تحلیل رخساره‌ای سنگی و جایگاه چینه‌ای افق‌های کانه‌زایی روی- سرب- باریت با میزبان کربناته - تخریبی در توالی رسوبی کرتاسه پیشین، حوضه جنوب یزد

سجاد مغفوری[۱]، محمدرضا حسین‌زاده[۲]*، عبدالرحمان رجبی[۳] و امیرمرتضی عظیم‌زاده[۴]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۲]دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۳]استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

[۴]استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۸

چکیده

توالی رسوبی کرتاسه پیشین در حوضه جنوب یزد میزبان کانه‌زایی‌های روی- سرب- باریت است. این توالی را می‌توان از دید موقعیت چینه‌ای، سن و جنس سنگ‌ها به سه بخش پایینی، میانی و بالایی تقسیم کرد. بخش پایانی یا سازند سنگستان به‌طور چیره از رسوبات تخریبی همچون کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و آهک ُالیتی تشکیل یافته و با دگرشیبی آذرین‌پی روی گرانیت شیرکوه و سازند دگرگون شده شمشک به سن ژوراسیک قرار گرفته است. سنگ‌های رسوبی بخش میانی یا سازند تفت شامل شیل‌های غنی از مواد آلی، سیلتستون، آهک و دولومیت هستند. بخش بالایی یا سازند آبکوه (دره زنجیر) از سنگ‌های شیلی، آهک‌های نازک‌لایه چرت‌دار و مارن تشکیل یافته است و به‌صورت همشیب روی سازند تفت قرار می‌گیرد. کانه‌زایی‌های روی- سرب- باریت در توالی رسوبی میزبان بر پایه جایگاه چینه‌ای، سن نسبی و نوع سنگ میزبان ماده معدنی در دو افق قرار می‌گیرند: افق اول که کانسارهای مهدی‌آباد، منصورآباد و فرح‌آباد را دربر می‌گیرد، در بخش زیرین سازند تفت قرار دارد و سنگ میزبان ماده معدنی در آن شیل‌های غنی از مواد آلی، آهک‌های شیلی، سیلتستون، آهک‌های سیلتی و دولومیت است. افق دوم که تنها در کانسارهای مهدی‌آباد و منصورآباد دیده می‌شود، در بخش میانی سازند آبکوه تشکیل شده است. سنگ میزبان ماده معدنی در این افق شیل‌های سیاه و آهک‌های نازک‌لایه چرتی است.

کلیدواژه‌ها: کانسارهای روی- سرب- باریت، تحلیل رخساره‌ای، افق کانه‌زایی، کرتاسه پیشین، مهدی‌آباد، منصورآباد، فرح‌آباد، دره‌زنجیر، حوضه جنوب یزد.

***نویسنده مسئول:** محمدرضا حسین‌زاده

E-mail: mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

تاکنون بیش از ۳۰۰ کانسار روی- سرب با میزبان رسوبی در ایران گزاش شده است (Rajabi et al., 2012a) که از این میان حدود ۲۸۵ مورد در سنگ‌های کربناتی (Carbonate-Hosted zinc-lead: CH Zn-Pb) و بقیه در سنگ‌های تخریبی (Clastic-Dominated lead-zinc: CD Pb-Zn)، در دوره‌های مختلفی تشکیل شده‌اند (Rajabi et al., 2012a) (شکل ۱- الف). بسیاری از این کانسارها در دوره‌های مختلفی از زمان‌های زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند به‌طوری که از زمان پروتروزوییک بالایی تا زمان کرتاسه پسین این کانسارها گسترش نشان می‌دهند. با توجه به سن سنگ‌های رسوبی میزبان کانسارهای سرب و روی ایران، مهم‌ترین افق‌های میزبان این کانسارها عبارتند از:

الف) پروتروزوییک بالایی: کانسار انگوران (Daliran et al., 2013)، **ب) کامبرین:** کانسارهای چاه میر، کوشک، زریگان در حوضه بافق، این کانسارها از نوع کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبات شیلی و سیلتستونی غنی از مواد آلی از نوع Selwyn-Type SEDEX هستند (Rajabi et al., 2012b and 2014)، **ج) اردیویسین:** مانند کانسارهای ازبک‌کوه و سیب‌زار، **د) کربونیفر:** قلعه معدن، **ه: پرمین:** از کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبات پرمین می‌توان به کانسار کوه سرمه در پهنه زاگرس و کانسار دونا در پهنه البرز اشاره کرد. این کانسارهای از نوع کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته یا نوع MVT معرفی شده‌اند (Liaghat et al., 2000)، **ر) تریاس:** بیشتر کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبات تریاس در کمربند فلززایی طبس- پشت بادام و البرز مرکزی گسترده شده‌اند. از ویژگی‌های شاخص این کانسارها غنی بودن آنها از فلوئور است و به کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته غنی از فلوئور (F-rich) معروف هستند. از جمله کانسارهای این دوره زمانی می‌توان به کانسارهای شش رودبار، پاچی میانا و کمرپشت اشاره کرد (تدین و همکاران، ۱۳۹۴؛ راستاد و شریعتمدار، ۱۳۸۰). **و) ژوراسیک:** کانسارهای گل‌زرد و باباقله در کمربند ملایر- اصفهان از جمله کانسارهای نوع CD هستند که درون رسوبات تخریبی ژوراسیک تشکیل شده‌اند (فرهادی‌نژاد، ۱۳۷۷؛ احیاء و همکاران، ۱۳۸۷)، **ز) کرتاسه:** این گروه از کانسارها که شامل بیشترین ذخایر سرب و روی ایران می‌شوند، بیشتر در توالی کربناته (همراه با کمی سنگ‌های تخریبی) کرتاسه پیشین (همانند ایرانکوه، مهدی‌آباد، وجین، عمارت، موچان، آهنگران) و گاه در توالی کرتاسه پسین (مانند رضاآباد، شهمیرزاد، نخلک و خانجار رشم) تشکیل شده‌اند (Rajabi et al., 2012a). کانسارهای سرب و روی با میزبان توالی رسوبی کرتاسه به‌طور چیره در کمربندهای متالوژنی ملایر- اصفهان و یزد- انارک تشکیل شده‌اند (شکل ۱- الف).

۲- روش پژوهش

در انجام این پژوهش، برای بررسی ویژگی‌های سنگ میزبان کانه‌زایی، تحلیل رخساره‌ای و تعیین جایگاه افق‌های روی- سرب- باریت ۱۶ مقطع زمین‌شناسی در راستای عمود بر روند لایه‌بندی در توالی رسوبی کرتاسه پیشین پیمایش و نمونه‌های گرفته شده از آنها مطالعه میکروسکوپی (۸۰ مقطع تازک و نازک- صیقلی) و به کمک آنها ستون چینه‌شناسی عمومی از منطقه رسم شده است. همچنین برای رسم ستون چینه‌شناسی هر یک از کانسارها و انطباق آن با ستون چینه‌شناسی دیگر کانسارهای روی- سرب- باریت منطقه، ۱۱ مقطع زمین‌شناسی در مقیاس خود کانسار پیمایش و نمونه‌های سیستماتیک برای مطالعات سنگ‌شناسی و میکروسکوپی کانه‌ها برداشت و سپس بر پایه مقاطع زمین‌شناسی پیمایش شده، جایگاه افق‌های کانه‌زایی روی- سرب- باریت در توالی رسوبی کرتاسه پیشین مشخص شده است.

۳- زمین‌شناسی حوضه جنوب یزد

ایران شامل نواحی مختلف فعال زمین‌ساختی متشکل از پهنه‌های رسوبی- ساختاری بسیار است که به وسیله گسل‌های ساختاری ژرف و پهنه‌های راندگی از یکدیگر جدا می‌شوند (Alavi, 1991). حوضه جنوب یزد با طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر در راستای شمال باختر- جنوب خاور در بلوک یزد کشیده شده است و بخش مهمی از خردقاره

ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱- ب). این حوضه از خاور توسط گسل انار و از باختر توسط گسل دهشیر- بافت محدود می‌شود. همچنین مرز شمالی- جنوبی آن به وسیله گسترش توالی رسوبی کرتاسه مشخص می‌شود (شکل ۱- ب). حوضه جنوب یزد میزبان بسیاری از کانسارهای بزرگ سرب و روی ایران، کانسارهای مس و آهن و یکی از ایالت‌های مهم فلززایی ایران است.

کهن‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در حوضه جنوب یزد، کمپلکس معادل بنه‌شورو و سازند کهر با ستبرای نزدیک به ۲۰۰۰ متر است که شامل تناوبی از میکاشیست، آمفیبولیت، گنیس، رسوبات سیلیسی آواری، مرمر و نفوذی‌های ماگمایی تأخیری مافیک تا حدواسط است (آقانباتی، ۱۳۸۳). سری ریزو نخستین واحد چینه‌ای پس از کوهزایی کاتانگایی است که به‌طور دگرشیب روی رسوبات کهن‌تر قرار گرفته است (شکل ۱- ب). نهشته‌های تریاس بیشتر در شمال باختری حوضه جنوب یزد رخنمون دارند. این نهشته‌ها به‌طور چیره از کربنات تشکیل شده‌اند، در نزدیکی روستای صادق‌آباد آثاری از کانی‌سازی سرب و روی به‌صورت رگه‌ای در توالی تریاس نیز دیده می‌شود. سازند شمشک در حوضه جنوب یزد لایه‌های شیلی و ماسه‌سنگی نوک مدادی است که فسیل‌های گیاهی دارد. این سازند دارای بیشترین گسترش در بخش شمال باختری شهرستان تفت است. سازند شمشک در حوضه جنوب یزد تحت تأثیر گرانیت شیرکوه قرار گرفته و سبب دگرگونی مجاورتی در سازند شمشک شده است. توالی رسوبی کرتاسه پیشین (Early Cretaceous Sedimentary Sequence: ECSS) متشکل از رسوبات کنگلومرایی، ماسه‌سنگی، شیلی، سنگ‌های آتشفشانی بازیک، کربناتی، دولومیتی و مارنی است که به اسم‌هایی مانند سازند سنگستان، سازند تفت و سازند دره‌زنجیر (سازند آبکوه) در حوضه جنوب یزد شناخته می‌شود (نبوی، ۱۳۵۰) (شکل ۱- ب). رخنمون‌های اصلی این توالی، منحصر به بخش‌های جنوب خاوری، خاوری و باختری حوضه است. این توالی با یک ناپیوستگی روی سازند شمشک قرار گرفته است و توالی پوشاننده رسوبات کرتاسه در حوضه جنوب یزد مشخص نیست (نبوی، ۱۳۵۰). توالی رسوبی یاد شده همواره به عنوان توالی کرتاسه پیشین معرفی شده است (نبوی، ۱۳۵۰؛ آقانباتی، ۱۳۸۳؛ Wilmsen et al., 2013 and 2014; Schlagintweit and Wilmsen, 2014; Schlagintweit et al., 2013). درباره تعیین سن این توالی اختلاف نظرهایی میان پژوهشگران وجود دارد؛ به‌طوری که نبوی (۱۳۵۰) شروع این توالی را به نئوکومین نسبت داده است. پرتوآذر و ابوتراب (۱۳۶۰) با استفاده از فسیل‌های شاخص سازند سنگستان که شروع توالی رسوبی ECSS است، Late Kimmeridgian-Portlandian را زمان ته‌نشست سازند سنگستان در نظر می‌گیرند. جدیدترین پژوهش‌های صورت گرفته روی توالی کرتاسه پیشین در حوضه جنوب یزد نشان می‌دهد که سازند سنگستان در زمان Valanginian-Hauterivian شروع به رسوب‌گذاری کرده است (Wilmsen et al., 2014). این توالی میزبان کانسارهای روی- سرب- باریت در حوضه جنوب یزد است که مورد مطالعات تحلیل رخساره‌ای رسوبی قرار گرفته است.

۴- چینه‌شناسی و تحلیل رخساره‌ای توالی رسوبی کرتاسه پیشین (ECSS) میزبان کانه‌زایی در حوضه جنوب یزد

نظر به اینکه توالی رسوبی کرتاسه پیشین (ECSS) در حوضه جنوب یزد دربر گیرنده کانه‌زایی‌های روی- سرب- باریت مهدی‌آباد، فرح‌آباد، منصورآباد و دره‌زنجیر است (شکل ۱- ب) و محدوده حوضه با گستردگی این توالی مشخص می‌شود، بنابراین جایگاه چینه‌ای افق‌های کانه‌زایی، منوط به مطالعات چینه‌ای توالی رسوبی کرتاسه پیشین و تحلیل رخساره‌ای این توالی است. با توجه به گستردگی توالی ECSS و پیچیدگی‌های موجود در این توالی، در طی این مطالعات سعی شده تا ضمن پیمایش‌های بسیار در مرز واحدها در سطح حوضه، این توالی دست کم در ۱۶ برش به نسبت عمود بر روند لایه‌ها، در بخش‌های مختلف حوضه به ویژه درون مناطق معدنی بررسی شود. برای آسانی در امر برداشت‌های زمین‌شناسی، از مطالعات پیشین صورت گرفته در این بخش از ایران مرکزی (نبوی، ۱۳۵۰؛ مجیدی‌فرد، ۱۳۷۴؛ خسروتهرانی و وزیری مقدم، ۱۳۷۲؛ قاسمی، ۱۳۸۵؛ Schlagintweit and Wilmsen, 2014; Wilmsen et al., 2012 and 2014; Taghizadeh et al., 1988) نیز استفاده شده است.

بر پایه تفاوت‌های سنگ‌شناختی و ترکیب واحدهای سنگی موجود در توالی ECSS حوضه جنوب یزد، این توالی را می‌توان به ۳ بخش اصلی سازند سنگستان، سازند تفت و سازند آبکوه (دره‌زنجیر) با ویژگی‌هایی کاملاً متفاوت تقسیم کرد.

۴- ۱. بخش زیرین توالی ECSS یا سازند سنگستان

مقطع تیپ سازند سنگستان در کوه سنگستان در ۳۰ کیلومتری باختر شهرستان تفت است. این سازند برای اولین بار توسط نبوی (۱۳۴۷) در منطقه جنوب یزد شناسایی و تحت عنوان «سازند سنگستان» به‌طور غیر رسمی معرفی شد. این سازند در کل حوضه جنوب یزد با دگرشیبی آذرین‌پی روی گرانیت شیرکوه و سازند شمشک قرار می‌گیرد. بخش زیرین توالی ECSS (سازند سنگستان) را بر پایه انواع واحدهای سنگی موجود در آن و تناوب آنها، می‌توان به ۴ واحد مجزا تقسیم کرد که هر یک از آنها ویژگی‌های خاص خود را دارند (شکل ۳).

- رسوبات کنگلومرایی قاعده‌ای (Basal Conglomerate): رسوبات قاعده‌ای ECSS در حوضه جنوب یزد، به ویژه در جنوب معدن مهدی آباد (تل‌مادر- بچه) و منطقه شیرکوه، شامل رسوبات میکروکنگلومرایی هستند که با ناپیوستگی آذرین‌پی روی گرانیت شیرکوه قرار می‌گیرند (شکل ۲). این رسوبات دارای ستبرای متوسط ۵۰ متر و شامل قطعات کوارتز، گرانیت، کربنات و سنگ‌های دگرگونی پی‌سنگ هستند (شکل ۲). کنگلومرای قاعده در کانسار منصورآباد رخنمون ندارد؛ اما بیشترین رخنمون آن را می‌توان در کانسار سرب و روی فرح‌آباد مشاهده کرد. این رسوبات تخریبی نشان‌دهنده شروع رسوب‌گذاری توالی کرتاسه پیشین در یک محیط ساحلی کم‌ژرفا- خشکی هستند (Wilmsen et al., 2014).

- رسوبات ماسه‌سنگی، شیل آهکی و سیلتستون (رسوبات تخریبی): بیشتر توالی رسوبی سنگستان را رسوبات تخریبی ماسه‌ای، شیلی و سیلتی تشکیل می‌دهد (شکل ۳). این واحدهای سنگی به‌صورت ریزلایه هستند و به‌طور متناوب تکرار می‌شوند (شکل ۳). در معدن مهدی‌آباد این رسوبات بیشترین ستبرا را در بخش گسل فروزنده دارند؛ به‌طوری که متوسط ستبرای آن بیش از ۴۰۰ متر است (شکل ۴- ب). از بخش باختری معدن یعنی از بخش باختری گسل تپه سیاه (West Black-Hill) به سوی بخش خاوری (East Ridge) ستبرای سنگستان به ویژه رسوبات تخریبی افزایش می‌یابد. از ویژگی‌های شاخص این واحد رسوبی گوناگونی در ساختارهای رسوبی همچون ریپل‌مارک و دانه‌بندی تدریجی است. در کانسار منصورآباد همان‌گونه که اشاره شد سازند سنگستان گسترش زیادی ندارد و ستبرای آن به بیش از ۵ متر نمی‌رسد و در منطقه معدنی کانسار فرح‌آباد مقطع کاملی از این واحدها نمایان است.

- آهک‌های اُاُلیتی (رسوبات کربناتی سازند سنگستان): یکی از ویژگی‌های شاخص سازند سنگستان وجود میان لایه‌های آهکی اُاُلیتی در بین رسوبات تخریبی است. این آهک‌ها ستبرای متوسط ۱/۵ متر دارند و در بخش بالا و پایین به‌صورت تدریجی به شیل و ماسه‌سنگ تبدیل می‌شوند (شکل ۳). اندازه اُاُلیت‌ها بسیار متغیر است و به دو صورت دایره‌ای هم‌مرکز و شعاعی دیده می‌شوند (شکل ۳). هسته این اُاُلیت‌ها بیشتر از دانه‌های تخریبی مانند کوارتز و از قطعات فسیلی تشکیل شده است. این دانه‌های اُاُلیتی در سیمان کربناتی قرار دارند و دارای رنگ زمینه‌ای قهوه‌ای سوخته هستند. حضور این اُاُلیت‌ها در سازند سنگستان خود نشان‌دهنده ته‌نشست رسوبات در یک محیط کم‌ژرفای ساحلی است (Wilmsen et al., 2014).

- گدازه‌های دیابازی همزمان با رسوب‌گذاری سازند سنگستان: پرتوآذر و ابوتراب (۱۳۶۰) با مطالعه سازند سنگستان در مقطع خارکوه جنوب باختری روستای علی‌آباد، دو گدازه دیابازی گزارش کرده‌اند که به‌صورت همزمان با واحدهای تخریبی سازند سنگستان ته‌نشست کرده‌اند و نشان از رخداد کشش در طی زمان ته‌نشست سازند سنگستان در حوضه رسوبی جنوب یزد دارند. اولین گدازه در بخش ابتدایی سازند سنگستان و با ستبرای ۲۵ متر است و گدازه دوم در بخش‌های بالایی سازند سنگستان و در ۱۵۰ متری زیر سازند تفت جای گرفته (شکل ۸) و ستبرای ۲۵ متر و رنگ رخنمون خاکستری تیره دارد.

۴– ۲. بخش میانی توالی ECSS یا سازند تفت (میزبان کانسارهای روی– سرب– باریت حوضه جنوب یزد)

بر خلاف بخش زیرین توالی ECSS، در بخش میانی، نسبت ترکیبات تخریبی به ترکیبات کربناتی کاهش یافته است و به جز واحدهای سنگی محدود و نازک، سنگ‌های کربناتی چیره هستند و بیشتر آن را تشکیل می‌دهند. انتقال از بخش زیرین به بخش بالایی توالی ECSS به‌صورت پیوسته است و با افزایش سنگ‌های کربناتی در برابر ترکیبات تخریبی مشخص می‌شود. این تغییر سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی نشان از افزایش ژرفا در اثر فرونشست حوضه جنوب یزد دارد. بر پایه انواع واحدهای سنگی موجود در بخش میانی توالی ECSS، می‌توان آن را به ۳ واحد مجزا، تقسیم کرد.

– واحد زیرین (رخساره تخریبی– کربناتی)؛ آهک‌های شیلی غنی از مواد آلی، آهک سیلتی (میزبان اصلی کانسارهای روی– سرب حوضه جنوب یزد): رسوبات کربناتی– تخریبی ریزدانه این عضو از توالی ECSS میزبان اصلی کانسارهای روی– سرب– باریت کرتاسه پیشین حوضه جنوب یزد است. واحدهای ماسه‌سنگی، شیلی و آهک‌های اُالیتی بخش بالایی سازند سنگستان در منطقه معدنی مهدی‌آباد توسط رخساره‌های مختلفی از سازند تفت پوشیده می‌شوند (شکل ۴). تبدیل تدریجی بخش بالایی سازند سنگستان به سازند تفت در محدوده معدنی مهدی‌آباد تنها در ۵ ناحیه دیده می‌شود: بخش باختری گسل تپه سیاه، کانی‌زایی بخش مرکزی (Central Orebody: COB)، بخش خاوری (East Ridge: ER)، منطقه خاوری گسل فروزنده و منطقه تل‌مادر– بچه (شکل ۴).

در بخش باختری گسل تپه‌سیاه واحد زیرین سازند تفت آهک‌های لایه‌ای دولومیتی شده است که به‌صورت همشیب و هم‌روند روی واحد بالایی سازند سنگستان و روی آن نیز آهک‌های توده‌ای بخش‌های بالایی سازند تفت قرار دارند. در بخش باختری گسل تپه‌سیاه، واحد زیرین این سازند از حالت آهک لایه‌ای دولومیتی در شمال به آهک‌های ماسه‌ای در جنوب تغییر رخساره جانبی می‌دهد. ستبرای این آهک ماسه‌ای ثابت نیست و از شمال به جنوب کم می‌شود.

مطالعات صورت گرفته روی گمانه‌های اکتشافی بسیار (بیش از ۱۵۰ حلقه گمانه) این بخش از کانسار مهدی‌آباد نشان می‌دهد که واحد زیرین سازند تفت در COB شامل آهک‌های شیلی غنی از مواد آلی، شیل‌های سیلتی سیاه غنی از مواد آلی، آهک‌های دولومیتی و سیلت‌های نازک لایه است (شکل ۵). لامینه‌های بسیار ریز شیل، سیلت و مواد معدنی سولفیدی از چیره‌ترین بافت‌های رسوبی این بخش از کانسار مهدی‌آباد است. ستبرای این رخساره تخریبی– کربناتی از گسل تپه‌سیاه به سوی ER کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که بیشترین ستبرا را در کنار گسل تپه‌سیاه دارد و بیشتر نیز از رخساره تخریبی درشت‌دانه و برشی تشکیل شده است. ویژگی‌های شاخص رسوبی این رخساره همچون وجود ریزگسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری (Syn- sedimentary micro fault)، وجود برش‌های درون‌سازندی (Intraformational breccia) به‌صورت میان‌انگشتی در میان لایه‌های رسوبی، تکرار این برش‌ها در میان رخساره‌های رسوبی، افزایش ستبرای برش‌ها به سوی گسل تپه‌سیاه، تغییر ستبرای رسوبات در نزدیکی گسل تپه‌سیاه، تغییرات جانبی رخساره سنگی در حد نمونه دستی، چین‌خوردگی‌های ناشی از آشفتگی حوضه و تناوب رسوب با سولفیدهای کانه‌دار و پیریتی، همگی نشان از فعال بودن گسل تپه‌سیاه در طی رسوب‌گذاری توالی میزبان کانه‌زایی کانسار مهدی‌آباد دارد (شکل ۵). در بخش خاوری یا ER معدن مهدی‌آباد گذر سازند سنگستان به توالی زیرین سازند تفت، همراه با کانه‌زایی اکسیدی روی– سرب– آهن– منگنز– باریت (گوسن خاوری) است که درون رخساره آهک سیلتی قرار دارد (شکل ۴– ب). در کانسار فرح‌آباد نیز مانند کانسار مهدی‌آباد رسوبات تخریبی سازند سنگستان توسط رسوبات تخریبی– کربناتی واحد زیرین سازند تفت پوشیده می‌شود (شکل ۶). واحد زیرین سازند تفت در کانسار فرح-آباد نسبت به بخش زیرین این سازند در مهدی‌آباد دانه‌درشت‌تر (شکل ۱۳ الف) و متشکل از ماسه‌های آهکی، ماسه، سیلتستون‌های غنی از مواد آلی و شیل است که بیشتر کانه‌زایی را به‌صورت لایه‌ای در خود جای داده است. این رسوبات هم‌عرض شیل‌های غنی از مواد آلی و آهک‌های شیلی کانسار مهدی‌آباد هستند.

ساختار کلی ناحیه‌ای که کانسار منصورآباد در آن جای دارد به‌صورت تاقدیس بزرگی است که کانه‌زایی روی– سرب در بخش مرکزی این تاقدیس تشکیل شده است (شکل ۷) و رخنمونی از واحد زیرین سازند تفت در سطح دیده نمی‌شود؛ با این حال درون تونل‌ها و چاهک‌های حفر شده معدن، این واحد زیرین متشکل از آهک‌های شیلی و دولومیت است. برخلاف کانسار فرح‌آباد، واحد زیرین در کانسار منصورآباد بیشتر از نوع کربناتی است که میان‌لایه‌هایی از شیل‌های غنی از مواد آلی نیز دارد.

– واحد بالایی (رخساره کربناتی)؛ آهک و دولومیت: رسوبات کربناته، بالایی‌ترین واحد سنگی سازند تفت در توالی ECSS را در حوضه جنوب یزد تشکیل می‌دهند. این واحد که دارای ریخت‌شناسی خشن و ستیغ مانند است، ارتفاعات حوضه جنوب یزد و به ویژه کانسار مهدی‌آباد را تشکیل می‌دهد (شکل ۴). برخلاف واحد زیرین سازند تفت، در واحد بالایی، نسبت ترکیبات تخریبی به شدت کاهش می‌یابد و به جز واحدهای سنگی محدود و نازک، سنگ‌های کربناتی چیره هستند و بیشتر آن را تشکیل می‌دهند (شکل ۴ب). واحد بالایی سازند تفت از دو رخساره، دولومیتی در زیر و رخساره آهکی در بخش بالایی تشکیل شده است. در کانسار مهدی‌آباد میانگین ستبرای واحد بالایی سازند تفت بیش از ۴۰۰ متر و شروع این واحد در کانسار مهدی‌آباد با دولومیت‌های توده‌ای است که به‌صورت همشیب و هم‌روند روی واحد زیرین سازند تفت قرار می‌گیرد. روی آهک‌های سازند تفت، سازند آبکوه (دره‌زنجیر) به‌صورت همشیب قرار گرفته است (شکل‌های ۴- الف و ۸).

۴– ۳. بخش بالایی توالی ECSS یا سازند آبکوه (دره‌زنجیر)

بخش بالایی توالی کرتاسه پیشین در حوضه جنوب یزد، برای اولین بار توسط نبوی (۱۳۴۷) بررسی شد. وی شیل‌های سبز زیتونی و مارن‌های سبز همراه با میان‌لایه‌های عدسی شکلی از سنگ‌آهک‌ها و ماسه‌سنگ را که روی واحدهای سازند تفت قرار دارند، شیل‌های دره‌زنجیر نام‌گذاری کرد. Taghizadeh et al. (1988) شیل‌های سیاه چرت‌دار دارای میان‌لایه‌هایی از آهک را در کانسار مهدی‌آباد، سازند آبکوه نام‌گذاری کردند (شکل‌های ۹ و ۱۰) و این سازند را معادل سازند دره‌زنجیر در جنوب باختر شهرستان تفت دانسته‌اند. ستبرای سازند دره‌زنجیر در منطقه بادگز (جنوب شهرستان تفت) در حدود ۱۴۱ متر است (مجیدی‌فرد، ۱۳۷۴)؛ اما ستبرای حقیقی سازند آبکوه در کانسار مهدی‌آباد بیش از ۱۰۰۰ متر است (Taghizadeh et al., 1988؛ شکل ۸). گذر واحدهای ECSS از رسوبات تخریبی سنگستان به واحد تخریبی– کربناتی تفت و ته‌نشست شیل‌های سیاه دره‌زنجیر (آبکوه) روی این دو سازند نشان از ژرف‌تر شدن حوضه رسوبی از سنگستان به دره‌زنجیر دارد (Wilmsen et al., 2014) و محیط ته‌نشست سازند دره‌زنجیر بخش‌های ژرف حوضه (Deep basin) است. از دیگر ویژگی‌های سازند دره‌زنجیر وجود گرهک‌های چرتی در بخش کربناتی این سازند است. در برش زمین‌شناسی ناحیه دره‌زرشک– دره‌زنجیر و در برش آدربلندا (شمال کانسار منصورآباد) شیل‌های دره‌زنجیر رخنمون کاملی دارند که به‌طور متوسط دارای ستبرای ۳۰۰ متر و شامل تناوب شیل، مارن‌های سبز، آهک‌های شیلی و مارنی نازک‌لایه هستند (مجیدی‌فرد، ۱۳۷۴) (شکل ۸). در برش خارکوه سنگستان آثاری از توالی دره‌زنجیر دیده نمی‌شود (پرتوآذر و ابوتراب، ۱۳۶۰). کانسار کالامین معدن مهدی‌آباد و افق دو کانسار منصورآباد که شامل اکسیدهای سرب و روی است در واحدهای رسوبی سازند آبکوه تشکیل شده است (شکل ۴- الف). سازند آبکوه بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی و گوناگونی رخساره‌ای به ۷ واحد جدا تقسیم می‌شود: ۱) آهک‌های نازک‌لایه با باندهایی از چرت، ۲) شیل دولومیتی، آهک‌های تیره با میان‌لایه‌هایی از چرت، ۳) آهک ریفی، آهک‌های حفره‌دار، ۴) شیل آهکی با میان‌لایه‌هایی از آهک نازک‌لایه، ۵) آهک‌های نازک‌لایه چرت‌دار، ۶) آهک تیره توده‌ای و ۷) شیل و

آهک ماسه‌ای با میان‌لایه‌هایی از آهک شیلی (شکل‌های ۹ و ۱۰). از ۷ واحد رسوبی سازند آبکوه در کانسار مهدی‌آباد تنها ۵ واحد در کانسار منصورآباد گسترش دارند و واحدهای ۶ و ۷ در این کانسار دیده نمی‌شوند (شکل ۱۱). بر خلاف کانسار منصورآباد، در کانسار فرح‌آباد سازند دره‌زنجیر گسترش چندانی ندارد و تنها واحد سازند دره‌زنجیر که می‌توان در کانسار فرح‌آباد دید، واحد آهک نازک‌لایه چرت‌دار است که روی آهک‌های سازند تفت قرار گرفته است؛ این آهک‌ها به‌صورت نازک‌لایه و دارای ستبرای ۴۰ متر هستند (شکل ۱۱).

۵- جایگاه کانسارهای روی- سرب- باریت حوضه جنوب یزد در توالی رسوبی کرتاسه پیشین

حوضه جنوب یزد یکی از مناطق پرپتانسیل برای ذخایر معدنی روی- سرب- باریت با میزبان رسوبی است (شکل ۱- الف). برخی از این کانسارها مانند کانسار مهدی‌آباد در حد کلاس جهانی هستند؛ این کانسار به عنوان یکی از بزرگ‌ترین کانسارهای روی- سرب جهان شناخته می‌شود (Leach et al., 2005 and 2010a and b; Rajabi et al., 2012a). رخداد کانسارهای مختلف در توالی ECSS حوضه جنوب یزد، نشان از مستعد بودن این توالی برای اکتشاف این نوع کانه‌زایی در سال‌های آینده دارد. از مهم‌ترین کانسارهای روی- سرب- باریت حوضه جنوب یزد می‌توان به کانسارهای مهدی‌آباد، منصورآباد، فرح‌آباد و دره‌زنجیر اشاره کرد (شکل ۱- ب). کانه‌زایی روی- سرب- باریت در همه این کانسارها درون توالی رسوبی کرتاسه پیشین و به ویژه در سازند تفت صورت گرفته است. جایگاه چینه‌ای افق‌های کانه‌زایی در این چهار کانسار به‌صورت جداگانه توضیح داده می‌شود.

۵-۱. کانسار روی- سرب- باریت (مس) مهدی‌آباد

کانسار مهدی‌آباد در ۱۱۶ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان یزد جای دارد. مطالعات مختلفی روی این کانسار توسط سازمان‌ها و پژوهشگران دانشگاهی صورت گرفته، ولی تحلیل رخساره‌ای توالی میزبان و ارتباط کانه‌زایی با رخساره سنگی خاص، در هیچ پژوهشی به‌صورت تحلیلی بررسی نشده است. کانی‌سازی روی- سرب- باریت (نقره- مس) در کانسار مهدی‌آباد در دو افق چینه‌ای مختلف تشکیل شده است:

- افق اول: این افق کانه‌زایی شامل کانه‌زایی سولفیدی در قاعده توالی رسوبی سازند تفت است که مهم‌ترین افق کانه‌زایی نه تنها در معدن مهدی‌آباد، بلکه در کل حوضه جنوب یزد است (شکل‌های ۴- الف و ۱۵). همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد رخساره‌هایی همچون آهک‌های شیلی، سیلت‌های آهکی، شیل‌های غنی از مواد آلی، دولومیت و سیلتستون‌های قاعده سازند تفت میزبان اصلی کانه‌زایی در افق اول کانسار مهدی‌آباد است (شکل ۵). بخش‌های کانه‌زایی که در افق یک کانسار مهدی آباد تشکیل شده‌اند از بخش باختر به خاور عبارتند از: کانی‌زایی در بخش تپه‌سیاه (Black-Hill orebody: BHO)، کانه‌زایی بخش مرکزی (COB) و کانه‌زایی بخش خاوری (ER) (شکل ۴). ستبرای افق اول کانه‌زایی از ۱۲ متر در بخش ER تا بیش از ۳۰۰ متر در بخش COB تغییر می‌کند. کانه‌زایی روی- سرب- باریت (نقره- مس) در افق اول کانسار مهدی‌آباد در بخش خاوری گسل تپه‌سیاه صورت گرفته است و آثاری از کانه‌زایی در بخش باختری این گسل دیده نمی‌شود. به بیان دیگر کانه‌زایی در افق اول کانسار مهدی‌آباد به‌صورت یک سویه (به سوی خاور) است (شکل ۴- الف). طول این افق کانه‌زایی از بخش BHO تا منتهی‌الیه ER بیش از ۳ کیلومتر است. این افق کانه‌زایی از باختر توسط گسل تپه‌سیاه محدود می‌شود ولی به سوی خاور این افق با تغییر ستبرا و تغییر رخساره جانبی به واحدهای کمربالا (بخش دولومیتی سازند تفت) و کمر پایین (بخش بالایی سازند سنگستان) به‌صورت گوه‌ای کشیده تبدیل می‌شود (شکل ۴- ب). برخلاف باور قاسمی (۱۳۸۵) بخش خاوری افق اول کانسار مهدی‌آباد در منطقه توسط گسل فروزنده ناپدید نمی‌شود؛ بلکه پایان این افق در منتهی‌الیه خاوری این کانسار، توسط پدیده تغییر رخساره جانبی است (شکل ۴- ب). یک افق باریتی با ستبرای میانگین ۴۰ متر در بخش BHO و COB روی کانه‌زایی سولفیدی کانسار قرار گرفته است. ژئومتری این افق باریتی به‌صورت گوه‌ای کشیده است و بیشترین ستبرای آن در نزدیکی گسل تپه‌سیاه و روی بخش کانه‌زایی BHO است (شکل ۱۵). بر پایه مطالعات تحلیل رخساره‌ای توالی سنگی میزبان افق یک، کانه‌زایی ۸۰ متر اول شروع سازند تفت، متشکل از رخساره تخریبی- کربناتی است و بیشتر کانه‌زایی به‌صورت لامینه‌های سولفیدی همراه با ساخت و بافت‌های رسوبی فراوان در آن دیده می‌شود. از ویژگی‌های دیگر آن، غنی بودن این رسوبات از مواد آلی (organic matter) است. کانه‌زایی روی- سرب در افق یک کانسار مهدی‌آباد، در بخش BHO و ER به‌طور چیره به‌صورت اکسیدهای روی- سرب است؛ اما در بخش COB این کانسار، کانه‌زایی سولفیدی چیره است. کانی‌شناسی این افق شامل کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، باریت، اکسیدهای آهن و منگنز و اکسیدهای سرب و روی است (شکل ۱۲).

- افق دوم: این افق برخلاف افق یک تنها در معادن مهدی‌آباد و منصورآباد دیده می‌شود (شکل ۴- الف). افق دو کانه‌زایی در کانسار مهدی‌آباد درون توالی رسوبی سازند آبکوه تشکیل شده و به نام معدن کالامین مشهور است (شکل ۴- الف). از ویژگی‌های جالب این افق، اکسیدی بودن کانه‌های روی- سرب در آن است (Reichert, 2007) و به همین دلیل توسط معدنکاران به آن بخش کالامین نیز گفته می‌شود. این افق کانه‌زایی بین واحدهای ۴ و ۵ سازند آبکوه با سنگ میزبان شیل‌های چرت‌دار، شیل‌های آهکی و آهک‌های نازک لایه (شکل ۱۱)، مانند افق یک، در بخش خاوری گسل تپه سیاه تشکیل شده است (شکل ۴- ب). افق دو کانه‌زایی کانسار مهدی‌آباد به دلیل عملکرد گسل‌های تراستی، به‌صورت بریده بریده دیده می‌شود. کانه‌زایی اولیه در این افق نیز همانند افق یک به‌صورت سولفیدی بوده و طی هوازدگی تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی و تأثیر فرایندهای برونزاد (Supergene) به اکسیدهای سرب و روی تبدیل شده است. در مقاطع میکروسکوپی و نمونه‌های دستی آثاری از سولفیدهای اولیه در میان کانه‌های اکسیدی این بخش‌ها دیده می‌شود.

۵- ۲. کانسار روی- سرب فرح‌آباد

این کانسار در ۷۰ کیلومتری جنوب باختری یزد و ۵۰ کیلومتری باختر تفت جای دارد. کانسار فرح‌آباد برخلاف کانسار مهدی‌آباد، تنها در یک افق و آن هم در بخش زیرین سازند تفت تشکیل شده است (شکل ۱۵). همان‌گونه که اشاره شد سنگ میزبان این کانسار در شروع سازند تفت، دانه‌درشت‌تر بوده و به‌طور چیره از ماسه‌سنگ‌هایی با سیمان آهکی تشکیل شده است (شکل ۱۳). این رخساره به‌طور چیره میزبان کانه‌زایی لایه‌ای کانسار فرح‌آباد است و به سوی بالا، به رخساره دولومیتی تبدیل می‌شود. کانه‌زایی روی- سرب در بخش دولومیتی به‌صورت جانشینی و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. دانه‌بندی تدریجی همراه با لامینه‌های سولفیدی از ویژگی‌های شاخص افق کانه‌زایی کانسار فرح‌آباد است. کانسار فرح‌آباد در ماه‌های کمی از سال فعال است و به‌صورت زیرزمینی استخراج می‌شود. در این کانسار بر خلاف کانسار مهدی‌آباد، رخساره کانسنگی باریتی دیده نمی‌شود؛ ولی در مطالعات میکروسکوپی بلورهایی از باریت در میان ماده معدنی دیده می‌شود. در نزدیکی گسل‌ها، سولفیدهای اولیه کانه‌زایی به اکسیدهای روی- سرب و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. بخش زیرین سازند تفت در کانسار فرح‌آباد مانند کانسار مهدی‌آباد شامل یک رخساره تخریبی- کربناتی است (شکل ۶) و میزان مواد آلی نیز در آن به فراوانی دیده می‌شود. کانی‌های سولفیدی چیره در افق کانه‌زایی کانسار فرح‌آباد شامل، گالن، اسفالریت و پیریت است و بر خلاف کانسار مهدی‌آباد در این کانسار کالکوپیریت دیده نمی‌شود. ساخت و بافت‌هایی ماده معدنی این کانسار شامل بافت لامینه، لایه‌ای، دانه‌پراکنده، توده‌ای، جانشینی و پرکننده فضای خالی است (شکل ۱۳).

۵- ۳. کانسار روی- سرب (نقره) منصورآباد

کانسار روی- سرب (نقره) منصورآباد در بخش جنوبی کانسار فرح‌آباد قرار دارد. این کانسار همانند کانسار فرح‌آباد، به‌صورت زیرزمینی استخراج می‌شود. کانه‌زایی روی- سرب (نقره) در این کانسار محدود به سازند تفت و سازند دره‌زنجیر (آبکوه) است (شکل ۱۵). برخلاف کانسار فرح‌آباد، واحد زیرین سازند تفت در کانسار منصورآباد بیشتر از نوع کربناتی است که میان‌لایه‌هایی از شیل‌های غنی از مواد

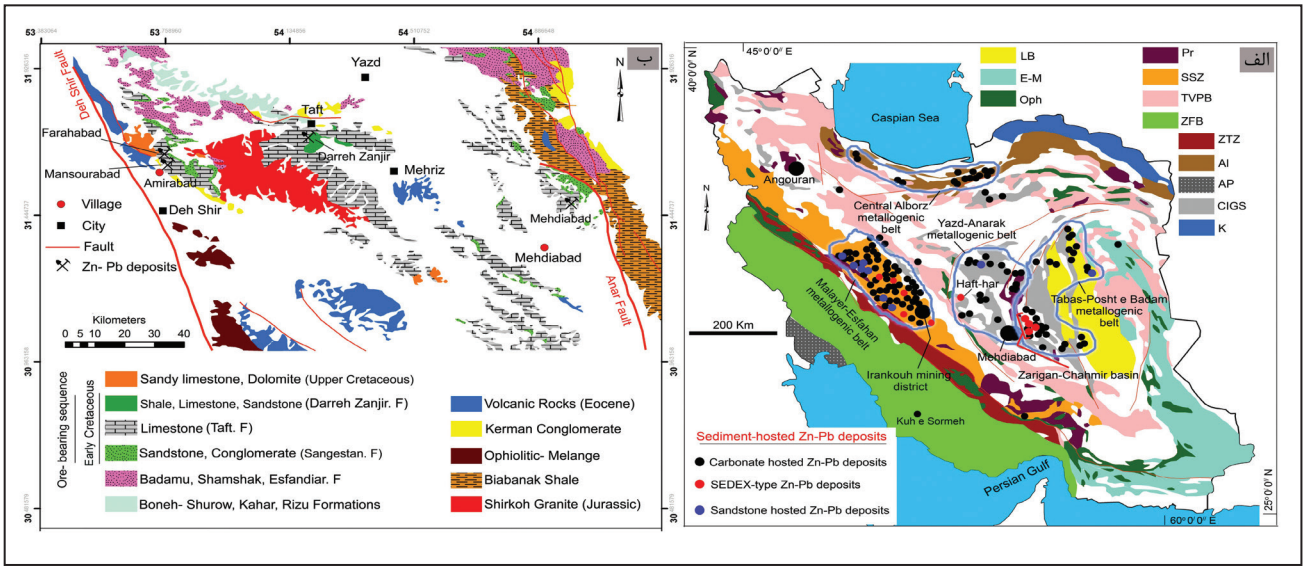
آلی نیز دارد (شکل ۷). این آهک‌های شیلی توسط دولومیت‌های بخش میانی سازند تفت پوشیده می‌شوند. ستبرای این واحد کانه‌دار در بخش‌های دارای رخنمون درون تونل‌ها، نزدیک به ۱۵ متر است. با افزایش ترکیبات کربناتی درون آهک‌های شیلی میزبان کانه‌زایی، این واحد به آهک لامینه‌ای تبدیل می‌شود. بخش زیرین سازند تفت در این کانسار دارای کانه زایی سولفیدی با عیار بسیار کم است. در کانسار منصورآباد، برخلاف کانسار فرح‌آباد و کانسار مهدی‌آباد، بیشتر کانه‌زایی در دولومیت‌های واحد بالایی سازند تفت تشکیل شده است (شکل‌های ۷ و ۱۵). این دولومیت‌ها روی واحد زیرین سازند تفت به‌صورت پیوسته قرار گرفته‌اند و خود نیز توسط آهک‌های بخش بالایی سازند تفت به‌صورت همشیب پوشیده می‌شوند (شکل ۷). در یال خاوری تاقدیس کانسار منصورآباد، در سازند آبکوه میان‌لایه‌ای به ستبرای نزدیک به ۴ متر از آهک‌های شیلی و سیلتی وجود دارد و کانه‌زایی نیز در این بخش به‌صورت هم‌روند با لایه‌بندی تشکیل شده است (شکل ۱۵). کانه‌زایی در کانسار منصورآباد به‌طور چیره از نوع اکسیدی است؛ ولی در تونل‌ها، سولفیدی‌های اولیه به‌صورت پرکننده فضای خالی و لامینه‌ای نیز دیده می‌شود (شکل ۱۳- ت و ث). کانی‌شناسی سولفیدی این کانسار شبیه به کانسار فرح‌آباد است و برخلاف کانسار مهدی-آباد، کالکوپیریت و باریت نیز در آن دیده نمی‌شود.

۵- ۴. کانسار روی و سرب دره‌زنجیر

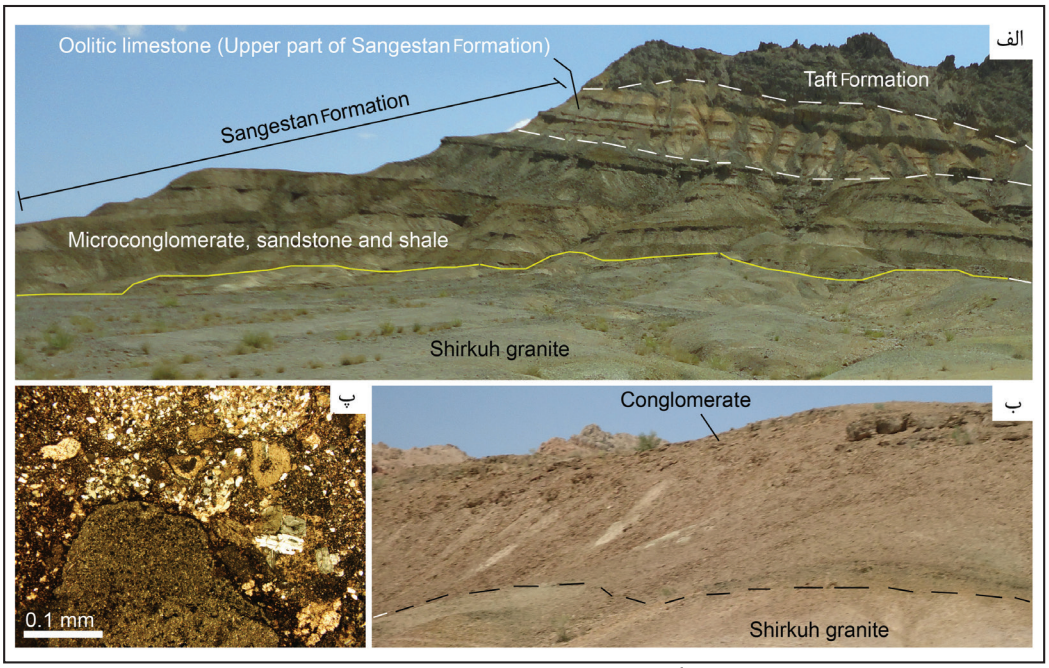
کانسار روی- سرب دره‌زنجیر در ۲۵ کیلومتری جنوب باختر یزد و در ۲ کیلومتری جنوب خاور تفت جای دارد (شکل ۱- ب). این کانسار یکی از کهن‌ترین کانسارهای روی- سرب ایران به شمار می‌رود و استخراج آن نیز همانند کانسارهای منصورآباد و فرح‌آباد به‌صورت زیرزمینی صورت می‌گیرد. مجموعه توالی رسوبی کرتاسه پیشین نیز مانند دیگر کانسارها در کانسار دره‌زنجیر نیز رخنمون دارد. مطالعات صحرایی نشان‌دهنده جایگاه چینه‌ای متفاوت کانه‌زایی و سنگ میزبان کانسار دره‌زنجیر با دیگر کانسارهای روی- سرب حوضه جنوب یزد است و این کانسار از دید دیگر ویژگی‌های زمین‌شناسی نیز تفاوت آشکاری با کانسارهای مهدی‌آباد، فرح‌آباد و منصورآباد دارد. در منطقه معدنی دره‌زنجیر، سازند تفت با دولومیت‌های قهوه‌ای رنگ شروع می‌شود و بر خلاف کانسارهای مهدی‌آباد، فرح‌آباد و منصورآباد، واحد زیرین سازند تفت که شامل شیل، سیلتستون و آهک سیلتی است، در منطقه معدنی دره‌زنجیر گسترش ندارد (شکل ۱۵). دولومیت‌ها و آهک‌های سازند تفت به ستبرای ۴۰۰ متر و به‌صورت همشیب روی سازند سنگستان قرار گرفته‌اند و بدون کانه‌زایی سرب و روی هستند؛ با این وجود بخشی از آهک‌های تفت توسط گسل راندگی روی شیل‌های زیتونی سازند دره‌زنجیر رانده شده و به شدت تحت تأثیر فرایند دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند. این آهک‌های دولومیتی شده میزبان کانه‌زایی سرب و روی در معدن دره‌زنجیر هستند (شکل ۱۴). در مورد دولومیت‌های میزبان کانه‌زایی اختلاف نظرهای فراوانی میان زمین‌شناسان وجود دارد؛ به‌طوری که برخی بر این باورند که دولومیت‌های میزبان کانه‌زایی، همان آهک‌های بخش میانی سازند تفت هستند که در اثر گسل راندگی روی سازند دره‌زنجیر قرار گرفته‌اند و طی آن کنش و واکنش‌های دولومیتی نیز انجام شده است؛ اما برخی دیگر از زمین‌شناسان به ویژه زمین‌شناسان مشغول در معدن دره‌زنجیر بر این باورند که این دولومیت‌ها، همان آهک‌های پایینی سازند دره‌زنجیر هستند و با گسل راندگی روی واحد شیل بالایی این سازند رانده شده‌اند. این پژوهش نشان داد که در منطقه معدنی دره‌زنجیر، آهک پایینی سازند دره‌زنجیر در محل خود به‌صورت همشیب روی سازند تفت قرار گرفته است و دولومیت‌هایی که کانه‌زایی سرب و روی را میزبانی می‌کنند، آهک‌های سازند تفت هستند که با یک گسل راندگی روی شیل‌های دره‌زنجیر رانده شده‌اند. ستبرای این دولومیت‌ها به‌طور میانگین ۳۰۰ متر است و بیشتر کنده‌کاری‌های معدنی کهن، تونل و حفاری روی این دولومیت‌ها صورت گرفته است. از ویژگی‌های شاخص سنگ میزبان کانه‌زایی کانسار دره‌زنجیر، نبود رسوبات تخریبی به عنوان سنگ میزبان و محدود بودن کانه‌زایی به بخش‌های دولومیتی شده است. کانه‌زایی در این کانسار بیشتر در ارتباط با گسل‌ها بوده و به‌طور چیره از نوع جانشینی و پرکننده فضای خالی است. با این اوصاف جایگاه چینه‌ای و چگونگی تشکیل کانسار دره‌زنجیر کاملاً متفاوت با دیگر کانسارهای توضیح داده شده است (شکل ۱۵).

۶- نتیجه‌گیری

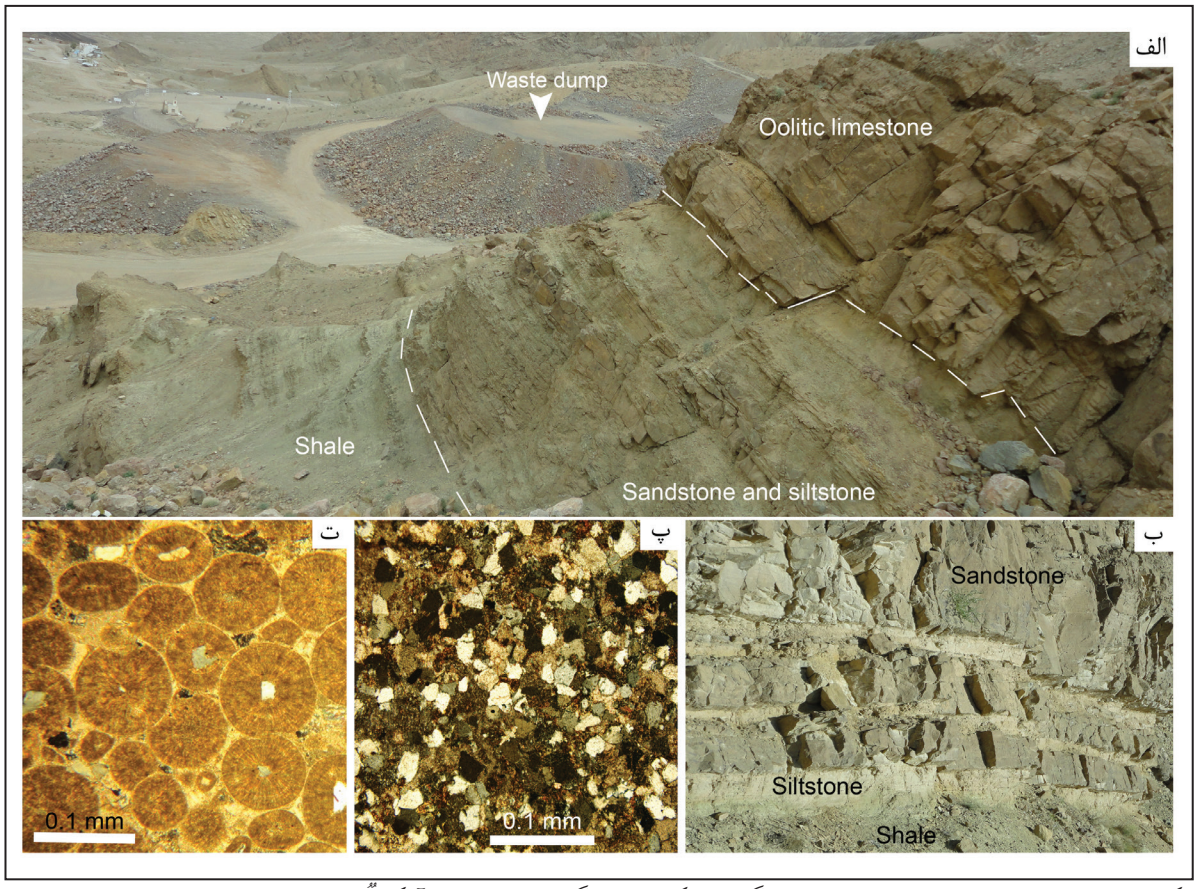
تطابق چینه شناسی و آنالیز رخساره‌ای توالی کرتاسه پیشین در حوضه جنوب یزد نشان داد که کانه‌زایی روی- سرب- باریت در حوضه جنوب یزد در دو افق متفاوت در کانسارهای مختلف تشکیل شده است (شکل ۱۵). و هریک از این افق‌ها در جایگاه چینه‌ای خاص و در رخساره سنگی خاصی تشکیل شده‌اند. مطالعات تحلیل رخساره‌ای توالی اشاره شده نشان می‌دهد که این توالی طیف‌های مختلفی از سنگ‌های رسوبی از نوع تخریبی تا کربناتی دارد؛ ولی مسلم است که از شروع ته‌نشست توالی کرتاسه پیشین یعنی سازند سنگستان تا انتهای این توالی یعنی سازند آبکوه، حوضه رسوبی میزبان این توالی میل به ژرف‌تر شدن و فرونشست داشته؛ به‌طوری که شروع توالی ECSS با کنگلومرای قاعده‌ای است و نشان از ته‌نشست در یک محیط ساحلی بسیار کم ژرفا دارد. ته‌نشست توالی تخریبی- کربناتی سازند تفت روی توالی تخریبی سازند سنگستان نشان از این فرایند ژرف شدن حوضه دارد. سازند آبکوه که به‌طور چیره شامل رسوبات کربناتی نازک‌لایه چرت‌دار و شیل‌های غنی از مواد آلی و مارن است، در اوج ژرف بودن این حوضه روی سازند تفت تشکیل شده است. آنچه که می‌تواند دلیل ژرف‌تر شدن حوضه کششی جنوب یزد باشد، عملکرد گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری و افزایش ستبرای رسوبات در طی ته‌نشست است که موجب فرونشست حوضه به مرور زمان و ژرف‌تر شدن آن شده است. در این حوضه رسوبی با گوناگونی رخساره‌های سنگی زیاد، تنها رخساره زیرین سازند تفت و بخش میانی سازند آبکوه میزبان کانه‌زایی روی- سرب در این حوضه است (شکل ۱۵). افق اول که در کانسارهای مهدی‌آباد، منصورآباد و فرح‌آباد دیده می‌شود، با شروع سازند تفت به همراه رسوبات شیلی- سیلتی- کربناتی تشکیل شده است (شکل ۱۵). این افق کانه‌زایی مهم‌ترین افق میزبان کانسارهای روی- سرب حوضه جنوب یزد است که به‌صورت هم‌روند با لایه‌بندی توالی تخریبی- کربناتی تشکیل شده است. هر چند رخساره سنگی میزبان در این افق، در سه کانسار دارای تفاوت‌هایی است؛ شیل‌های غنی از مواد آلی، شیل آهکی، سیلتستون و دولومیت رخساره چیره میزبان افق یک در کانسار مهدی‌آباد است؛ اما در کانسار فرح‌آباد این رسوبات مقداری دانه‌درشت‌تر و در حد ماسه دیده می‌شوند. رخساره میزبان کانه‌زایی در افق یک کانسار منصورآباد با چیره شدن کربنات به رسوبات تخریبی ظاهر می‌شود و رخساره کربناتی- تخریبی میزبان کانه‌زایی است. افق دو کانه‌زایی در حوضه جنوب یزد تنها در معادن مهدی‌آباد و منصورآباد دیده می‌شود. رخساره سنگی میزبان این افق شیل‌های سیاه به همراه آهک نازک‌لایه چرت‌دار شیلی- سیلتی هستند (شکل ۱۵). این افق کانه‌زایی در هر دو کانسار به‌صورت اکسیدی است. ولی بزرگی و عیار این افق در کانسار مهدی‌آباد بسیار بیشتر از کانسار منصورآباد است. همان‌گونه که اشاره شد جایگاه چینه‌ای، سنگ میزبان و فرایند کانسار دره‌زنجیر متفاوت با دیگر کانسارهای حوضه جنوب یزد است و این کانسار در بالای یک گسل راندگی و درون شکستگی‌ها و حفرات سنگ‌های دولومیتی رانده شده تشکیل شده است (شکل ۱۵).



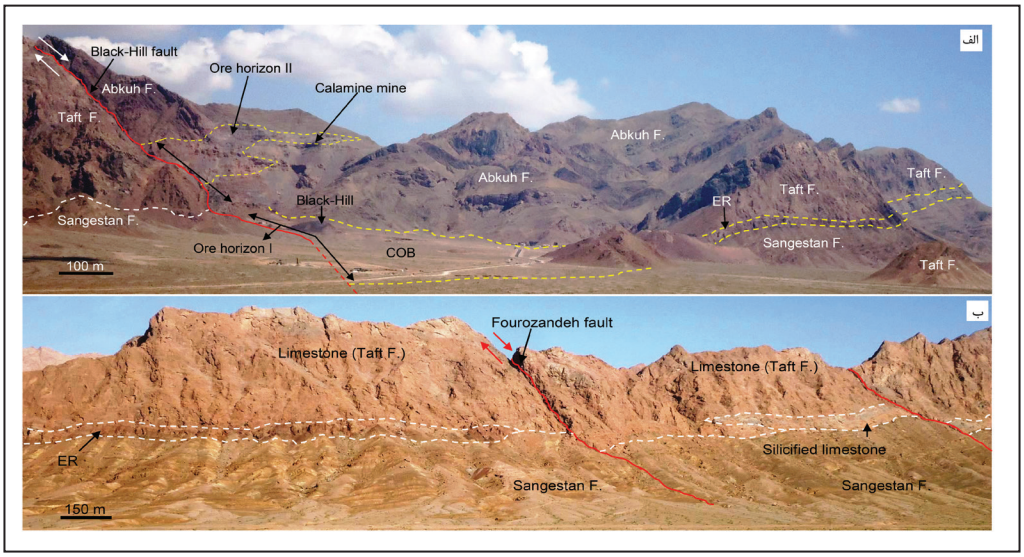
شکل ۱- الف) نقشه توزیع کانسارهای روی- سرب با میزبان رسوبی ایران و ایالت‌های فلززایی آنها (با تغییر از Rajabi et al. (2012a)). نقشه ساختاری ایران (با تغییرات از Stocklin (1968))؛ ب) نقشه زمین‌شناسی ساده حوضه جنوب یزد با تلفیق نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ یزد و آباده (تراز و آقانباتی، ۱۳۶۲؛ نبوی، ۱۳۴۹) و موقعیت کانساری روی- سرب در توالی رسوبی کرتاسه پیشین.
Al, Alborz zone; AP, Arabian platform; CIGS,Central Iranian geological and structural gradual zone; E-M, East Iran-Makran; K, Kopeh-Dagh; LB, Tabas block; Oph, ophiolite belts; Pr, Precambrian basement; SSZ, Sanandaj-Sirjan zone; TVPB, Tertiary volcanic-plutonic belts; ZFB, Zagros folded belt; ZTZ, Zagros thrust zone.



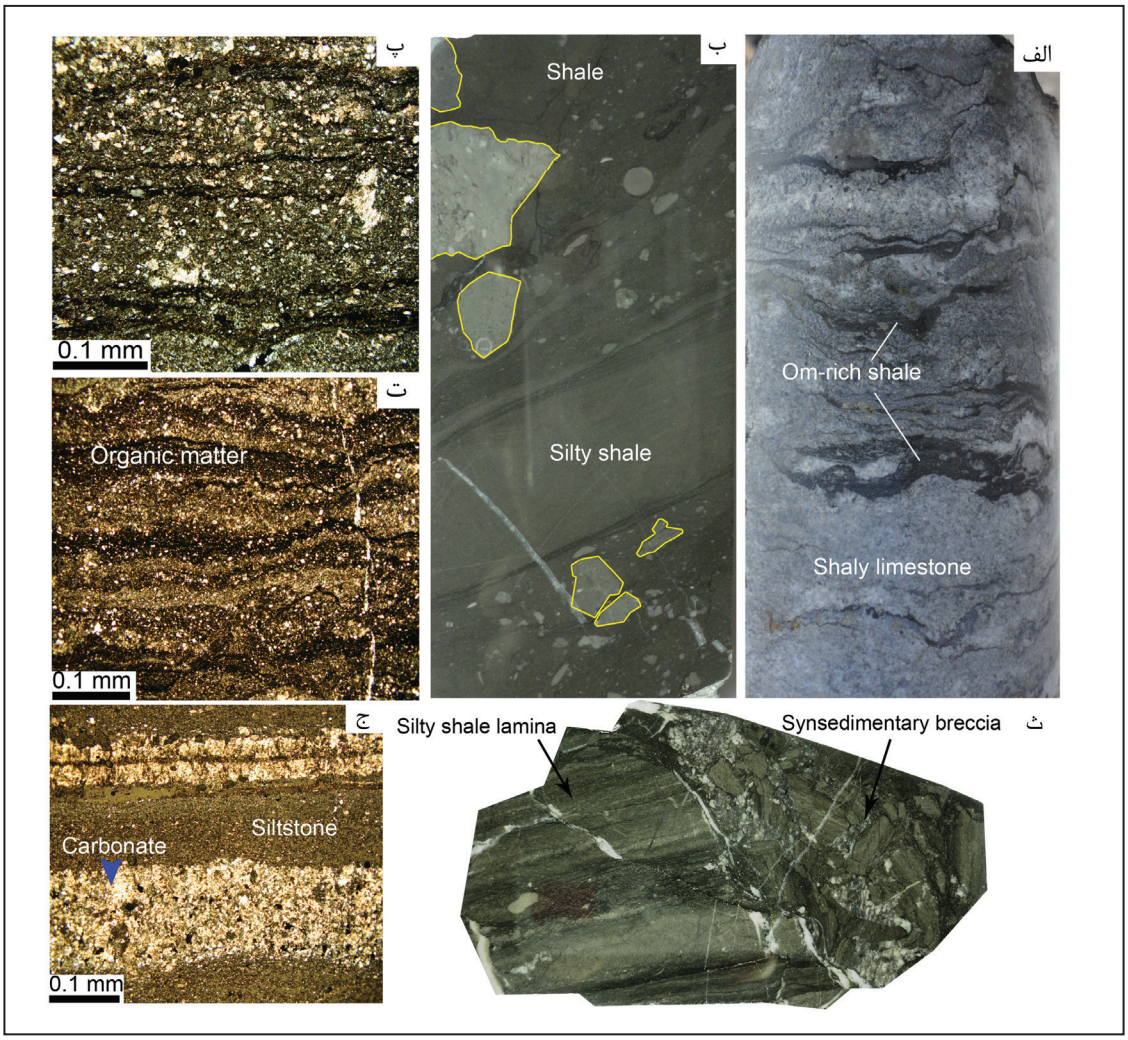
شکل ۲- الف) نمایی از واحدهای تخریبی سازند سنگستان در منطقه تل‌مادر- بچه که با دگرشیبی آذرین پی روی گرانیت شیرکوه قرار گرفته است و خود این سازند نیز توسط آهک‌های سازند تفت پوشیده می‌شود (دید به سوی باختر)؛ ب) نمایی نزدیک از تهنشست کنگلومرای قاعده سنگستان روی گرانیت شیرکوه؛ پ) تصویر میکروسکوپی از میکرو کنگلومرای قاعده سازند سنگستان.



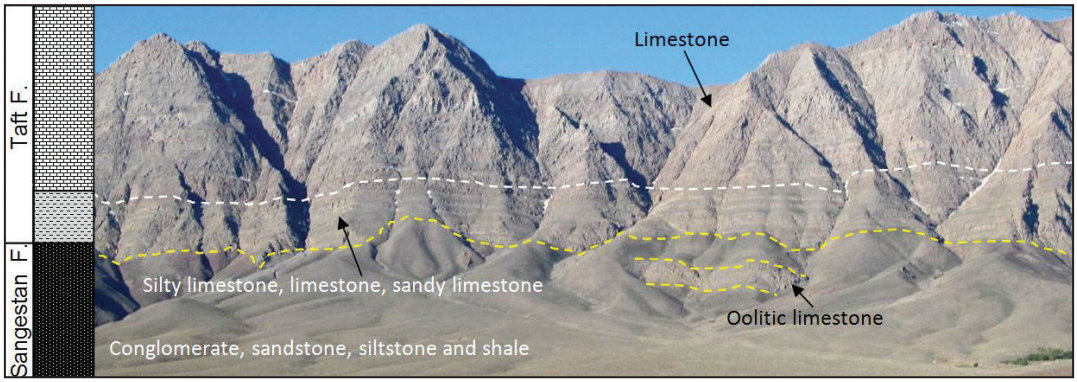
شکل ۳- الف) نمایی از رخنمون واحدهای رسوبی سازند سنگستان متشکل از ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و آهک اُاُلیتی (دید به سوی جنوب)؛ باطله‌های معدنی مربوط به معدن مهدی‌آباد است؛ ب) تصویر رخنمون از نازک‌لایه‌های شیلی، سیلتستونی و ماسه‌سنگی سازند سنگستان؛ پ) تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ سازند سنگستان، ت) تصویر میکروسکوپی از آهک اُاُلیتی.



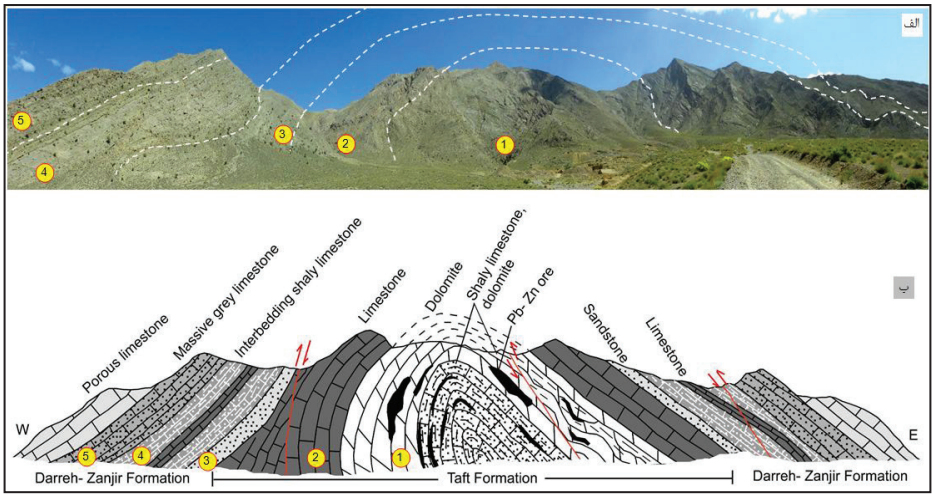
شکل ۴- الف) نمایی کلی از ساختار ناودیسی باز منطقه معدنی مهدی‌آباد و رخنمون واحدهای سنگی، COB و ER مهم‌ترین نقاط کانی‌زایی این کانسار است که در بخش خاوری گسل عادی تپه‌سیاه رخنمون دارد (دید به سوی شمال)؛ ب) تصویر بزرگ شده از محل رخنمون واحدهای سنگی در بخش ER و خاور گسل فروزنده، تغییر رخساره ER به صورت جانبی به آهک‌های سیلیسی- دولومیتی در بخش خاوری کاملاً مشخص است و توسط گسل‌های بعدی جابه‌جا شده است (دید به سوی شمال باختر).



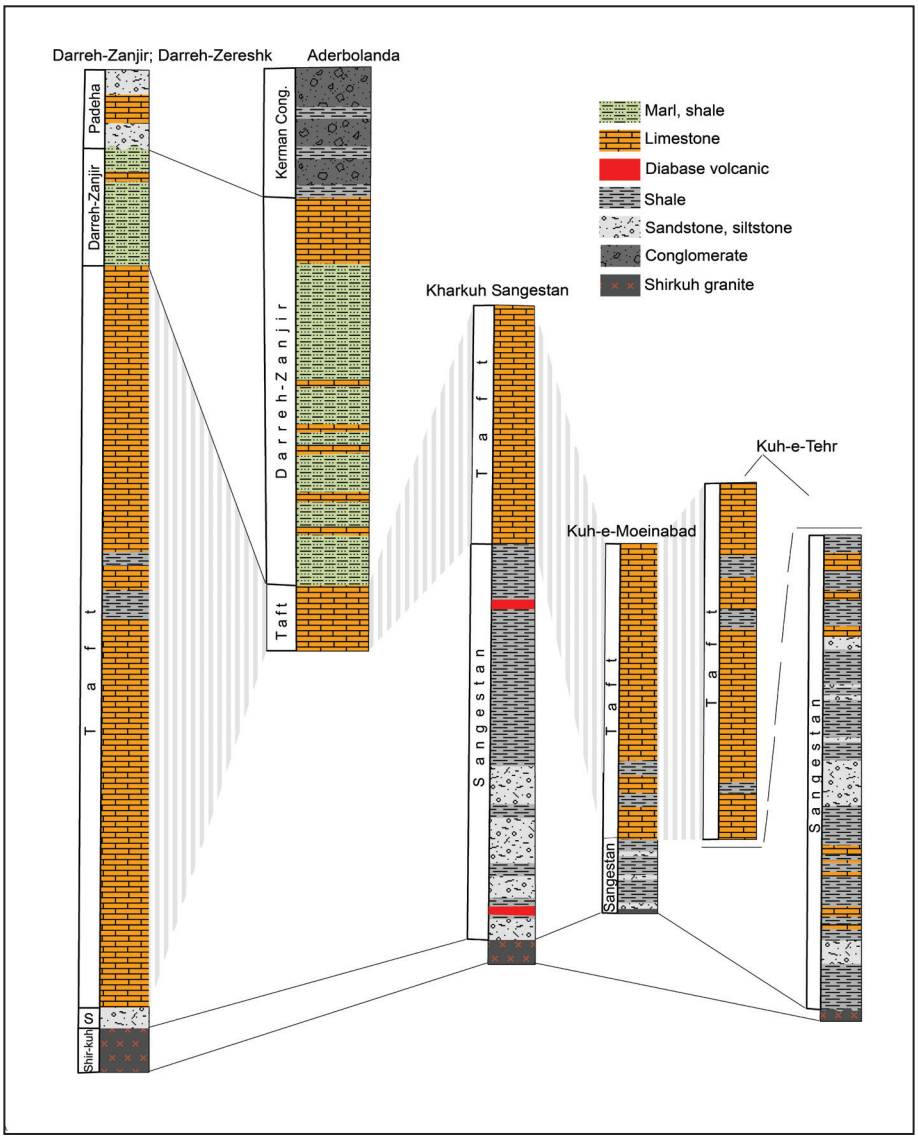
شکل ۵- الف) چین‌خوردگی همزمان شیل‌های غنی از ماده آلی با آهک‌های شیلی در بخش زیرین سازند تفت، این رخساره سنگی میزبان اصلی کانی‌زایی در افق یک منطقه معدنی مهدی‌آباد است؛ ب) نمونه دستی از شیل و شیل سیلتی، میزبان دیگر افق یک کانسار مهدی‌آباد به همراه برش‌های همزمان با رسوب‌گذاری؛ پ) تصویر میکروسکوپی از سیلت‌های ماسه‌ای با لامینه‌هایی از مواد آلی؛ ت) تصویر میکروسکوپی از لامینه‌های رخساره سیلت آهکی همراه با مواد آلی؛ ث) نمونه دستی از شیل سیلتی میزبان کانی‌زایی افق یک کانسار مهدی‌آباد، که برش‌های همزمان با رسوب‌گذاری در کنار لامینه‌های سالم دیده می‌شود؛ ج) لامینه‌های کربنات و سیلتستون در افق یک کانسار روی- سرب- باریت مهدی‌آباد.



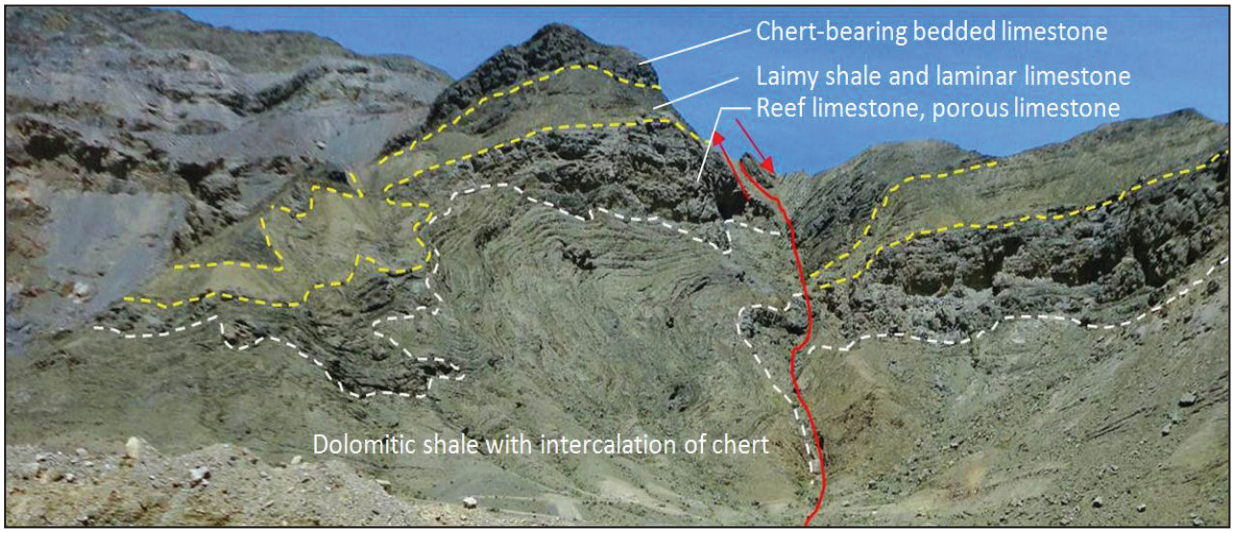
شکل ۶- نمایی از رخنمون کانسار فرح آباد و موقعیت ماسه‌سنگ‌های آهکی و سیلتی میزبان کانی‌زایی در زیر آهک‌های تفت (دید به سوی باختر).



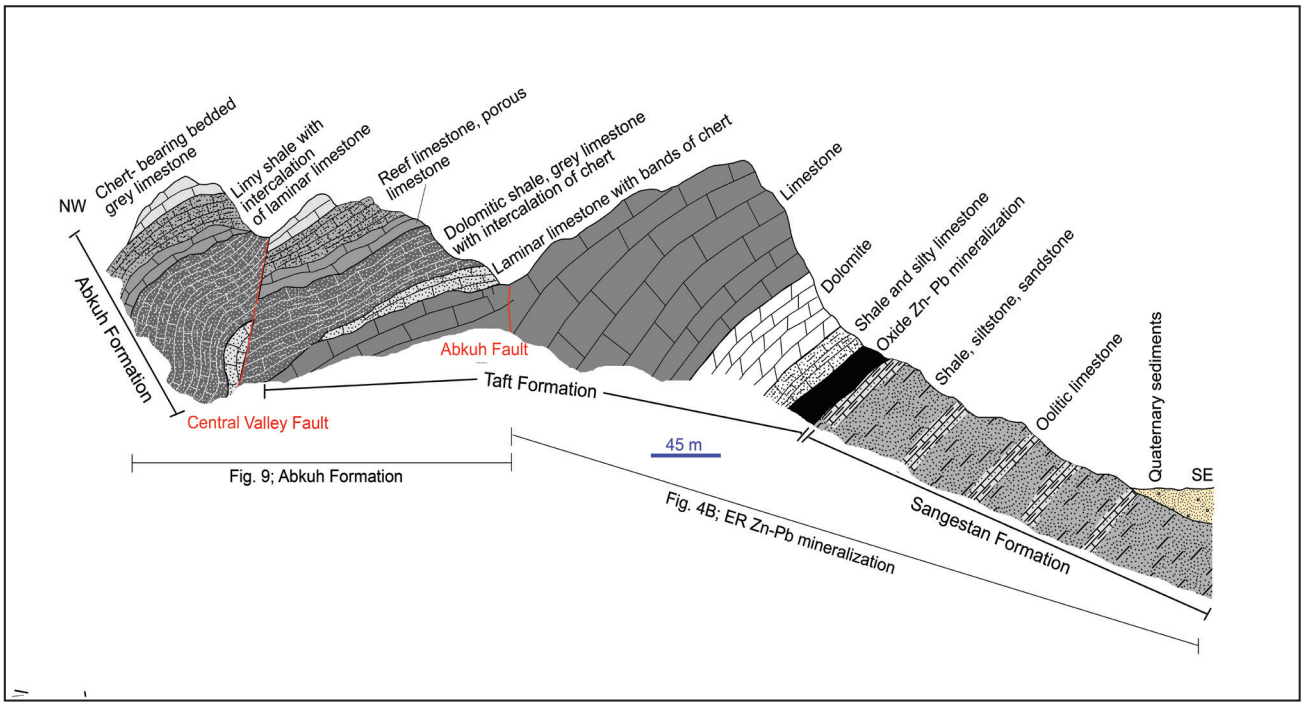
شکل ۷- الف) نمایی از تاقدیس کانسار منصورآباد و تطابق چینه‌ای آن با مقطع زمین‌شناسی رسم شده (دید به سوی شمال)؛ ب) مقطع زمین‌شناسی از تاقدیس منصورآباد و جایگاه کانی‌زایی در آهک‌های ماسه‌ای و دولومیت‌های واحد زیرین سازند تفت در هسته تاقدیس.



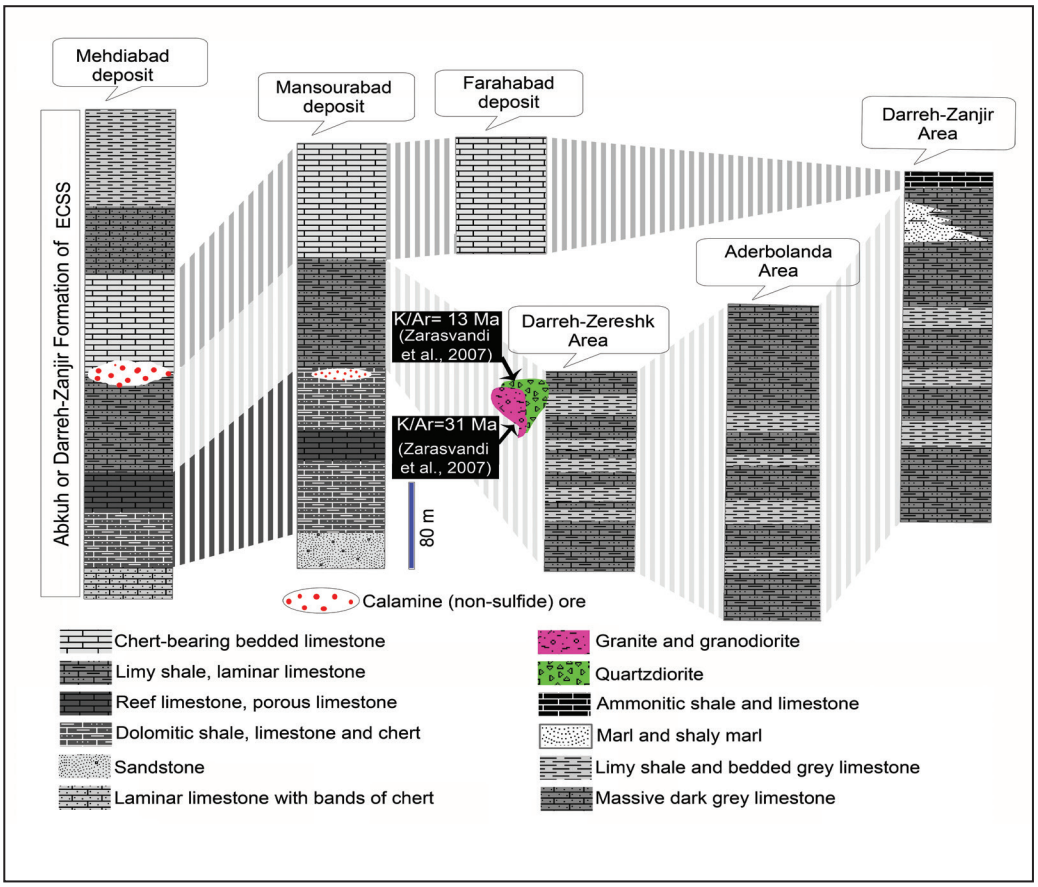
شکل ۸- انطباق چینه‌ای واحدهای رسوبی کرتاسه پیشین (ECSS) در جنوب و جنوب غرب شهرستان تفت، به گسترش سازند دره زنجیر در منطقه دره‌زنجیر- دره‌زرشک و منطقه آدربلندا توجه شود. (برش دره‌زنجیر- دره‌زرشک (مجیدی‌فرد، ۱۳۷۴)، برش آدربلندا (مجیدی‌فرد، ۱۳۷۴)، برش خارکوه (پرتوآذر و ابوتراب، ۱۳۶۰)، برش معین‌آباد و کوه تهر (خسروتهرانی و وزیری‌مقدم، ۱۳۷۲).



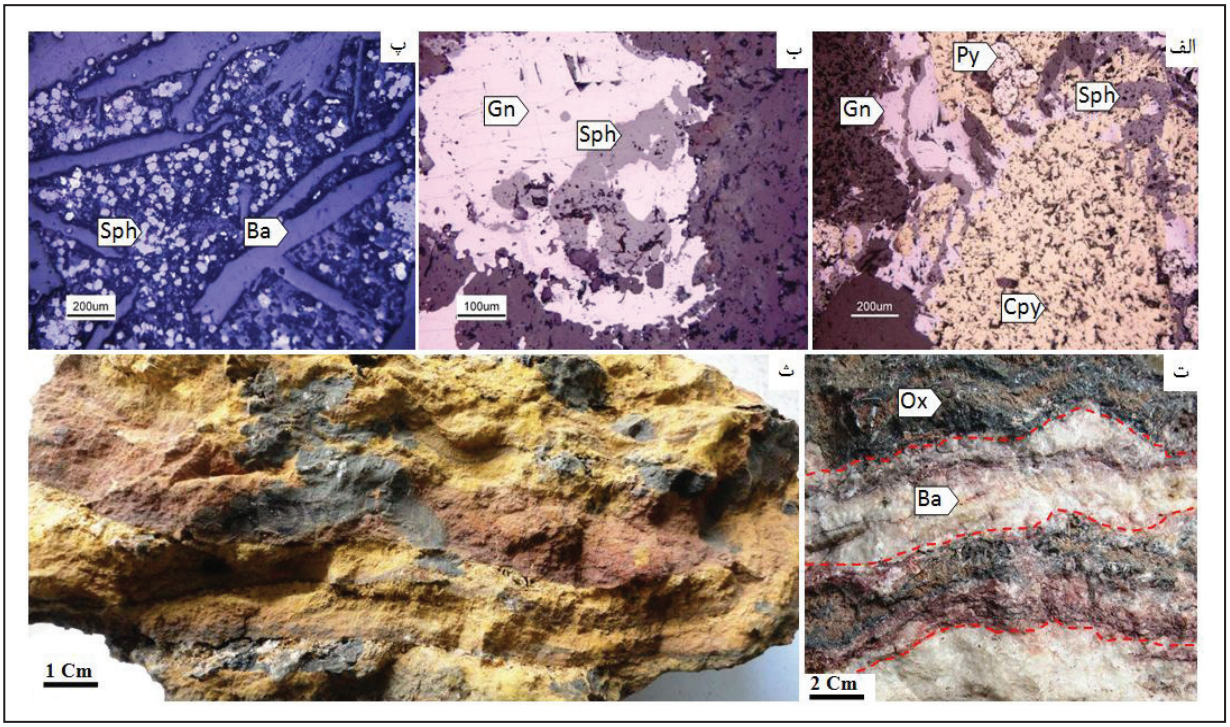
شکل ۹- نمایی از رخنمون واحدهای سازند آبکوه و چین‌خوردگی نامتقارن این واحدها (دید به سوی شمال).



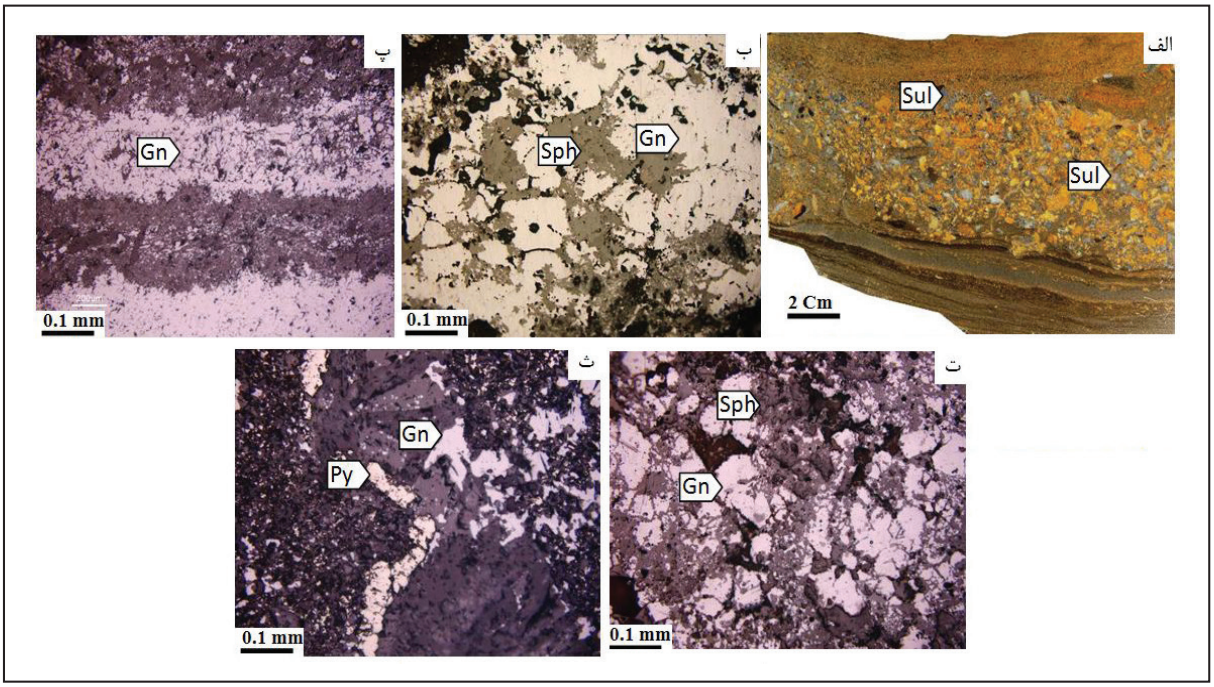
شکل ۱۰- مقطع زمین‌شناسی از سازند آبکوه (شکل ۹) و جایگاه کانی‌زایی ER در بخش خاوری کانسار مهدی‌آباد مطابق با شکل ۴- ب. کانی‌زایی در بخش ER در واحد آهک شیلی و سیلتی سازند تفت تشکیل شده است.



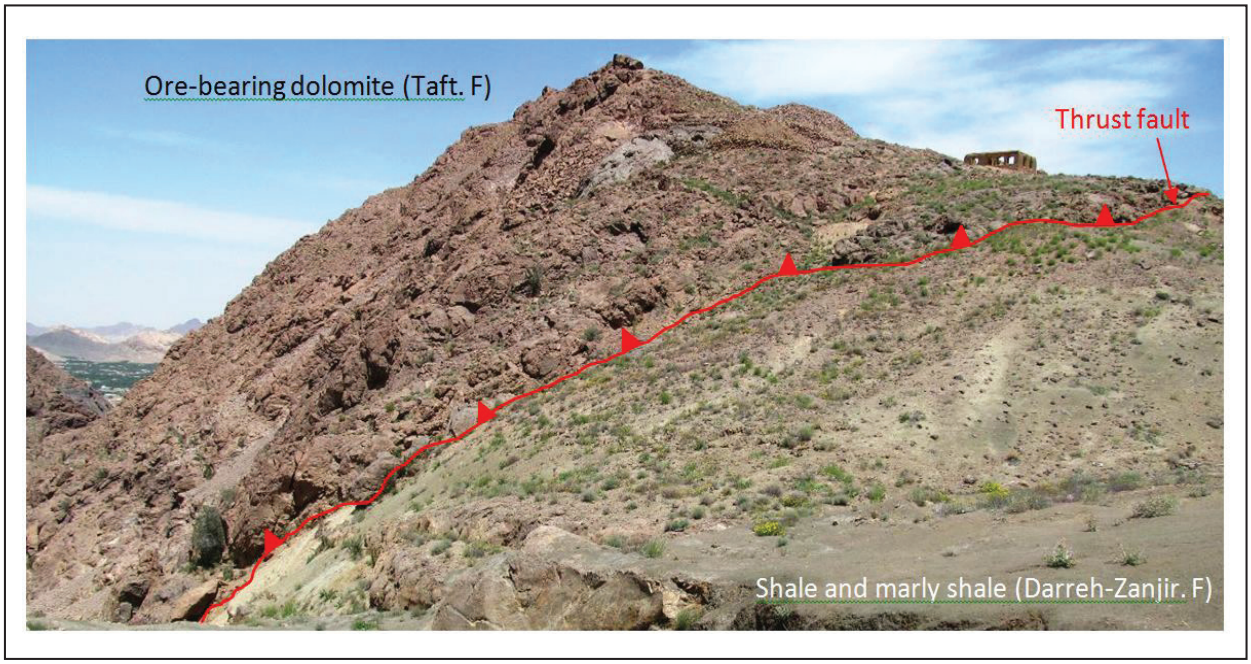
شکل ۱۱- تطابق چینه‌شناسی کانسارهای مهدی‌آباد، منصورآباد، فرح‌آباد و دره‌زنجیر و موقعیت کانی‌زایی غیر سولفیدی افق ۲ در کانسار مهدی‌آباد. سن‌سنجی مربوط به توده‌های نفوذی منطقه دره‌زرشک از Zarasvandi et al. (2007) است.



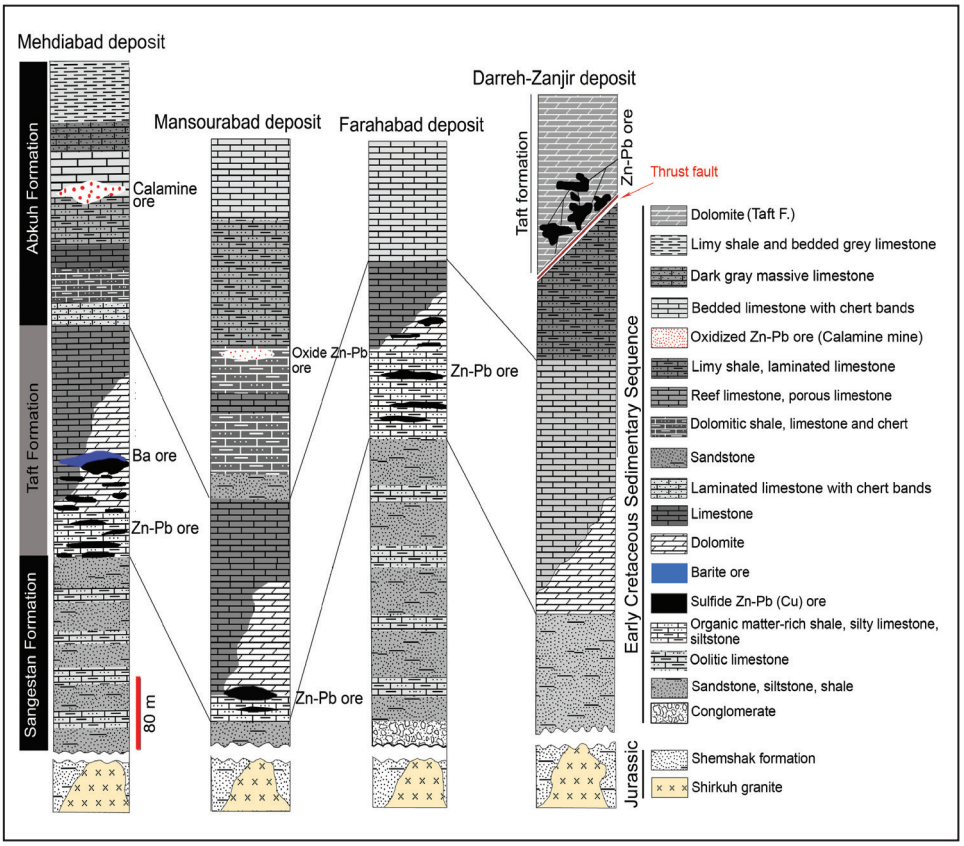
شکل ۱۲- الف، ب و پ) تصاویر میکروسکوپی از کانه‌های سولفیدی افق یک کانسار مهدی‌آباد که متشکل از کالکوپیریت (Cpy)، اسفالریت (Sph)، پیریت (Py) و گالن (Gn) است؛ ت) نمونه دستی از لامینه‌های باریت که نشان‌دهنده ته‌نشست همزمان باریت با کانی‌زایی سولفیدی است که در ادامه سولفیدها به کانه‌های اکسیدی (OX) تبدیل شده‌اند؛ ث) نمونه دستی از اکسیدهای آهن به همراه اکسیدهای روی- سرب در بخش ER کانسار مهدی‌آباد.



شکل ۱۳- الف) نمونه دستی از رخساره ماسه‌سنگ آهکی میزبان کانی‌زایی سولفیدی (Sul) در کانسار فرح‌آباد؛ ب) تصویر میکروسکوپی از کانه‌های گالن (Gn) و اسفالریت (Sph) در کانسار فرح‌آباد، پ) تەنشست لامینه‌های گالن (Gn) به همراه قطعات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان به‌صورت همزمان؛ ت و ث) تصویر میکروسکوپی از سولفیدهای گالن (Gn) و پیریت (Py) کانسار منصورآباد.



شکل ۱۴- نمایی از رخنمون راندگی دولومیت‌های تفت روی شیل‌های سبز و شیل‌های مارنی سازند دره زنجیر (دید به سوی شمال خاور).



شکل ۱۵- انطباق چینه‌شناسی توالی کرتاسه پیشین (ECSS) در حوضه جنوب یزد و موقعیت افق‌های کانی‌زایی روی- سرب- باریت در واحدهای چینه‌ای مختلف.

کتابنگاری

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

احیاء، ف.، لطفی، م. و رسا، ا.، ۱۳۸۷- کانی سازی سرب و روی ژوراسیک در باباقله، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۴، شماره ۴.

پرتوآذر، ح. و ابوتراب، ف.، ۱۳۶۰- چینه شناسی مزوزوییک در ناحیه تفت (ایران مرکزی)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نشریه داخلی، ۳۰ ص.

تدین، م.، ناکینی، ع.، محجل کفشدوز، م. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۴- جایگاه ساختاری و نقش آن در جایگاه ماده معدنی در معادن فلوریت مازندران، مطالعه موردی: معادن کمرپشت و شش رودبار، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۶.

تراز، ح. و آقانباتی، س. ع.، ۱۳۶۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

خسرو تهرانی، خ. و وزیری‌مقدم، ح.، ۱۳۷۲- چینه‌شناسی کرتاسه زیرین در نواحی باختر و جنوب باختری یزد، فصلنامه علوم زمین، سال دوم، شماره ۷.

راستاد، ا. و شریعتمدار، ا.، ۱۳۸۰- کانسار فلوریت شش رودبار (سوادکوه مازندران) محیط تشکیل و ساخت و بافت های رسوبی- دیاژنتیک آن، فصلنامه علوم زمین، سال دهم، شماره ۴۱-۴۲.

فرهادی‌نژاد، ط.، ۱۳۷۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژنز کانسار روی و سرب گل زرد، شمال الیگودرز، پایان‌نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه.

قاسمی، م.، ۱۳۸۵- نحوه تشکیل کانسار روی- سرب مهدی آباد یزد و مقایسه آن با سایر کانسارهای کرتاسه اطراف مهدی آباد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مجیدی‌فرد، م. ر.، ۱۳۷۴- مطالعه چینه‌شناسی، فسیل‌شناسی و محیط رسوبی سنگ‌های کرتاسه پیشین در دامنه شمالی شیرکوه یزد، با توجه خاص به شیل‌های آلبین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

نبوی، م. ح.، ۱۳۴۷- نهشته‌های کرتاسه پیشین در منطقه تفت (یزد) و خور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش ۱۰۶.

نبوی، م. ح.، ۱۳۴۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ یزد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۰- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

References

Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East: Tehran. Geological Survey of Iran, scale 1:5,000,000.

Daliran, F., Pride, K., Walther, J., Berner, Z. A. and Bakker, R. J., 2013- The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide–zinc carbonate mineralization. Ore Geology Reviews. 53, 373–402.

Leach, D. L., Bradley, D. C., Huston, D., Pisarevsky, S. A., Taylor, R. D. and Gardoll, S. J., 2010a- Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history: Economic Geology, v. 105, p. 593–625.

Leach, D. L., 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, p. 561–607.

Leach, D. L., Taylor, R. D., Fey, D. L., Diehl, S. F. and Saltus, R. W., 2010b- A deposit model for Mississippi Valley-type lead-zinc ores. Chapter A of mineral deposit models for resource assessment: USGS, Scientific Investigations Report 5070–A.

Liaghat, S., Moore, F. and Jami, M., 2000- The Kouh Sourmeh mineralization, a carbonate–hosted Zn–Pb deposit in the Simply Folded Belt of the Zagros Mountains, SW Iran. Mineralium Deposita, v. 35, p. 72–78.

Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012a- Metallogeny of Cretaceous carbonatehosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration, International Geology Review, v. 54:14, p. 1649-1672.

Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P. and Canet, C., 2012b- Geology, ore facies and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran. International Geology Review, v. 54:14, p. 1635-1648.

Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C. and Alfonso, P., 2014- The Chahmir sediment hosted Zn-Pb deposit, Central Iran: An example of vent-proximal SEDEX mineralization. Mineralium Deposita.

Reichert, J., 2007- A metallogenetic model for carbonate hosted non-sulfide zinc deposits based on observations of Mehdi Abad and Iran Kouh, central and southwestern Iran. [Unpublished Ph.D. thesis], Shillong, University of Martin Luther, 129 p.

Schlagintweit, F. and Wilmsen, M., 2014- Orbitolinid biostratigraphy of the top Taft Formation (Lower Cretaceous of the Yazd Block, Central Iran), Cretaceous Research 49, pp: 125-133.

Schlagintweit, F., Bucur, I., Rashidi, K. and Hanifzadeh, R., 2013- Torremiroella hispanica Brun and Canérot, 1979 (benthic foraminifera) from the Lower Cretaceous of Central Iran and its palaeobiogeographic significance, Cretaceous Research 46, pp 272-279.

Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: A review. Amer Assoc Petrol Geol Bull 52, p. 1229-1258.

Taghizadeh, N., Babakhani, A., Hadj Molla Ali, A. and Hadj Zeinali Boyouki, H., 1988- Geological studies on the Mehdiabad lead-zinc deposit, Geological Survey of Iran.

Wilmsen, M., Fürsich, F. T. and Majidifard, M. R., 2012- Porosphaera globularis (Phillips, 1829) (Porifera, Calcarea) from the Maastrichtian Farokhi Formation of Central Iran. Cretac. Res. 33, 91–96.

Wilmsen, M., Fursich, F. T. and Majidifard, M. R., 2014- An overview of the Cretaceous stratigraphy and facies development of the Yazd Block, western Central Iran, Journal of Asian Earth Sciences.

Wilmsen, M., Storm, M., Fürsich, F. T. and Majidifard, M. R., 2013- Upper Albian and Cenomanian (Cretaceous) ammonites from the Debarsu Formation (Yazd Block, Central Iran). Acta Geol. Pol. 63, 489–513.

Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M. and Reynolds, P. H., 2007- $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology of alteration and petrogenesis of porphyry copper-related granitoids in the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad area, central Iran, Exploration and Mining Geology, Vol. 16, Nos. 1–2, p. 11–24.

Facies analysis and stratighraphy position of carbonate-clastic hosted Zn-Pb-Ba mineralization horizons in the early Cretaceous sedimentary sequence, Southern Yazd basin

S. Maghfouri[1], M. R. Hosseinzadeh[2*], A. Rajabi[3] and A. M. Azimzadeh[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[2]Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[3]Assistant Professor, Faculty of Basic Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

[4]Assistant Professor, Faculty of Basic Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2016 February 09 Accepted: 2016 July 18

Abstract

The early Cretaceous sedimentary sequence in south of Yazd hosts numerous Zn-Pb-Ba mineralization horizons. The sequence based on the stratigraphic position, age and composition of the rocks, can be divided into tree lower, middle and upper parts. The lower part or Sangestan formation mainly formed from clastic sedimentary rocks such as conglomerate, sandstone, shale, siltstone and oolitic limestone. The thick Sangestan sedimentary sequence is well exposed resting unconformably on the Jurassic Shir-Kuh granite or metamorphic Shemshak Group. The middle part or the Taft formation include organic matter-rich shale, siltstone, limestone or dolomite. The upper part or the Abkuh (Darreh-Zanjir) formation comprised of shale, chert-bearing bedded limestone and marls, overlying concordantly on the Taft formation. The Zn-Pb-Ba mineralization horizons within the sedimentary sequence, based on stratigraphic position, relative age and type of host rocks involved the two horizons: the first horizon consisting of Mehdiabad, Farahabad and Mansourabad deposits, occurred in the lower part of the Taft formation and hosted by organic matter-rich shale, shaly limestone, siltstone, silty limestone and dolomite. The second horizon comprising Mehdiabad and Mansourabad deposits are hosted by black shale and chert-bearing bedded limestone locates within the middle part of the Abkuh formation.

Keywords: Zn-Pb-Ba deposits, Facies analysis, Ore horizon, Early Cretaceous, Mehdiabad, Mansourabad, Farahabad, Darreh Zanjr, Southern Yazd basin.

For Persian Version see pages 233 to 246

*Corresponding author: M. R. Hosseinzadeh; mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional