حسین‌آباد می‌توان به راستین و همکاران (۱۳۸۷)

تعیین ویژگی‌های ساختاری منطقه، خاستگاه نهشته‌های سیلیسی-آواری و بررسی سیال کانه‌ساز است. از اینرو با استفاده از نتایج شیمی کانی اسفالریت، مطالعه میان‌بارهای سیال و همچنین تجزیه نسبت‌های ایزوتوپی سرب-سرب به بررسی خاستگاه سیالات فلزدار ناحیه معدنی حسین‌آباد پرداخته می‌شود.

همکاران (۱۳۹۷) با مرور ویژگی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی، شکل و حالت کانی‌سازی و پاراژنز مینرالی چندین کانسار سرب و روی جای گرفته در کمربند ملایر-اصفهان، همه را از نوع MVT می‌دانند. شایان ذکر است که تاکنون در خصوص نحوه تشکیل و ژنز این کانسار نظریه واحدی وجود ندارد. از این‌رو، هدف از انجام این پژوهش،



شکل ۲. کانسارهای اصلی سرب و روی حسین‌آباد، باباقله، کوه کلنگه، لکان و رباط در بخش شمالی کمربند فلززایی ایرانکوه-آهنگران بر روی نقشه زمین‌شناسی ساده شده، برگرفته از برگه یکصد هزار ورچه (خلقی، ۱۳۸۳).

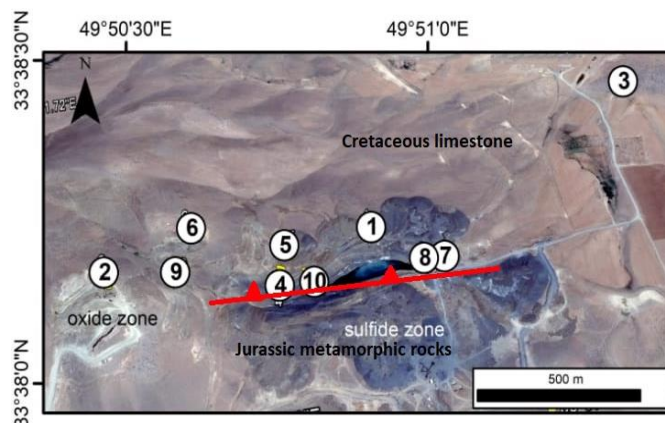
ضعیفی شده و از توپوگرافی ملایم واحدهای ژوراسیک و نسبتاً مرتفع واحدهای کربناته کرتاسه برخوردار است (شکل ۳). دگرگونی‌های واحدهای ژوراسیک از فیلیت خاکستری با لامیناسیون موازی، اسلیت با رنگ خاکستری تیره و ندرتا سبز زیتونی که به سمت عمق با درون لایه‌هایی از ماسه‌سنگ دانه‌ریز متوسط لایه ساخته شده‌اند که آن‌ها نیز اندکی دگرگونی نشان می‌دهند (شکل ۴-ا). شیل‌های

مطالعات صحرایی و سنگ‌نگاری

عمده‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه معدنی حسین‌آباد مربوط به نهشته‌های آواری ژوراسیک زیرین است که توالی آواری-کربناته کرتاسه زیرین با ناپیوستگی زاویه‌دار آن‌ها را می‌پوشاند. این واحدها با امتداد باختر شمال باختر-خاور جنوب خاور آرایش یافته‌اند (شکل ۲). توالی رخساره‌ی ژوراسیک متحمل دگرگونی ناحیه‌ای

آن‌هاست و به مقدار کمی کلسیت، مواد آلی و اکسیدهای آهن نیز در آن‌ها حضور دارد. در سطح زمین، کانی‌سازی بیش‌تر در میان اسلیت و فیلیت و به‌طور محلی تا چند متری به سمت ماسه‌سنگ کمی دگرگون‌شده کشیده می‌شود.

سیلنتی و رسی ژوراسیک در منطقه حسین‌آباد کم و بیش در حد درجات پائین رخساره شیست‌سبز دگرگون شده‌اند و کانی‌های دگرگونی سربیسیت، کلریت و به‌ندرت بیوتیت در متن آن‌ها به‌شکل پولکی، ریزدانه و جهت‌یابی شده به چشم می‌خورد (شکل ۴-A و C). کوارتز مهم‌ترین سازنده



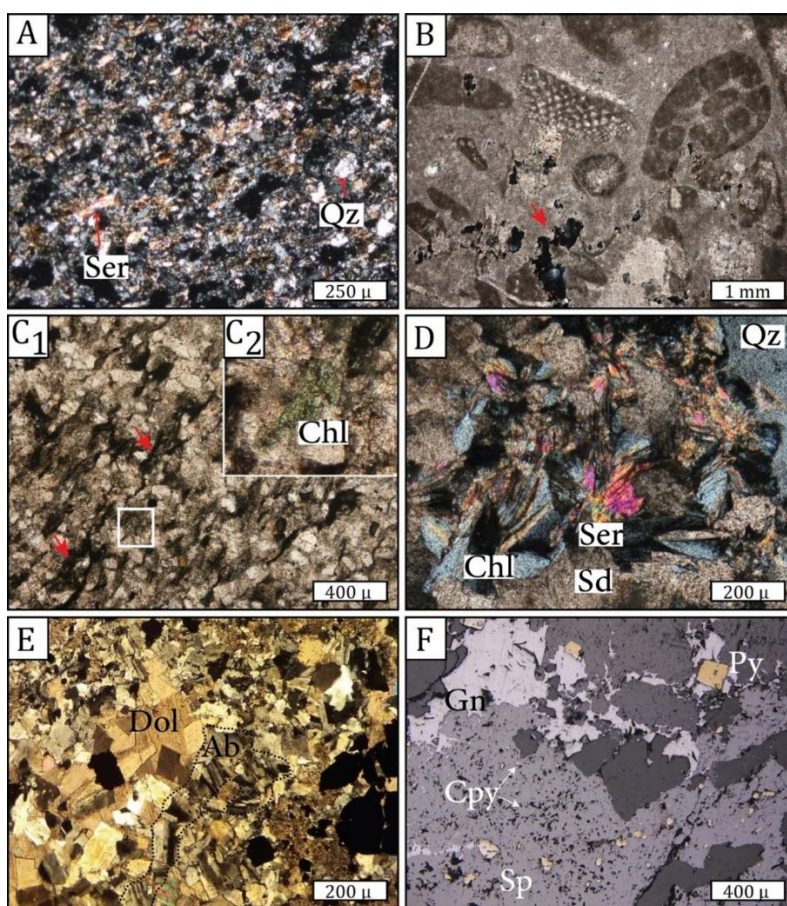
شکل ۳. واحدهای دگرگون شده ژوراسیک در مرکز کانسار حسین‌آباد با رنگ خاکستری تیره نسبت به واحدهای آهکی کرتاسه با رنگ روشن بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت، قابل تفکیک هستند. موقعیت گسل معکوس حسین‌آباد با شیب به سمت شمال و نمونه‌های ژئوشیمی نیز بر روی آن نمایش داده شده است.

منطقه اساساً از نهشته‌های رسوبی کرتاسه با روند عمومی باختری-خاوری تا شمال‌باختر- جنوب خاور پیروی می‌کنند که با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی رسوبات سیلیسی کلاستیک و اسلیت‌های سازند ژوراسیک جای دارند. این نهشته‌ها از دو ریز رخساره آواری-کربناته سرخ رنگ و نهشته‌های کربناته تشکیل شده است. بخش زیرین کرتاسه با همبری آشکار دگرشیبی زاویه‌دار با زاویه حدود ۱۰ الی ۱۵ درجه بر روی توالی دگرگون شده ژوراسیک جای گرفته است. به‌عبارتی شروع پیشروی دریای کرتاسه در منطقه حسین‌آباد همانند بقیه نقاط کمربند سنج-سیرجان با ماسه‌سنگ و کنگلومرای سرخ تیره تا قهوه‌ای رنگ آغاز می‌شود که در بخش‌های بالایی به صورت تدریجی از میزان کانی‌های آواری کاسته شده و بر مقدار کربنات آن افزوده می‌شود به‌طوری‌که در ادامه سنگ‌آهک دولومیتی ماسه‌دار و سنگ‌آهک ورقه‌ای نازک‌لایه و آهک مارنی رخنمون یافته است. کنگلومرای قرمز چند منشایی که فاقد هرگونه فسیل می‌باشد به‌عنوان یک لایه کلیدی و راهنما در منطقه عمل کرده و به‌خوبی قابل ردیابی می‌باشد. با گذر تدریجی از این واحد، پهنه زیست‌چینه‌ای سنگ‌های آهکی خاکستری تا کرم سبتر لایه حاوی اوربیتولین، خرده‌های دوکفه‌ای و آثار جلبکی پدیدار

آتش‌مرد و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی رخساره ماسه‌سنگی ژوراسیک در خاور همدان، تشکیل این توالی را بیانگر بخش‌های بالایی و نزدیک‌تر به خشکی پهنه ساحلی می‌داند، در حالی که حسینی و همکاران (۱۳۹۶)، با بررسی ترادف‌های سنگی گروه شمشک در شمال خاور سمنان، نشان داده‌اند پس از حرکات کوهزایی و پسروی دریا در تریاس و فاز کششی در قاعده لیاث با ظهور محیط رودخانه‌ای شروع شده و با محیط دریایی کم عمق با پیشروی دریا پایان می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه بر اساس شواهد رخساره‌ای و ساختارهای رسوبی همچون ریپل‌مارک‌ها (که پس از دگرگونی باقی مانده است) به یک محیط نسبتاً بسته لاگون که با انرژی کم حوضه رسوبگذاری همراه بوده است شباهت دارد. طهماسبی و همکاران (۱۳۹۳) ژئوشیمی دگرگونی‌های ناحیه‌ای رخساره شیست‌سبز (اسلیت، فیلیت و میکاشیست) در جنوب باختر اراک را بررسی کرده‌اند و پروتولیت آن‌ها را رسوبی از نوع گریوک و شیل دانسته‌اند و دمای تشکیل کلریت سنگ‌های دگرگونی را ۳۷۸-۴۱۶ درجه سانتی‌گراد مرتبط با فشار پایین تا متوسط محاسبه کرده‌اند و محیط زمین‌ساختی تشکیل رسوب‌های اولیه را وابسته به فرورانش و حاشیه فعال قاره در نظر گرفته‌اند. بلندی‌های

محیط نسبت داده‌اند که در اثر جریان‌های دریایی و بالا بودن سطح آب دریا با شرایط گلخانه‌ای در این محدوده زمانی رخ داده است. هرچند نبود کامل توالی کرتاسه در منطقه حسین‌آباد را می‌توان پیامد ناآرامی‌های ساختاری دانست که ممکن است سبب پسروری دریا، اندکی پس از شروع کرتاسه شده است.

می‌گردد (شکل ۴-B). رضایی روزبهانی و حمدی (۱۳۸۷) با بررسی دقیق چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی سنگ‌های کرتاسه در خاور اراک، نهشته‌گذاری کرتاسه را پیشروی ممتد و پیوسته دریای کرتاسه دانسته و آن را به رویداد کیمبرین میانی در محدوده زمانی بارمین تا سنومانین نسبت می‌دهند. آن‌ها تنوع و تجمع چشمگیر مجموعه‌های زیستی در برگرنده لایه‌های آهکی را به شرایط ابیوتیک



شکل ۴. مقاطع میکروسکوپی از نمونه‌های محدوده معدنی حسین‌آباد. همه عکس‌ها در نور متقاطع هستند به‌جز C₁ و C₂ که در نور طبیعی می‌باشد. (A) کوارتز و سریسیت‌های جهت‌یابی شده در سیلت‌استون دگرگونی، (B) انحلال و کارستی‌شدن در آهک فسیل‌دار در جوار رگچه سولفیدی. C₁ و C₂ هسته‌های پولکی شکل کلریت همراه با مواد آلی (پیکان قرمز) در ماسه‌سنگ دانه‌ریز دگرگون شده. (D) رگچه سیدریت، سریسیت، کلریت و کوارتز در اسلیت. (E) رگچه آلبریت و کوارتز، رگچه دولومیت را قطع می‌کند. (F) اسفالریت با ادخال کالکوپیریت، و گالن که بر روی آن‌ها بلورهای خودشکل پیریت رونهشته شده است. علائم اختصاری از ویتنی و ایوانز (۲۰۱۰) گرفته شده است (Ab-albite, Chl-chlorite, Dol-dolomite, Gn-galena, Sd-siderite, Ser-sericite, Sp-sphalerite, Py-pyrite, Qz-quartz).

مواد و روش مطالعه

گرفت. به‌منظور تعیین سازوکار گسل‌های موجود در منطقه از معیارهای ساختاری موجود در سطح گسل همچون خشلغزها، شکستگی‌های ریدل همساز و کار^۱ و شکستگی‌های هلالی استفاده شده است (فوزن، ۲۰۱۰). به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناختی، کانه‌نگاری، یافتن

در مطالعات صحرایی بازدیدهای متعددی به منظور بررسی زمین‌شناسی، ارتباط کانی‌سازی با سنگ میزبان، ارتباط چینه‌شناسی واحدهای سنگ‌چینه‌ای و شناسایی و تعیین سازوکار گسل‌های مؤثر بر کانی‌سازی در منطقه انجام

¹ Synthetic Riedel

بارگذاری شد. نسبت‌ها با طیف‌سنج جرمی یونی حرارتی مجهز به MAT262 اندازه‌گیری شدند.

کانی‌سازی و دگرسانی

اسفالریت، گالن، پیریت و کمتر کالکوپیریت کانی‌های اولیه سولفیدی هستند که در پهنه سولفیده، عمدتاً به صورت رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی و برشی، در توالی دگرگون شده ژوراسیک مشاهده می‌شوند (شکل ۳). در پهنه اکسیده، اکسیدهای سرب، روی، آهن و کمتر مس حضور دارند. کانی‌های کوارتز، سیدریت، کلریت آلومینیوم‌دار شعاعی، سریسیت، آلبیت، کلسیت و دولومیت کانی‌های باطله همراه هستند (شکل ۴-D و E). پیریت دانه‌ریز و دولومیت قبل از کانی‌سازی به مقدار کمی به ترتیب به صورت پراکنده در متن سنگ و رگچه‌ای در فیلیت و اسلیت‌های ژوراسیک شکل گرفته است. اسفالریت آهن‌دار، کالکوپیریت، گالن با رخ‌های پیچشی و پیریت خودشکل کاتاکلاستیکی شده، از کانی‌های اصلی کانی‌سازی بوده (شکل ۴-F) که با کانی‌های کوارتز، سیدریت، آلبیت، کمتر کلریت و سریسیت همراه هستند. کانی‌های گالن ریزبلور، اسفالریت فقیر از آهن و پیریت‌های درشت‌بلور در مرحله بعدی کانی‌سازی همراه با کوارتز شکل گرفته‌اند (شکل ۵). شایان ذکر است که اغلب پیریت در فاز ناپیوسته‌ای نسبت به دیگر کانی‌ها دیده می‌شود.

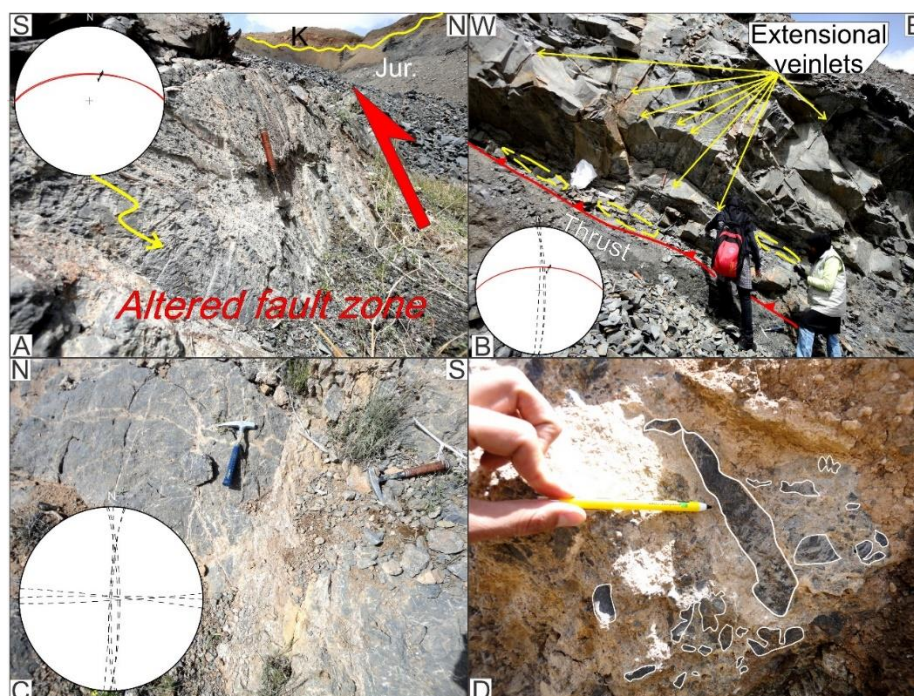
هندسه کانی‌سازی

کانی‌سازی عمدتاً در شکستگی‌های واحد ژوراسیک جای گرفته است (شکل ۶-B) و گسترش خوبی در آن دارد بطوریکه پهنه اصلی روی و سرب حسین‌آباد در زیر واحد کنگلومرای قرمز قاعده کرتاسه، در اسلیت، فیلیت و ماسه‌سنگ دانه‌ریز و همچنین مقدار کمی در آهک‌ها (به صورت رگه (نمونه M3) رگچه‌های کلسیت) دیده می‌شود. کانی‌سازی ذخیره به‌شکل رگه، رگچه و گاهی نسبتاً موازی با لایه‌بندی سنگ میزبان، که در پهنه گسلی معکوس به موازات گسل آرایش یافته است، دیده می‌شود. عیار کانی‌سازی در طول گسل به‌طور مشخص تغییر می‌کند. پهنه گسلی کانی‌سازی شده به سنگ‌های برشی و شکسته شده محدود می‌شود که اشاره بر ارتباط بین موقعیت و هندسه ماده معدنی با چینه‌شناسی و عوارض ساختاری دارد.

توالی پاراژنز و چگونگی ارتباط آن‌ها با سنگ میزبان، ۱۵ مقطع نازک و ۱۶ مقطع نازک‌صیقلی و بلوک صیقلی تهیه گردید. پس از بررسی‌های میکروسکوپی، یازده نمونه برای تعیین ویژگی‌های زمین‌شیمیایی جهت تجزیه عناصر اصلی و فرعی کل‌سنگ به‌روش‌های XRF و ICP-OES به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد (شکل ۳). نمونه‌ها شامل چهار نمونه از سنگ میزبان سالم آواری و فاقد کانی‌زایی (شماره‌های M2, M7, M8, M10)، یک نمونه از سنگ‌آهک به شماره (M6)، دو نمونه از سنگ میزبان آواری دگرسان شده (M1, M4)، سه نمونه کانسنگ (به شماره‌های M11, M5, K9) و یک نمونه از رگه سیدریت (M3) با پهنای نیم متر که در آهک‌های کرتاسه تزیق شده بود انتخاب شدند (شکل ۳). برای مطالعه میان‌بارهای سیال از مقاطع دوبرصیقل با ضخامت ۱۰۰ میکرون استفاده گردید. پس از مطالعات پتروگرافی میان‌بارهای سیال کانی‌های اسفالریت، سیدریت، کوارتز و کلسیت موجود در رگچه‌های کانه‌دار، پنج نمونه حاوی نسل‌های مختلف رگچه‌ها جهت اندازه‌گیری شوری و دما مورد سرمایه‌ش و گرمایش قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی، با روش استاندارد (ردر، ۱۹۸۴) و به کمک دستگاه میکروسکوپی مدل لینکم THM600، با یک کنترل‌کننده حرارتی و سردکننده در آزمایشگاه سیالات درگیر اندازه‌گیری شد. دستگاه دارای صفحه نمایشگر است و قابلیت انجام آزمایش گرمایی و سرمایی را در یک مرحله دارد. دامنه دمایی قابل اندازه‌گیری با این دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن بین (-۱۹۰) تا (+۶۰۰) درجه سانتی‌گراد با دقت یک درجه سانتی‌گراد است. نرم‌افزار مورد استفاده این دستگاه Linksys 32 می‌باشد. تجزیه‌های شیمی کانی اسفالریت در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج) با استفاده از دستگاه ریزکاو الکترونی مدل Cameca SX100 انجام گرفت. با توجه به مقادیر فراوان سرب در گالن، نسبت‌های ایزوتوپی سرب به راحتی تحت تاثیر آلودگی و خطا قرار نمی‌گیرد. لذا جهت بررسی‌های ایزوتوپی، یک نمونه از کانی گالن از رگچه‌ها برای ایزوتوپ سرب انتخاب گردید. تجزیه در آزمایشگاه دانشگاه اسلوی نروژ انجام گرفت. گالن شسته شده توسط اسید رقیق، با اسید فسفریک و ژل سیلیکا مخلوط و روی فیلامنت Re

Minerals	time	Hypogene stage	Supergene
Dolomite		_____	
Calcite		_____	
Quartz		_____	
Siderite		_____	
Albite		_____	
Chlorite		_____	
Sericite		_____	
Sphalerite		_____	_____
Galena		_____	_____
Pyrite		_____	_____
Chalcopyrite		_____	
Covelite			_____
Malachite			_____
Cerussite			_____
Hematite			_____
Goethite			_____

شکل ۵. توالی پاراژنتیکی کانسار حسین آباد



شکل ۶. A) صفحه اصلی گسل معکوس با روند خاوری-باختری به همراه خش‌لغزها و شکستگی‌های همساز و کار به همراه استرونت آن‌ها. ناپیوستگی زاویه‌دار بین واحدهای ژوراسیک و کرتاسه در بخش دوردست غربی. B) رگه‌های ممتد و موازی کوارتز با امتداد شمالی-جنوبی که در فرادیواره گسل تراستی با روند خاوری-باختری آرایش یافته‌اند. کانی‌سازی سرب و روی به صورت لنز و رگچه‌های موازی (با رنگ زرد نمایش داده شده) با گسل در پهنه و فرادیواره گسل مشاهده می‌شوند، تراست (با رنگ قرمز مشخص شده است) که بر روی استرونت نمایش داده شده است. C) دو دسته رگه اصلی کلسیت در منطقه با امتدادی موازی گسل تراستی باختری-خاوری و رگه‌های دسته دوم شمالی-جنوبی به همراه استرونت آن‌ها. D) نمای نزدیک از برش زاویه‌دار در پهنه گسلی به همراه کانی‌سازی.

یافته‌های ساختاری

امتداد میانگین ۲۶۵ است (شکل ۶-A). با توجه به شواهد موجود برداشت شده در سطح گسل همچون خش‌لغزها و شکستگی‌های همساز و کار، سازوکار زون گسلی، معکوس به همراه مؤلفه کوچک امتداد لغز چپگرد تشخیص داده شد (شکل ۶-A). پهنه گسلی حسین‌آباد در منطقه با ضخامت

زمین‌شناسی ساختمانی محدوده معدنی حسین‌آباد به طور اصلی متشکل از پهنه گسلی با امتداد خاوری-باختری به همراه چین‌های مرتبط با گسل می‌باشد. این پهنه گسلی معکوس با شیب میانگین ۶۰ درجه به سمت شمال و دارای

(۱۹۸۸)، نمونه‌های فیلیت و ماسه‌سنگ، در محدوده شیل و ماسه‌سنگ‌های غنی از آهن قرار می‌گیرند (شکل B-۷). مقایسه میان Mg نمونه‌های مربوط به فیلیت، شیل و آهک (۰/۴ تا ۱/۲۲ درصد) حسین‌آباد با مقدار میانگین منیزیم در قشر پوسته‌ای (۲/۳۳ درصد از وینوگرادوو (۱۹۶۲)) می‌تواند به کاهیدگی مقدار منیزیم در زمان تشکیل سنگ، بالآمدگی/ هوازدگی و یا دولومیتی‌شدن ضعیف، در سنگ‌های منطقه حسین‌آباد اشاره کند. اگر چه مقدار منیزیم در سنگ‌های آهکی سرب و روی رباط به دو برابر مقدار استاندارد منیزیم در قشر پوسته‌ای افزایش یافته است (آدابی و جمالیان، ۱۳۸۶). مقدار Pb در شیل و ماسه‌سنگ سالم (۱۵۳ تا ۳۸۶ گرم در تن) به میانگین سرب در قشر پوسته (۱۲/۵ گرم در تن، از تورکیان و ودفول (۱۹۶۱)) نشان می‌دهد که از ابتدا مقدار سرب در سنگ‌های آواری ژوراسیک منطقه حسین‌آباد بالا بوده است. با مقایسه عناصر فرعی دو نمونه مربوط به شیل سالم و فاقد کانی‌سازی حسین‌آباد با سایر شیل‌های سیاه جهان (ابوالانوار، ۲۰۱۶)، غنی‌شدگی واضحی در عناصر سرب، روی و منگنز در شیل دیده می‌شود.

به‌منظور تعیین جایگاه زمین‌ساختی، سنگ‌های آواری کمی دگرگون منطقه حسین‌آباد در نمودار K_2O/Na_2O در برابر SiO_2/Al_2O_3 و در نمودار DF1 در برابر DF2 در جایگاه حاشیه قاره‌ای فعال (ACM) قرار گرفته‌اند (شکل C-۷ و D). جایگاه ACM، با بررسی‌های موسوی‌راد و همکاران (۲۰۱۲) سازگاری دارد و فعالیت کوهزایی سیمین دوره ژوراسیک را تایید می‌کند.

نسبت $V/(V+Ni)$ ، در سنگ‌های آواری فاقد کانی‌سازی > 0.6 می‌باشد که نشان می‌دهد شرایط دیرینه اکسایش-کاهش محیط رسوبی توالی ژوراسیک حسین‌آباد، نسبتاً کم اکسیژن و احیایی بوده است که با حضور پیریت‌های تمشکی و مواد آلی در این سازند سازگاری دارد. اندازه پیریت‌ها ۵ تا ۱۰ میکرومتر به محیط کم اکسیژن اشاره دارد (جاکوبز و همکاران، ۱۹۸۵؛ جونز و میننگ، ۱۹۹۴). مقدار Sr و Na در نمونه آهک حسین‌آباد (به ترتیب ۱۶۸ و ۷۴۱ گرم در تن) در مقایسه با کانسار سرب و روی رباط با میزبانی آهک (میانگین هر دو عنصر، ۳۵ گرم در تن) بالاست در حالی که مقدار Mn و Fe در آهک حسین‌آباد (به ترتیب ۱۸۲ و ۲۲۰۰ گرم در تن) در مقایسه با آهک

تقریبی ۳۵ متری سبب راندگی واحدهای کرتاسه فرادیواره بر روی واحدهای شیلی و سیلت‌استونی ژوراسیک دگرگون شده فرودیواره شده است (شکل A-۶). همراهی رگه‌های کوارتز و کلسیت با امتداد کلی شمالی-جنوبی، با عرض‌های مختلف از ۱/۵ تا ۱۳ سانتی‌متری، با این پهنه گسلی که بیشتر در واحد اسلیتی تا فیلیتی ژوراسیک تشکیل شده‌اند مؤید جهت تنش شمالی-جنوبی ایجاد کننده گسل معکوس است (شکل B-۶ و C). حرکت معکوس پهنه گسلی حسین‌آباد سبب خمیدگی و چین‌خوردگی واحدهای فرادیواره و فرودیواره شده به گونه‌ای که سبب ایجاد تاقدیس فرادیواره‌ای و ناودیس فرودیواره‌ای بزرگ مقیاس با امتداد خاوری-باختری در محدوده معدنی حسین‌آباد شده است. رگه‌های اندازه‌گیری شده در واحدهای ژوراسیک و کرتاسه هر دو دارای دو آرایش باختری-خاوری و شمالی-جنوبی با شیب بیشتر از ۷۴ درجه هستند (شکل B-۶ و C). از سوی دیگر بخشی از کانی‌سازی در کانسار حسین‌آباد از نوع برشی است که این ذخیره نوع برشی عمدتاً در برش‌های مجاورت پهنه گسلی^۱ خاوری-باختری حسین‌آباد توزیع و جانشین شده است (شکل D-۶) و با فاصله گرفتن از آن پهنه گسلی، این نوع کانی‌سازی مشاهده نشده است. اندازه‌گیری‌های انجام گرفته روی هندسه کانی‌سازی ذخیره، نشانگر آن است که ذخیره معدنی با ضخامت تقریبی ۲۰ متر موازی و به‌طور هم‌شیب با پهنه گسلی حسین‌آباد در طول پهنه گسل معکوس آرایش یافته است.

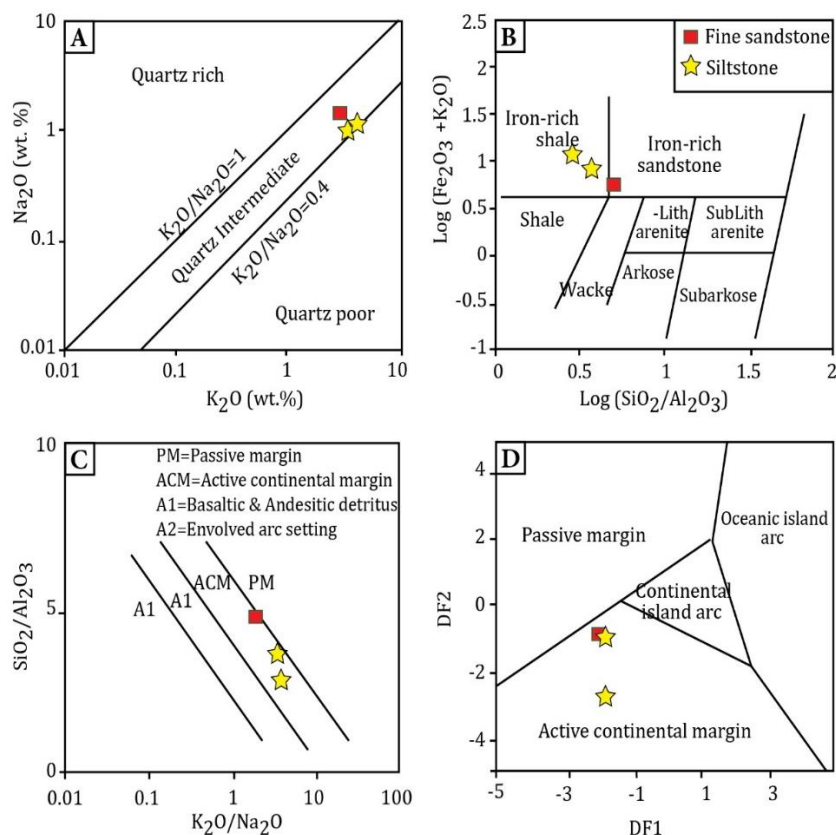
زمین‌شیمی سنگ میزبان

به منظور بررسی زادگاه رسوبی سنگ میزبان (شیل فیلیتی، ماسه‌سنگ کمی دگرگون شده) و آهک تجزیه شدند. مقدار اکسید سیلیسیوم در فیلیت و ماسه‌سنگ‌های حسین‌آباد بین ۶۴/۵ تا ۷۲/۳۲ درصد است (جدول ۱). نسبت SiO_2/Al_2O_3 بین ۲/۷۴ تا ۴/۸۵ متغیر است که نشان می‌دهد سنگ‌های آواری از درجه بلوغ بالایی برخوردار نیستند. نسبت میانگین K_2O در مقابل Na_2O آواری‌های منطقه مورد مطالعه (شکل A-۷) می‌تواند به مقدار متوسط کوارتز در سنگ اشاره کند (کرووک، ۱۹۷۴). در تقسیم‌بندی سنگ‌های رسوبی در نمودار $Log(SiO_2/Al_2O_3)$ به $Log(Fe_2O_3 + K_2O)$ از (هرون،

¹ Fault breccia

حسین‌آباد قرار دارد (شکل ۲) به دلیل تاثیر دیاژنز، کاهیدگی در عناصر Sr و Na و غنی‌شدگی در عناصر Mg، Mn و Fe نشان می‌دهد (آدابی و جمالیان، ۱۳۸۶).

رابط (به ترتیب ۸۱۰ و ۳۰۱۵ گرم در تن) کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد آهک منطقه حسین‌آباد بر خلاف آهک رباط کمتر تحت تاثیر دیاژنز آب‌های گرم قرار گرفته است. آهک رباط که در نزدیکی



شکل ۷. موقعیت سنگ‌های آواری دگرگون شده حسین‌آباد بر روی نمودارهای زمین‌شیمی. A. بر روی نمودار کروک (۱۹۷۴). B. رده‌بندی سنگ به کمک نمودار (هرون، ۱۹۸۸). C. جایگاه زمین‌ساختی نمونه‌ها بر روی نمودار (رزو و کورچ، ۱۹۸۶). D. نمودار تفکیک کننده تابعی ماسه‌سنگ‌ها، جایگاه زمین‌ساختی (باتیا، ۱۹۸۳).

زمین‌شیمی کانسنگ

سولفوسالت اشاره دارد. ضریب همبستگی سرب-روی کم (۰/۴۳) است که می‌تواند بخاطر وجود نسل‌های متفاوت کانی‌های اسفالریت و گالن در کانی‌سازی باشد. نسبت $Zn/(Zn+Pb)$ اندازه‌گیری شده در نمونه‌های کانسنگ برابر ۰/۸۹ می‌باشد. این نسبت همانند کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی بزرگ‌تر از ۰/۵ می‌باشد. همچنین نسبت $Pb/(Pb+Zn)$ در نمونه‌های کانسنگ (۴۲ نمونه) برداشت شده از دوازده مغزه حفاری حسین‌آباد بین ۰/۰۵ تا ۰/۴۸ (میانگین ۰/۲۵) و نسبت $(Ag \times 100)/(Ag \times 100 + Pb)$ بین ۰/۱۱ تا ۰/۲۴ (میانگین ۰/۱۵) می‌باشد. در حالی که در نوع سرب و روی با میزبان کلاستیک کمی دگرگون‌شده، نسبت اولی بین ۰/۵۱ تا ۰/۷۲ و دومی بین ۰/۲۲ تا ۰/۶۳ است (بیودوئن و سنگستر، ۱۹۹۶).

پس از محاسبه نسبت میانگین به کلارک عناصر موجود در نمونه‌های سنگی حسین‌آباد (جدول ۱)، عناصر سرب، روی، نقره، آنتیموان و آرسنیک غنی‌شدگی بسیار زیاد و مس، کادمیوم و پتاسیم غنی‌شدگی متوسطی نشان می‌دهند. مقادیر کلارک عناصر سرب، روی، نقره، آنتیموان و آرسنیک در سنگ‌های رسوبی بترتیب ۱۲/۵، ۷۰، ۰/۰۷ و ۰/۲ گرم در تن می‌باشد (کلارک و واشینگتون، ۱۹۲۴). با بررسی‌های آماری، بیشترین ضریب همبستگی بین جفت عناصر سرب-نقره، نقره-مس و سرب-مس به اندازه ۰/۸۹، ۰/۸۴ و ۰/۷۶ می‌باشد که به ارتباط ژنتیکی سه عنصر در محلول کانی‌ساز اشاره دارد. ضریب اول به حضور نقره در شبکه بلوری گالن، و ضرایب دوم و سوم به وجود

جدول ۱. مقادیر اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی در سنگ‌های آواری کمی دگرگون شده و کربنات‌های منطقه سرب و روی حسین‌آباد، اکسیدهای اصلی بصورت درصد و عناصر فرعی بصورت گرم در تن می‌باشد.

نام سنگ	آهک	سیدریت	آواری	آواری	آواری	آواری	دگرسان	دگرسان	کانسنگ	کانسنگ	کانسنگ
Wt. %	M6	M3	M10	M7	M8	M2	M1	M4	M5	M9	M11
SiO ₂	2.17	0.90	72.32	64.70	57.21	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	n.d	n.d	0.66	0.94	0.92	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0.99	0.31	14.91	17.96	20.84	-	-	-	-	-	-
FeO	0.19	0.42	1.74	3.53	2.32	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0.42	0.93	3.86	5.16	7.85	-	-	-	-	-	-
MnO	0.10	0.49	0.10	0.23	0.10	-	-	-	-	-	-
MgO	0.56	0.31	0.97	0.97	1.96	-	-	-	-	-	-
CaO	53.26	54.11	0.18	0.37	0.46	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	n.d	n.d	1.39	1.05	1.01	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0.20	n.d	2.75	4.00	3.68	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	n.d	n.d	0.11	0.13	0.21	-	-	-	-	-	-
SO ₃	n.d	n.d	0.16	0.21	0.18	-	-	-	-	-	-
LOI	42.25	42.8	2.51	2.24	3.32	-	-	-	-	-	-
Total	100.14	100.27	101.66	101.49	100.06	-	-	-	-	-	-
ppm											
Sr	168	209	29	37	44	39	18	77	34	17	-
Ni	18	17	33	41	43	39	28	44	25	26	-
Pb	1222	201	386	268	153	75	846	56	77463	20121	5503
Co	1	n.d	13	14	14	8	6	22	4	127	-
Zn	99	98	3154	166	451	182	170	84	3937	10000	60784
Cr	14	5	107	74	76	104	33	94	71	17	-
V	18	11	69	93	99	117	35	41	15	18	-
Y	3	7	4	4	4	5	10	7	1	5	-
Sc	n.d	n.d	6	9	8	12	4	4	n.d	2	-
La	3	2	10	6	5	10	8	9	2	2	-
Ce	7	5	25	17	16	27	20	22	4	5	-
Cu	18	19	26	15	62	56	18	15	369	267	59
Ag	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	2	n.d	34.0	39.0	5.6
Sb	n.d	n.d	3	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	43	92	-
As	12	13	21	28	17	11	7	18	8	85	-
DF1	-	-	4.40	3.86	3.35	-	-	-	-	-	-
DF2	-	-	-0.92	-0.84	-2.73	-	-	-	-	-	-

۱۹۸۴). محتوای درصد مولار FeS اسفالریت‌ها بین ۰/۷۱ تا ۹/۴۴ درصد متغیر است.

زمین‌شیمی ایزوتوپ سرب

لیچ و همکاران (۲۰۰۵) اعتقاد دارند داده‌های ایزوتوپی سرب کانسارهای سرب و روی رسوبی، افق‌های روشنی را بر شناسایی منبع احتمالی آن‌ها بیان می‌کنند هرچند سن مدل‌های سرب به‌دست آمده کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی، ارتباط ضعیفی با سن قطعی کانه‌زایی خواهند داشت و سن مدل‌های سرب در کانسارهای نوع رسوبی - برون‌دمی قدیمی‌تر از سنگ میزبان‌شان هستند. در ادامه، نتایج یک نمونه از گالن که برای ایزوتوپ سرب مورد تجزیه گردید در جدول ۳ آمده است. نسبت $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ و $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ به ترتیب ۱۸/۳۵، ۱۵/۶۷ و

شیمی اسفالریت

در منطقه حسین‌آباد، دو نسل اسفالریت‌های آهن‌دار با بافت بیماری کالکوپیریت و اسفالریت‌های کادمیوم‌دار با محتوای کلی روی بین ۶۱/۲ تا ۶۵/۷ درصد وزنی، قابل شناسایی هستند. بر اساس تجزیه نقطه‌ای، ترکیب شیمیایی اسفالریت‌های آهن‌دار، ۵/۱۴ و ۵/۴۶ درصد وزنی آهن و ۰/۲۰ و ۰/۳۷ درصد وزنی کادمیوم، دارند در حالیکه اسفالریت‌های فقیر از آهن، بین ۰/۴ تا ۲/۸۴ درصد وزنی آهن و بین ۰/۱ تا ۱/۷۶ درصد وزنی کادمیوم نشان می‌دهند (جدول ۲). نسبت Zn/Cd در اسفالریت‌های کانسار حسین‌آباد در محدوده ۳۶ تا ۵۸۱ می‌باشد. نسبت بالاتر Zn/Cd در کانسارهای آتشفشانی رسوبی (۴۱۷-۵۷۳) و سدکس (۲۱۱-۵۱۰) و نسبت پایین‌تر Zn/Cd در نوع دره می‌سی‌سی‌پی (۱۷-۲۰۱) وجود دارد (سوشن،

می‌گیرد (شکل ۸-۸). نسبت بالاتر $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ نقش اساسی پوسته در تامین فلز سرب را تایید می‌کند.

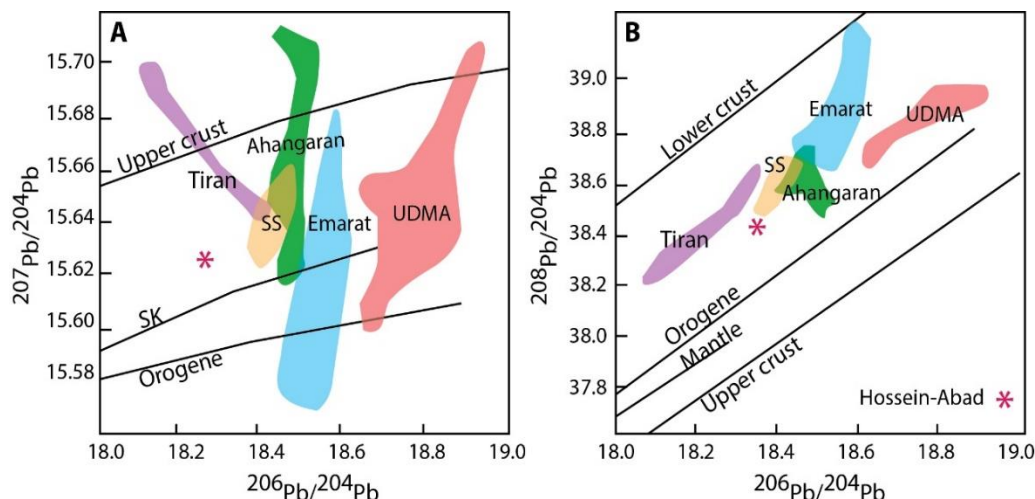
۳۸/۴۳ می‌باشد (جدول ۳). در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ نمونه گالن نزدیک به منحنی پوسته بالایی از نمودار سرب-سرب مربوط به (زارتمن و دوئی، ۱۹۸۱) قرار

جدول ۲. نتایج تجزیه نقطه‌ای ریزکاو الکترونی بر روی کانی اسفالریت

weight%									mol %			
Zn	Fe	Cd	Sr	As	Ba	Pb	S	Total	Zn/Cd	FeS	CdS	ZnS
63.94	2.84	0.11	0.04	0.07	0.00	0.67	33.00	100.75	581.27	4.94	0.09	94.96
61.21	5.46	0.20	0.09	0.00	0.00	0.02	32.36	99.34	306.05	9.44	0.17	90.38
61.37	5.14	0.37	0.04	0.00	0.74	0.55	31.90	100.11	165.86	8.90	0.32	90.78
64.97	0.44	1.76	0.00	0.00	0.77	0.36	32.10	100.51	36.92	0.77	1.55	97.68
65.66	0.40	0.24	0.00	0.00	0.10	0.00	31.84	98.31	273.58	0.71	0.21	99.08

جدول ۳. نتایج تجزیه ایزوتوپی سرب نمونه‌ی گالن کانسار حسین‌آباد.

نام نمونه	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ (%)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ (%)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ (%)	Model age (Ma)
HG	18.34562	0.08	15.67488	0.08	38.42586	0.09	Triassic-Jurassic



شکل ۸. نسبت‌های ایزوتوپ سرب از نمونه‌ی گالن منطقه حسین‌آباد روی نمودار پلومبوتکتونیک سرب (plumbotectonic) از زارتمن و دوئی (۱۹۸۱) و منحنی استیسی و کرامرز (۱۹۷۵). سایر اطلاعات سرب از ارومیه-دختر (UDMA)، سنندج-سیرجان (SS) از میرنژاد و همکاران (۲۰۱۱) و سرب عمارت از احیا و همکاران (۲۰۱۰)، سرب تیران از نژادحداد و همکاران (۲۰۱۸) و نتایج ایزوتوپی سرب آهنگران از معانی‌جو و همکاران (۲۰۲۰).

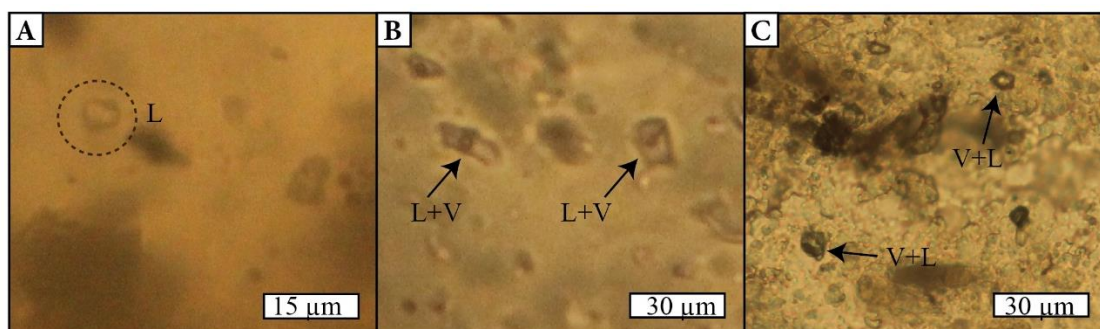
عمدتاً از رسوبات تغییر شکل یافته کوهزایی زاگرس و سنگ‌های ماگمایی مزوزوئیک ساخته شده که می‌تواند منبعی برای سرب، روی و نقره در نظر گرفته شوند. در بررسی‌های اخیر، معانی‌جو و همکاران (۲۰۲۰)، منبع سرب آهنگران را به مجموعه دگرگونی پالئوزوئیک نسبت داده‌اند. از آنجایی که معمولاً ترکیبات ایزوتوپی سرب در طی دگرسانی حفظ می‌شوند شباهت ترکیبات سرب این کمربند، می‌تواند یک منشأ مشترک را پیشنهاد کند. ترکیبات ایزوتوپی سرب حسین‌آباد شبیه به سایر کانسارهای سرب و روی نوع می‌سی‌سی‌پی کمربند آپالاش مرکزی می‌باشد که می‌تواند یک پی‌سنگ مشابه داشته باشند. کریم‌پور و صادقی (۲۰۱۸) مقادیر رادیوژنیک بسیار

در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ نمونه بین محدوده پوسته زیرین و پوسته بالایی جای گرفته است که گوپای منشأ سرب از دو منبع پوسته‌ای و گوشته‌ای و آمیختگی با رخداد کوهزایی است. سایر کانسارهای سرب کمربند ایرانکوه-آهنگران نیز رفتار مشابه را نشان می‌دهند (احیاء و همکاران، ۱۳۸۷؛ میرنژاد و همکاران، ۲۰۱۵) (شکل ۸-۸). میرنژاد و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی کانسارهای سرب و روی چاه‌سرب (ایران مرکزی) و اهوانو (پهنه البرز)، نشانه‌های ایزوتوپ سرب را میراثی از رسوبات شمشک می‌دانند. نژادحداد و همکاران (۲۰۱۸)، غیر همگن بودن سرب را به منبع کوهزایی منتج از یک پی‌سنگ قاره‌ای مربوط می‌دانند چرا که سنندج-سیرجان

مطالعه ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال

اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی بر روی میان‌بارهای اولیه از کانی‌های اسفالریت، کوارتز، کلسیت و سیدریت انجام گرفت. از نظر پتروگرافی میان‌بارهای سیال موجود با شکل‌های کروی، دوکی، نامنظم و چندضلعی و با اندازه بین ۴ تا ۳۰ میکرون بوده است. به‌طور کلی در نمونه‌های بررسی شده سه نوع میان‌بار سیال تشخیص داده شده است (شکل ۹): ۱- تک فازی مایع (L)، ۲- دو فازی غنی از مایع (LV) و ۳- دو فازی غنی از بخار (VL).

پایین ایزوتوپ‌های سرب کمربند ایرانکوه-آهنگران را به منشأ پوسته اقیانوسی فرورونده که آغشتگی با سنگ‌های پی‌سنگی داشته است نسبت می‌دهند. با توجه به اینکه سن مدل سرب به‌دست آمده از حسین‌آباد (۲۰۰-۲۱۰ میلیون سال؛ تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین) همانند سرب و روی آهنگران (حسینخانی و ملاصالحی، ۱۳۹۳؛ معانی‌جو و همکاران، ۲۰۲۰) کمی قدیمی‌تر از سنگ میزبان است به نظر می‌رسد سرب به مقدار زیادی از پی‌سنگ‌های دگرگون شده تریاس-ژوراسیک اشتقاق یافته است.



شکل ۹. تصاویری از انواع میان‌بارهای سیال در منطقه حسین‌آباد، A. سیالات تک فازی مایع به‌شکل کروی و به‌صورت دانه‌ای، B. سیالات اولیه دو فازی L+V به‌شکل چهارگوش، C. سیالات دو فازی V+L.

جدول ۴. داده‌های ریزدماسنجی بر روی میان‌بارهای سیال کانسار حسین‌آباد. T_{FM} : دمای ذوب اولین قطعه یخ، T_{LM} : دمای ذوب آخرین قطعه یخ، T_H : دمای همگن‌شدن).

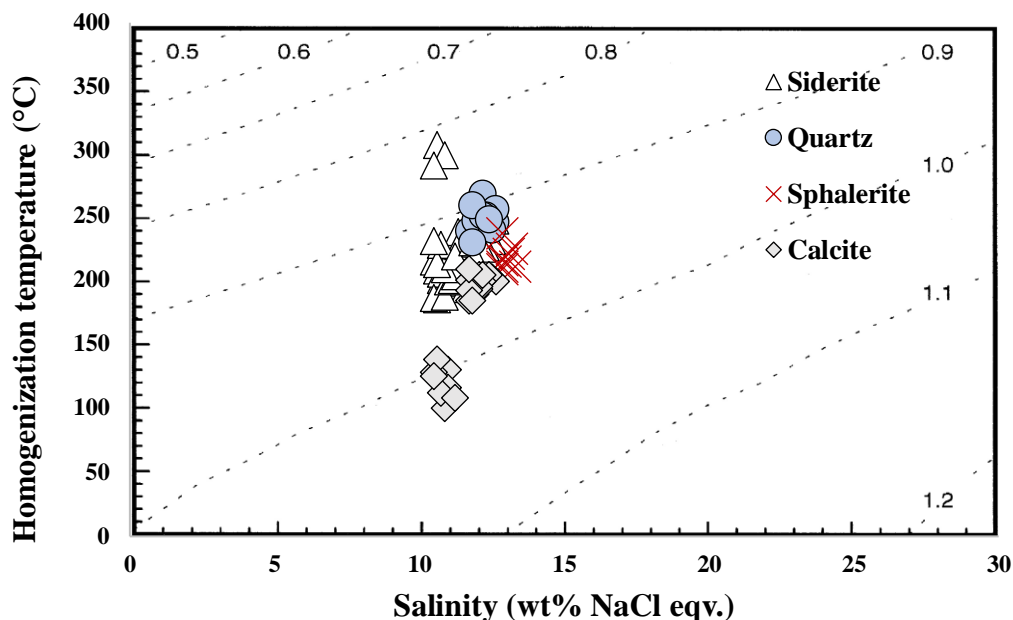
Type of mineral	N	T_{FM} (°C) Range	N	T_{LM} (°C) Range	N	T_H (°C) Range	Salinity (wt.%)	Density
sphalerite	8	-55 to -55.6	8	-9 to -9.3	8	208 to 236	12.85 to 13.29	0.93 to 0.96
siderite	42	-55 to -57	42	-7 to 8.7	42	185 to 305	10.49 to 12.62	0.83 to 0.96
quartz	15	-55.1 to -56.1	15	-8 to -8.8	15	229 to 267	11.70 to 12.62	0.90 to 0.93
calcite	23	-55 to -56	23	-7 to -8.8	44	100 to 208	10.50 to 12.63	0.95 to 1.03

درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. دمای ذوب آخرین قطعه یخ بین ۸- تا ۸/۸- متغیر است. شوری محاسبه شده کوارتز از ۱۱/۷ تا ۱۲/۶۲ درصد وزنی نمک طعام تغییر می‌کند. دمای همگن‌شدگی در میان‌بارهای کلسیت بین ۱۰۰ تا ۲۰۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. درجه شوری کمینه و بیشینه کلسیت میان ۱۰/۵ تا ۱۲/۶۳ درصد وزنی معادل نمک طعام است. چگالی کل اندازه‌گیری شده در این میان‌بارهای سیال بین ۰/۸۳ تا ۱/۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند به‌طوری‌که پدیده افزایش چگالی با کاهش دما به چشم می‌خورد که نشانگر پدیده جوشش است (شکل ۱۰). بر پایه نمودار تغییرات دمای همگن‌شدگی در برابر شوری، عامل ته‌نشست کانه‌زایی در کانسار

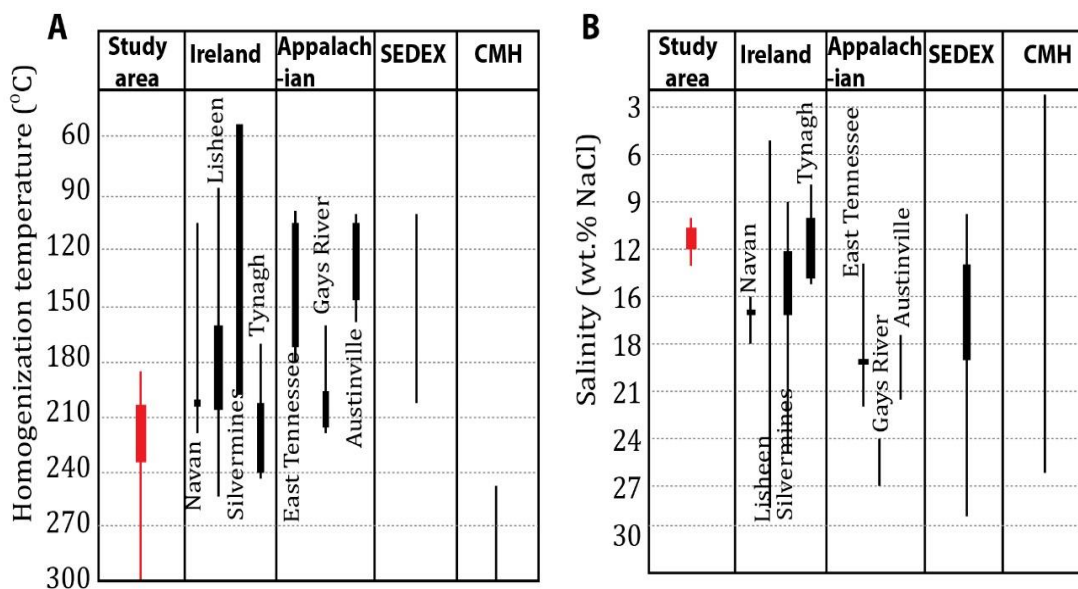
محدوده دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای کانی اسفالریت، بین ۲۰۸ تا ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد متغیر است (جدول ۴). دمای ذوب اولین قطعه یخ و دمای ذوب آخرین قطعه یخ میان‌بارهای آن به‌ترتیب بین ۵۵- تا ۵۵/۶- و ۹- تا ۹/۳- تغییر می‌کند. میزان شوری اندازه‌گیری شده برای میان‌بارهای اسفالریت بین ۱۲/۸۵ تا ۱۳/۲۹ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد. دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای کانی سیدریت از ۱۸۵ تا ۳۰۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بر اساس دمای ذوب نهایی یخ، میزان شوری اندازه‌گیری شده برای میان‌بارهای سیال دوفازی سیدریت، بین ۱۰/۴۹ تا ۱۲/۶۲ درصد وزنی نمک طعام متغیر است. دمای همگن‌شدگی در میان‌بارهای کوارتز بین ۲۲۹ تا ۲۶۷

زیرشاخه‌های نوع دره می‌سی‌سی‌پی مشتمل بر آپالاش، ایرلندی و نوع سرب و روی با میزبان کلاستیک کمی دگرگون‌شده یا CMH) در شکل ۱۱ آمده است.

سرب و روی حسین‌آباد، فرآیند سردشدگی و یا کاهش فشار محلول کانه‌دار می‌باشد. ویژگی‌های سیال موثر بر کانه‌زایی، با مقایسه دما و شوری کانسار حسین‌آباد با کانسارهای سرب و روی رسوبی جهان (نوع سدکس و



شکل ۱۰. تغییرات دمای همگن‌شدگی در برابر شوری جهت تعیین دامنه تغییرات چگالی میان‌بارهای سیال کانسار حسین‌آباد، برگرفته از (بودنر، ۱۹۸۳؛ ویلکینسون، ۲۰۱۰).



شکل ۱۱. مقایسه دمای همگن‌شدگی و شوری سیال کانه‌دار منطقه حسین‌آباد با سایر کانسارهای سرب و روی رسوبی جهان (بیودونن و سنگستر، ۱۹۹۶؛ لیچ و همکاران، ۲۰۱۰).

ایزوتوپی را در برمی‌گیرد (لیچ و همکاران، ۲۰۰۵؛ لیونز و همکاران، ۲۰۰۶). همانطور که در بخش زمین‌شناسی اشاره شد، سنگ میزبان کانسار حسین‌آباد، واحد رسوبی-آواری کمی دگرگون شده با سن ژوراسیک می‌باشد. در

خاستگاه گوگرد و سرب سیالات کانه‌دار

ترکیبات ایزوتوپ گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) در کانسارهای نوع رسوبی-بروندیمی بازه وسیع با مقادیر مثبت بین ۰ تا ۲۰ پرمیل و در نوع دره می‌سی‌سی‌پی بازه وسیع‌تر تا حتی مقادیر منفی

حاشیه قاره‌ای فعال را نشان می‌دهد که بعدها کم و بیش در حد درجات ضعیف رخساره شیب‌سبز دگرگون شده‌اند. نسبت‌های ایزوتوپ سرب بیانگر آن است که وقوع کانه‌زایی در حسین‌آباد می‌تواند حاصل تحرک مجدد فلز سرب در یک محیط زمین‌ساختی وابسته به کمائی قلمداد می‌شود. مطالعات صحرایی ساختارهای منطقه نشانگر تشکیل کانی‌سازی به موازات پهنه گسلی خاوری-باختری موجود در منطقه است که با فاصله گرفتن از پهنه گسل معکوس اصلی از کانی‌سازی کاسته می‌شود و بررسی‌ها بیانگر ارتباط مستقیم کانه‌زایی اصلی با ساختارهای منطقه بوده که همچنان این گسل‌ها در طی زمان فعالیت داشته‌اند. ویژگی‌های زمین‌شیمیایی کانسنگ بیانگر نقش و ارتباط ژنتیکی عناصر سرب، روی، نقره، مس، آنتیموان و آرسنیک، و تا حدودی کادمیوم و پتاسیم در محلول کانه‌دار است. گستره وسیع تغییرات نسبتی Zn/Cd حاصل از نتایج ریزکاو الکترونی اسفالریت‌های حسین‌آباد (بین ۳۷ تا ۵۸۱) و محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۳۰۵ درجه سانتی‌گراد همراه با شواهد کانه‌نگاری (پیچش رخ‌های گالن و بافت کاتاکلاستیکی پیریت‌ها) می‌تواند بازگو کننده حضور دو نسل سیال کانه‌دار در حسین‌آباد باشد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول می‌باشد. نویسندگان مراتب سپاس خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) ابراز می‌نمایند. همچنین از داوران، سردبیر و مدیر مسئول محترم فصلنامه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، بخاطر نظرات ارزشمندشان قدردانی می‌شود.

منابع

آتش‌مرد، ز.، خدابخش، س.، محسنی، ح.، بهبهانی، ر.، و رفیعی، ب (۱۳۹۰) بررسی محیط‌رسوبی رخساره‌های ماسه‌سنگی ژوراسیک در شمال زون سندرچ-سیرجان: مطالعه موردی، شرق همدان، مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۲، شماره ۳، ص ۱۸-۱۰.

آدابی، م. ح.، جمالیان، م (۱۳۸۶) شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه و نحوه کانسارسازی در کربنات‌های معدن رباط (خمین-اراک). فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۷، شماره ۶۶، ص ۲-۲۳.

مطالعات قبلی از راستین و همکاران (۱۳۸۷)، مقادیر ایزوتوپی گوگرد کانی‌های سولفیدی پیریت، اسفالریت و گالن کانسار حسین‌آباد به ترتیب ۹/۸۶، ۳/۳۳ و ۳/۵۳- پرمیل با میانگین % ۳/۲۲ گزارش شده است. اخیراً محمودی و همکاران (۲۰۲۱) میزان $\delta^{34}\text{S}$ کانی‌های سولفیدی حسین‌آباد را در محدوده ۴/۳- تا ۷/۲+ در هزار بر حسب استاندارد CDT اندازه‌گیری کرده‌اند. این مقادیر ایزوتوپی در کانسار حسین‌آباد با ترکیب سولفات آب دریای تریاس و ژوراسیک توسط لیچ و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد. دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای سیال اسفالریت در بازه ۲۰۸ تا ۲۳۶ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است (جدول ۴). از آنجا که فرآیند احیا باکتری سولفات آب دریا (BSR) تا بیشینه دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند رخ دهد (ماشل، ۲۰۰۱؛ ساتام و ساندرز، ۲۰۰۵)، چنین استنباط می‌شود مقادیر منفی ایزوتوپ گوگرد سولفیدهای حسین‌آباد ممکن است ناشی از کاهش ترموشیمیایی سولفات آب دریا (TSR) باشد. هرچند احیا و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر ایزوتوپی گوگرد (دامنه ۲/۵- تا ۳/۲+ پرمیل) در کانسار باباقله را مشتق از شستشوی پیریت از سنگ میزبان کمی دگرگون شده ژوراسیک کانسار می‌دانند. بر اساس سن مدل سرب-سرب حاصل از تجزیه ایزوتوپی یک نمونه گالن، پی‌سنگ‌های قدیمی تریاس بالایی و ژوراسیک زیرین نقش بسزایی در تامین سرب ذخیره حسین‌آباد دارند و نتایج ایزوتوپی، اشتقاق فلز سرب را از منبع کوهزایی تایید می‌کند.

نتیجه‌گیری

همانند کانسارهای باباقله (احیا و همکاران، ۱۳۸۷) و گل‌زرد (زراسوندی و همکاران، ۲۰۱۴؛ زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۸)، سنگ‌های فیلیت، اسلیت و ماسه‌سنگ دانه‌ریز با سن ژوراسیک، سنگ میزبان اصلی روی و سرب حسین‌آباد هستند هرچند اندکی ناهنجاری سرب در آهک کرتاسه این ناحیه نیز مشاهده شده است (نمونه M6). مطالعات زمین‌شیمی بر روی سنگ آواری فاقد کانی‌سازی، نشان می‌دهد که این توالی آواری بلوغ کافی را طی نکرده است و به یک محیط نسبتاً بسته لاگون با شرایط کم اکسیژن و احیایی نسبت داده می‌شود که غنی از آهن و تا حدودی عنصر سرب بوده است. به کمک بررسی زمین-شیمی پژوهش حاضر، زمین‌ساخت دیرینه آن، جایگاه

- (Ag-Ba) deposit, south Esfahan, Iran. *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 194: 61-90.
- Clarke, F. W. and Washington, H. S (1924) The composition of the earth's crust (Vol. 127). US Government Printing Office.
- Crook, K. A. W (1974) Lithogenesis and geotectonics: The significance of compositional variation in flysch arenites (graywackes), in Dott, R. H., Jr., and Shaver, R. H., eds., *Modern and ancient geochemical sedimentation: Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec*, 19: 304-309.
- Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I (2010) Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. *J. Asian Earth Sci*, 37 (2) 186-194.
- Fossen, H (2010) *Structural geology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, first 480. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511777806>.
- Ghazban, F., McNutt, R. H. and Schwarcz, H. P (1994) Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan area, west-central Iran. *Econ. Geol*, 89 (6) 1262-1278.
- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58: 820-829.
- Jacobs, L., Emerson, S. and Skei, J (1985) Partitioning and transport of metals across the O₂ /H₂S interface in a permanently anoxic basin: Framvaren Fjord, Norway. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 1433-1444.
- Jankovic, S. and Petraschek W. E (1987) Tectonics and Metallogeny of the Alpine Himalayan belt in the Mediterranean area and Western Asia, 10: 169-175.
- Jankovic, S (1977) The copper deposits and geotectonic setting of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineral Deposita*, 12: 37- 47.
- Jones, B. and Manning, D. A. C (1994) Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstone. *Chemical Geology*, 111: 111-129.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Alaminia, Z (2019) New hypothesis on time and thermal gradient of subducted slab with emphasis on dolomitic and shale host rocks in formation of Pb-Zn deposits of Irankuh-Ahangaran belt. *Journal of Economic geology*, 10(2): 677-706.
- Karimpour, M. H. and Sadeghi, M (2018) Dehydration of hot oceanic slab at depth 30-50km: KEY to formation of Irankuh-Emarat Pb-Zn MVT belt, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 194: 88-103.
- Leach, D (2010) Sediment-hosted lead-zinc in earth history. *Economic Geology*, 105: 593-625.
- احیاء، ف.، لطفی، م.، رسا، ا (۱۳۸۷) کانی‌سازی سرب و روی ژوراسیک در باباقله. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۴، ص ۲۴۴-۲۳۴.
- راستین، و.، زاده نیلساز، ا.، لطفی، م.، و قادری، م (۱۳۸۷) بررسی کنترل‌کننده‌های زایشی بر پایه ژئوشیمی ایزوتوپی در ارتباط با فرآیندهای زمین‌شناختی معادن سرب و روی لکان و کوه بیشالی (حسین‌آباد) واقع در باختر و شمال-باختری خمین (استان مرکزی). مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- رضایی روزبهانی، پ.، حمدی، ب (۱۳۸۷) چینه‌نگاری نهشته‌های کرتاسه در هفتاد قله خاور اراک. فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۷، شماره ۶۸، ص ۹۴-۱۰۷.
- حسینخانی، ا.، ملاصالحی، ف (۱۳۹۳) مطالعات کانی‌شناسی سرب و نقره و بررسی‌های ایزوتوپی سرب در معدن آهنگران ملایر. فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۴، شماره ۹۴، ص ۳۵۹-۳۶۸.
- معانی‌جو، م.، وفایی‌زاد، م.، و آلیانی، ف (۱۳۹۴) مطالعه سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد، شواهدی بر منشا کانسار سرب-نقره آهنگران، جنوب شرق ملایر، نشریه زمین‌شناسی اقتصادی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۳۴۳-۳۶۷.
- AbouEl-Anwar, E. A (2016) Mineralogical, petrographical, geochemical, diageneses and provenance of the Cretaceous Black Shales, Duwi Formation at Quseir-Safaga, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Petroleum*, 12.
- Aghanabati, A (1998) Major sedimentary and structural units of Iran (map): *Geosciences*, 7: 29-30.
- Aghanabati, A (2004) *Geology of Iran: Tehran, Geological Survey of Iran Press*. 707.
- Beaudoin, G. and Sangster, D. F (1996) Clastic metasediment-hosted vein silver-lead-zinc. In *geology of Canadian mineral deposit types*, (ed.) O. R. Eckstrand, W. D. Sinclair, and R. I. Thorpe; Geological survey of Canada. *Geology of Canada*, 8, 393-398.
- Bhatia, M. R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91: 611-627.
- Bjorlykke, A. and Sangster, D. F (1981) An overview of sandstone lead deposit and their relation to red bed copper and carbonate-hosted lead-zinc deposits. *Economic Geology*, 75: 179-213.
- Bodnar, R (1983) A method of Calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid. *Economic Geology*, 78 (3) 535-542.
- Boveiri Konari, M., Rastad, E. and Peter, J (2017) A sub-seafloor hydrothermal syn-sedimentary to early diagenetic origin for the Gushfil Zn-Pb

- mining district, Isfahan, Sanandaj-Sirjan zone (Iran), *Ore Geology Reviews*, 80, 38.
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C (2012) Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. *International Geology Review*, 54: 1649-1672.
- Roedder, E (1984) Fluid inclusions. Rev, In *Mineralogy 12*, Washington: Mineral, Soc. Am.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94: 635-650.
- Southam, G. and Saunders, J. A (2005) The geomicrobiology of ore deposits. *Economic Geology*, 100: 1067-1084.
- Stacey, J. S. and Kramers, J. D (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26: 207- 22.
- Turekiank, K. and Wedepohl, H (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Bull. Geol. Sot. Amer*, 72: 175-192.
- Vaasjoki, M. And Gulson, B. L (1986) Carbonate-hosted base metal deposits; lead isotope data bearing on their genesis and exploration. *Economic Geology*, 81: 156-172.
- Vinogradov, A. P (1962) Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust. *Geokhimiya*, 7: 641-664.
- Wilkinson, J. J (2001) Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55 (1): 229-272.
- Xuexin, S (1984) Minor elements and ore genesis of the Fankou lead-zinc deposit, China. *Miner. Depos*, 19: 95-104.
- Zartman, R. E. and Doe, B. R (1981) Plumbotectonics - the model: *Tectonophysics*, 75: 135-162.
- Ziserman, A. and Momenzadeh, M (1972) Study on Arak-Esfahan lead-zinc mines. *Geological Survey of Iran* 60, 16.
- Leach, D., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J., and Walters, S (2005) Sediment hosted lead-zinc deposits: A global perspective. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 561-607.
- Liu, Y., Songa, Y., Fard, M., Zhou, L., Hou, Z. and Kendrick, M. A (2019) Pyrite Re-Os age constraints on the Irankuh Zn-Pb deposit, Iran, and regional implications. *Ore Geology Reviews*, 104: 148-159.
- Lyons, T. W., Gellatly, A. M., McGoldrick, P. J., Kah, L. C (2006) Proterozoic sedimentary exhalative (SEDEX) deposits and links to evolving global ocean chemistry. *Memoris Geol. Soc. Am.* 198, 169.
- Maanijou, M., Fazel, E. T., Hayati, S., Mohseni, H. and Vafaei, M (2020) Geology, fluid inclusions, C-O-S-Pb isotopes and genesis of the Ahangaran Pb-Ag (Zn) deposit, Malayer-Esfahan Metallogenic Province, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 195, 104339.
- Mahmoodi, P., Rastad, E., Rajabi, A. and Peter, J (2018) Ore facies, mineral chemical and fluid inclusion characteristics of the Hossein-Abad and Western Haft-Savaran sediment-hosted Zn-Pb deposits, Arak Mining District, Iran. *Ore Geology Reviews*, 95: 342-365.
- Machel, H. G (2001) Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings-old and new insights. *Sed. Geol.* 140: 143-175.
- Mirnejad, H., Simonetti, A. and Molasalehi, F (2011) Pb isotopic compositions of some Zn-Pb deposits and occurrences from Urumieh-Dokhtar and Sanandaj-Sirjan tectonic belts in Iran. *Ore Geology Reviews*, 39: 181-187.
- Mirnejad, H., Simonetti, A. and Molasalehi, F (2015) Origin and formational history of some Pb-Zn deposits from Alborz and Central Iran: Pb isotope constraints, *International Geology Review*, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2015.1013510>.
- Moosavirad, S. M., Janardhana, M. R., Sethumadhav, M. S. and Prakash Narasimha, M. S (2012) Geochemistry of Lower Jurassic sandstones of Shemshak formation, Kerman basin, Central Iran: Provenance, source weathering and tectonic setting, *Journal geological society of India*, 79: 483-469.
- Nejadhada, M., Taghipour, B., Zarasvandi, A. and Karimzadeh Somarin, A (2016) Geological, geochemical, and fluid inclusion evidences for the origin of the Ravanj Pb-Ba-Ag deposit, north of Delijan city, Markazi Province, Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24: 1501-1526.
- Nejadhada, M., Taghipour, B. and Lentz, D (2018) Geochemical, isotopic, and fluid inclusion signatures of Zn-Pb mineralization in the Tiran

Geochemical and structural studies of the Hossein-Abad Zn-Pb ore deposit (Markazi Province)

M. Khosrobeigy¹, Z. Alaminia², M. Tadayon³, M. A. Jazi⁴

1-M. Sc. in Economic Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept. of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3-Assist. Prof., Dept. of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

4-Ph. D in Economic Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* z.alaminia@sci.ui.ac.ir

Received: 2022/2/19 Accepted: 2022/6/15

Abstract

Hosein-Abad Jurassic slate and phyllite-hosted Zn-Pb ore deposit is located in the northern Irankuh-Ahangaran metallogenic belt. Structural investigations document the study area was structurally controlled by a northward-steeply dipping Hossein-Abad reverse fault zone with thickness of 20 meters where it cuts through the Jurassic-Cretaceous units and effected mineralization. Main mineralization of sphalerite, galena and subordinate pyrite, and minor chalcopyrite have been occurred in form of brecciation, vein-veinlet, and replacement textures as epigenetic mineralization. The main alteration minerals are quartz, siderite, calcite, dolomite, sericite, and chlorite. Geochemical investigations decipher active continental margin and anomalously enrichment of Pb and Zn for the metamorphosed Jurassic host rock. Pb, Zn, S, Cu, Ag, and As elements have the genetic relationship with the deposit. The Zn/Cd ratio in sphalerite range from 37 to 581. The Pb-Pb isotope modeling age analysis of galena suggests the remobilization of Pb from Upper Triassic-Lower Jurassic strata as most possible source. The overall ranges of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions range from 100 to 305 °C and from 10.5 to 13.3 wt. % NaCl, respectively. The Hossein-Abad reverse fault caused fault related E-W trending hanging wall anticline and foot wall-syncline, respectively. The drag folds are faded out outward of E-W trending reverse fault zone and turned to its NW-SE origin structural trend. Furthermore, the breccia-type mineralization is dominantly occurred and distributed along the Hossein-Abad reverse fault zone and clearly fade out far from fault zone.

Keywords: Pb-isotope, Reverse fault, Geochemistry, Fluid inclusion, Sanandaj-Sirjan belt.