

زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانه‌زایی آهن در توالی آتشفشانی-رسوبی ژوراسیک کانسار داش‌آغل، شمال شرق بوکان، پهنه سنندج-سیرجان

سجاد مغفوری^{۱*}، مهدی موحدنیا^۲ و محمدرضا حسین‌زاده^۳

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲. دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

کانه‌زایی آهن در کانسار داش‌آغل در شمال شرق شهرستان بوکان، در توالی آتشفشانی-رسوبی ژوراسیک رخ داده است. سنگ میزبان کانه‌زایی در این کانسار ماسه‌سنگ و توف‌های کربناته می‌باشند. با توجه به ژئومتری و ساخت و بافت ماده معدنی، دو تیپ کانه‌زایی در منطقه قابل تشخیص است. کانه‌زایی تیپ اولیه که کانه‌زایی اصلی، اولیه و عمده در منطقه می‌باشد و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان است. ماده معدنی در این نوع کانه‌زایی با بافت‌های توده‌ای، لامینه، دانه‌پراکنده همراه با سیلیس، توف و آهک می‌باشد. کانی‌شناسی کانسنگ شامل هماتیت، مگنتیت، لیمونیت و گوتیت بوده و به‌صورت پراکنده کانی پیریت نیز مشاهده شده است. کانی‌های گانگ از جمله کوارتز، کلسیت، کلریت و فلدسپار ماده معدنی را همراهی می‌کند. کانه‌زایی نوع دوم، شامل مجموعه‌ای از رگه‌های ثانویه و قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ میزبان می‌باشد که در راستای گسل‌های نرمال تشکیل شده بافت ماده معدنی شامل برشی و رگه-رگچه‌ای است. با توجه به مجموع ویژگی‌های شاخص کانه‌زایی در کانسار داش‌آغل از قبیل جایگاه خاص چینه‌ای، ژئومتری ماده معدنی، بافت، توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها و ویژگی‌های ژئوشیمیایی، کانسار آهن داش‌آغل یک نهشته چینه‌سان، با میزبان ماسه‌سنگ-توف کربناتی هست که در توالی آتشفشانی-رسوبی ژوراسیک و در یک حوضه کم‌عمق تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: چینه‌سان، ماسه‌سنگ و توف‌های کربناتی، ژوراسیک، کانسار آهن داش‌آغل، بوکان.

مقدمه

گستره مورد مطالعه در فاصله ۱۳ کیلومتری شمال شرقی بوکان و ۱۹ کیلومتری غرب شاهین‌دژ در حاشیه شمالی پهنه پرتکاپوی سنندج-سیرجان و در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده (Mohajjel et al., 2003) واقع شده است (شکل ۱). در پهنه سنندج-سیرجان شمالی تاکنون ذخایر

* نویسنده مرتبط: S.Maghfoury@modares.ac.ir

فلزی و غیرفلزی مهمی شناسایی شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد غنی از طلا و باریکا در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی زیردریایی دگرگون شده متعلق به کرتاسه تشکیل شده است، اشاره کرد (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین کانسارهای آهن در منطقه شمال غرب همدان (کانسارهای بابا علی (همه کسی)، اندیس چنار

منطقه مورد مطالعه همراه با نمونه‌برداری از کانسنگ‌های آهن و سنگ‌های کمر بالا و کمر پایین در طول و عرض نهشته هست. پس از بررسی‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی با انتخاب و تجزیه ۱۰ نمونه از کانسنگ‌های آهن به روش‌های XRF, XRD, ICP-MS توسط شرکت فولادگستر برای تعیین فازهای کانیایی و عنصری واحدهای سنگی و معدنی انتخاب و در شرکت کانساران بینالود آنالیز شدند. برای مطالعه کانی‌شناسی و کانه‌های آهن، تعداد ۴۵ مقطع نازک و نازک-صیقلی از کانه‌های آهن و سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی و از واحدهای سنگی موجود تهیه شد.

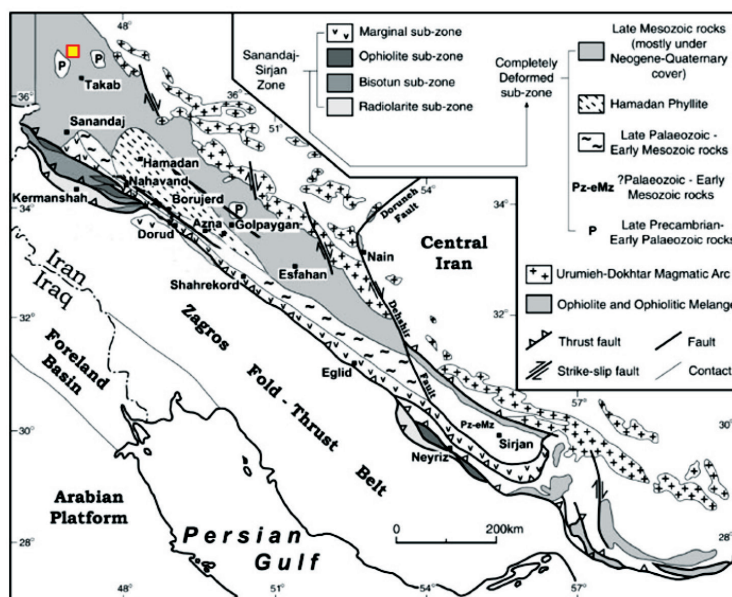
زمین‌شناسی ناحیه‌ای

گستره مورد مطالعه در محدوده نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میان‌دوآب (خدابنده، ۱۳۸۳) و ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد (افتخارنژاد، ۱۳۵۳) واقع شده است. قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای رخنمون در گستره، شامل واحدهای دولومیتی، شیلی، ماسه‌سنگی سازند میلا می‌باشد که در بخش بالایی دولومیت‌ها، ضخامتی حدود ۲۰۰ متر، سنگ آهک‌های اسپاری بنفش رنگ نازک لایه به همراه کمی شیل‌های اسلیتی قرار دارند. سازندهای پرمین، با مرز دگرشیب، سازند میلا را می‌پوشاند.

علیا و میمنت آباد (توکلی، ۱۳۸۳) و نهشته‌های زغال‌سنگ در منطقه بیکلو میان‌دوآب در واحدهای ژوراسیک گزارش شده است (ثیاب قدسی، ۱۳۸۹). کانسار آهن داش‌آغل، از مهم‌ترین کانسارهای آهن می‌باشد که در طی سال‌های اخیر در بخش شمالی پهنه سندرچ-سیرجان اکتشاف شده است. در این منطقه کانه‌زایی آهن در سنگ میزبان ماسه‌سنگی و توف‌های کربناتی ژوراسیک با ژئومتری هم‌روند با لایه‌بندی رخ داده که هدف این مقاله، بررسی جایگاه چینه‌ای، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و تعیین الگوی تشکیل کانی‌زایی آهن در کانسار داش‌آغل، می‌باشد.

روش مطالعه

مطالعه نهشته آهن داش‌آغل، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. مطالعات صحرایی شامل بررسی شکل هندسی ماده معدنی و نقش فرآیندهای زمین‌ساختی در ریخت‌شناسی نهشته، تغییرات ساخت و بافت انواع مختلف سنگی حاضر، نحوه ارتباط نهشته با سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی آهن، تهیه پروفیل (مقطع) زمین‌شناسی به صورت عمود بر روند لایه‌بندی، تهیه ستون چینه‌شناسی از منطقه معدنی داش‌آغل بر اساس برش‌های زمین‌شناسی تهیه‌شده و نهایتاً تهیه نقشه زمین‌شناسی از



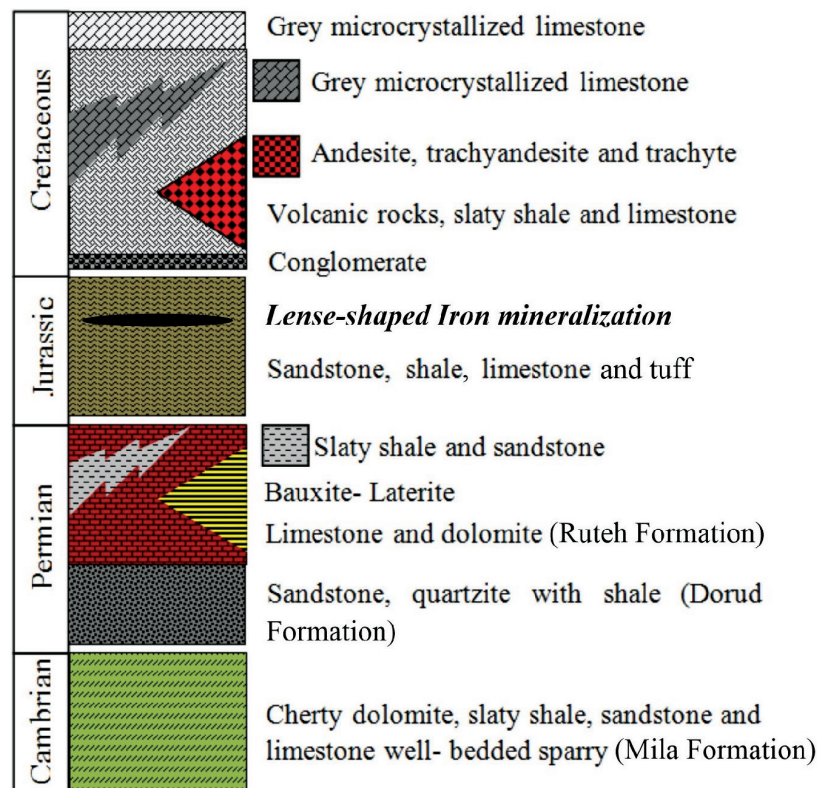
شکل ۱. موقعیت کانسار داش‌آغل در زیر پهنه با دگرشکلی پیچیده (Completely deformed sub-zone) از زیر پهنه‌های تکتونیکی پهنه سندرچ-سیرجان (Mohajjel et al., 2003). موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت مربع زرد نشان داده شده است

ترکیب آواری-کربناته و آتشفشانی-رسوبی بوده و دارای میان لایه‌هایی از آهک‌های میکروکریستالین و گدازه‌های آندزیتی تا تراکیتی می‌باشد (شکل ۲). در گستره مورد مطالعه انباشته‌های کرتاسه گسترش قابل توجهی دارند که براساس فسیل‌های یافت شده، بیشتر سن کرتاسه‌پیشین تا پسین را نشان می‌دهند.

نظر به اینکه سنگ‌های درونگیر ذخیره آهن داش‌آغل سنگ‌های تخریبی و توف‌های کربناتی ژوراسیک است (شکل‌های ۳ و ۴)، لذا ویژگی‌های این واحدهای سنگی بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است.

واحدهای سنگی پرمین در منطقه شامل سازندهای درود و روته می‌باشد (شکل ۲). سازند درود با ضخامتی حدود ۱۵۰-۲۰۰ متر، متشکل از ماسه سنگ، شیل و کوارتزیت است که به سمت بالا به تدریج به سازند روته تبدیل می‌شود. سازند روته شامل تناوبی از دولومیت و سنگ آهک است که در بخش زیرین و میانی آن افق‌های لاتریتی-بوکسیتی وجود دارد. در بعضی از بخش‌ها سازند روته دارای تغییر رخساره جانبی به شیل‌های سیلتی و ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد (شکل ۲).

واحدهای مربوط به زمان ژوراسیک از نظر رخساره از تنوع زیادی برخوردار هستند. بخش بزرگ این واحدها دارای



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی شماتیک و ساده شده از واحدهای سنگی موجود در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ میان‌دوآب (خدابنده، ۱۳۸۳) و موقعیت کانه‌زایی عدسی شکل در مجموعه آتشفشانی-رسوبی ژوراسیک و نهشته‌های بوکسیتی-لاتریتی بین آهک‌ها و دولومیت‌های پرمین

شیمیایی، دارای دامنه گسترده‌ای است که عمدتاً به انواع خرده‌سنگ‌های موجود در آن وابسته است (Tucker, 2001). این واحد سنگی که در منطقه معدنی داش‌آغل در بخش کمربین کانسار دیده می‌شود به صورت هم‌رود و هم‌شیب با دیگر واحدهای سنگی در منطقه رخنمون دارد. ترکیب خرده سنگ‌ها شامل چرت، فلدسپار آلکالن،

همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی کانسار داش‌آغل نشان داده شده است (شکل ۳)، سنگ میزبان کانه‌زایی آهن شامل ماسه‌سنگ و توف کربناتی می‌باشد.

بخش عمده ماسه‌سنگ‌های موجود در منطقه داش‌آغل دارای ترکیب آرکوزی تا لیتارنایتی می‌باشند. لیتارنایت از نظر ترکیب، هم در رابطه با نوع دانه و هم ترکیب

ویژگی‌های اصلی دو نوع کانه‌زایی هم‌رند با لایه‌بندی و کانه‌زایی رگه‌ای ثانویه، پرداخته شده است:

الف- کانه‌زایی هم‌رند با لایه‌بندی (عدسی شکل)

کانه‌زایی هم‌رند با لایه‌بندی، که بخش اصلی و عمده کانه‌زایی را در کانسار داش‌آغل تشکیل می‌دهد، شامل ساخت‌های لایه‌ای، عدسی و لایینه است (شکل ۵). از ویژگی‌های این تیپ کانه‌زایی، هم‌روندی و هم‌شیب بودن آن با سنگ میزبان و تناوب آن با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و توف است (شکل ۵). عدسی‌های چرتی غنی از آهن در آهک‌های کمربالای کانسار داش‌آغل نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۵ پ، ت) که این عدسی‌های چرتی نشان‌دهنده فوران سیالات هیدروترمالی داغ آهن و سیلیس‌دار هم‌زمان با تنش‌ست لایه‌های کربناتی و توفی می‌باشد (Crerar, ۱۹۸۲). از دیگر شواهد اولیه و هم‌زمان بودن تنش‌ست کانسار با دیگر واحدهای سنگی می‌توان به وجود مرز تدریجی بین لایه‌های پرعیار و کم‌عیار آهن در کانسار داش‌آغل اشاره کرد. وجود کلریت فراوان به همراه سیلیس می‌تواند نشان‌دهنده وجود فعالیت آتشفشانی احتمالی باشد که منشأ این مواد محسوب می‌شود. همراهی ماده معدنی با این کانی‌ها می‌تواند نشان‌دهنده منشأ مشترکی برای آهن و کانی‌های همراه آن‌ها باشد.

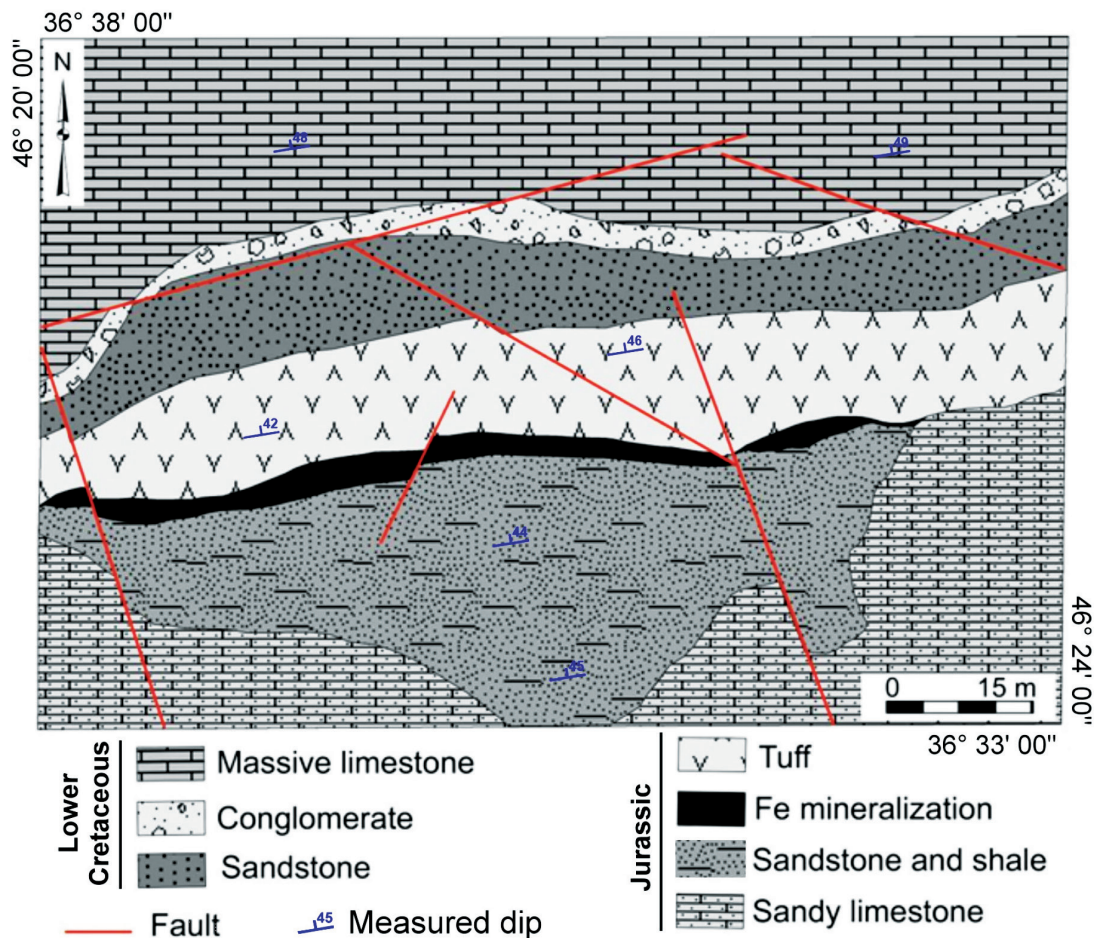
ب- کانه‌زایی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها (رگه-رگچه‌ای)

این تیپ کانه‌زایی در کانسار داش‌آغل، به صورت رگه-رگچه‌ای و در مجاورت گسل‌ها و شکستگی‌های سنگ میزبان رخ داده است. برخلاف کانه‌زایی نوع اول، لایه‌بندی سنگ میزبان توسط این رگه-رگچه‌ها قطع می‌شود. به نظر می‌رسد در اثر تحرک مجدد ماده معدنی اولیه هم‌رند با لایه‌بندی و تمرکز آن در شکستگی‌های کمربالای افق ماده معدنی (شکل ۶)، کانه‌زایی نوع دوم تشکیل شده است. در این نوع از کانه‌زایی سنگ‌ها به شدت خردشده و بافت رگه-رگچه‌ای، برشی و کاتاکلاستیکی در کانسنگ‌ها ایجاد شده است. برخلاف گسل‌های کانه‌دار، گسل‌هایی که عدسی اولیه را قطع نکرده‌اند فاقد کانی‌زایی آهن می‌باشند.

کلریت و پلاژیوکلاز می‌باشند که توسط سیمانی از گوتیت و همتایت به هم متصل شده‌اند (شکل ۷). توف‌های کربناتی تنها واحد پیروکلاستیکی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشند که در کمربالای افق ماده معدنی به صورت هم‌رند با سایر واحدهای رسوبی با ضخامت‌های متغیری نهشته شده‌اند. به علت پوشیده شدن با رسوبات عهد حاضر، این واحد ولکانیکی بسیار کمی در سطح زمین داشته و عمدتاً در گمانه‌های حفاری شده در کمربالای افق معدنی و در سینه کار استخراجی معدن قابل مشاهده است که از نازک لایه‌های توفی با میان لایه‌هایی از توف برش تشکیل شده است (شکل ۴). این واحد دارای رنگ سبز کم‌رنگ و به طور عمده متشکل از پلاژیوکلاز، کوارتز و کلریت است و ترکیب آن بازیک تا حدواسط می‌باشد. این واحد ولکانیکی نشان از ته‌نشست و تمرکز واحدهای آتشفشانی-رسوبی در یک محیط زیردریایی است که افق کانه‌دار آهن و رسوبات ساحلی یعنی ماسه‌سنگ‌ها و رسوبات کربناتی هم‌زمان با هم در یک محیط کشتی تشکیل شده‌اند.

کانه‌زایی آهن

کانسار داش‌آغل یکی از ذخایر بزرگ آهن در منطقه مورد مطالعه است. ماده معدنی به صورت عدسی شکل با ابعاد ۷۰ تا ۱۰۰ متر و ضخامت ۲ تا ۴ متر دیده می‌شود (شکل ۳). امتداد توده معدنی شرقی-غربی تا شمال شرقی-جنوب غربی بوده و شیب آن ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت شمال تا شمال غرب است (شکل ۳). عیار متوسط اکسید آهن در مجموع رخنمون‌های این کانسار، به صورت میانگین بین ۵۵ تا ۶۴ درصد برآورد شده است. علاوه بر عدسی اصلی ماده معدنی، عدسی‌های کوچک‌تری با همان روند در سطح زمین رخنمون دارند. ماسه‌سنگ‌های آرکوزی، که به صورت دانه پراکنده دارای کانه‌های آهن می‌باشد کم‌رپایین ماده معدنی را تشکیل می‌دهد. مجموعه توف‌های کربناته نیز در کمربالای افق ماده معدنی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر بخشی از ماده معدنی در کانسار داش‌آغل، به صورت ثانویه در پهنه‌های گسلی و شکستگی‌ها تمرکز یافته است؛ که در ادامه به بررسی



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی کانسار آهن داش‌آغل، افق کانه‌دار بین ماسه‌سنگ‌ها و توف‌های کربناتی قرار دارد

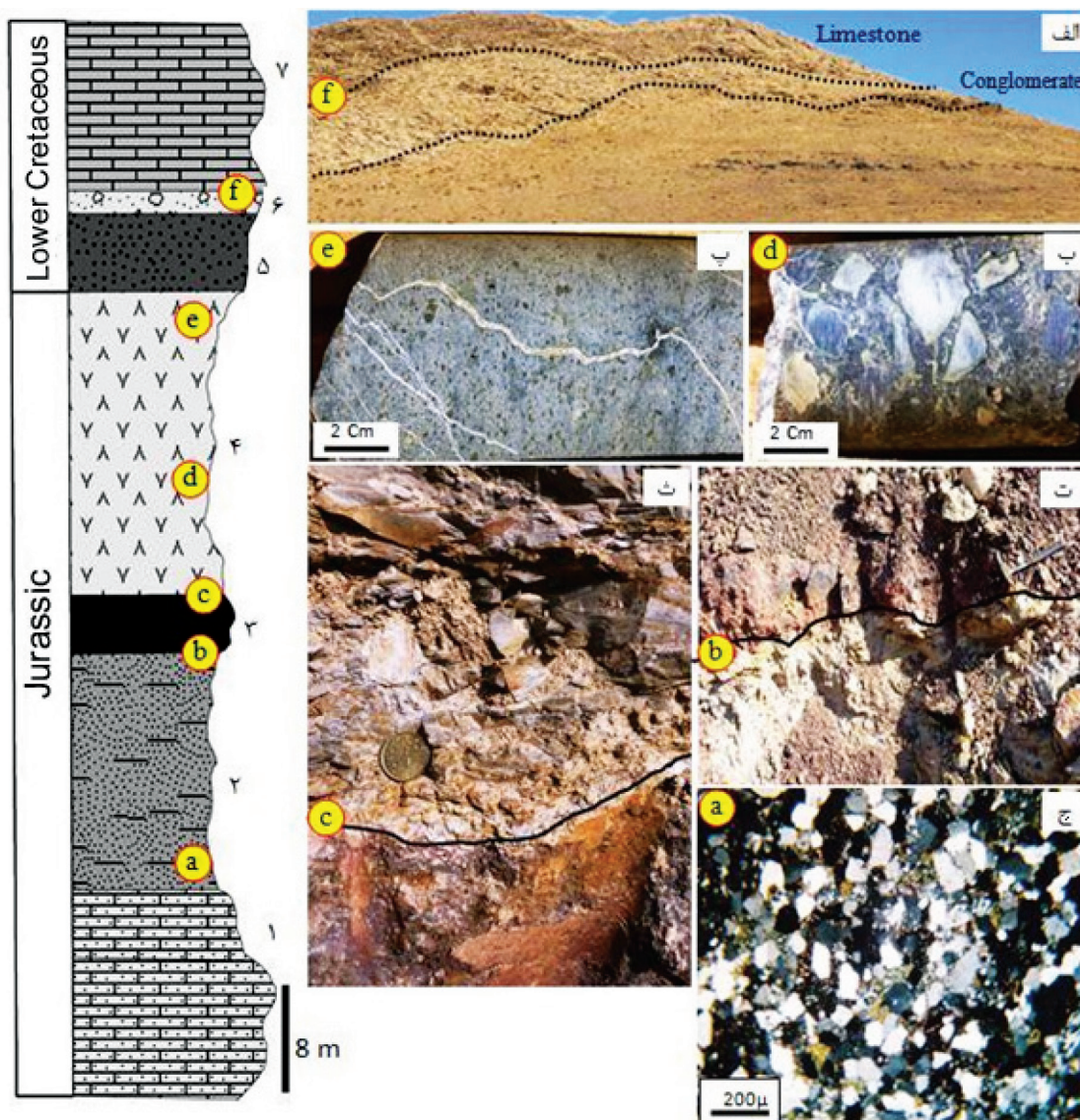
کانی‌شناسی و ساخت و بافت

است. محصولات عمده هوازدگی در کانی‌های آهن موجود در منطقه، ایجاد اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن مانند هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. ساخت و بافت‌های اصلی موجود در کانسنگ آهن کانسار داش‌آغل شامل لایه‌ای، دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی می‌باشند که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است:

ساخت لایه‌ای

یکی از ساخت‌هایی که شرایط رسوبی اولیه تشکیل می‌شود، بافت لایه‌ای و لامینه است. این لایه‌ها عمدتاً شامل هماتیت و به مقدار کمتر از مگنتیت هستند. در مقیاس رخنمون این لایه‌ها هم‌روند با لایه‌بندی است و عمدتاً در بخش‌های کم‌عیار ماده معدنی و در بخش بالایی عدسی کانه‌دار دیده می‌شوند.

کانه‌های تشکیل‌دهنده کانسار داش‌آغل در مقاطع میکروسکوپی شامل هماتیت، مگنتیت، پیریت، لیمونیت و گوتیت می‌باشند که همراه کانی‌های باطله کوارتز، کلسیت، کلریت و آلکالی فلدسپار مشاهده می‌شوند (شکل ۷). اصلی‌ترین کانه موجود در مقاطع میکروسکوپی کانسار آهن داش‌آغل هماتیت می‌باشد و با مقادیر اندکی مگنتیت همراهی می‌شود. بلورهای مگنتیت به صورت بافت دانه‌ای قابل مشاهده می‌باشد که در برخی نقاط به‌طور پراکنده و یا به صورت اجتماعی از چند بلور در کنار هم در متن سنگ میزبان تشکیل شده است (شکل ۷). پیریت در این ذخیره در نمونه دستی مشاهده نمی‌شود و فقط در بررسی مقاطع میکروسکوپی به میزان اندک قابل رویت

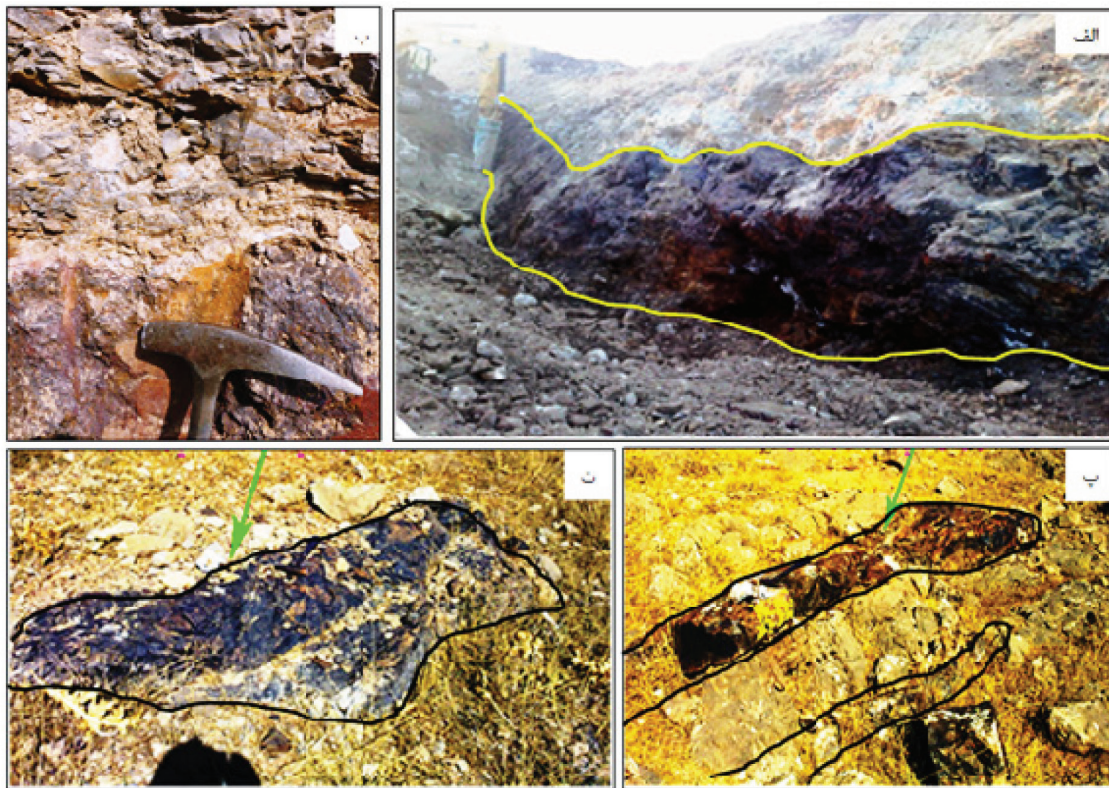


شکل ۴. ستون چینه‌شناسی کانسار آهن داش‌آغل بر اساس نقشه زمین‌شناسی و تصاویر مربوط به هر واحد سنگی با علامت لاتین نشان داده شده است، (۱- آهک ماسه‌ای، ۲- ماسه‌سنگ با میان لایه‌ای از شیل، ۳- افق کانه‌دار داش‌آغل، ۴- توفهای کربناتی، ۵- ماسه‌سنگ، ۶- کنگلومرا، ۷- آهک توده‌ای). الف) تصویری از رخنمون آهک‌های کرتاسه که در شمال کانسار آهن داش‌آغل بر روی کنگلومرای ماسه‌ای قرار دارد. ب) نمونه دستی از توفهای ریزدانه که در قسمت‌های بالایی واحد پیروکلاستیکی دیده می‌شود، پ) نمونه دستی از توفهای کربناتی که دارای بافت برشی است، ت) تصویر رخنمون افق کانه‌دار با توفهای کربناتی که با علامت c نشان داده شده است، ث) تصویر از رخنمون واحد کانه‌دار با ماسه‌سنگ‌های کم‌ریز که با علامت b نشان داده شده است، ج) تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های کم‌ریز که به صورت دانه پراکنده دارای کانی‌های اپاک می‌باشد

ساخت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده از جمله بافت‌های مهمی است که شواهد زایشی بسیار ارزشمندی در اختیار می‌گذارد. اولین نتیجه حضور مواد معدنی در این شکل، نهشت اولیه ماده معدنی در حین رسوب‌گذاری همراه با ذرات تشکیل دهنده

سنگ می‌باشد. این بافت به‌طور گسترده در ماسه‌سنگ‌های کم‌ریز دیده می‌شود که همراه با سایر ذرات تشکیل‌دهنده این سنگ تخریبی نه‌نشست یافته است (شکل ۸).



شکل ۵. الف) کانی‌زایی هم‌روند با لایه‌بندی، که بخش عمده ماده معدنی آهن را در کانسار داش‌آغل شامل می‌شود، ب) تصویر رخنمونی از لایه کانه‌دار که به‌صورت هم‌روند و هم‌شیب توسط توف‌های کربناتی پوشیده می‌شود، پ) تناوب لایه‌های آهن غنی از سیلیس با لایه‌های کربناتی، ت) عدسی آهن در بین لایه‌های کربناتی

ساخت پرکننده فضای خالی

همان‌گونه که اشاره شده، ساخت پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای در کانسار داش‌آغل، عمدتاً در پهنه‌های گسل و شکستگی‌های کم‌بالای افق ماده معدنی تشکیل شده است (شکل ۷). این بافت نشان می‌دهد که آهن هم‌زمان با سنگ میزبان تشکیل نشده، بلکه در اثر فعالیت تکتونیکی در درز و شکاف‌های حاصل از تکتونیک شکل گرفته است (شکل ۶).

مطالعات ژئوشیمیایی

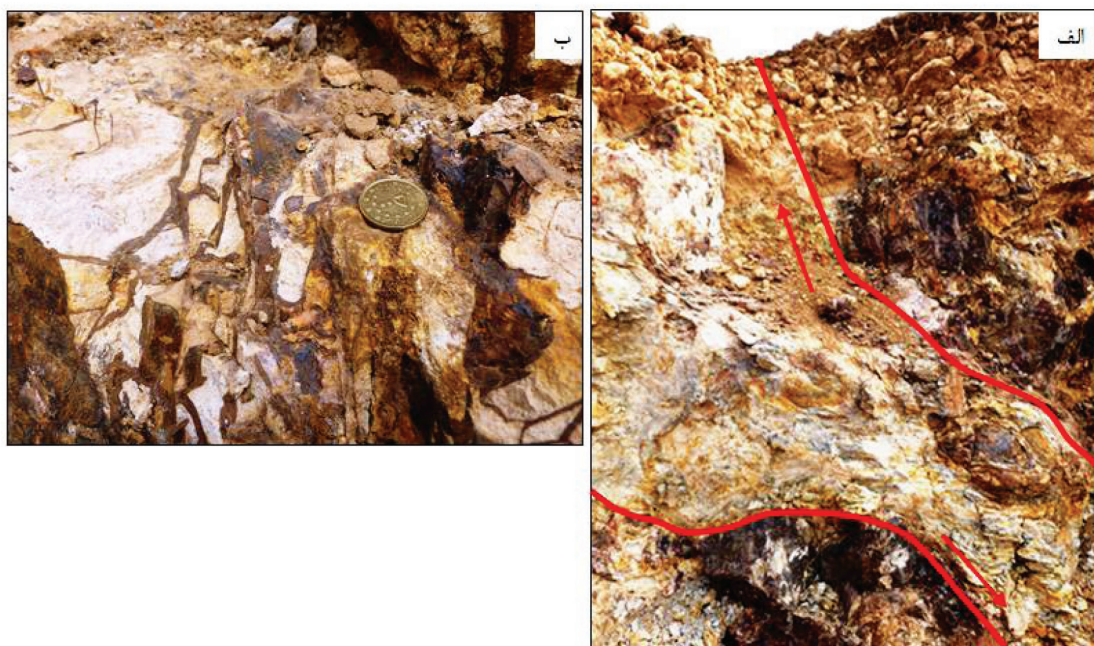
به‌منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماده معدنی، ۱۰ نمونه از کانسنگ آهن کانسار داش‌آغل مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت که نتایج داده‌های آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی کانسنگ‌ها، سعی شده است تا محیط تشکیل کانسار مورد بررسی قرار گیرد. در میان اکسیدهای اصلی، Fe_2O_3 بیشترین مقدار را داشته است؛ به‌طوری‌که مقدار میانگین آن

در بخش‌های گوناگون کانسار بین ۶۰/۸۷ تا ۸۱/۰۸ درصد تغییر می‌کند و میانگین آن در نمونه‌های تجزیه‌شده، ۷۳/۲۰ درصد است. در میان اکسیدهای عناصر اصلی باطله، سیلیس بیشترین فراوانی را دارد و میانگین آن ۲۲/۲۱ درصد می‌باشد. سیلیس بیشتر به شکل کانی کوارتز حضور دارد (جدول ۱).

از نسبت Si/Al می‌توان به‌عنوان ابزار ساده‌ای برای تشخیص نهشته‌های گرمایی، آیزاد و خاکزاد و شناسایی منبع تأمین‌کننده مواد این نهشته‌ها استفاده کرد (Choi and Hariya, 1992; Nicholson, 1992; Bonatti, 1975). کانسارهای هیدروترمال عموماً در ارتباط نزدیک با ژل‌های سیلیسی آهن‌دار (ferrigenous) شکل می‌گیرند که به‌وسیله فرآیندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل می‌شوند (Roy, 1992). به‌همین جهت، درصد وزنی Si در برابر Al معرف درصد

جهت تفکیک کانسارهای هیدروترمال، رسوبی-دریایی و کانسارهای حاصل از آب‌های شیرین (fresh water) به‌کار برده شد. وی غنی‌شدگی در مجموعه عناصر As, Ba, Cu, Li, Mo, Pb, Sb, Sr, V, Zn را نشانه کانسارهای هیدروترمال دانسته و همچنین معتقد است که این کانسارها از عناصر Ni و Co تهی شده‌اند. نمونه‌های مربوط به کانسار داش‌آغل، با توجه به نمودار (شکل ۹) از عناصر Ni, Mo, As, Cu, Pb, Zn غنی‌شده، اما از عناصر Ni و Co تهی شده‌اند و در محدوده کانسارهای هیدروترمال قرار می‌گیرند.

بالای SiO_2 در طی فعالیت‌های اگزالاتیو می‌باشد. درحالی‌که، در کانسارهای با منشأ تخریبی، Al نسبت به Si از درصد بالاتری برخوردار است که این امر ناشی از تجزیه و تخریب فلدسپارها در طی حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد. (Holtstam 2001) بر این باور است که اگر نهشته‌های هیدروترمالی با ذرات تخریبی (کانی‌های رسی) مخلوط شوند، ممکن است نسبت Si/Al کمتر شود. در کانسار مورد مطالعه میانگین نسبت Si/Al در محدوده کانسارهای با منشأ هیدروترمال قرار می‌گیرند (شکل ۹). نمودار دوتایی (Co + Ni) اولین بار توسط (Nicholson 1992) در برابر (As + Cu + Mo + Pb + V + Zn) قرار می‌گیرند (شکل ۹).

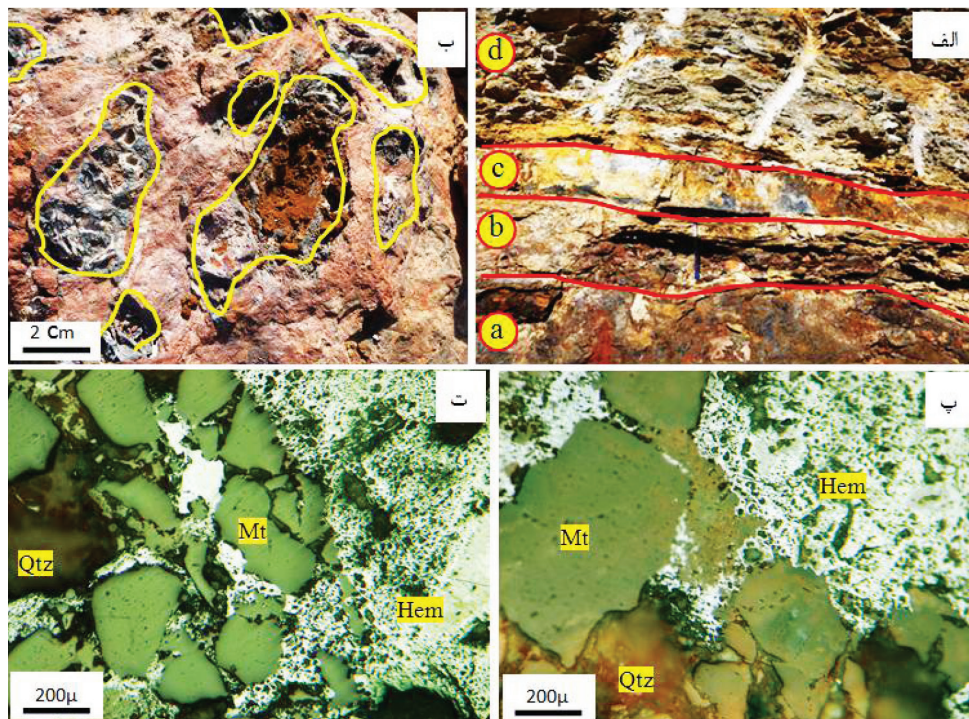


شکل ۶. الف) تصویر کانی‌زایی آهن در مناطق گسلی، گسل‌های نرمالی که در منطقه وجود دارند باعث جابه‌جایی واحد کانه‌دار و تمرکز آن در مناطق گسلی شده است (دید به سمت شمال شرق)، ب) نمایی نزدیک از کانی‌زایی رگه-رگجهای در کانسار آهن داش‌آغل

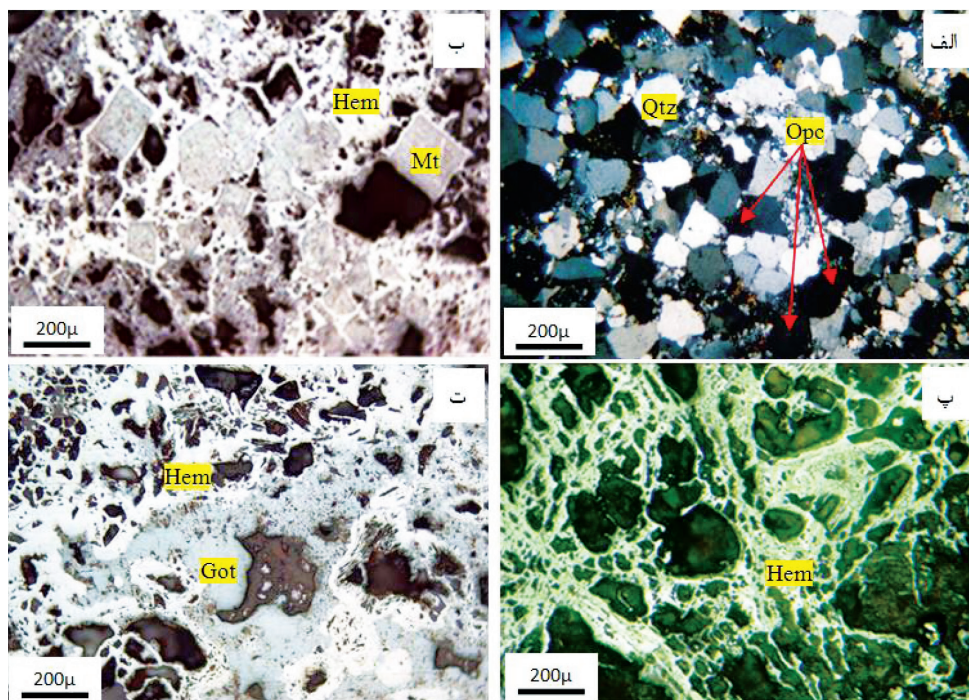
الگوی تشکیل و مراحل تکوین و تکامل کانسار

سنگ‌های میزبان و واحدهای کم‌ریزین و کم‌ربالا، وفور ماده معدنی به‌صورت پراکنده در این سنگ‌های میزبان، مرز تدریجی عدسی‌های معدنی با سنگ درون‌گیر، حضور میان لایه‌هایی از واحدهای توف و لایه‌های چرتی اگزالاتیو در سنگ میزبان کربناته، نشان می‌دهند که ماده معدنی هم‌زمان با سنگ درون‌گیر به‌صورت برون‌دمی تشکیل شده و در مراحل بعد، به مقدار اندک، تحت تأثیر سیالات جوی،

هرچند تاکنون مطالعات علمی دقیقی در زمینه تشکیل این کانسار صورت نگرفته است اما اخیراً مرادی و همکاران (۱۳۹۱)، کانه‌زایی آهن در کانسار داش‌آغل را از نوع لاتریتی معرفی کرده‌اند؛ اما با توجه به شواهدی مانند هم‌شکلی و همخوانی عدسی ماده معدنی با



شکل ۷. الف) بافت پرکننده فضای خالی، ب) بافت لایه‌ای در کانسار آهن داش‌آغل، ا) افق کانه‌دار اصلی، ب) توف‌های آغشته به آهن، c) لایه آهن‌دار، d) توف‌های کربناتی کمربالا، پ) تصویر میکروسکوپی از بلورهای مگنتیت و هماتیت، ت) تصویر میکروسکوپی از بلورهای مگنتیت که طی فرآیند مارتیتی شدن در حال تبدیل به هماتیت می‌باشند



شکل ۸. الف) تصویر میکروسکوپی از بلورهای خودشکل مگنتیت که طی فرآیند مارتیتی شدن از حاشیه در حال تبدیل به هماتیت هستند، ب) ماسه‌سنگ‌های کمرپایین که به صورت دانه‌پراکنده دارای کانی‌های اوپک می‌باشند، پ) حضور کانی‌های گوتیت و هماتیت حاصل از هوازدگی در کنار یکدیگر، ت) بافت تیغه‌ای و شبکه‌ای از کانی هماتیت

ب) مرحله کانی‌زایی برون‌دمی و فعالیت‌های ولکانیسم
 در این مرحله میزان فعالیت‌های برون‌دمی افزایش یافته و پالس اصلی سیالات کانه‌دار، وارد محیط دریایی گشته و به تبع آن، افق ماده معدنی آهن در این مرحله به صورت هم‌روند و هم‌شیب با سایر واحدهای سنگی ته‌نشست یافته است (شکل ۱۰ ب). در چنین شرایطی آهن دو ظرفیتی از طریق ولکانیسم و برون‌دمش وارد حوضه رسوبی شده است. در بخش‌هایی از محیط ته‌نشست کانسار، به دلیل ایجاد شرایط احیایی محلی، آهن توانسته با گوگرد ترکیب شده و پیریت را بسازد. اما در بخش‌های کم‌عمق‌تر به دلیل پایین بودن مقدار گوگرد، آهن به صورت هیدروکسید رسوب کرده است به طوری که کانی‌های هیدروکسید آهن به صورت لایه‌ای با هم تشکیل شده‌اند. یکی از شواهد مهم برون‌دمش در این مرحله وجود توف‌های کربناتی کمربالا و عدسی‌های چرتی در بخش‌های کمربالای عدسی معدنی می‌باشد (شکل ۱۱ پ).

در پهنه‌های گسلی و خرد شده، تمرکز پیدا کرده است. لازم به ذکر است که لطفی و همکاران (۱۳۹۲) کانسار آهن داش‌آغل را از نوع کانسارهای رسوبی-هیدروترمال معرفی کرده‌اند.

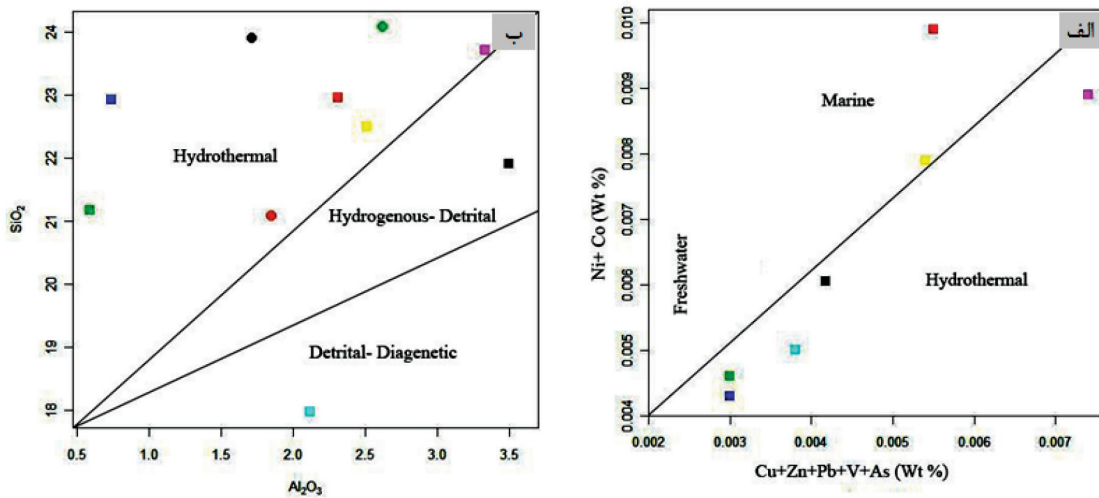
با توجه به مطالعات زمین‌شناسی، چینه‌شناسی، کانه‌نگاری و ژئوشیمیایی، الگوی تشکیل و تکوین کانه‌زایی آهن در کانسار داش‌آغل به صورت زیر می‌باشد (شکل ۱۰):

الف) مرحله هم‌زمان با رسوب‌گذاری

در مرحله نخست کانه‌زایی، با آغاز فرآیندهای برون‌دمی و ولکانیسم زیر دریایی، کانه‌زایی در سنگ‌های تخریبی کم‌ریزترین افق اصلی ماده معدنی تشکیل شده است؛ اما با توجه به پایین بودن نرخ برون‌دمش ماده معدنی غیراقتصادی و عیار پایین آهن، با بافت دانه‌پراکنده در کم‌ریزترین افق اصلی، شکل گرفته است (شکل ۱۱ الف).

جدول ۱. اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و نادر خاکی اندازه‌گیری شده در کانسار آهن داش‌آغل

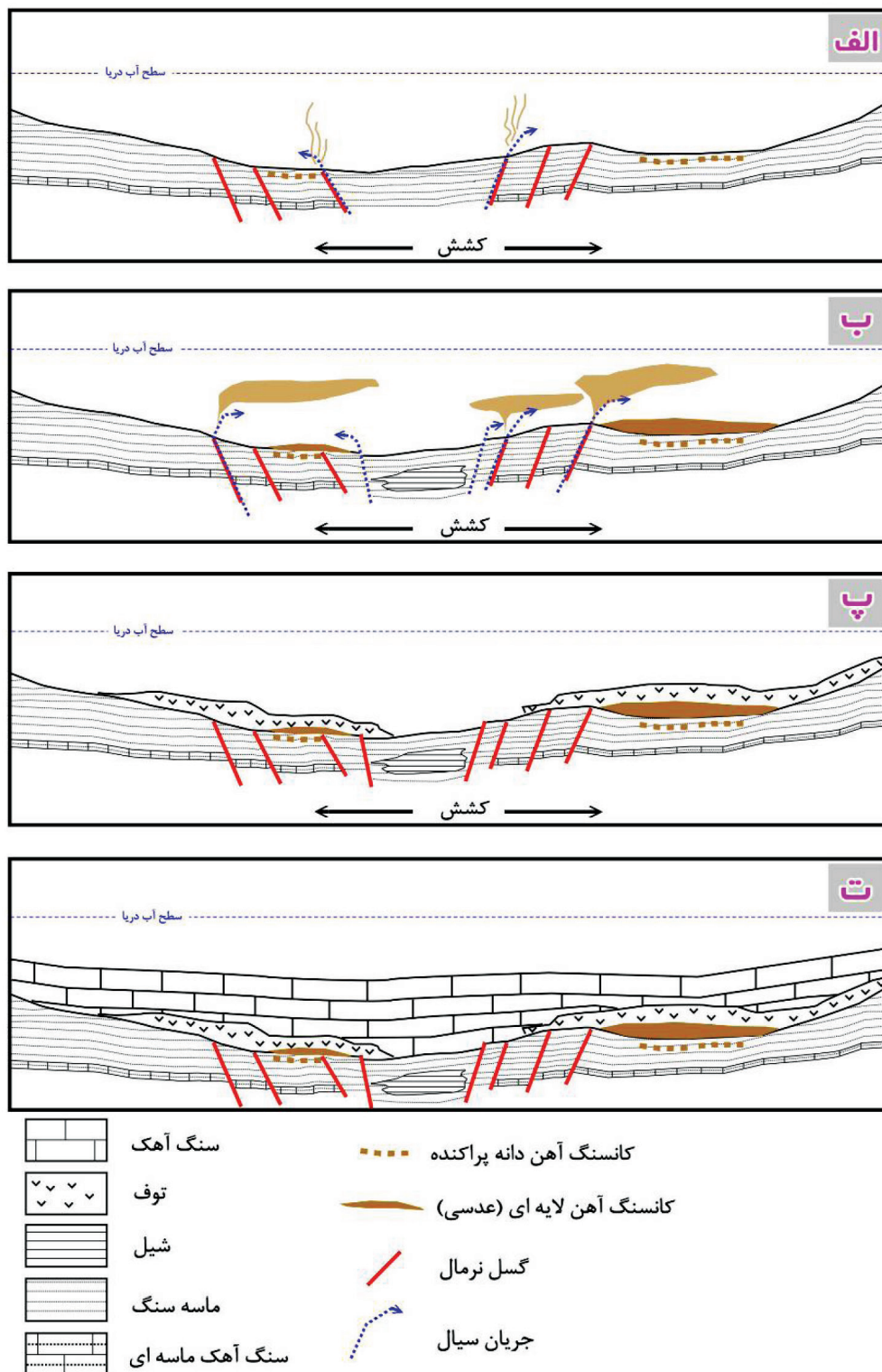
Sample	Da1	D-Fe-III	D-Fe-1	D-Fe.3	D-Fe.5	D-Fe.6	D-Fe.11	1258	d.a	9766
SiO ₂ (%)	۲۱/۹	۲۲/۹۶	۲۱/۱۷	۲۲/۹۲	۱۷/۹۷	۲۳/۷	۲۲/۴۹	۲۳/۸۹	۲۱/۰۷	۲۴/۰۷
Al ₂ O ₃ (%)	۳/۵	۲/۳۱	۰/۵۰	۰/۷۴	۲/۱۲	۳/۳۳	۲/۵۱	۱/۷۱	۱/۸۵	۲/۶۲
Fe ₂ O ₃ (%)	۶۴/۲۳	۷۰/۷۰	۶۴/۲۹	۷۰/۳۳	۷۴/۰۸	۶۰/۸۷	۶۸/۷۵	۶۸/۴۶	۷۳/۰۸	۶۹/۰۸
CaO (%)	۶/۲۶	۲	۱۰/۲۵	۵/۰۰	۵/۱۳	۲/۳۸	۴/۷۷	۴/۱۴	۱/۸۶	۲/۰۱
Na ₂ O (%)	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰	۰
K ₂ O (%)	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
MgO (%)	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۵
TiO ₂ (%)	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸
MnO (%)	۱/۰۲	۰/۲۹	۰/۹۸	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۷۳
P ₂ O ₅ (%)	۰/۵۷	۱/۰۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۶۶	۰/۳۵	۰/۷۹
SO ₃ (%)	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۲۱
Cl (ppm)	۶۰	۲۲۲	۱۷۷	۶۸	۱۰۸	۶۹	۷۷			
Ba (ppm)	۱۳۰	۱۱۹	۳۹۸	۱۴۶	۱۱۵	۱۷۱	۱۴۸			
Sr (ppm)	۵۵	۸	۳۹	۴	۱	۳	۲			
Cu (ppm)	۱	۳	۵	۲	۲	۱	۱			
Zn (ppm)	۳۱	۵۱	۱۹	۲۷	۳۳	۵۸	۴۸			
Pb (ppm)	۳	۱	۴	۱	۳	۱۴	۴			
Ni (ppm)	۶۳	۹۹	۴۶	۴۳	۵۰	۸۹	۷۹			
Cr (ppm)	۵۳	۴۸	۱۷	۱۵	۳۴	۷۹	۸۳			
V (ppm)	۲۰۸	۱۶۵	۱۰۲							
Ce (ppm)	۴	۲	۳							
La (ppm)	۲	۱	۱							
W (ppm)	۱	۱	۱							
Zr (ppm)	۳۲	۲	۷							
Y (ppm)	۲	۱	۳							
Rb (ppm)	۱۷	۱۷	۱۵							
Co (ppm)	۳	۱	۱							
As (ppm)	۳۳۳	۱۰۵	۲۰۷							
U (ppm)	۱	۱	۱							
Th (ppm)	۴	۸	۲							



شکل ۹. الف) نمودار دوتایی عناصر کمیاب (Nicholson, 1992) که بیشتر نمونه‌ها در بخش کانسارهای هیدروترمال قرار گرفته‌اند، ب) نمودار دوتایی SiO₂ در برابر Al₂O₃ (Choi and Hariya, 1992) و موقعیت نمونه‌های مربوط به کانسار آهن داش‌آغل و خاستگاه آن‌ها

		Mieralization Sequence		
		Syn- sedimentary	Exhalative mineralization	Supergene
Minerals	Quartze	████████████████████	████████████████████	
	Feldespare	████████████████████		
	Chlorite		████████████████████	
	Calcite	████████████████████	████████████████████	
	Rock fragmente	████████████████████		
	Magnetite		████████████████████	
	Hematite		████████████████████	████████████████████
	Goethite			████████████████████
	Limonite			████████████████████
	Pyrite		████████████████████	
Textures	Layered	████████████████████	████████████████████	
	dissiminated	████████████████████	████████████████████	
	Open space filling		████████████████████	████████████████████
	Box work		████████████████████	████████████████████
	Granular		████████████████████	
	Residual			████████████████████
	Martitization			████████████████████

شکل ۱۰. توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها و بافت و ساخت کانه‌ها در کانسار آهن داش‌آغل



شکل ۱۱. طرح کلی مراحل اصلی تشکیل کانسار آهن داش‌آغل، الف) رسوب‌گذاری واحد ماسه‌سنگی و هم‌زمان با آن تشکیل کانه‌زایی دانه‌پراکنده در این واحد در اثر فعالیت‌های برون‌دیمی ضعیف حاصل از کشش، ب) تشکیل عدسی‌های کانه‌دار پرعیار در اثر شدت زیاد فرآیندهای برون‌دیمی، پ) فعالیت ولکانیسم و رسوب‌گذاری واحد توفی به‌عنوان کمربالای ماده معدنی، ت) افزایش عمق حوضه رسوبی و ته‌نشست واحد آهنکی

پهنه دگرگونه سنندج-سیرجان: بر اساس مطالعه ساخت، بافت و میکروترمومتری سیالات درگیر، مجله زمین شناسی اقتصادی، ۲، ۱، ۹۷-۱۲۱.

- توکلی، ح.، ۱۳۸۳. کانی شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسارهای آهن شمال غرب همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۶.

- ثیاب قدسی، ع.، ۱۳۸۹. مطالعه شیل های زغالدار منطقه بیکلو شاهین دژ، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین ارومیه.

- خدابنده، ع.، ۱۳۸۳. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میاندوب، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. - عابدینی، ع.، کلاگری، ع.، حاج علیلو، ب. و جهانگیری، ا.، ۱۳۸۷. مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب (REE) در نهشته بوکسیتی پرمو-ترباس شمال خاوری بوکان، شمال باختری ایران، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۱۶، ۳، ۴۵۹-۴۷۲.

- عابدینی، ع. و کلاگری، ع.، ۱۳۸۹. ژئوشیمی کانسنگ های بوکسیتی-لاتریتی جوانمرد، شمال خاور بوکان، استان آذربایجان غربی، فصل نامه زمین شناسی ایران، ۴، ۱۵، ۲۹-۳۸.

- لطفی، ن.، حاج علیلو، ب. و علوی، غ.، ۱۳۹۲. بررسی پتروگرافی و میکروترمومتری میانبارهای سیال کانسار آهن داش-آغل، شرق شهرستان بوکان، پنجمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران دانشگاه فردوسی مشهد.

- فرهادی، ر.، ۱۳۷۴. مطالعه زمین شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره ای و ژنز کانسار آهن منگنزدار شمس آباد، اراک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۸.

- مرادی، ش.، عابدینی، ع. و علیزاده، ا.، ۱۳۹۱. زمین شیمی عناصر نادر خاکی افق لاتریت رسی داش آغل، شرق بوکان، استان آذربایجان غربی، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران دانشگاه بیرجند.

- Bonatti, E., 1975. Metallogenesis at oceanic spreading centers. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 3, 401-431.

ج) مرحله هوازگی سوپرن

در این مرحله عملکرد فرآیندهای هوازگی موجب تشکیل کانی های ثانویه شده است، به طوری که طی فرآیند اکسیداسیون در بخش های کم عمق و سطحی کانسار، کانی هایی از جمله هماتیت (مارتیت)، گوتیت و لیمونیت تشکیل شده اند. همچنین تحت تأثیر سیالات جوی، کانه های ثانویه در پهنه های گسلی و خرد شده، تمرکز یافته اند. به طور کلی فرآیندهای تشکیل آهن داش آغل در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

نتیجه گیری

با توجه به تمامی داده های زمین شناسی، چینه شناسی، ژئومتری (عدسی همروند با لایه بندی)، ساخت و بافت ماده معدنی، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانه زایی آهن در کانسار داش آغل، این کانسار را می توان در رده کانسارهای آتشفشانی-رسوبی قرار داد. نکته جالب توجه اینکه در پهنه ی سنندج-سیرجان علاوه بر ذخیره داش آغل، معدن آهن منگنزدار شمس آباد در جنوب اراک، در سنگ های کربناته با سن کرتاسه رخ داده است. فرهادی (۱۳۷۴) تشکیل کانسار شمس آباد را نیز در سه مرحله رسوب گذاری، دیازنز و دگرشکلی و از نوع آتشفشانی-رسوبی معرفی کرده است. نظر به اینکه کانسار آهن داش آغل به صورت عدسی همروند با لایه بندی در داخل توفها و ماسه سنگ های ژوراسیک تشکیل شده و این توالی آتشفشانی-رسوبی ژوراسیک در سایر بخش های پهنه سنندج-سیرجان نیز گزارش شده، لذا این نوع از کانه زایی نمی تواند صرفاً محدود به منطقه مورد مطالعه باشد. بنابراین در مناطقی با زمین شناسی مشابه، امکان اکتشاف کانسارهای مشابه دور از انتظار نخواهد بود.

منابع

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۳. گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۸.

- تاج الدین، ح.، راستاد، ا.، یعقوب پور، م. و محجل، م.، ۱۳۸۹. مراحل تشکیل و تکوین کانسار سولفید توده ای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، شمال باختر

- Choi, J.H. and Hariya, Y., 1992. Geochemistry and depositinal environment of Mn oxide deposits in the Tokoro belt, northeastern Hokkaido, Japan, *Economic Geology*, 87, 1265-1274.
- Crerar, D.A., 1982. Mangani Ferou Cherts of the Franciscan assemblage: In *General geology, ancient and modern analogues, and implication for hydrothermal convection at ocean spreading centers*, *Economic Geology*, 77, 519-540.
- Holtstam, D., 2001. W and V mineralization in Longban-type Fe-Mn deposits: Epigenetic or syngenetic? *GFF*, 123, 29-33.
- Mohajjel, M., Fergussen, C.L. and Sahan-di, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 397-412.
- Nicholson, K., 1992. Genetic type of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology*, 87, 1301-1309.
- Ramdohr, P., 1980. *The ore minerals and their intergrowth*, Elsevier, 1192.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87, 1218-1236.
- Tucker, M.E., 2001. *Sedimentary Petrology, an introduction to the origin of sedimentary rocks*, Second edition, 272.
- Force, E.R. and Cannon, W.F., 1988. Depositional model for shallow-marine manganese deposits around black shale basins. *Economic Geology*, 83, 93-117.