



## Genetic model and type of the Sarcheleskh Pb–Zn (F–Ba) deposit, Savadkouh area, Mazandaran province

Mozhdeh Mohammadi Lisehroudi<sup>1</sup>, Mir Ali Asghar Mokhtari<sup>2</sup> , Hossein Kouhestani<sup>3\*</sup> , Afshin Zohdi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received: 12 March 2020  
Revised: 19 April 2021  
Accepted: 25 April 2021

#### Keywords

Pb–Zn (F–Ba) mineralization  
Elika Formation  
Sarcheleskh  
Savadkouh  
Mazandaran

#### \*Corresponding author

Hossein Kouhestani  
✉ [kouhestani@znu.ac.ir](mailto:kouhestani@znu.ac.ir)

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

There are several carbonate-hosted Pb–Zn (F–Ba) deposits in the central Alborz zone hosted in the upper part of the Elika Formation. From an economic point of view, the most important deposits discovered to date are Sheshroudbar, Pachi Miana, Kamarposht and Era. It makes the central Alborz zone as one of the most important Pb–Zn (F–Ba) districts in Iran. In this district, Elika Formation is restricted by NE–SW-trending reverse faults and thrusts over the Shemshak Formation. The main orebodies have occurred in open spaces which have been formed due to the angles between normal and reverse faults in the carbonate rocks of the Elika Formation (Tabasi, 1997). Some of these deposits have been studied, and various models such as syn-diagenesis to epigenetic are presented for ore genesis (Alirezaei, 1989; Gorjizad, 1996; Rastad and Shariatmadar, 2002; Rajabi et al., 2013; Vahabzadeh et al., 2014; Nabiloo et al., 2018).

Sarcheleskh is an abandoned mine of Pb–Zn (F–Ba) mineralization in the central Alborz zone. Except for small-scale geological maps of the area, i.e., 1:100,000 geological map of Pol-e-Sefid (Vahdati Daneshmand and Karimi, 2004) and Semnan (Nabavi, 1988), previous studies of Pb–Zn (F–Ba) mineralization at Sarcheleskh were limited and include Mohammadi Lisehroudi (2019). In this contribution, we provide the first detailed geological, mineralogical and geochemical studies in the Sarcheleskh deposit to reveal more details of the type and genetic model of the ore formation.

### How to cite this article

Mohammadi Lisehroudi, M., Mokhtari, M.A.A., Kouhestani, H. and Zohdi, A., 2022. Genetic model and type of the Sarcheleskh Pb–Zn (F–Ba) deposit, Savadkouh area, Mazandaran province. Journal of Economic Geology, 14(2): 1–28. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/ECONG.2021.51871.85988>



### Materials and methods

Detailed field work has been carried out at different scales in the Sarcheleshk area. A total of 60 samples were collected from various parts of the orebodies, host carbonate and mafic igneous rocks. The samples were prepared for thin (n=32) and polished-thin (n=12) sections in the laboratory of the University of Zanjan, Zanjan, Iran. Eight representative samples were from the ore zone, 1 sample from barren dolomitic limestone and 3 samples from mafic igneous rocks. They were analyzed for major, trace and rare earth elements using XRF and ICP–MS in the Zarazma Analytical Laboratories, Tehran, Iran.

### Discussion and conclusion

The Sarcheleshk Pb–Zn (F–Ba) deposit is located 20 km southwest of Pol-e-Sefid, Mazandaran province. The most important rock units exposed in this area include early to middle Triassic dolomitic limestone (Elika Fm.), late Triassic gypsum, dolomitic limestone and marl (Paland Fm.), late Triassic mafic igneous rocks, late Triassic to early Jurassic shale, siltstone and sandstone (Shemshak Fm.), middle Jurassic ammonite-bearing marl, calcareous marl and marly limestone (Dalichay Fm.), late Jurassic cherty limestone and dolomitic limestone (Lar Fm.), and early Eocene Alveolina–Nummulitic limestone (Ziarat Fm.).

Mineralization at Sarcheleshk occurs as strata-bound orebodies hosted by dolomitic limestone of Elika Formation, and controlled structurally by faults, fractures and dissolution collapse breccias. The ore veins have a varying width from 0.5 to 1.5 m.

Detailed field geology and petrographic studies indicate that wall-rock alterations developed at the Sarcheleshk deposit include dolomitization, silicification, and calcitization. The ores at Sarcheleshk are dominated by galena, sphalerite, pyrite, fluorite, and barite, with lesser, chalcopyrite, and tetrahedrite, all of which are hosted by a dolomite, calcite, and quartz gangue assemblage. The ore minerals show vein-veinlets, open space filling, brecciated, rhythmic, disseminated, replacement, and relict textures. The mineralization process at Sarcheleshk can be divided into three stages. Stage 1 is diagenesis stage represented by rhythmic texture of fluorite, galena, sphalerite, and calcite bands. Stage 2 (epigenetic stage), volumetrically most important, is marked by fluorite-sphalerite-galena-pyrite-chalcopyrite, barite-pyrite and barite-calcite, and late-stage calcite veins and veinlets. Stage 3 is the supergene mineral assemblages consisting of smithsonite, cerussite, chalcocite, covellite, azurite, and goethite. The ore samples and mafic igneous rocks show different Chondrite-normalized trace and REE patterns, indicating that they are genetically unconnected. It is declined syn-sedimentary and/or hydrothermal igneous origins for the Sarcheleshk deposit and specify that basinal brines may have played a role in Pb–Zn (F–Ba) mineralization at the Sarcheleshk deposit.

Our data suggests that the Sarcheleshk deposit is a F–Ba-rich MVT deposit and is comparable with other Pb–Zn (F–Ba) deposits of central Alborz zone.



## نحوه تشکیل و نوع کانسار سرب- روی (فلوئور- باریم) سرچلشک، منطقه سوادکوه، استان مازندران

مژده محمدی لیسهرودی<sup>۱</sup>، میر علی اصغر مختاری<sup>۲</sup>، حسین کوهستانی<sup>۳\*</sup>، افشین زهدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

کانسار سرب- روی (فلوئور- باریم) سرچلشک در ۲۰ کیلومتری جنوب‌خاور پل سفید (سوادکوه، استان مازندران) قرار دارد. این کانسار به صورت چینه کران درون سنگ آهک‌های دولومیتی شده سازند الیکا رخ داده و توسط ساختارهای گسلی و حفره‌های انحلالی کنترل شده است. ضخامت رگه‌های کانه‌دار بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر متغیر است. دگرسانی گرمایی در بخش‌های کانه‌دار شامل دگرسانی‌های دولومیتی، کلسیتی و سیلیسی است. پیریت، گالن و اسفالریت کانه‌های فلزی اصلی موجود در کانسار سرچلشک هستند که با اندکی کالکوپیریت و تتراهدريت همراهی می‌شوند. فلوئوریت و باریت، کانی‌های غیرفلزی معدنی و کلسیت، دولومیت و کوارتز کانی‌های باطله هستند. ساخت و بافت کانسنگ در کانسار سرچلشک شامل رگه- رگچه‌ای، پُرکننده فضاهای خالی، برشی، تناوبی، دانه‌پراکنده، جان‌شینی و بازماندی است. مراحل کانه‌زایی در کانسار سرچلشک به سه مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول، کانه‌زایی هم‌زمان با فرایندهای دیاژنز است. مرحله دوم (مرحله دیرزاد)، اصلی‌ترین مرحله کانه‌زایی در کانسار سرچلشک است. این مرحله به ترتیب با تشکیل رگه- رگچه‌های فلوئوریت- گالن- اسفالریت- پیریت- کالکوپیریت- تتراهدريت، رگه- رگچه‌های باریت- پیریت و باریت- کلسیت و در نهایت رگه- رگچه‌های تأخیری کلسیتی همراه است. در مرحله برون‌زاد، کانی‌های اسمیت‌زونیت، سروزیت، کالکوسیت، کولیت، آزوریت و گوتیت تشکیل شده‌اند. نبود روند مشابه عناصر کمیاب و کمیاب‌خاکی در نمونه‌های کانه‌دار و سنگ‌های آذرین مافیک، بیانگر نبود ارتباط ژنتیکی کانه‌زایی با ماگماتیسم مافیک منطقه بوده و خاستگاه گرمایی آذرین‌زاد کانسار سرچلشک را منتفی می‌سازد. ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، مجموعه کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار سرچلشک شباهت زیادی با کانسارهای سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی (زیررده غنی از فلوئور و باریم) دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

### واژه‌های کلیدی

کانه‌زایی سرب- روی (فلوئور- باریم)  
سازند الیکا  
سرچلشک  
سوادکوه  
مازندران

### نویسنده مسئول

حسین کوهستانی

kouhestani@znu.ac.ir ✉

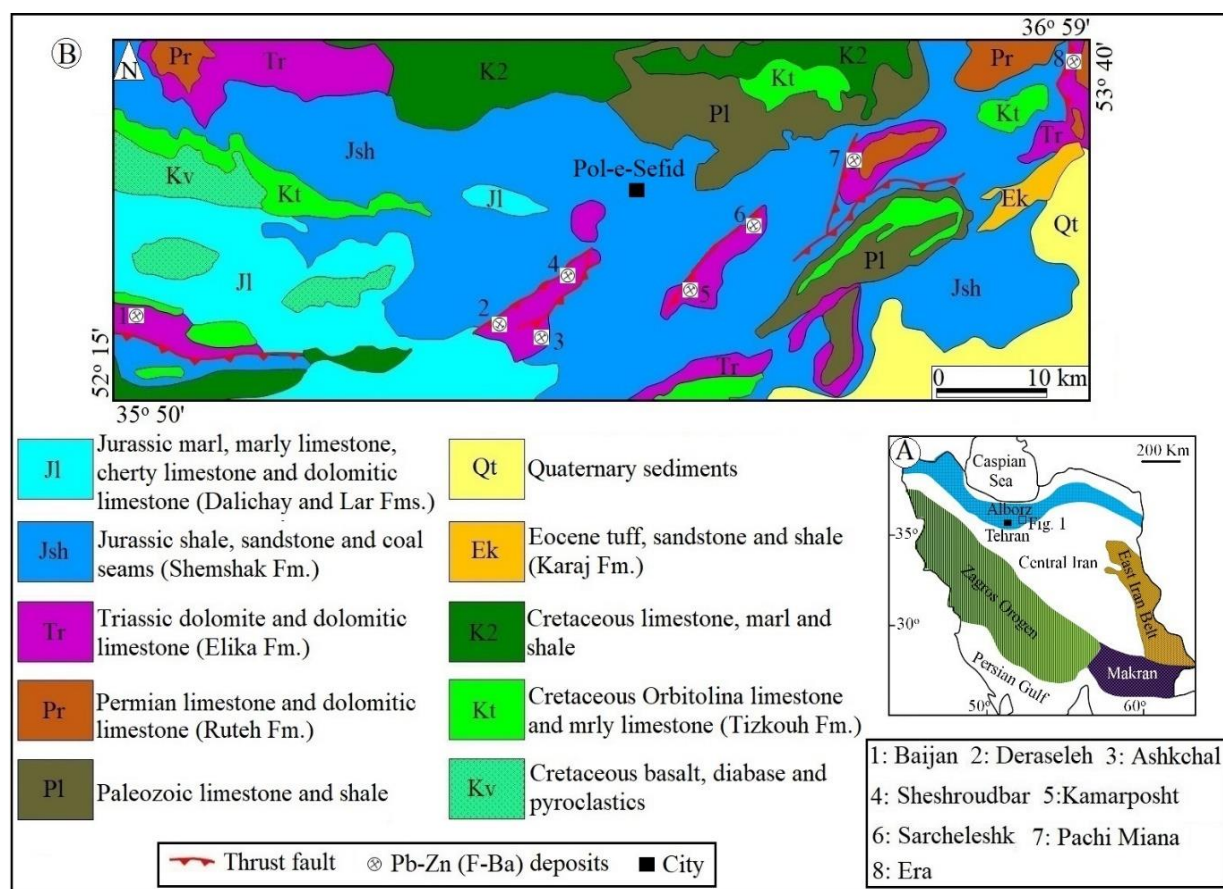
### استناد به این مقاله

محمدی لیسهرودی، مژده؛ مختاری، میر علی اصغر؛ کوهستانی، حسین و زهدی، افشین، ۱۴۰۱. نحوه تشکیل و نوع کانسار سرب- روی (فلوئور- باریم) سرچلشک، منطقه سوادکوه، استان مازندران. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۴(۲): ۱-۲۸. <https://dx.doi.org/10.22067/ECONG.2021.51871.85988>

**مقدمه**

کانسارها و اندیس‌های متعددی از سرب و روی (فلوئور- باریم) در منطقه‌های سوادکوه و کیاسر استان مازندران درون سازند الیکا شناسایی شده‌اند (شکل ۱). این کانه‌زایی‌ها به صورت زنجیره‌ای و در نواری باریک به عرض ۳۰ و طول ۸۰ کیلومتر پراکنده بوده (Alirezaei, 1989; Vahabzadeh et al., 2009;) (Zabihitabar and Shafiei, 2015) و مهم‌ترین آنها شامل

کانسارهای شش‌رودبار، پاچی- میانا، ارا، کمرپشت، طالع رودبار، کرمان، زنگیان، لیند، اشکچال، دراسله و سرچلشک است (Gorjizad, 1996; Davoudi, 1998; Shariatmadar, 1999; Rastad and Shariatmadar, 2002; Vahabzadeh et al., 2008; Vahabzadeh et al., 2009; Vahabzadeh et al., 2014; Mehraban et al., 2016; Nabiloo et al., 2018).



**شکل ۱.** A: نقشه زمین‌ساختی ایران با تغییرات از علوی (Alavi, 1991) همراه با موقعیت منطقه سرچلشک در زون البرز و B: نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ساده شده از زون البرز مرکزی با تغییرات از وحدتی دانشمند و سعیدی (Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1991)، وحدتی دانشمند (Vahdati Daneshmand, 1992)، آقانباتی و حامدی (Aghanabati and Hamed, 1994) و امینی و خلعتبری جعفری (Amini and Khalatbari Jafari, 1998)، نشان‌دهنده موقعیت کانسارهای سرب و روی (فلوئور- باریم) درون سازند الیکا

**Fig. 1.** A: Tectonic map of Iran (modified from Alavi, 1991) together with the location of the Sarcheleshk area in the Alborz zone, and B: Simplified regional geological map of the central Alborz zone (modified from Vahdati Daneshmand and Saeidi, 1991; Vahdati Daneshmand, 1992; Aghanabati and Hamed, 1994; Amini and Khalatbari Jafari, 1998) showing location of the Pb-Zn (F-Ba) deposits in the Elika Formation

### روش مطالعه

در مرحله اول، پیمایش‌های صحرایی در منطقه صورت گرفت و ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، نمونه‌برداری‌های لازم از واحدهای سنگی و بخش‌های کانهدار انجام شد. علاوه بر آن، ستون چینه‌شناسی کانسار سرچلشک ترسیم و جایگاه ماده معدنی بر روی آن مشخص شد. در مرحله بعد، از نمونه‌های برداشت‌شده (۶۰ نمونه)، تعداد ۳۲ مقطع نازک و ۱۲ مقطع نازک-صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری تهیه شد. سپس، بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، تعداد ۸ نمونه از بخش‌های کانهدار، ۱ نمونه از آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی و ۳ نمونه از سنگ‌های آذرین مافیک مجاور کانه‌زایی، انتخاب شد و برای تعیین مقدار اکسید عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی به روش‌های XRF و ICP-MS در آزمایشگاه شرکت زرآزما در تهران آنالیز شد. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها توسط خردکننده فولادی تا اندازه حدود ۵ مش (۴ میلی‌متر) خرد شده و سپس با استفاده از آگات به مدت ۲ دقیقه تا اندازه حدود ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) پودر شدند. پس از آماده‌سازی، میزان ۲۰ گرم از پودر نمونه‌ها برای تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی مورد تجزیه قرار گرفت. مقدار LOI نمونه‌ها با نگهداری پودر سنگ‌ها در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲ ساعت به دست آمد. برای تجزیه به روش XRF برای عناصر اصلی، قرصی از نمونه‌های پودر شده تهیه شد. برای تعیین میزان عناصر کمیاب و کمیاب خاکی توسط دستگاه ICP-MS، حدود ۰/۲ گرم از هر نمونه در ترکیب لیتیم متابورات/ترابورات ذوب و سپس در اسید نیتریک حل شد. حد پایین دقت اندازه‌گیری برای عناصر مختلف در جدول ۱ و جدول ۲ ذکر شده است.

### زمین‌شناسی منطقه سرچلشک

بر اساس پیمایش‌های صحرایی و با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه سرچلشک (شکل ۲)، واحدهای سنگی موجود در این منطقه به شرح زیر هستند.

این تمرکز چشمگیر از کانه‌زایی، زون البرز مرکزی را به مهم‌ترین ایالت معدنی سرب و روی (فلوئور-باریم) در البرز تبدیل کرده است (Rajabi et al., 2013). در این مناطق، سازند الیکا (تریاس میانی) توسط گسل‌های معکوس و رانده با روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری محصور و بر روی سازند شمشک (تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین)، رانده شده است (Tadayyon et al., 2016). عمده کانی‌سازی‌ها در فضاهای خالی ناشی از زاویه بین گسلش عادی با گسل‌های معکوس در سنگ‌های کربناته سازند الیکا رخ داده است (Tabasi, 1997; Shariatmadar, 1999). بررسی‌های ساختاری انجام‌شده بر روی کانسار کم‌پشت (جنوب‌باختر کانسار سرچلشک) نشان‌دهنده تمرکز کانه‌زایی در محل تلاقی گسل‌های نرمال با مؤلفه جابه‌جایی افقی و گسل‌های تراستی اصلی منطقه است (Tadayyon et al., 2016).

کانسار سرب و روی (فلوئور-باریم) سرچلشک یکی از کانه‌زایی‌های موجود در منطقه سوادکوه است که در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب‌خاور پل سفید با مختصات جغرافیایی  $36^{\circ}00'25''$  عرض شمالی و  $53^{\circ}05'59''$  طول‌خاوری قرار گرفته است. این کانسار در حال حاضر به صورت معدن متروکه بوده و آثار فعالیت‌های معدنی به صورت تونل‌های استخراجی در چندین نقطه از معدن قابل مشاهده است. ویژگی‌های زمین‌شناسی عمومی این منطقه در قالب نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ پل سفید (Vahdati Daneshmand and Karimi, 2004) و سمنان (Nabavi, 1988) مشخص شده است، با این وجود تاکنون بررسی علمی دقیقی در ارتباط با کانی‌شناسی، ساخت و بافت و خاستگاه کانسار سرچلشک انجام نشده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی کانسار سرچلشک مورد بررسی قرار گرفته و نوع و مدل تشکیل آن تعیین شده است. نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند در اکتشاف ناحیه‌ای کانسارهای سرب و روی (فلوئور-باریم) در منطقه سوادکوه و دیگر بخش‌های زون البرز مرکزی مورد استفاده قرار گیرد.

(شکل ۳-B و C). در برخی نقاط، در بخش‌های گدازه‌ای این سنگ‌ها، ساخت بالشی قابل مشاهده است (شکل ۳-D). بخش‌های زیرین آنها نیز ساختی شبیه به دایک‌های صفحه‌ای داشته و به طور مستقیم بر روی سازند پالند مشاهده می‌شوند (شکل ۳-E). در برخی نقاط، دایک‌های دیابازی تأخیری این سنگ‌ها را قطع کرده‌اند (شکل ۳-F).

**واحد TRs<sup>sh</sup>**: واحدهای آذرین مافیک به سمت بالا به طور هم‌شیب توسط شیل‌های خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ پوشیده می‌شوند (شکل ۳-B و C). میان‌لایه‌های نازک ماسه‌سنگی در داخل شیل‌های مزبور وجود دارد. همچنین، در برخی نقاط آثار زغالی به صورت افق‌های باریک در این شیل‌ها مشاهده می‌شود. این مجموعه به عنوان بخش زیرین سازند شمشک در نظر گرفته شده است.

**واحد Js<sup>ssh</sup>**: بخش شیل زیرین سازند شمشک به سمت بالا به تناوبی از شیل، ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ تبدیل می‌شود (شکل ۲) که گاه میان‌لایه‌هایی از کنگلومرا و ماسه‌سنگ کوارتزی نیز در آن قابل مشاهده است. در برخی نقاط، افق‌های زغالی نیز در داخل بخش‌های شیلی این واحد وجود دارد. این مجموعه به عنوان بخش بالایی سازند شمشک در نظر گرفته شده است.

**واحد Jd<sup>1</sup>**: توالی شیل و ماسه‌سنگ سازند شمشک به سمت بالا به صورت هم‌شیب توسط تناوبی از مارن‌های آمونیت‌دار، مارن‌های آهکی و سنگ آهک مارنی نازک تا متوسط‌لایه مربوط به سازند دلیچای پوشیده می‌شود (شکل ۳-C). این واحد در مجموع ضخامتی حدود ۴۵ متر داشته و در دو یال شمالی و جنوبی ناودیس دو آب در کوه غول‌گوک رخنمون دارد.

**واحد JI<sup>1</sup>**: توالی سنگی سازند دلیچای به سمت بالا به صورت هم‌شیب توسط لایه‌های سنگ آهکی ضخیم تا توده‌ای سازند لار پوشیده می‌شود (شکل ۳-C). این سنگ‌ها، مجموعه سنگی اصلی تشکیل‌دهنده ناودیس دو آب در کوه غول‌گوک هستند.

**واحد E<sub>Z</sub><sup>1</sup>**: در هسته ناودیس دو آب در کوه غول‌گوک، رخنمون‌هایی از سنگ آهک‌های خاکستری حاوی فسیل آلوتولینا

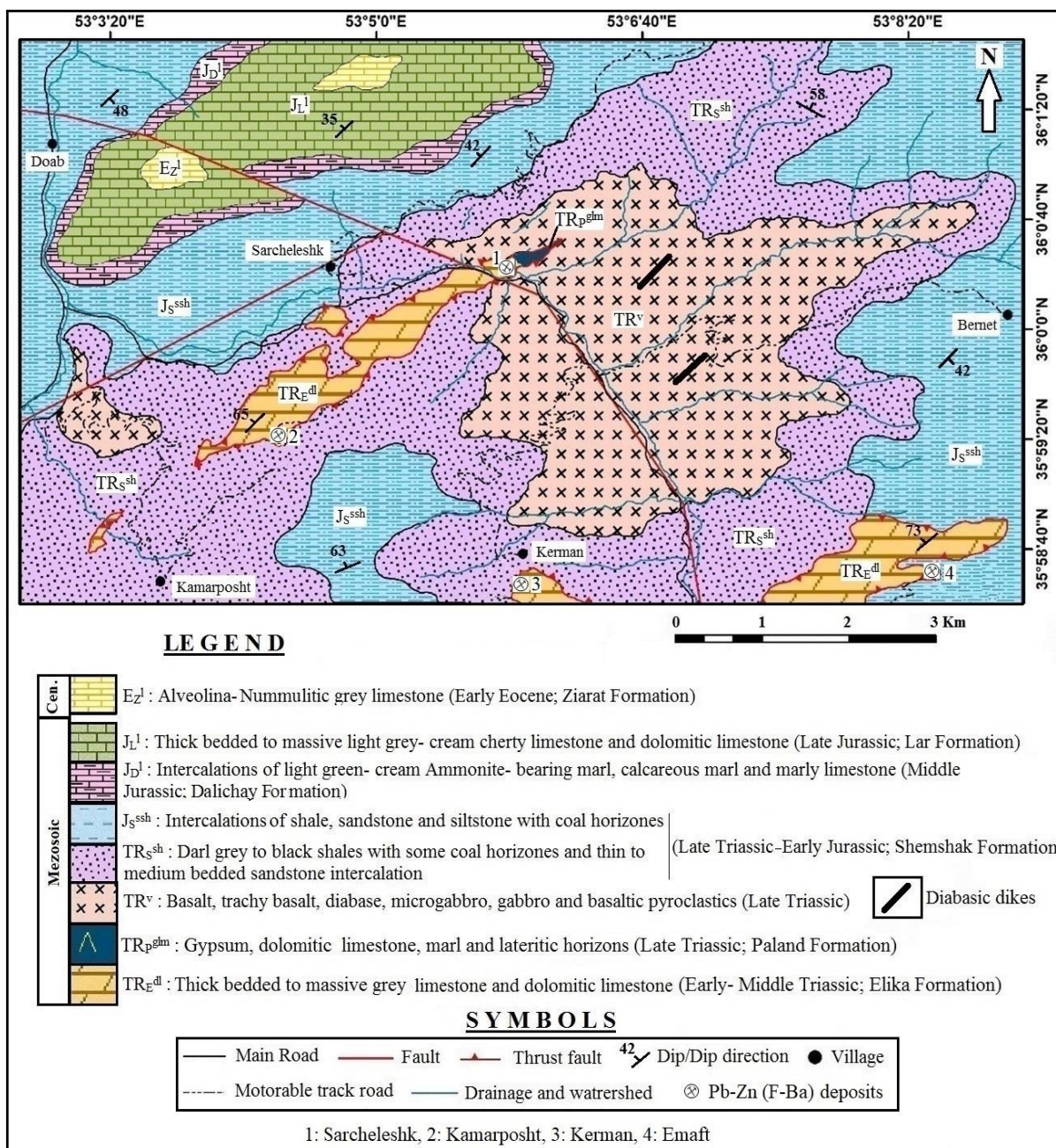
**واحد TR<sup>dl</sup>**: این واحد شامل سنگ آهک و آهک دولومیتی ضخیم‌لایه تا توده‌ای خاکستری رنگ سازند الیکاست که با مرزهای گسلی و به صورت تراست‌شده بر روی واحدهای سنگی سازند شمشک رانده شده‌اند (شکل ۳-A). دولومیتی شدن این واحد تقریباً سبب از بین رفتن بافت سنگ آهک اولیه شده است. همراه بلورهای ریز تا درشت کلسیت و دولومیت، قطعات فسیلی (استروماتولیت‌ها و فرامینفرهای بنتیک تیره) با فراوانی کم قابل شناسایی است. واحد مزبور، اغلب به صورت صخره‌ساز بوده و در ارتفاعات منطقه قابل مشاهده است. این واحد سنگی، میزبان کانه‌زایی‌های سرب و روی (فلوئور- باریم) منطقه سوادکوه است. واحد TR<sup>dl</sup> در محدوده کانسار سرچلشک دارای ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ متر بوده و به سمت جنوب‌باختر به طول بیش از ۵ کیلومتر تا کانسار کم‌ریش‌گسترش یافته است. بر اساس نتایج بررسی‌های سنگ‌شناسی، این واحد سنگی دارای رخساره گریستون حاوی فرامینفر بنتیک با پوسته‌های تیره بوده و در یک محیط رمپ کربناته کم‌عمق تشکیل شده است (Mohammadi, 2019).

**واحد TRp<sup>glm</sup>**: این واحد متشکل از تناوب لایه‌های ژپس، سنگ آهک دولومیتی، مارن و گاه افق‌های لاتریتی است که به طور هم‌شیب بر روی سازند الیکا واقع شده (شکل ۳-A و B) و توسط وحدتی دانشمند و کریمی (Vahdati Daneshmand and Karimi, 2004) با عنوان سازند پالند معرفی شده است. این واحد تنها در مجاورت کانسار سرچلشک و بر روی سنگ آهک دولومیتی سازند الیکا قابل مشاهده است. آثار کانه‌زایی در داخل این واحد مشاهده نمی‌شود.

**واحد TR<sup>v</sup>**: این واحد شامل سنگ‌های آذرین مافیک (آتشفشانی تا نیمه‌نفوذی) است که دارای ترکیب بازالت، تراکی بازالت، دیاباز، میکروگابرو، گابرو و گاه سنگ‌های پیروکلاستیک با ترکیب بازالتی است. این سنگ‌ها به طور هم‌شیب بر روی سازند پالند قرار گرفته (شکل ۳-A، B و C) و خود به صورت هم‌شیب توسط بخش شیلی تیره‌رنگ سازند شمشک پوشیده می‌شود

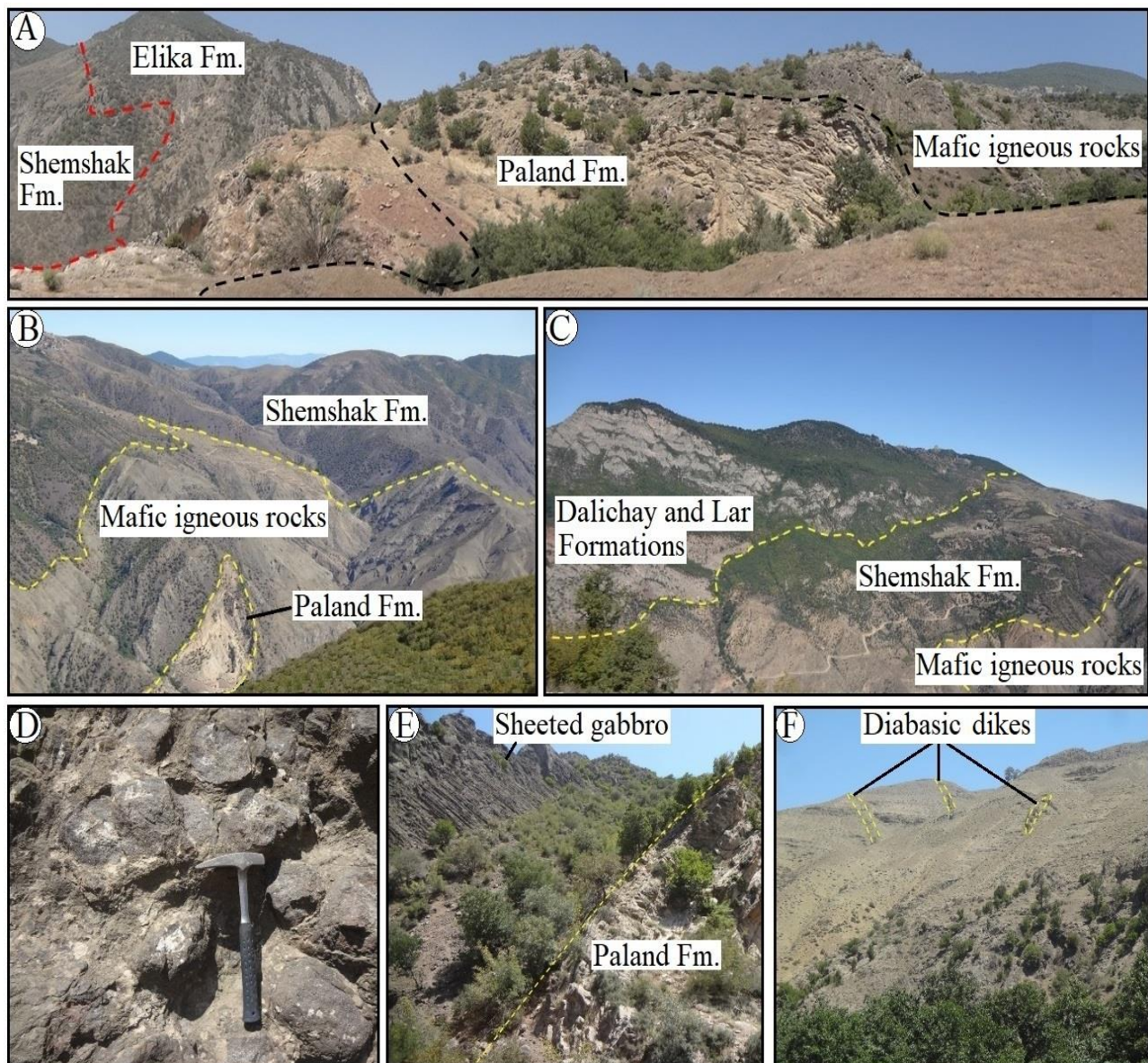
محدود در خط‌الرأس کوه غول‌گوک در چند نقطه قابل مشاهده است. در محدوده مورد بررسی، مرز بین سازند لار و آهک‌های سازند زیارت به صورت هم‌شیب با مرز فرسایشی است.

و نومولیت مشاهده می‌شود (شکل ۲) که در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ پل سفید (Vahdati Daneshmand and Karimi, 2004) با عنوان سازند زیارت از آنها یاد شده است. این واحد با رخنمون



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ منطقه سرچلشک

Fig. 2. Geological map of the Sarcheleskh area, scale 1:20000



**شکل ۳. A:** نمایی از واحدهای سنگی سازندهای الیکا و پالند در منطقه سرچلشک که بر روی سازند شمشک رانده شده و خود توسط سنگ‌های آذرین مافیک به طور هم‌شیب پوشیده شده‌اند (دید به جنوب‌باختر)، **B:** نمایی از سازندهای شمشک و پالند و سنگ‌های آذرین مافیک در منطقه سرچلشک (دید به شمال‌خاور)، **C:** نمایی از سنگ‌های آذرین مافیک و سازندهای شمشک، دلچای و لار در منطقه سرچلشک (دید به شمال‌خاور)، **D:** نمایی نزدیک از گدازه‌های بازالتی با ساخت بالشی، **E:** نمایی از گابروهای دارای ساخت صفحه‌ای بر روی سنگ‌های کربناته سازند پالند (دید به شمال‌خاور) و **F:** نمایی از دایک‌های دیابازی که توالی آتشفشانی- نیمه‌نفوذی را قطع کرده‌اند (دید به شمال‌خاور)

**Fig. 3. A:** View of rock units of Erika and Paland Formations in the Sarchelesk area thrust over Shemshak Formation and in turn covered conformably by mafic igneous rocks, looking southwest, **B:** View of Shemshak and Paland Formations and mafic igneous rocks in the Sarchelesk area, looking northeast, **C:** View of mafic igneous rocks as well as Shemshak, Dalichay and Lar Formations in the Sarchelesk area, looking northeast, **D:** Close view of basaltic lava with pillow structure, **E:** View of sheeted gabbro over the carbonate rocks of Paland Formation, looking northeast, and **F:** View of diabasic dikes crosscutting volcanic-subvolcanic strata, looking northeast



### چینه‌نگاری کانسار سرچلشک

برای ترسیم ستون چینه‌شناسی کانسار سرچلشک، پروفیلی به طول حدود ۱۱۵ متر شامل بخش بالایی سازند الیکا و توالی سنگی سازند پالند در محل کانسار سرچلشک مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). حدود ۵۰ متر ابتدایی پروفیل مزبور، دربرگیرنده سنگ آهک و آهک دولومیتی سازند الیکاست که میزبان کانه‌زایی سرب- روی (فلوئور- باریم) کانسار سرچلشک است. بر روی این واحد سنگی، توالی سنگی سازند پالند به ترتیب شامل ۱۷ متر سنگ آهک دولومیتی، ۱۳ متر دولومیت، ۵ متر سنگ آهک دولومیتی، ۳ متر ژریس، ۱۲ متر سنگ آهک دولومیتی و ۱۵ متر سنگ آهک قرار گرفته است (شکل ۴). مجموعه سنگی یادشده، از هر دو طرف با مرز تراستی به مجموعه آذرین مافیک ختم می‌شوند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و فسیل‌شناسی، شش رخساره رسوبی در توالی سنگی محدوده کانسار سرچلشک قابل شناسایی است. این رخساره‌ها شامل: ۱- گچ، ۲- مادستون دولومیتی، ۳- گریستون حاوی آئید و اینتراکست، ۴- گریستون حاوی فرامینفر بنتیک با پوسته‌های تیره، ۵- مادستون تا وکستون حاوی دوکفه‌ای و استراکودا و ۶- وکستون تا پکستون حاوی دوکفه‌ای هستند (شکل ۴). با توجه به نوع و اجزاء تشکیل دهنده رخساره‌های شناسایی شده، تغییرات جانبی رخساره‌ها در طول ستون چینه‌شناسی، نبود رخساره‌های ریفی و نهشته‌های توریدایتی، احتمالاً سکوی کربناته توالی مورد بررسی از نوع رمپ بوده و مربوط به بخش‌های کم‌عمق این رمپ کربناته هستند (Mohammadi Lisehroudi, 2019).

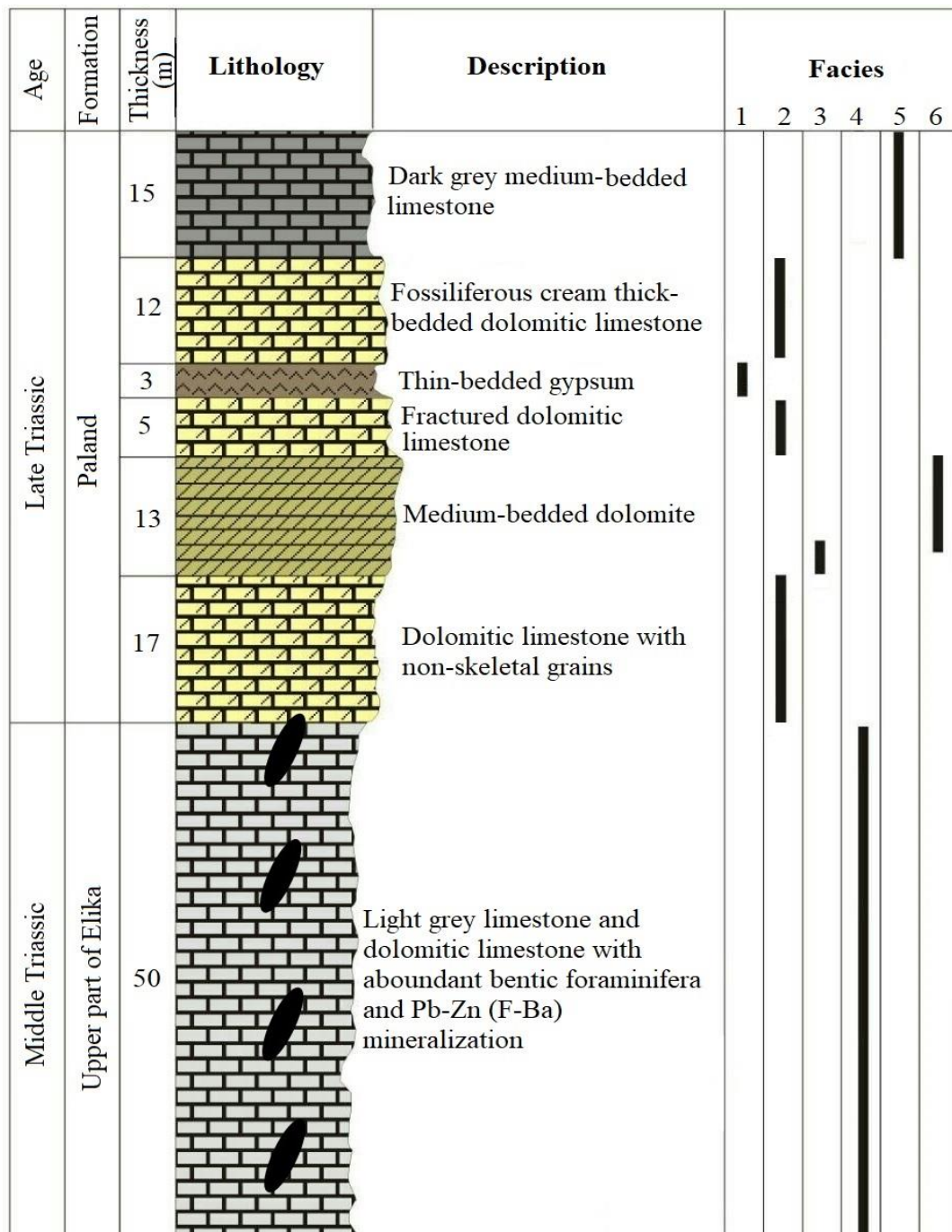
### کانه‌زایی و دگرسانی

بر اساس بررسی‌های صحرائی، کانه‌زایی سرب و روی (فلوئور- باریم) در کانسار سرچلشک به صورت چینه‌کران با بافت‌های رگه- رگچه‌ای و شکافه پُرکن درون سنگ آهک‌های دولومیتی شده سازند الیکا رخ داده و توسط ساختارهای گسلی و حفره‌های انحلالی کنترل شده است (شکل ۵- A، B و C).

کانه‌زایی عمده منطقه، در محل تلاقی گسل‌های نرمال با مؤلفه امتدادلغز و گسل‌های تراستی متمرکز شده است. آثار فعالیت‌های معدنی بر روی رگه‌های کانه‌دار-به صورت تونل‌ها و گالری‌های استخراجی قدیمی قابل مشاهده است (شکل ۵- A، B و C). ضخامت رگه‌های کانه‌دار بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر متغیر بوده و روند عمومی آنها شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، شمال‌خاوری- جنوب‌باختری و یا شمالی- جنوبی با شیب‌های متغیر (۱۵ تا ۷۵ درجه) به ترتیب به سمت شمال‌خاور، جنوب‌خاور و خاور است. کانی‌های موجود در رگه‌های کانه‌دار شامل گالن، اسفالریت، فلوئوریت، باریت و کلسیت است که گاه توسط کلسیت‌های تأخیری با بافت رگه- رگچه‌ای و یا شکافه پُرکن قطع شده‌اند (شکل ۵- D، E، F و G). در برخی نقاط، رگه‌های فلوئوریت- کالامین و باریت- کلسیت در دهانه و دیواره تونل‌های استخراجی دیده می‌شود (شکل ۵- B و C). آثار محدودی از کانه‌زایی مس به صورت آغشتگی‌های آزریتی در شکستگی‌های سنگ آهک دولومیتی شده میزبان دیده می‌شود (شکل ۵- F). برخی از رگه‌های کانه‌دار حاوی قطعه‌های برشی سنگ میزبان سنگ آهک دولومیتی در زمینه کانی‌های سولفیدی هستند (شکل ۵- H).

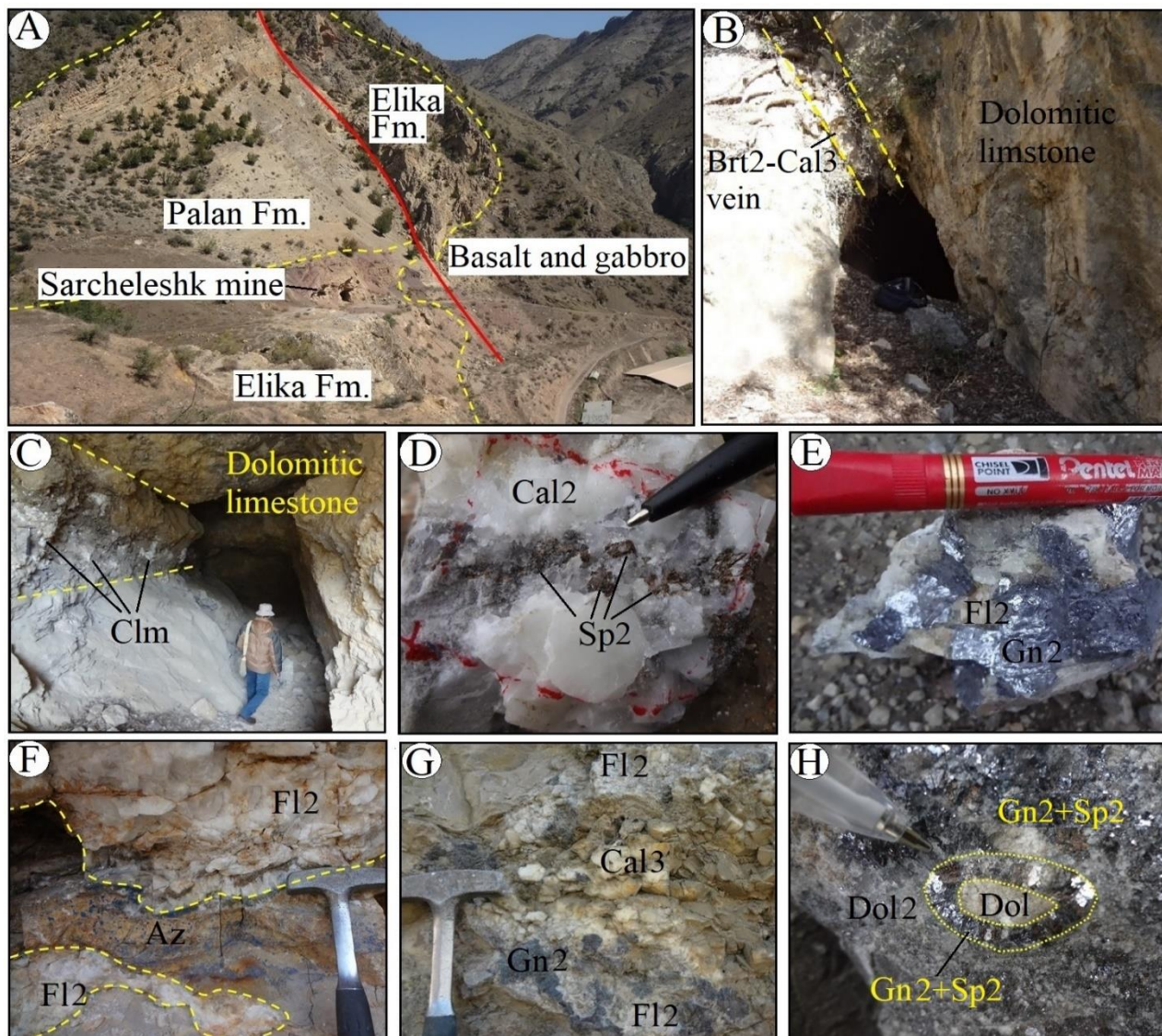
دگرسانی گرمابی در کانسار سرچلشک شامل دگرسانی‌های دولومیتی، کلسیتی و سیلیسی است. دگرسانی دولومیتی گسترده‌ترین دگرسانی گرمابی در کانسار سرچلشک است. این دگرسانی بیشتر در حاشیه رگه‌های کانه‌دار رخ داده است. طی این دگرسانی، منیزیم به محیط وارد شده و دولومیت جایگزین کلسیت در سنگ میزبان می‌شود (شکل ۶- A و B). با توجه به شبکه بلوری فشرده‌تر دولومیت در مقایسه با کلسیت، فضاهای خالی در سنگ میزبان ایجاد می‌شود. این دگرسانی نقشی مهم در افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان داشته است. دگرسانی کلسیتی در کانسار سرچلشک به دو شکل مشاهده می‌شود. نوع اول شامل بلورهای درشت کلسیت موجود در رگه‌های کانه‌دار است (شکل ۶- C و D). نوع دوم دگرسانی کلسیتی شامل رگه- رگچه‌های کلسیتی تأخیری است که رگه‌های کانه‌دار و آهک دولومیتی شده میزبان را

قطع کرده‌اند (شکل ۶-۵). دگرسانی سیلیسی به صورت محدود ریز کوارتز در حاشیه برخی از رگه-رگچه‌های کنه‌دار است در کانسار سرچلشک دیده می‌شود. این دگرسانی شامل بلورهای (شکل ۶-۴).



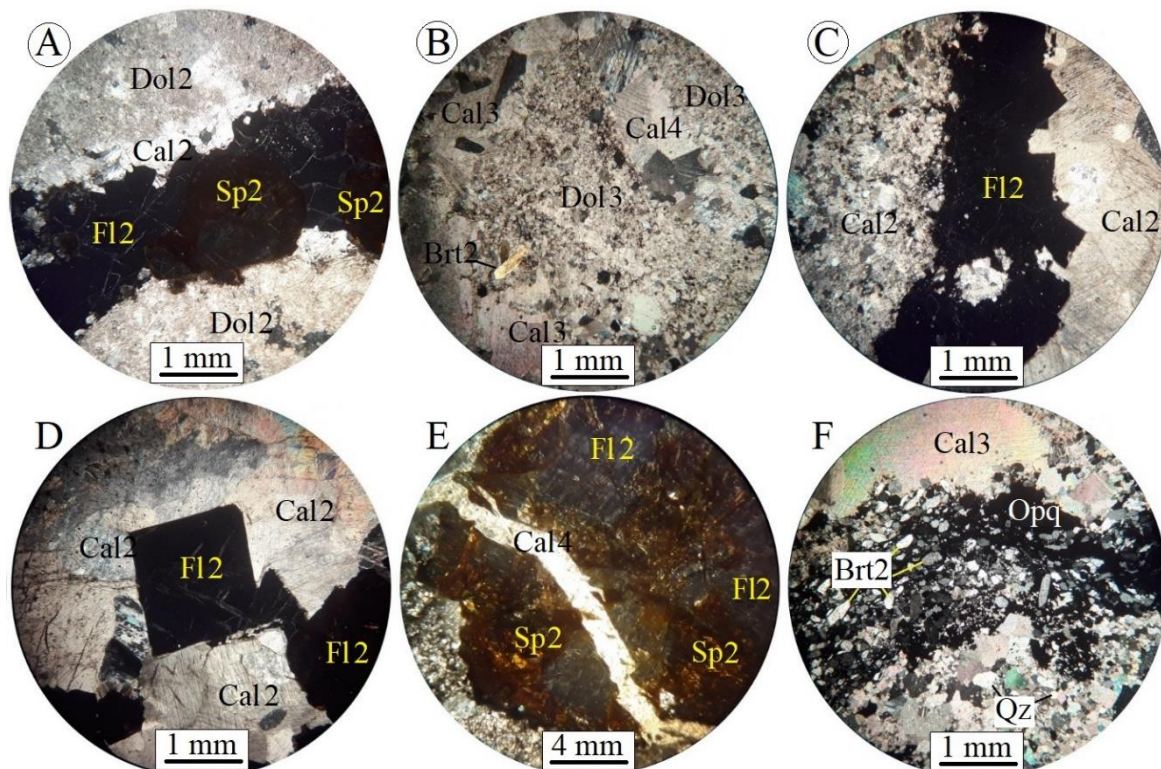
شکل ۴. ستون سنگ‌چینه‌ای کانسار سرچلشک

Fig. 4. Lithostratigraphy column of the Sarcheleshk deposit



**شکل ۵.** A: نمایی از معدن سرچلشک درون سنگ آهک دولومیتی سازند الیکا (دید به سمت شمال‌خاور)، B: نمایی از رگه باریتی - کلسیتی درون سنگ آهک دولومیتی سازند الیکا و تونل استخراجی حفر شده بر روی آن (دید به سمت شمال)، C: نمایی نزدیک از کاننه‌زایی کالامین در دیواره تونل استخراجی، D و E: کاننه‌زایی سولفیدی (گالن و اسفالریت) همراه با کلسیت و فلوئوریت در رگه‌های کاننه‌دار، F: آثار کاننه‌زایی مس (آزوریت) در امتداد سطوح شکستگی سنگ آهک دولومیتی در مجاورت بارگه فلوئوریت، G: کلسیت تأخیری با بافت پرکننده فضای خالی در رگه فلوئوریت-گالن و H: قطعات برشی سنگ میزبان دولومیتی در زمینه کانی‌های سولفیدی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Az: آزوریت، Brt: باریت، Cal: کلسیت، Clm: کالامین، Dol: دولومیت، Fl: فلوئوریت، Gn: گالن، Sp: اسفالریت).

**Fig. 5.** A: View of the Sarcheleshk mine within dolomitic limestone of Elika Fm., looking northeast, B: View of barite-calcite vein within dolomitic limestone of Elika Fm., and its excavated extraction tunnel, looking to the north, C: Close view of calamine mineralization in the wall of extraction tunnel, D and E: Sulfide mineralization (galena and sphalerite) along with calcite and fluorite in mineralized veins, F: Cu mineralization (azurite) evidences within cracks of host dolomitic limestone near the fluorite vein, G: Late-stage calcite with vug infill texture in fluorite-galena vein, and H: Breccia clast of dolomitic host rock set in sulfide mineral matrix. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Az: azurite, Brt: barite, Cal: calcite, Clm: calamine, Dol: dolomite, Fl: fluorite, Gn: galena, Sp: sphalerite).



**شکل ۶.** تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه صفحه‌ای، PPL) از انواع دگرسانی گرمابی در کانسار سرچلشک. A و B: بلورهای دولومیت در دگرسانی دولومیتی، C و D: بلورهای درشت کلسیت در دگرسانی کلسیتی، E: رگچه کلسیتی تأخیری قطع کننده رگه کانه‌دار و F: بلورهای ریز کوارتز در دگرسانی سیلیسی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Dol: کلسیت، Cal: کلسیت، Brt: باریت، Sp: اسفالریت، Opq: کانی‌های کدر، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

**Fig. 6.** Photomicrographs (transmitted plane-polarized light, PPL) of hydrothermal alteration in the Sarcheleshk deposit. A and B: Dolomite crystals in the dolomite alteration, C and D: Coarse-grained calcite crystals in the calcite alteration, E: Late-stage calcite veinlet crosscut mineralized veins, and F: Fine-grained quartz aggregates in the silicified zone. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Brt: barite, Cal: calcite, Dol: dolomite, Fl: fluorite, Opq: opaque minerals, Qz: quartz, Sp: sphalerite).

شده‌اند. بر اساس این بررسی‌ها، ساخت و بافت کانسنگ در کانسار سرچلشک شامل رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضاهای خالی، برشی، تناوبی، دانه‌پراکنده، جانیشینی و بازماندی است. پیریت شامل سه نسل (Py1 تا Py3) بوده و بیشتر به صورت بلورهای کوچک شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار دانه‌پراکنده در سنگ میزبان سیلیسی شده (Py3) حضور دارد (شکل ۷-۱). ابعاد پیریت‌ها معمولاً کمتر از ۲۰۰ میکرون است. پیریت نسل اول (Py1) اغلب به صورت ادخال درون گالن و اسفالریت نسل اول

### کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

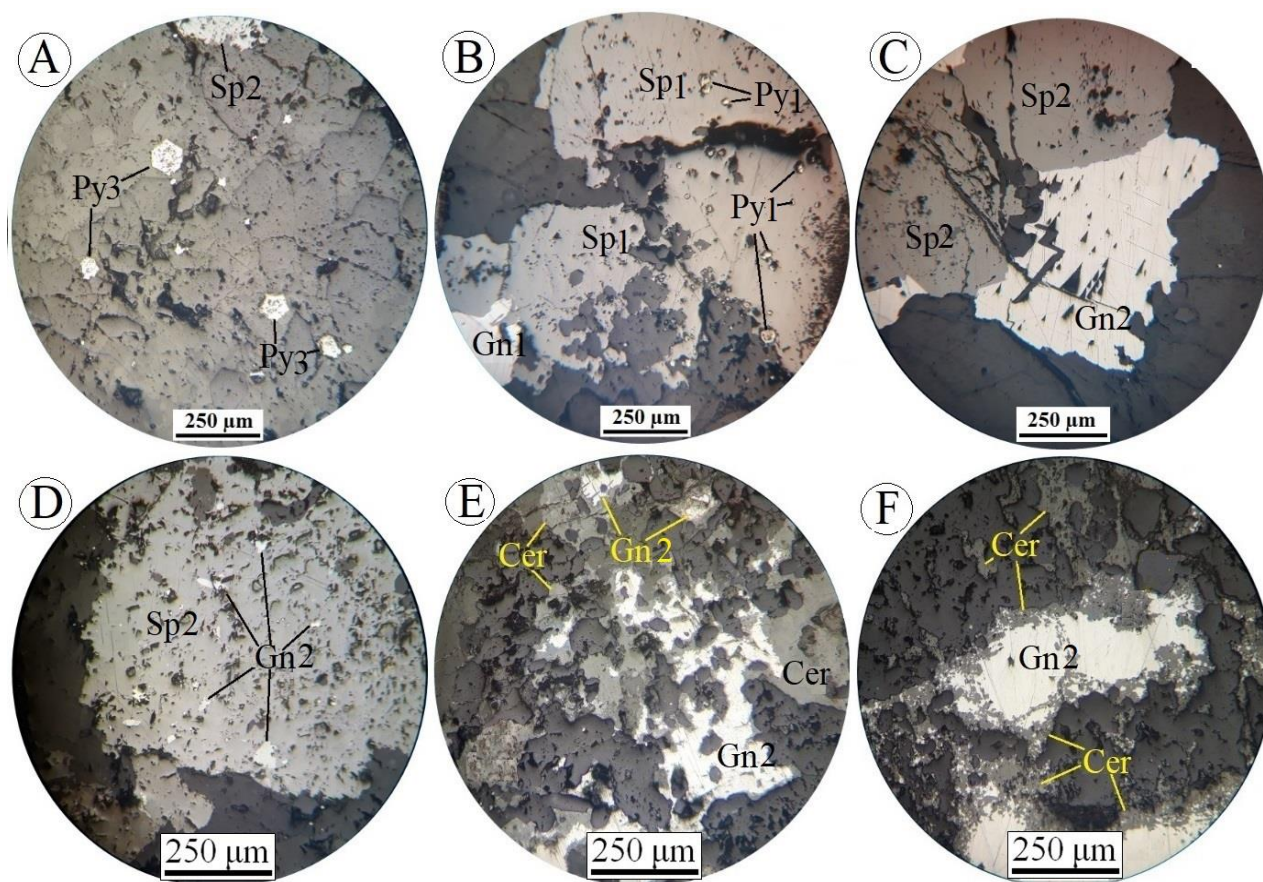
بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی انجام شده، گالن، اسفالریت و پیریت کانه‌های فلزی اصلی موجود در کانسار سرچلشک هستند که با اندکی کالکوپیریت و تتراهدريت همراهی می‌شوند. فلوئوریت و باریت، کانی‌های غیرفلزی معدنی در این کانسار هستند. کلسیت، دولومیت و کوارتز، کانی‌های باطله در کانسار سرچلشک هستند. کالامین، اسمیت زونیت، سروزیت، کالکوسیت، کوولیت، آزوریت و گوتیت در نتیجه فرایندهای برون‌زاد تشکیل

شکل دار تا نیمه شکل دار با بافت‌های دانه‌پراکنده و رگه-رگچه‌ای در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود (شکل ۶ و شکل ۸-E). فلوئوریت معمولاً همراهی نزدیکی با گالن، اسفالریت و کلسیت دارد. فلوئوریت نسل اول (F11) در نوارهای نازک اسفالریت، گالن، فلوئوریت و کلسیت حضور داشته و سبب تشکیل بافت تناوبی در کانسار سرچلشک شده است (شکل ۸-F). این بافت در دیگر کانسارهای فلوئوریت منطقه سوادکوه مانند کانسارهای پاچی-میانا، شش‌رودبار و کمرپشت نیز معرفی شده است (Gorjizad, 1996; Shariatmadar, 1999; Rastad and Nabiloo et al., 2018; Shariatmadar, 2002). فلوئوریت نسل دوم (F12)، فراوانی قابل توجهی در منطقه داشته و با کانه‌زایی گالن، اسفالریت و پیریت نسل دوم و کالکوپیریت و تتراهدريت همراه است (شکل ۶-A, C, D, E و شکل ۸-E). باریت نیز شامل دو نسل (Brt1 و Brt2) بوده و به صورت بلورهای ریز و تیغه‌ای شکل دار در نمونه‌های کانه‌دار دیده می‌شود. این کانی معمولاً در رگه-رگچه‌های باریتی-کلسیتی و یا رگچه‌های تک کانیایی باریتی (Brt2) دیده شده و در بیشتر موارد رگه‌های فلوئوریتی و سنگ میزبان دولومیتی شده را قطع کرده است (شکل ۸-E). این امر می‌تواند بیانگر تشکیل باریت بعد از فلوئوریت در توالی هم‌یافتی باشد. باریت نسل اول (Brt1) به مقدار بسیار محدود در همراهی با نوارهای اسفالریت، گالن، فلوئوریت و کلسیت با بافت تناوبی مشاهده می‌شود. کلسیت شامل چهار نسل (Cal1 تا Cal4) است. کلسیت نسل اول (Cal1) عبارت است از بلورهای سنگ میزبان با ترکیب سنگ آهک دولومیتی شده و همچنین بلورهای کلسیت موجود در نوارهای تناوبی متشکل از اسفالریت، گالن، فلوئوریت و کلسیت. کلسیت نسل دوم (Cal2) همراه با رگه‌های فلوئوریت کانه‌دار نسل دوم (F12) قابل مشاهده است (شکل ۵-D و شکل ۶-A, C, D). کلسیت نسل سوم (Cal3) در همراهی با رگه‌های باریت-کلسیت و باریت کانه‌دار نسل دوم (Brt2) حضور دارد (شکل ۶-B و F). همچنین، بلورهای درشت موجود در بخش مرکزی رگه‌های فلوئوریت

(شکل ۷-B) قابل مشاهده است که این امر می‌تواند بیانگر تشکیل پیریت قبل از گالن و اسفالریت در توالی هم‌یافت باشد. پیریت نسل دوم (Py2) نیز با فراوانی کم و اغلب در همراهی با بلورهای گالن و اسفالریت نسل دوم و کالکوپیریت مشاهده می‌شود. در برخی نقاط، بلورهای پیریت از حاشیه به گویت دگرسان شده‌اند. اسفالریت شامل دو نسل (Sp1 و Sp2) بوده و به صورت بلورهای درشت بی‌شکل تا شکل دار در بخش‌های کانه‌دار حضور دارد. اسفالریت نسل اول (Sp1) در همراهی با گالن نسل اول (Gn1) بوده و اغلب حاوی اذخال‌هایی از پیریت نسل اول (Py1) است (شکل ۷-B). اسفالریت نسل دوم (Sp2) معمولاً با گالن نسل دوم (Gn2) هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۷-C)؛ اما در برخی نمونه‌ها، اذخال‌هایی از گالن (Gn2) داخل اسفالریت (Sp2) قابل مشاهده است (شکل ۷-D) که بیانگر تبلور زودتر گالن نسبت به اسفالریت در توالی هم‌یافت است. در بخش‌های سطحی، اسفالریت از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به اسمیت‌زونیت دگرسان شده است. گالن نیز شامل دو نسل (Gn1 و Gn2) بوده و به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار دانه‌پراکنده در نمونه‌های کانه‌دار قابل مشاهده است. گالن‌های هر دو نسل معمولاً هم‌رشد با اسفالریت بوده و یا به صورت اذخال (Gn2) در داخل اسفالریت نسل دوم (Sp2) دیده می‌شود (شکل ۷-C و D). گالن‌ها اغلب از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به سروزیت دگرسان شده‌اند (شکل ۷-E و F). کالکوپیریت با فراوانی کم و به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه شکل دار در برخی از نمونه‌های کانه‌دار و در همراهی با گالن، اسفالریت و پیریت نسل دوم حضور دارد. این کانی معمولاً از حاشیه‌ها و در امتداد شکستگی‌ها به کالکوسیت، کوولیت و گویت دگرسان شده و گاهی بقایایی از آن به صورت بافت بازماندی باقی‌مانده است (شکل ۸-A تا C). تتراهدريت با فراوانی بسیار کم و به صورت اذخال‌های نیمه شکل دار داخل گالن نسل دوم (Gn2) قابل مشاهده است (شکل ۸-D). فلوئوریت شامل دو نسل (F11 و F12) بوده و به صورت بلورهای

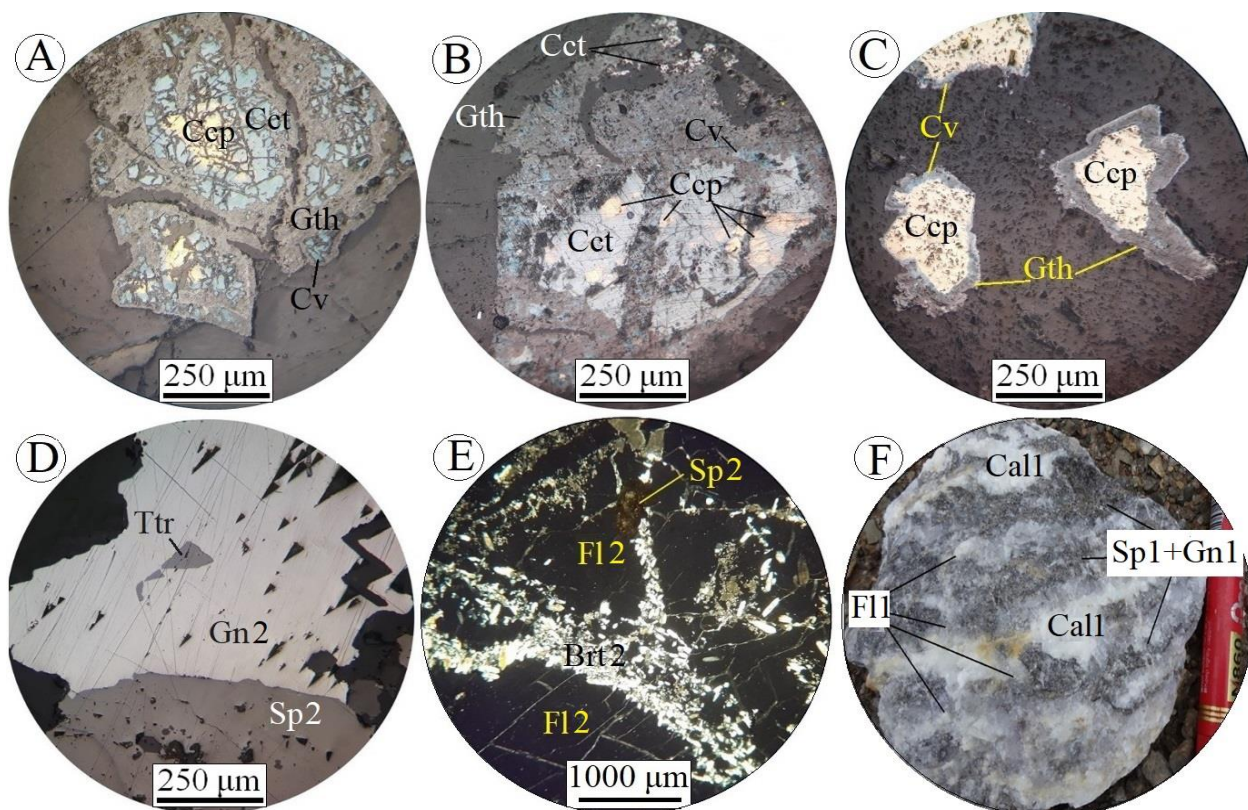
سنگ آهک دولومیتی. دولومیت‌های نسل دوم و سوم (Dol2 و Dol3) به صورت بلورهای ریز بی‌شکل در حاشیه دولومیتی شده رگه‌های فلوئوریتی کانه‌دار مرحله دوم و رگه‌های باریتی کانه‌دار قابل مشاهده است (شکل ۶-A و B). کوارتز به صورت بلورهای ریز در حاشیه سیلیسی شده رگه-رگچه‌های باریتی کانه‌دار (Brt2) دیده می‌شود (شکل ۶-F).

کانه‌دار نسل دوم (Fl2) توسط کلسیت نسل سوم (Cal3) پر شده است (شکل ۵-G). نسل چهارم بلورهای کلسیت (Cal4) شامل رگچه‌های کلسیتی تأخیری است که همه مراحل قبلی را قطع کرده‌اند (شکل ۶-E). دولومیت شامل سه نسل (Dol1 تا Dol3) است. دولومیت نسل اول (Dol1) عبارت است از بلورهای ریز دولومیت حاصل از فرایند دیاژنز و تبدیل سنگ آهک اولیه به



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی) از کانی‌های کانسار سرچلشک. A: بلورهای ریز پیریت (نسل سوم) با بافت پراکنده در متن سنگ‌های کربناته سیلیسی شده، B: ادخال‌های ریز پیریت (نسل اول) داخل اسفالریت (نسل اول)، C: هم‌رشدی اسفالریت (نسل دوم) و گالن (نسل دوم)، D: ادخال‌های ریز گالن (نسل دوم) داخل اسفالریت (نسل دوم)، E و F: بلورهای بی‌شکل گالن (نسل دوم) که به سروزیت دگرسان شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. Cer: سروزیت، Gn: گالن، Py: پیریت، Sp: اسفالریت.

**Fig. 7.** Photomicrographs (reflected light) of mineralogy of the Sarchelshk deposit. A: Disseminated fine-grained pyrite (Py3) in silicified carbonate rocks, B: Inclusions of fine-grained pyrite (Py1) in sphalerite (Sp1), C: Intergrowth of sphalerite (Sp2) and galena (Gn2), D: Inclusions of fine-grained galena (Gn2) in sphalerite (Sp2), E and F: Anhedrals galena (Gn2) replaced by cerussite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cer: cerussite, Gn: galena, Py: pyrite, Sp: sphalerite).



**شکل ۸.** تصاویر میکروسکوپی (A تا D در نور بازتابی و E در نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) و نمونه دستی از کانی‌های کانسار سرچلشک. A، B، C: بلورهای بی‌شکل و نیمه‌شکل دار کالکوپیریت که به کالکوسیت، کوولیت و گوئیت دگرسان شده‌اند، D: ادخال ریز تتراهدریت داخل گالن (نسل دوم)، E: رگچه‌های باریت ریزبلور (نسل دوم) که رگه فلوئوریت (نسل دوم) - اسفالریت (نسل دوم) را قطع کرده است و F: نوارهای گالن - اسفالریت - فلوئوریت - کلسیت (نسل اول) با بافت تناوبی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Brt: باریت، Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Fl: فلوئوریت، Gn: گالن، Gth: گوئیت، Sp: اسفالریت، Ttr: تتراهدریت).

**Fig. 8.** Photomicrographs (A to D in reflected light and E in transmitted polarized light, XPL) and hand specimen photo of mineralogy of the Sarchelshk deposit. A, B and C: Anhedral to subhedral chalcopyrite replaced by chalcocite, covellite and goethite, D: Fine inclusion of tetrahedrite in galena (Gn2), E: Barite veinlets (Brt2) crosscut fluorite (Fl2)-sphalerite (Sp2) vein, and F: Galena (Gn1)-sphalerite (Sp1)-fluorite (Fl1)-calcite (Cal1) bands with rhythmic texture. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Brt: barite, Ccp: chalcopyrite, Cct: chalcocite, Cv: covellite, Fl: fluorite, Gn: galena, Gth: goethite, Sp: sphalerite, Ttr: tetrahedrite).

آغاز شده و سپس با تشکیل پیریت، گالن و اسفالریت (فلوئوریت و باریت) با بافت‌های دانه‌پراکنده، تناوبی و رگچه‌ای در دیاژنز تأخیری ادامه یافته است. بافت‌های دانه‌پراکنده، رگچه‌ای، تناوبی و استیلولیتی از شواهد کانه‌زایی با دیاژنز تأخیری در کانسارهای پاچی میانا، شش‌رودبار و کمرپشت معرفی شده‌اند (Gorjizad, 1996; Shariatmadar, 1999; Rastad and Shariatmadar,

### مراحل کانه‌زایی و توالی هم‌یافتی کانی‌ها

با توجه به بررسی‌های صحرائی و میکروسکوپی و بر مبنای روابط بافتی، مراحل کانه‌زایی در کانسار سرچلشک به سه مرحله قابل تفکیک است (شکل ۹). مرحله اول مرتبط با فرایندهای دیاژنز (هم‌زمان با دیاژنز تا دیاژنز تأخیری) است. این مرحله با تشکیل کلسیت و دولومیت در سنگ میزبان در مرحله هم‌زمان با دیاژنز

تراستی منطقه با گسل‌های نرمال با مؤلفه امتدادلغز در داخل سنگ آهک دولومیتی شده سازند الیکا مشخص می‌شود. این مرحله به ترتیب با تشکیل رگه- رگچه‌های فلوئوریت-اسفالریت-گالن-پیریت- کالکوپیریت- تتراهدریت، رگه- رگچه‌های باریت-پیریت، رگه- رگچه‌های باریت- کلسیت و در نهایت رگه- رگچه‌های تأخیری کلسیتی همراه است. دگرسانی‌های دولومیتی، کلسیتی و سیلیسی مهم‌ترین دگرسانی‌های همراه با مرحله دیرزاد کانه‌زایی هستند. در مرحله برون‌زاد، کانی‌های کالامین، اسمیت‌زونیت، سروزیت، کالکوسیت، کولیت، آزوریت و گوتیت تشکیل شده‌اند.

کانی‌سازی در مرحله دیاژنز تأخیری را می‌توان به افزایش عمق تدفین و پیرو آن افزایش دما و فشار آب‌های آزاد شده دیاژنتیکی نسبت داد (Nabiloo et al., 2018). ساخت و بافت‌های دیاژنتیکی این مرحله نیز نتیجه هسته‌زایی اولیه، تبلور مجدد، آب‌زایی دیاژنتیکی و افزایش انحلال‌پذیری سنگ میزبان است (Nabiloo et al., 2018). به دلیل تأثیر مراحل بعدی کانه‌زایی، شواهد بافتی مربوط به مرحله اول کانه‌زایی محدود است. مرحله دوم (مرحله دیرزاد)، اصلی‌ترین مرحله کانه‌زایی در کانسار سرچلشک است. این مرحله با بافت‌های رگه- رگچه‌ای و شکافه‌پُرکن در محل تلاقی گسل‌های

	Diagenesis (syn to late)	Epigenetic			Supergene
		Stage 1	Stage 2	Stage 3	
Pyrite	Py1	Py2	Py3		
Chalcopyrite					
Sphalerite	Sp1	Sp2			
Galena	Gn1	Gn2			
Tetrahedrite					
Cerussite					
Smithsonite					
Calamine					
Chalcocite					
Covellite					
Azurite					
Goethite					
Fluorite	F11	F12			
Barite	Brt1		Brt2		
Calcite	Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	
Dolomite	Dol1	Dol2	Dol3		
Quartz					
Rhythmic					
Vein-Veinlet					
Disseminated					
Brecciated					
Vug infill					
Replacement					
Relict					

شکل ۹. توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار سرچلشک

Fig. 9. Sequence of mineral paragenesis in the Sarcheleshk deposit



## داده‌های زمین‌شیمی

قابل توجه بوده و بالاترین میزان آن به ۱۴/۵ گرم در تن در نمونه گالن دار می‌رسد (جدول ۲). با وجود کانی‌های مس نظیر کالکوپیریت و کالکوسیت در مقاطع میکروسکوپی، تمرکز مس در نمونه‌های آنالیز شده قابل توجه نبوده و تنها در دو نمونه مربوط به رگه فلوئوریت حاوی گالن و اسفالریت و سنگ آهک حاوی گالن عیار مس به ترتیب به ۰/۱۳ و ۰/۲۸ درصد می‌رسد (جدول ۲). محتوای بالای  $SO_3$  در نمونه مربوط به کالامین بیانگر حضور یک فاز گوگرددار در این نمونه است. آنالیز این نمونه به روش XRD نشان‌دهنده حضور ژپس همراه با اسمیت‌زونیت است (Mohammadi Lisehroudi, 2019).

نتایج آنالیزهای عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی برای نمونه‌های برداشت شده از کانسار سرچلشک در جدول ۱ و جدول ۲ آورده شده است. بر اساس داده‌های به دست آمده، نمونه مربوط به کالامین دارای عیار ۳۲/۶ درصد روی است. دیگر نمونه‌های کانه‌دار که اغلب از رگه‌های فلوئوریت-اسفالریت‌دار برداشت شده‌اند، عیارهای ۱۸/۴۵ تا ۳۶/۶ درصد فلوئور و ۱/۰۴ تا ۳/۹۸ درصد روی را نشان می‌دهند (جدول ۲). دو نمونه سنگ آهک حاوی کانی گالن نیز دارای تمرکزهای ۸/۴۳ و ۹/۱۱ درصد سرب هستند (جدول ۲). عیار نقره در برخی از نمونه‌های کانه‌دار

جدول ۱. نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر اصلی و کانه‌ساز برای نمونه‌های کانسار سرچلشک. تمامی داده‌ها بر حسب درصد وزنی هستند.

**Table 1.** Geochemical data of major and ore-forming elements of the representative samples from the Sarchelesk deposit. All data in wt. %.

	D.L.	S-2	S-3	S-73	S-74	S-75	S-77	S-79	S-80	S-81	S-90	S-91	S-92
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0.05	3.79	3.58	8.61	3.83	18.54	44.98	11.42	51.52	4.31	46.33	43.72	45.37
<b>CaO</b>	0.05	18.04	52.88	46.17	48.49	41.36	17.95	52.79	24.5	51.5	14.47	14.94	15.52
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.05	0.08	0.25	0.32	0.48	0.15	14.13	0.26	0.58	0.02	9.09	13.64	10.95
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.05	0.07	0.17	0.1	0.15	0.09	0.27	0.07	0.17	0.05	11.82	10.76	14.13
<b>MgO</b>	0.05	0.11	0.05	0.09	0.48	0.07	6.45	0.15	0.12	0.04	0.59	1.23	0.27
<b>MnO</b>	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.14	0.01	n.d.	n.d.	12.92	9.32	7.45
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.05	n.d.	0.01	0.01	0.02	0.01	0.24	n.d.	0.02	n.d.	0.25	0.20	0.14
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.05	n.d.	0.02	0.01	0.02	0.02	1.71	0.02	0.06	n.d.	2.27	3.43	3.48
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.05	19.91	1.53	0.08	0.07	1.04	0.13	3.04	2.85	0.04	-	-	-
<b>Zn</b>	0.01	29.6	1.04	3.25	3.98	1.08	0.02	0.19	0.05	2.9	-	-	-
<b>Pb</b>	0.01	0.04	0.01	0.01	0.29	3.74	0.01	9.11	8.43	0.05	-	-	-
<b>F</b>	0.01	<0.01	36.6	33.1	30	24.7	<0.01	<0.01	<0.01	36.1	-	-	-
<b>LOI</b>	0.05	27.01	4.63	7.11	11.69	9.17	13.55	23.45	12.16	4.55	2.23	2.40	2.41
<b>Total</b>	-	98.65	100.77	98.86	99.50	99.97	99.58	100.51	100.46	99.91	99.97	99.64	99.72

S-2: calamine ore; S-3, S-73, S-74 and S-81: fluorite + sphalerite ore; S-75: fluorite + sphalerite + galena ore; S-77: barren dolomitic limestone; S-79 and S-80: galena-bearing dolomitic limestone; S-90: gabbro, S-91: diabase, S-92: basalt

**جدول ۲.** نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای نمونه‌های کانسار سرچلشک. تمامی داده‌ها بر حسب گرم در تن هستند.

**Table 2.** Geochemical data of trace and rare earth elements of the representative samples from the Sarcheleshk deposit. All data in ppm.

	D.L.	S-2	S-3	S-73	S-74	S-75	S-77	S-79	S-80	M-81	S-90	S-91	S-92
<b>Ag</b>	0.1	1	0.7	0.2	1.6	8.5	0.2	14.5	12.5	0.2	-	-	-
<b>As</b>	0.1	4.6	48.7	23.2	>100	>100	8	50.4	>100	13.7	2.08	0.9	7.67
<b>Ba</b>	1	13	16	14	15	15	301	14	22	14	673	925	252
<b>Be</b>	0.2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	<0.2	0.7	0.7	0.7	1.04	1.5	0.6
<b>Cd</b>	0.1	548	24.9	65.2	51	24	0.1	23.8	11.2	90.9	0.13	0.1	0.2
<b>Ce</b>	0.5	4	6	5	6	6	32	5	5	5	56	77	33.5
<b>Co</b>	1	4.7	<1	1	1	1.1	41.5	<1	<1	<1	40.94	36.7	44.5
<b>Cr</b>	1	4	3	3	4	4	147	3	7	2	254	205	192.5
<b>Cs</b>	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	4.2	<0.5	<0.5	<0.5	1.44	1.8	3
<b>Cu</b>	0.1	441	95	199	229	1331	147	113	2864	87	83.88	63	124.5
<b>Dy</b>	0.02	0.37	0.44	0.52	0.49	0.42	4.41	0.51	0.4	0.43	4.67	4.59	5.11
<b>Er</b>	0.05	<0.05	0.07	0.11	0.09	<0.05	2.39	0.07	<0.05	0.06	2.5	2.36	2.81
<b>Eu</b>	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.43	<0.1	<0.1	<0.1	1.73	2.06	1.36
<b>Gd</b>	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	3.75	<0.05	<0.05	<0.05	5.13	5.61	4.51
<b>Hf</b>	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.94	<0.5	<0.5	<0.5	3.12	3.71	2.17
<b>La</b>	1	1	2	2	2	2	14	2	2	2	31.63	47	17.5
<b>Lu</b>	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.28	<0.1	<0.1	<0.1	0.32	0.32	0.32
<b>Mo</b>	0.1	1.1	10.1	1	4.8	5.7	0.3	1.2	17.8	0.6	0.1	0.1	0.1
<b>Nb</b>	1	<1	1.1	<1	<1	<1	17.7	<1	1.2	<1	28.58	29.8	16.4
<b>Nd</b>	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	13.8	<0.5	<0.5	<0.5	26.33	32.7	15.4
<b>Ni</b>	1	18	10	12	14	10	96	5	6	10	145	129	109
<b>Pb</b>	0.1	406	122	88	2879	37400	97	91100	84300	447	104	9	381
<b>Pr</b>	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	2.34	<0.05	<0.05	<0.05	6.96	8.96	3.74
<b>Rb</b>	1	<1	<1	<1	2	<1	4	<1	3	<1	26	33	13
<b>Sb</b>	0.5	13	22.7	10.9	27.6	44.8	5.3	47	>100	8.5	0.58	0.5	0.8
<b>Sc</b>	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	28	<0.5	<0.5	<0.5	26.8	21.2	26.95
<b>Sm</b>	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	3.33	<0.02	<0.02	<0.02	5.2	5.85	3.82
<b>Sn</b>	0.1	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	1	0.4	0.6	0.4	1.33	1.5	0.95
<b>Sr</b>	1	69.3	123.6	87	188.7	241.9	437.2	225.5	346.2	67.2	489	499	542
<b>Ta</b>	0.1	0.26	0.23	0.22	0.24	0.22	1.28	0.3	0.25	0.26	2.28	1.39	3.71
<b>Tb</b>	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.68	<0.1	<0.1	<0.1	0.76	0.81	0.75
<b>Th</b>	0.1	0.39	0.7	0.66	0.74	0.55	2.03	0.43	0.5	0.56	4.95	6.17	2.14
<b>Tm</b>	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.39	<0.1	<0.1	<0.1	0.36	0.34	0.35
<b>U</b>	0.1	6	1	1.8	5.5	5.9	0.4	2.6	8.03	1.1	0.96	1	0.9
<b>V</b>	1	20	22	12	27	52	202	26	149	4	186	160	192
<b>W</b>	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	1
<b>Y</b>	0.5	2.4	4	4.9	4.2	3.7	20.7	3.4	2.8	4.3	20.23	21.7	20.05
<b>Yb</b>	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.9	0.1	0.1	0.1	4.95	3.10	2.65
<b>Zn</b>	1	326300	10400	32500	39800	10800	149	2052	513	29000	106	86	209
<b>Zr</b>	5	<5	<5	<5	<5	<5	66	<5	6	<5	80.5	142	108.5

S-2: calamine ore; S-3, S-73, S-74 and S-81: fluorite + sphalerite ore; S-75: fluorite + sphalerite + galena ore; S-77: barren dolomitic limestone; S-79 and S-80: galena-bearing dolomitic limestone; S-90: gabbro, S-91: diabase, S-92: basalt

**بحث و بررسی**

**الگوی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در بخش‌های کانهدار**  
الگوی عناصر کمیاب برای سنگ‌های آذرین مافیک، سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی و بخش‌های کانهدار در کانسار سرچلشک که نسبت به مقادیر کندریت (McDonough and Sun, 1995) بهنجار شده‌اند، در شکل ۱۰-A نشان داده شده است. چنان‌که در این شکل دیده می‌شود، الگوی عناصر کمیاب در سنگ‌های آذرین مافیک منطقه با الگوی این عناصر در نمونه‌های کانهدار متفاوت است. این امر نشان‌دهنده عدم دخالت ماگماتیسیم مافیک منطقه در تشکیل کانه‌زایی بوده و خاستگاه گرمابی آذرین‌زاد کانه‌زایی را رد می‌کند (Vahabzadeh et al., 2009; Mehraban et al., 2016).

نمونه سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی و نمونه‌های کانهدار، دارای الگوی تقریباً مشابهی هستند؛ با این تفاوت که نمونه سنگ آهک دولومیتی شده از برخی عناصر مانند Pb و U تهی‌تر و از عنصر Ba غنی‌تر است (شکل ۱۰-A). غنی‌شدگی در عناصر Pb و U در نمونه‌های کانهدار بیانگر ورود این عناصر به سنگ میزبان کانه‌زایی توسط سیالات گرمابی است. همچنین، نمونه‌های کانهدار الگویی شبیه به هم دارند که می‌تواند بیانگر تشکیل آنها طی یک فرایند کانه‌زایی باشد.

در الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت (McDonough and Sun, 1995)، سنگ‌های آذرین مافیک و سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی دارای یک الگوی نسبتاً غنی از عناصر کمیاب خاکی سبک و الگوی مسطح عناصر کمیاب خاکی سنگین هستند (شکل ۱۰-B).

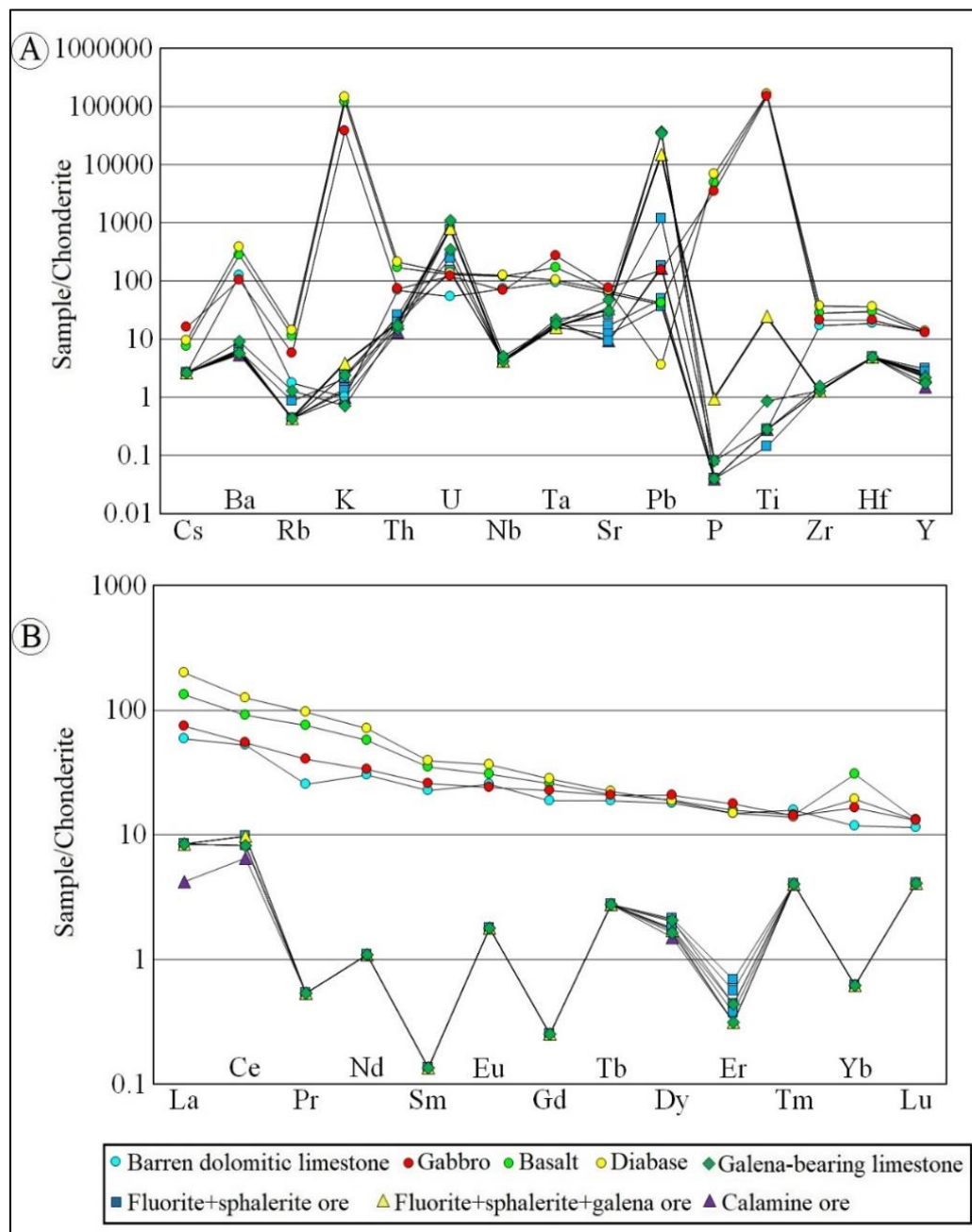
نمونه‌های کانهدار الگوی متفاوت با سنگ‌های آذرین مافیک و سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی داشته و از عناصر کمیاب خاکی تهی شده هستند (شکل ۱۰-B). نبود شباهت روند توزیع عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانهدار و سنگ‌های آذرین مافیک، نشان‌دهنده عدم نقش فعالیت‌های آذرین منطقه در

تأمین فلوئور و دیگر عناصر کانه‌ساز (Constantopoulos, 1988) در کانسار سرچلشک است. این تفسیر سازگار با نتایج وهاب‌زاده و همکاران (Vahabzadeh et al., 2009) و مهربان و همکاران (Mehraban et al., 2016) است که نقش سنگ‌های آذرین مافیک و همچنین شیل‌های سازند شمشک را به عنوان خاستگاه عناصر کانه‌ساز در کانسارهای امامت و کمپریش رد کرده‌اند. علاوه بر این، همه نمونه‌های کانهدار، الگوی مشابه داشته و تفاوت‌های جزئی در تمرکز عناصر La, Ce و Er را نشان می‌دهند (شکل ۱۰-B). شباهت الگوهای عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانهدار را می‌توان به تشکیل آنها طی یک فرایند کانه‌زایی مرتبط دانست.

**تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر در بخش‌های کانهدار**

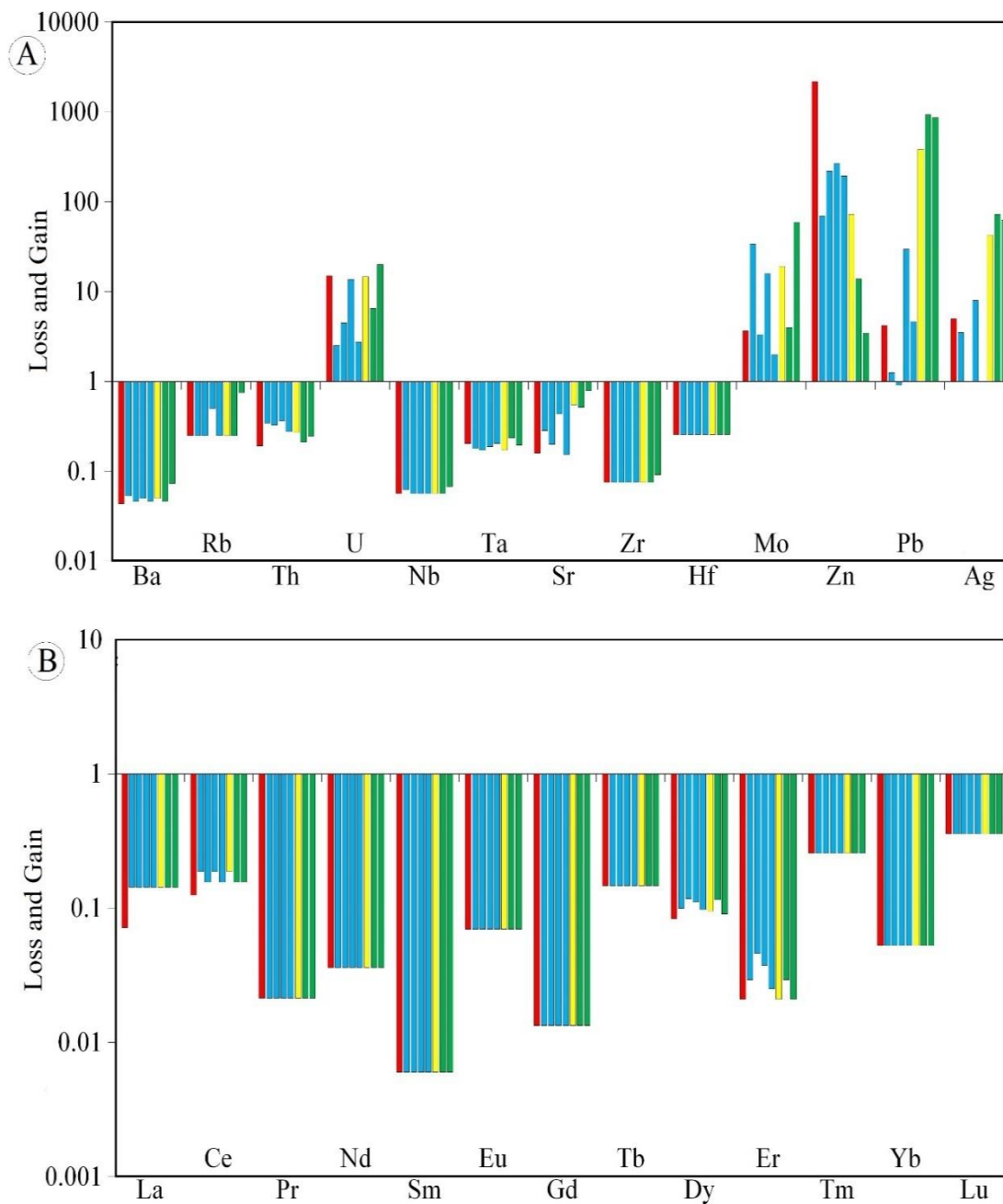
برای بررسی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر طی کانه‌زایی در کانسار سرچلشک، داده‌های مربوط به نمونه‌های کانهدار نسبت به سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی مقایسه شد تا عناصر اضافه و یا کم‌شده به سنگ طی کانه‌زایی مشخص شود. این روش نیمه کمی بوده و برای تعیین میزان کمی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر نیاز به محاسبات موازنه است که در این پژوهش انجام نشده است. در نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب، نمونه‌های کانهدار در مقایسه با سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی از عناصر U, Mo, Zn, Pb و Ag غنی و در بقیه عناصر تهی شده‌اند (شکل ۱۱-A).

در نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی (شکل ۱۱-B)، نمونه‌های کانهدار نسبت به سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی، از همه عناصر کمیاب خاکی تهی شده‌اند. بیشترین مقدار تهی‌شدگی در این نمونه‌ها متعلق به عناصر Pr, Sm, Gd و Er است (شکل ۱۱-B). این تهی‌شدگی را می‌توان به خروج عناصر کمیاب خاکی از سنگ میزبان طی فعالیت‌های دگرسانی و کانه‌زایی مرتبط دانست.



شکل ۱۰. A: الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده به کندریت (McDonough and Sun, 1995) برای سنگ‌های آذرین مافیک، سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی و نمونه‌های کانه‌دار در کانسار سرچلشک و B: الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت (McDonough and Sun, 1995) برای سنگ‌های آذرین مافیک، سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی و نمونه‌های کانه‌دار در کانسار سرچلشک

**Fig. 10.** A: Chondrite-normalized trace element patterns of mafic igneous rocks, barren dolomitic limestone and mineralized samples in the Sarchelesk deposit. Normalization factors are from McDonough and Sun (1995), and B: Chondrite-normalized REE patterns of mafic igneous rocks, barren dolomitic limestone and mineralized samples in the Sarchelesk deposit. Normalization factors are from McDonough and Sun (1995)



شکل ۱۱. A: نمودارهای تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانه‌دار در کانسار سرچلشک که نسبت به سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی (نمونه شماره M-77، جدول ۱ و جدول ۲) بهنجار شده‌اند و B: نمودارهای تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های کانه‌دار در کانسار سرچلشک که نسبت به سنگ آهک دولومیتی شده بدون کانه‌زایی (نمونه شماره M-77، جدول ۱ و جدول ۲) بهنجار شده‌اند.

**Fig. 11.** A: Loss and gain diagrams for trace elements for the mineralized samples in the Sarchelshk deposit normalized relative to barren dolomitic limestone (sample M-77, Table 1 and Table 2). B: Loss and gain diagrams for REE for the mineralized samples in the Sarchelshk deposit normalized relative to barren dolomitic limestone (sample M-77, Table 1 and Table 2).

## نوع کانسار سرچلشک

با توجه به شواهد صحرایی و ساخت و بافتی، ویژگی‌های کانسارهای در کانسار سرچلشک شباهت‌های زیادی با کانسارهای سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی (زیردره غنی از فلوئور و باریم) دارد (Kendrick et al., 2002; Leach et al., 2005; Paradis et al., 2007; Leach and Taylor, 2009; Fisher et al., 2007). این شباهت‌ها شامل ریخت‌شناسی چینه‌کران، سنگ میزبان کربناته دولومیتی شده، بافت‌های رگه-رگچه‌ای، برشی، پُرکننده فضاهای خالی و تناوبی، نبود ارتباط مستقیم با سنگ‌های آذرین، دیرزاد بودن کانسارهای، کنترل شدن کانسارهای توسط ساختارهای گسلی و محدود بودن آن به پهنه‌های تراستی است. در جدول ۳ و جدول ۴ ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانسارهای کانسار سرچلشک با کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی و برخی از کانسارهای سرب و روی (فلوئور- باریم) در منطقه سوادکوه مازندران مقایسه شده است.

## الگوی تشکیل کانسار سرچلشک

بر اساس نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی، بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانسارنگاری و روابط هم‌بافتی کانی‌ها، مراحل تکوین و تکامل کانسار سرچلشک را می‌توان به صورت یک توالی چهار مرحله‌ای به شرح زیر خلاصه کرد (شکل ۱۲):

مرحله نخست، با تشکیل سازند الیکا در تریاس زیرین تا میانی مشخص می‌شود (شکل ۱۲-A). طبق پژوهش لاسمی و همکاران (Lasemi et al., 2000)، حوضه رسوبی سازند الیکا در البرز مرکزی در زمان تریاس میانی از نوع کششی در موقعیت حاشیه غیرفعال قاره‌ای بوده است. وجود سنگ‌های دو منشائی در بین سازندهای روتنه، نسن و الیکا در این دوره زمانی شاهدهی بر وجود شرایط کششی در این منطقه از البرز است (Brunet et al., 2009; Gaetani et al., 2009). در تریاس میانی، فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی فلسیک در برخی از مناطق البرز گزارش شده است که به رسوب گذاری طبقه‌های توفی بر روی واحدهای

کربناته سازند الیکا منجر شده است (Shariatmadar, 1999; Nabiloo et al., 2018). رخداد این فعالیت‌های آتشفشانی که با کم عمق شدن حوضه رسوبی سازند الیکا و افزایش شدت تبخیر هم‌زمان بوده است، سبب افزایش غلظت عناصر کانسار به‌ویژه هالوژن‌ها (مانند فلوئور) در حوضه دریایی تریاس میانی در البرز شده است (Shariatmadar, 1999; Nabiloo et al., 2018). در نتیجه این فرایند، تمرکزهای جزئی از کانسارهای اولیه در داخل توالی کربناته سازند الیکا به صورت بافت‌های دانه‌پراکنده، تناوبی و رگچه‌ای تشکیل شده است (Gorjizad, 1996; Shariatmadar, 1999).

در مرحله دوم، توالی کربناته مربوط به سازند پالند، فعالیت‌های آذرین زیردریایی مافیک مربوط به تریاس بالایی و در نهایت توالی شیلی- ماسه‌سنگی سازند شمشک به طور هم‌شیب بر روی سازند الیکا نهشته شده است (شکل ۱۲-B). با افزایش ضخامت رسوبات و توسعه فرایندهای دیاژنز، کانسارهای هم‌زمان با دیاژنز در سازند الیکا تشکیل شده است. وجود بافت تناوبی در بخش‌های کانسار کانسار سرچلشک از شواهد این مرحله از کانسارهای است. در مرحله سوم، هم‌زمان با فاز کوه‌زایی سیمین پیشین (Rajabi et al., 2013)، فشارش، چین خوردگی، گسلس معکوس (و تراست شدگی) در حوضه رسوبی باعث شکل‌گیری و توسعه ساخت‌های ناهم‌زاد و ناهم‌شیب با سنگ میزبان کربناته (زون‌های گسله و کارست‌های انحلالی) در طول فصل مشترک این سنگ‌ها با رسوبات سازند شمشک و گاه سنگ‌های آذرین مافیک تریاس بالایی شده است (شکل ۱۲-C). این ساختارها با مواد معدنی حاصل از پویایی مجدد کانسارهای دیاژنتیک، احتمالاً ناشی از فعالیت محلول‌های گرمابی حاصل از آب‌زدایی طبقه‌های رورانده و فشرده شیلی- ماسه‌سنگی سازند شمشک، پُر شده و کانی‌سازی نوع دیرزاد را در کانسار سرچلشک به وجود آورده است (شکل ۱۲-C). مرحله چهارم با بالا آمدگی ناحیه و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش همراه است (شکل ۱۲-D).

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار سرچلشک با کانسارهای سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی

Table 3. Comparison of main characteristics of Sarchelešk deposit with Mississippi Valley-type deposits

	Sarchelešk	MVT
<b>Tectonic setting</b>	Folded thrust belt, central Alborz zone	Foreland thrust belts
<b>Host rock</b>	Dolomitic limestone	Dolomite, limestone
<b>Mineralization style</b>	Epigenetic, strata-bound	Epigenetic, strata-bound, locally stratiform
<b>Magmatism association</b>	Not associated with igneous activity	Not associated with igneous activity
<b>Ore controls</b>	Faults and fractures, dissolution collapse breccias	Faults and fractures, dissolution collapse breccias, and lithological transitions
<b>Hydrothermal alteration</b>	Dolomitization, silicification, calcitization	Dolomitization, silicification
<b>Ore texture</b>	Open space filling, brecciated, vein-veinlets, replacement, rhythmic	Replacement, open space filling, brecciated, zebra
<b>Mineral assemblages</b>	Gn, Sp, Py, Ccp	Gn, Sp, Py, Mrc, Ccp, Bn, Cct
<b>Gangue minerals</b>	Dol, Fl, Brt, Cal, Qz	Dol, Fl, Brt, Cal, Qz
<b>References</b>	Mohammadi Lisehroudi (2019); This study	Leach et al. (2005); Paradis et al. (2007); Leach and Taylor (2009)

Abbreviations: Bn: bornite, Brt: barite, Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Cct: chalcocite, Dol: dolomite, Fl: fluorite, Gn: galena, Mrc: marcasite, Py: pyrite, Sp: sphalerite, Qz: quartz. Abbreviations after [Whitney and Evans \(2010\)](#).

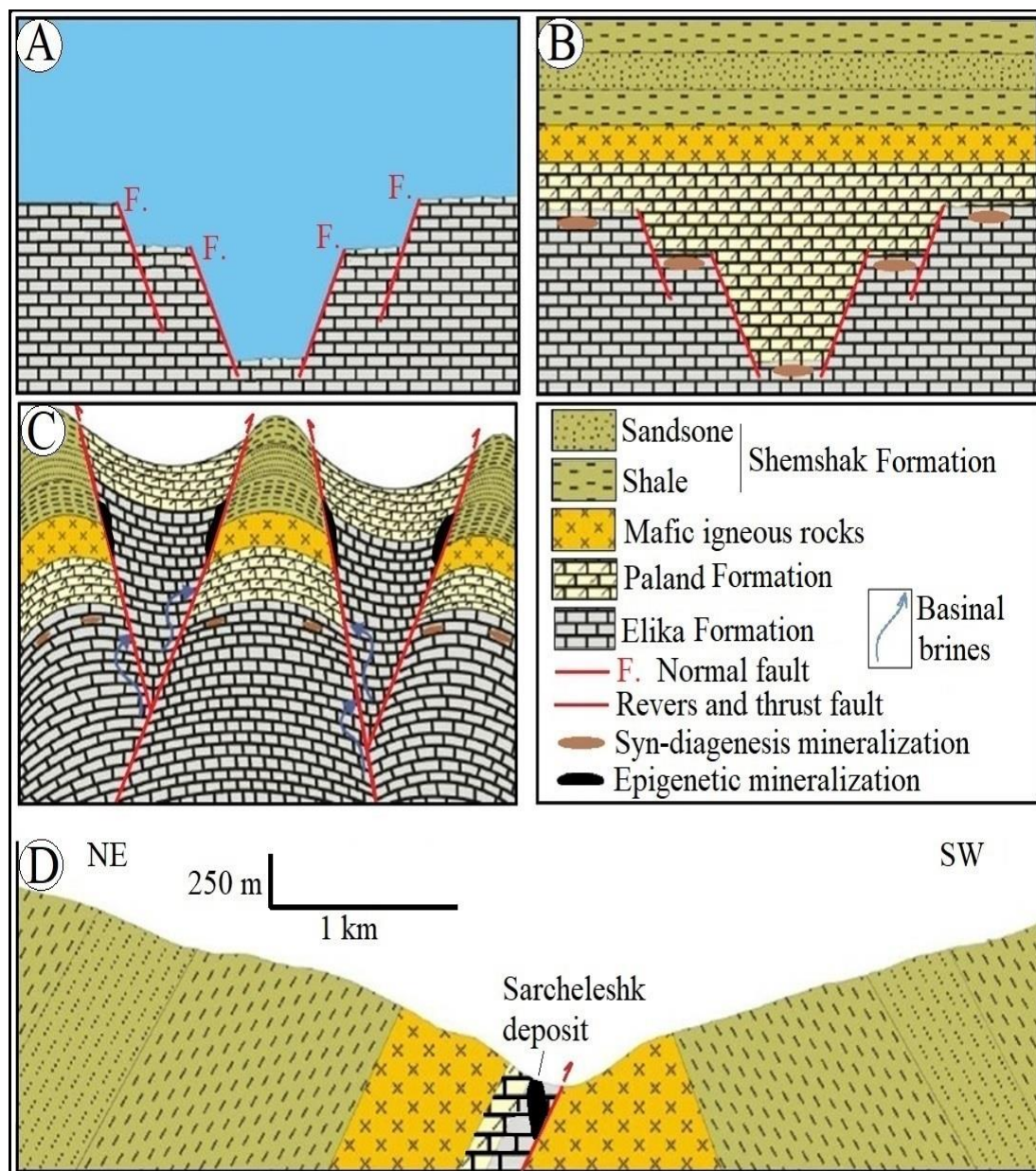
**جدول ۴.** مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار سرچلشک با برخی از کانسارهای سرب و روی (فلوئور- باریم) نوع دره می‌سی‌سی‌پی در منطقه سوادکوه

**Table 4.** Comparison of main characteristics of Sarcheleshk deposit with some Pb-Zn (F-Ba) Mississippi Valley-type deposits in the Savadkouh area

	<b>Sarcheleshk</b>	<b>Pachi Miana</b>	<b>Emaft</b>	<b>Sheshroudbar</b>	<b>Kamarposht</b>
<b>Host rock</b>	Dolomitic limestone, Elika Fm.	Dolomitic limestone, Elika Fm.	Limestone, Tizkouh Fm.	Dolomitic limestone, Elika Fm.	Dolomitic limestone, Elika Fm.
<b>Ore controls</b>	Faults and fractures, dissolution collapse breccias	Faults and fractures, dissolution collapse breccias	Faults and fractures, dissolution collapse breccias	Faults and fractures, dissolution collapse breccias	Faults and fractures, dissolution collapse breccias
<b>Hydrothermal alteration</b>	Dolomitization, silicification, calcitization	Dolomitization, silicification	Dolomitization, silicification	Dolomitization, silicification	Dolomitization, silicification
<b>Ore texture</b>	Open space filling, brecciated, vein-veinlets, replacement, rhythmic	Rhythmic, open space filling, brecciated, vein-veinlets, replacement	Open space filling, vein-veinlets	Rhythmic, open space filling, brecciated, vein-veinlets, replacement	Rhythmic, open space filling, brecciated, vein-veinlets, replacement
<b>Mineral assemblages</b>	Gn, Sp, Py, Ccp	Gn, Sp	Gn, Sp	Gn, Sp, Py, Ccp	Gn
<b>Gangue minerals</b>	Dol, Fl, Brt, Cal, Qz	Dol, Fl, Brt, Cal	Dol, Fl, Cal, Qz	Dol, Fl, Brt, Cal	Dol, Fl, Brt, Cal, Qz
<b>References</b>	Mohammadi Lisehroudi (2019); This study	Gorjizad (1996); Davoudi (1998)	Vahabzadeh et al. (2008); Vahabzadeh et al. (2009)	Shariatmadar (1999); Rastad and Shariatmadar (2002)	Nabiloo et al. (2018)

Abbreviations: Brt: barite, Cal: calcite, Ccp: chalcopryrite, Dol: dolomite, Fl: fluorite, Gn: galena, Py: pyrite, Sp: sphalerite, Qz: quartz. Abbreviations after [Whitney and Evans \(2010\)](#).





شکل ۱۲. A, B, C و D: نمایی شماتیک نشان‌دهنده تاریخچه تکامل زمین‌شناسی و تشکیل کانسار سرچلشک. برای توضیح به متن مراجعه شود.  
**Fig. 12.** A, B, C and D: Schematic model showing the geological evolution history and formation of the Sarcheleshk deposit. See text for details.

### نتیجه‌گیری

می‌سی‌سی‌پی (زیررده غنی از فلوئور و باریم) طبقه‌بندی کرد. ساختارهای کنترل‌کننده کانه‌زایی در این کانسار شامل گسل‌ها، شکستگی‌ها و حفره‌های انحلالی در سنگ میزبان کربناته سازند الیکا هستند. وجود بافت تناوبی شواهدی مبنی بر کانه‌زایی هم‌زمان

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، مجموعه کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار سرچلشک نشان می‌دهد که این کانسار را می‌توان در دسته کانسارهای سرب و روی نوع دره

کوه‌زایی سیمیرین پیشین سبب مهاجرت شورابه‌های درون سازندی به درون فضاهاى خالی حاصل از گسل خوردگی، برشی شدن و حفره‌های انحلالی در سنگ میزبان کربناتی سازند الیکا و تهنشت مواد معدنی شده است. ژئومتری ماده معدنی و قرارگیری آن در بخش‌های دولومیتی شده سازند الیکا بیانگر نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری، سنگ‌شناسی و دگرسانی در تشکیل رگه‌های کانهدار در کانسار سرچلشک است. از این رو، بررسی پهنه‌های گسلی در سنگ‌های کربناته سازند الیکا به ویژه در مناطقی که با دگرسانی دولومیتی همراهی می‌شود، می‌تواند از نظر اکتشاف کانسارهای مشابه در منطقه سوادکوه و دیگر بخش‌های زون البرز مرکزی حائز اهمیت باشد.

### قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند. نویسندگان همچنین از سردبیر و داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی به خاطر راهنمایی‌های علمی که به غنای بیشتر مقاله حاضر منجر شده است، تشکر می‌نمایند.

با دیاژنز را در کانسار سرچلشک نشان می‌دهد؛ اما ریخت‌شناسی چینه‌کران، بافت‌های رگه-رگچه‌ای، برشی و پُرکننده فضاهاى خالی و محدود بودن کانه‌زایی به ساختارهای گسلی بیانگر دیرزاد بودن کانه‌زایی در این کانسار است. نبود شباهت روند توزیع عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار و سنگ‌های آذرین مافیک، نشان‌دهنده عدم نقش فعالیت‌های آذرین منطقه در تأمین فلوئور و دیگر عناصر کانه‌ساز در کانسار سرچلشک است. این تفسیر سازگار با نتایج پژوهش‌های وهاب‌زاده و همکاران (Vahabzadeh et al., 2009) و مهربان و همکاران (Mehraban et al., 2016) است که نقش سنگ‌های آذرین مافیک و همچنین شیل‌های سازند شمشک را به عنوان خاستگاه عناصر کانه‌ساز در کانسارهای امافت و کمرپشت رد کرده‌اند. لذا، الگوی منشأ همزاد با رسوب‌گذاری کانسار سرچلشک با دخالت ماگماتیسیم مافیک منطقه و خاستگاه گرمابی آذرین‌زاد این کانسار را منتفی ساخته و بیانگر نقش شورابه‌های حوضه‌ای در تشکیل این کانسار است. این امر با حضور بلورهای درشت و ناهمگن دولومیت در بخش‌های دولومیتی شده تأیید می‌شود که بیانگر تأمین منیزیم توسط شورابه‌های حوضه‌ای برای دگرسانی دولومیتی است. چنین به نظر می‌رسد که فشارهای زمین‌ساختی مرتبط با فاز

---

**References**

- Aghanabati, A. and Hamed, A.R., 1994. Geological map of Semnan, scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, scale 1:5000000. Geological Survey of Iran.
- Alirezaei, S., 1989. Contribution to stratigraphy and mode of generation of F–Pb–Ba deposits in Triassic of eastern Alborz. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 87 pp. (in Persian with English abstract)
- Amini, B. and Khalatbari Jafari, M., 1998. Geological map of Damavand, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Brunet, M.F., Wilmsen, M. and Granath, J.W., 2009. South Caspian to Central Iran basin. Geological Society, Special Publications, 312, London, 352 pp.
- Constantopoulos, J., 1988. Fluid inclusion and REE geochemistry of fluorite from southcentral Idaho. *Economic Geology*, 83(5): 626–636. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.3.626>
- Davoudi, A., 1998. Investigation of genetic model of Pachi Miana deposit based on geochemistry, diagenesis and location of ore in host rock. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 160 pp. (in Persian with English abstract)
- Fisher, J., Lillie, R. and Rakovan, J., 2013. Fluorite in Mississippi Valley-Type Deposits. *Rocks and Minerals*, 88(1): 20–47. <https://doi.org/10.1080/00357529.2013.747895>
- Gaetani, M., Angiolini, L., Ueno, K., Nicora, A., Stephenson, M.H., Sciunnach, D., Rettori, R., Price, G.D. and Sabouri, J., 2009. Pennsylvanian–Early Triassic stratigraphy in the Alborz Mountains (Iran). In: M.F. Brunet, M. Wilmsen and J.W. Granath (Editors), South Caspian to Central Iran basin. Geological Society, Special Publications 312, London, pp. 79–128. <http://dx.doi.org/10.1144/SP312.5>
- Gorjizad, H., 1996. Study on geology, mineralogy, facies analysis and genesis of Pachi Miana fluorite deposit. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 156 pp. (in Persian with English abstract)
- Kendrick, M.A., Burgess, R.A., Patrick, D. and Turner, G., 2002. Hydrothermal fluid origins in a fluorite-rich Mississippi Valley-type district, Combined noble gas (He, Ar, Kr) and halogen (Cl, Br, I): Analysis of fluid inclusions from the South Pennine ore field, United Kingdom. *Economic Geology*, 97(3): 435–451. <http://dx.doi.org/10.2113/97.3.435>
- Lasemi, Y., Jahani, D. and Kohansal Ghadimvand, N., 2000. Study on Elika formation in west of central Alborz (Ghoznavi area): facies, sedimentary environment and sequence stratigraphy. 4<sup>th</sup> Congress of Geological Society of Iran, University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- 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. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 561–608. <https://doi.org/10.5382/AV100.18>
- Leach, D.L. and Taylor, R.D., 2009. Mississippi Valley-type lead-zinc deposit model. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1213, 5 pp. Retrieved February 27, 2021 from <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1213>
- McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3–4): 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Mehraban, Z., Shafiei Bafti, B. and Shamanian, G.H., 2016. Rare earths in fluorite deposits of Elika Formation (East of Mazandaran Province). *Journal of Economic Geology*, 8(1): 201–221. (in Persian with extended English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.V8I1.29969>
- Mohammadi Lisehroudi, M., 2019. Petrology and geochemistry of volcanic rocks in DoAb area (Savadkouh, Mazandaran) and studying Sarchelesk F–Pb–Zn mineralization. M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 98 pp. (in Persian with English abstract)
- Nabavi, M., 1988. Geological map of Semnan, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Nabiloo, F., Behnam Shafiei Bafti, B. and Amini, A., 2018. Diagenetic and post-diagenetic fabrics in the Kamarposht fluorite mine (east of Mazandaran province): Explanation and genetic interpretation. *Journal of Economic Geology*, 9(2): 483–507. (in Persian with extended English abstract). <https://doi.org/10.22067/ECONG.V9I2.37740>
-

- Paradis, S., Hannigan, P. and Dewing, K., 2007. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. In: W.D. Goodfellow (Editor), *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Geological Association of Canada, Newfoundland, pp. 185–203. Retrieved Aug. 28, 2022 from [https://geomuseu.ist.utl.pt/JAZIGOS%20MINE RAIS%202006/deposit\\_synthesis\\_mvt.paradis% 5B1%5D.pdf](https://geomuseu.ist.utl.pt/JAZIGOS%20MINE%20RAIS%202006/deposit_synthesis_mvt.paradis%205B1%5D.pdf)
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2013. Metallogeny of Permian-Triassic carbonate-hosted Zn–Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration. *Australian Journal of Earth Sciences*, 60(2): 197–216. <https://doi.org/10.1080/08120099.2012.754792>
- Rastad, E. and Shariatmadar, A., 2002. Sheshroudbar fluorite deposit, sedimentary and diagenetic fabrics and its depositional environment (Savadkouh, Mazandaran province). *Journal of Geosciences*, 10(41–42): 20–38. (in Persian with English abstract). Retrieved February 27, 2021 from [https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id =15987](https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=15987)
- Shariatmadar, A., 1999. *Geology and genesis of Sheshroudbar fluorite deposit*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 230 pp. (in Persian with English abstract)
- Tabasi, H., 1997. *Structural analysis of Sheshroudbar fluorite mine*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 130 pp. (in Persian with English abstract)
- Tadayyon, M., Nakini, A., Mohajjel, M. and Rashidnejad Omran, N., 2016. Structural and mineralization analysis of fluorite in Mazandaran: A case study from Kamarposht and Sheshroudbar mines. *Journal of Advanced Applied Geology*, 5(2): 13–23. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22055/AAG.2015.11523>
- Vahabzadeh, G., Khakzad, A., Rasa, I. and Mosavi, M.R., 2008. Oxygen and carbon isotopes and REE study in the Emaft fluorite mine, Savadkouh region (Mazandaran province). *Research Journal of Isfahan University*, 29(3): 189–200. (in Persian with English abstract) Retrieved February 27, 2021 from [https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id =90463](https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=90463)
- Vahabzadeh, G., Khakzad, A., Rasa, I. and Mosavi, M.R., 2009. Study on S isotopes in galena and barite of Savadkouh fluorite deposits. *Journal of Sciences, Islamic Azad University*, 69(18): 99–108. (in Persian with English abstract) Retrieved February 27, 2021 from [https://www.sid.ir/fa/journal/JournalListPaper.as px?ID=20422](https://www.sid.ir/fa/journal/JournalListPaper.aspx?ID=20422)
- Vahabzadeh, G., Khakzad, A., Rasa, I. and Mosavi, M.R., 2014. Fluorite REEs geochemistry in fluorite deposits of central Alborz. *New Findings in Applied Geology*, 16(1): 58–70. (in Persian with English abstract). Retrieved February 27, 2021 from [https://nfag.basu.ac.ir/article\\_936.html?lang=fa](https://nfag.basu.ac.ir/article_936.html?lang=fa)
- Vahdati Daneshmand, F., 1992. *Geological map of Amol, scale 1:250000*. Geological Survey of Iran.
- Vahdati Daneshmand, F. and Karimi, H., 2004. *Geological map of Pol-e-Sefid, scale 1:100000*. Geological Survey of Iran.
- Vahdati Daneshmand, F. and Saeidi, A., 1991. *Geological map of Sari, scale 1:250000*. Geological Survey of Iran.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Zabihitabar, Sh. and Shafiei Bafti, B., 2015. Mineralogy and mode occurrence of sulfides, sulfates and carbonates at fluorite mines in East of Mazandaran province. *Iranian Journal of Geology*, 33(1): 62–78. (in Persian with English abstract) Retrieved February 27, 2021 from <http://geology.saminattech.ir/Article/9333>