

Geology mineralogy, structure and texture of Agh-Otagh base- precious metal mineralization (North Takab)

Nahid Rahmati, Mir Ali Asghar Mokhtari *, Mohamad Ebrahimi and Ghasem Nabatian
Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract

The Agh-Otagh mineralization area in the north of Takab, was formed within the andesitic tuffaceous rocks of the Oligo- Miocene age. Mineralization include polymetallic (Cu-Pb-Zn-Au-Ag) quartz veins and silicified zones, which occurred as breccia and vein- veinlets with comb, cockade and disseminated textures. Chalcopyrite, pyrite, galena and sphalerite are common ore minerals. Alteration zones consist of silicification, sericitization, argillitic, propelitic and carbonatization. Cu-Au mineralization is associated with silicification and sericitization. Analytical results of the samples from the ore- bearing quartz veins and the silicified zones indicate that the highest grade for Au is 664 ppb (ave.181 ppb). The highest and the average grades for Ag, Cu, Pb, and Zn are 120 ppm (300 ppm), 1.3 % (0.38 %), 5.5 % (0.06 %) and 4.5 % (0.28 %), respectively. The investigations indicate that the Agh-Otagh mineralization was formed in four stages. In the first stage or the pre-mineralization stage, the host rock, as a result of hydrothermal process, underwent brecciation and some quartz veins and siliceous cap were formed. In the second stage or the mineralization stage the sulfide minerals formed within the quartz veins and silicification zones developed at the third stage, some unmineralized quartz, barite and carbonate vein- veinlets crosscut the previous stages. The last stage of mineralization related to supergene processes. Based on geological, mineralogical, alteration, structural and textural evidences, the Agh-Otagh base- precious metal mineralization is similar to the medium sulfidation epithermal deposits.

Key words: mineralogy, base- precious metal mineralization, epithermal, Agh-Otagh, Takab

* amokhtari@znu.ac.ir

پتسرولوژی، سال هشتم، شماره سی ام، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۵۷-۱۸۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲

زمین شناسی، کانی شناسی، ساخت و بافت کانه زایی فلزهای پایه - گرانبهای آغاتاق (شمال تکاب)

ناهید رحمتی، میرعلی اصغر مختاری*، محمد ابراهیمی و قاسم نباتیان
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

منطقه کانه زایی آغاتاق در شمال تکاب و درون توفهای آندزیتی الیگو-میوسن روی داده است. کانه زایی به صورت رگه های کوارتزی و پهنه های سیلیسی با کانی سازی چندفلزی (Cu-Pb-Zn-Au-Ag) به صورت برشی و رگه-رگچه ای با بافت های شانهای، کوکاد و دانه پراکنده رخ داده است. کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت از مهم ترین کانه ها بوده و سیلیسی، سرب، آرتزلیک، پروپلیتیک و کربناتی شدن از دگرسانی ها هستند. کانی سازی با دگرسانی های سیلیسی-سربیتیک همراه است. تجزیه نمونه های رگه های کوارتزی و پهنه های سیلیسی، عیار طلا را تا ۶۶۴ppb (میانگین: ۱۸۱ppb) نشان داده است. بالاترین و میانگین عیار نقره، مس، سرب و روی، به ترتیب ۱۲۰ppm (۳۰ppm)، ۱/۳ درصد (۰/۳۸ درصد)، ۵/۵ درصد (۰/۶ درصد) و ۴/۵ درصد (۰/۲۸ درصد) به دست آمده است. بررسی های انجام شده نشان دهنده رویداد کانه زایی در چهار مرحله است. در مرحله نخست یا پیش از کانه زایی، در پی فرایند گرمایی، سنگ میزبان برشی شده و گروهی از رگه های کوارتزی و کلاهدک سیلیسی پدید آمده اند. در مرحله دوم یا مرحله کانه زایی، کانه های سولفیدی در رگه های کوارتزی و پهنه های سیلیسی پدید آمده اند. در مرحله سوم، رگه-رگچه های تأخیری کوارتزی، باریتی و کربناتی بدون کانه زایی، مرحله های پیشین را قطع کرده اند. در مرحله چهارم، کانه زایی در پی فرایندهای سوپرژن روی داده است. یافته های زمین شناسی، کانی شناسی، دگرسانی، ساخت و بافت نشان دهنده شباهت کانه زایی فلزهای پایه-گرانبهای آغاتاق با کنسارهای اپی ترمال نوع سولفیداسیون متوسط هستند.

واژه های کلیدی: کانی شناسی، کانه زایی فلزهای پایه-گرانبها، تیپ اپی ترمال، آغاتاق، تکاب

مقدمه

آرسنیک-طلای زرشوران (Mehrabi, 1997; Daliran *et al.*, 1999; Mehrabi *et al.*, 1999; Asadi Harooni Daliran, 2000)، کنسار طلا-آنتیموان آق دره (Mehrabi, 1997; Daliran *et al.*, 1999; Asadi Harooni Daliran, 2000)

منطقه تکاب-تخت سلیمان از پهنه های با توان معدنی و با کانی سازی های فراوان است. مانند: کنسار

* amokhtari@znu.ac.ir

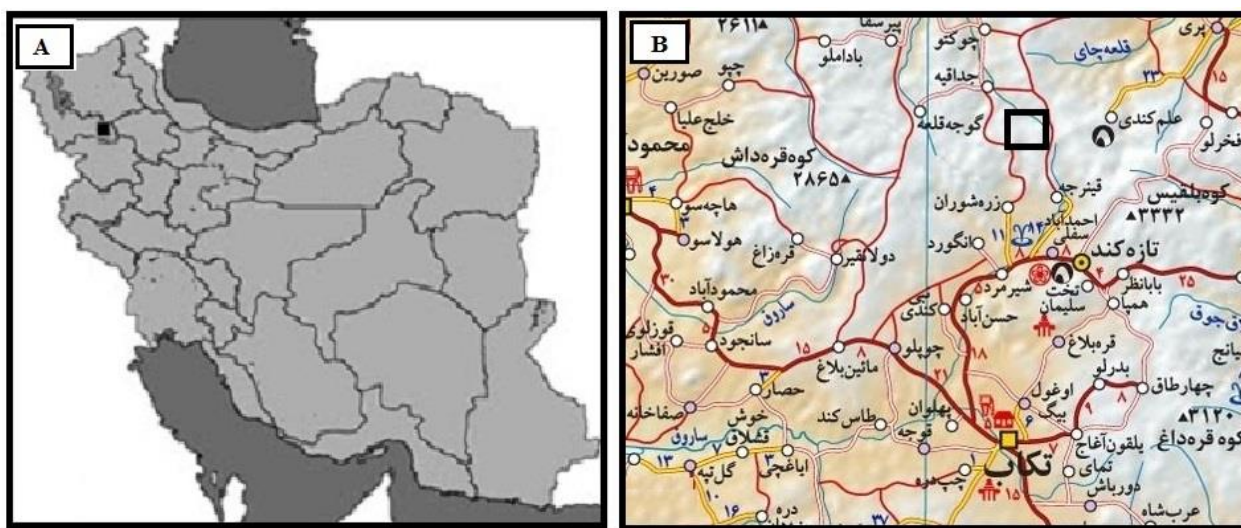
Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

کانی‌سازی به‌صورت رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانه‌زایی Cu-Pb-Zn-Au-Ag گزارش شده است (Behmanesh, 2013). برپایه بررسی‌های اکتشافی نخستین در سال‌های اخیر (Behmanesh, 2013)، مس از شاخص‌ترین عنصرهای این رگه‌هاست که به‌صورت کالکوپیریت و آغستگی‌های آزوریتی و ملاکیتی در نمونه‌های صحرایی دیده می‌شود. افزون‌بر بررسی‌های اکتشافی یادشده، بررسی‌های پژوهشی دقیقی روی این کانی‌سازی انجام نشده است. از این‌رو، در این پژوهش به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساخت و بافت و کانی‌شناسی کانه‌زایی فلزهای پایه-گرانبه‌های آغاتاق پرداخته شده است.

طلای آغاتاق (Mohammadi Niaei et al., 2015)، کانی‌سازی سرب و روی انگوران (Annels et al., 2003; Ebrahimi et al., 2010; Borg and Daliran, 2004; Daliran and Borg, 2005; Gilg et al., 2006) و کانی‌سازی آرسنیک-طلای عرب‌شاه (Behmanesh, 2013; Heidari, 2013).

منطقه بررسی‌شده که در این نوشتار با نام کانی‌سازی آغاتاق از آن یاد شده است، در شمال‌باختری ایران، در نزدیک به ۴۶ کیلومتری شمال تکاب، ۲۰ کیلومتری شمال‌باختری تخت‌سلیمان و نزدیک به ۱۰ کیلومتری شمال کانسار طلا-آرسنیک زرشوران است (شکل‌های A-1 و B-1).

در مجموعه آتشفشانی-رسوبی منطقه آغاتاق،



شکل ۱- جایگاه منطقه آغاتاق در: (A) استان آذربایجان غربی؛ (B) شمال تکاب و راه‌های دسترسی به آن.

از نمونه‌های برداشت‌شده ساخته شد. بررسی‌های میکروسکوپی در آزمایشگاه سنگ‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه زنجان با بهره‌گیری از میکروسکوپ پلاریزان دو منظوره Prior انجام شد. همچنین، شمار ۴ نمونه از رگه‌های سیلیسی کانه‌دار برای تجزیه‌های شیمیایی عنصرهای اصلی،

روش انجام پژوهش

در راستای بررسی کانه‌زایی فلزهای پایه-گرانبه‌های آغاتاق پس از بررسی‌های کتابخانه‌ای، چندین بازدید صحرایی برای انجام برداشت‌های زمین‌شناسی و نمونه‌برداری انجام شد. سپس، شمار ۱۹ مقطع نازک و ۱۷ مقطع نازک-صیقلی

(2006) را در بر گرفته و در شمال معدن طلای زرشوران جای گرفته است. این بخش از ورقه تخت‌سلیمان بیشتر از سنگ‌های دگرگونی شیست، مرمر، گنایس و آمفیبولیت ساخته شده است. این سنگ‌ها با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری در بخش میانی ورقه یادشده، بلندترین بلندی‌های منطقه را ساخته‌اند. این سنگ‌ها به‌طور مستقیم با رسوب‌های الیگو- میوسن به‌گونه ناهمساز پوشیده شده‌اند. چنین می‌نماید که هیچ‌گونه رسوبگذاری روی سنگ‌های دگرگونی (به سن پرکامبرین تا پالئوزویک بالایی) روی نداده است و یا اینکه شاید همان اندک رسوبگذاری روی‌داده، در پی بالآمدگی و فرسایش از بین رفته است. در کل، به باور Babakhani و Galamgash (2006)، در محدوده ورقه تخت‌سلیمان، ردیف چینه‌ای سنگ‌ها به‌ترتیب از کهن به جدید عبارتند از: سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، سنگ‌های رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین و کامبرین- اردویسین، سنگ‌های دگرگونی پالئوزویک، توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتی مزوزویک، سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی الیگو- میوسن و نهشته‌های جوان پلیوسن و کواترنر.

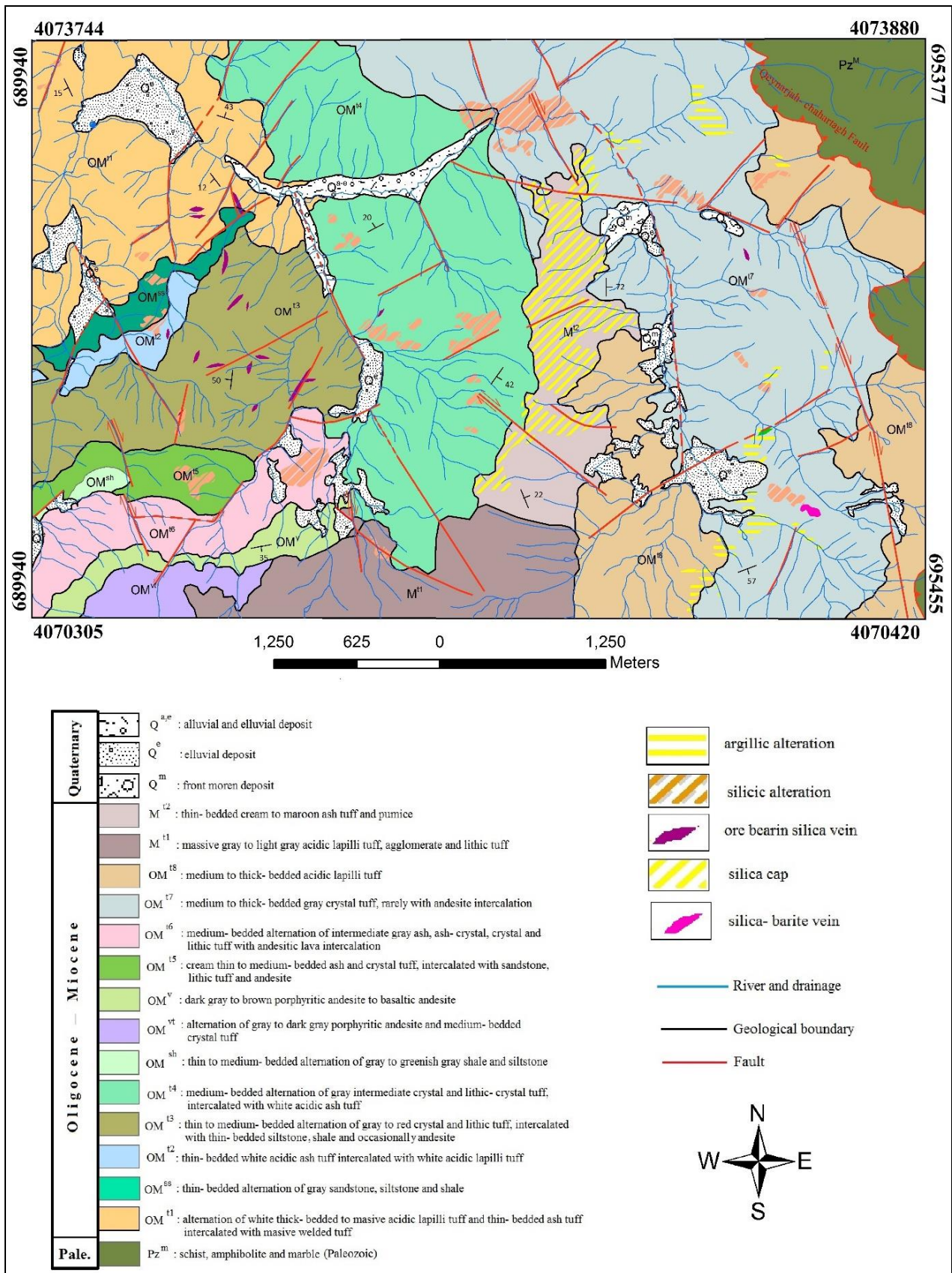
مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی و رسوبی به سن الیگو- میوسن از سنگ‌های رخمون‌یافته در منطقه آغاتاق هستند (شکل ۲). این سنگ‌ها در بخش خاوری با گسل روراندۀ قینرجه- چهارتاق در کنار سنگ‌های دگرگونه بلندی‌های کوه بلقیس جای گرفته‌اند. در کناره شمال‌خاوری منطقه آغاتاق، رخمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزویک دیده می‌شوند (شکل ۲).

کمیاب و خاکی نادر، به روش‌های XRF و ICP-MS، در آزمایشگاه‌های زرآزما و Labwet استرالیا آنالیز شدند. گفتنی است که افزون‌بر داده‌های یادشده، از داده‌های تجزیه‌های Behmanesh (2013) (شمار ۳۲ نمونه تجزیه‌شده به روش ICP-OES از پهنه‌های کانه‌زایی و کلاهک‌های سیلیسی و اندازه‌گیری طلا به روش FireAssey در آزمایشگاه زرآزما) نیز بهره‌گرفته شد.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

در پهنه‌بندی زمین‌ساختی- رسوبی ایران، منطقه کانه‌زایی آغاتاق بخشی از پهنه سنندج- سیرجان (Stöckiln, 1968)، پهنه خوی- مهاباد (Nabavi, 1977) و پهنه ایران مرکزی (Aghanabati, 2005) است. این منطقه در محل برخورد پهنه‌های ساختاری ایران مرکزی و سنندج- سیرجان جای گرفته است. سنگ‌های زمین‌شناسی سازندۀ منطقه آغاتاق با واحدهای زمین‌شناسی ایران مرکزی (واحدهای میوسن هم‌ارز با سازند قم و سنگ‌های آتشفشانی الیگو- میوسن) تناسب بیشتری نشان می‌دهند؛ اما برپایه وجود مجموعه‌های دگرگونی مشابه با پهنه سنندج- سیرجان در بخش خاوری منطقه بررسی‌شده (بلندی‌های کوه بلقیس که از سنگ‌های دگرگونی گوناگونی مانند آمفیبولیت، گنایس، مرمر و سنگ‌های افیولیتی دگرگون‌شده ساخته شده است)، برخی پژوهشگران این منطقه را بخشی از پهنه سنندج- سیرجان به شمار می‌آورند.

منطقه آغاتاق بخش کوچکی از بخش‌های باختری نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی تخت‌سلیمان (Babakhani and Ghalamgash,



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده از منطقه کانه زایی آغاتاق (Behmanesh, 2013 با اندکی تغییرات).

به صورت دگرشیب، روی مجموعه آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن جای گرفته‌اند. سنگ‌های گنبد آتشفشانی یادشده که پیامد پایانی ترین فعالیت‌های ماگمایی منطقه هستند، در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان به سن الیگو- میوسن دانسته شده‌اند (Babakhani and Ghalamgash, 2006)؛ اما یافته‌های صحرایی نشان‌دهنده سن جوان‌تر این سنگ‌ها هستند. در بررسی‌های Mehrahi و همکاران (1999)، سنی برابر با $13/7 \pm 2/9$ میلیون سال پیش (برابر با میوسن) برای گنبد‌های داسیتی پیرامون کانسار آرسنیک- طلای زرشوران به‌دست آمده است. از این‌رو، این گنبد آتشفشانی را نیز می‌توان به سن میوسن دانست.

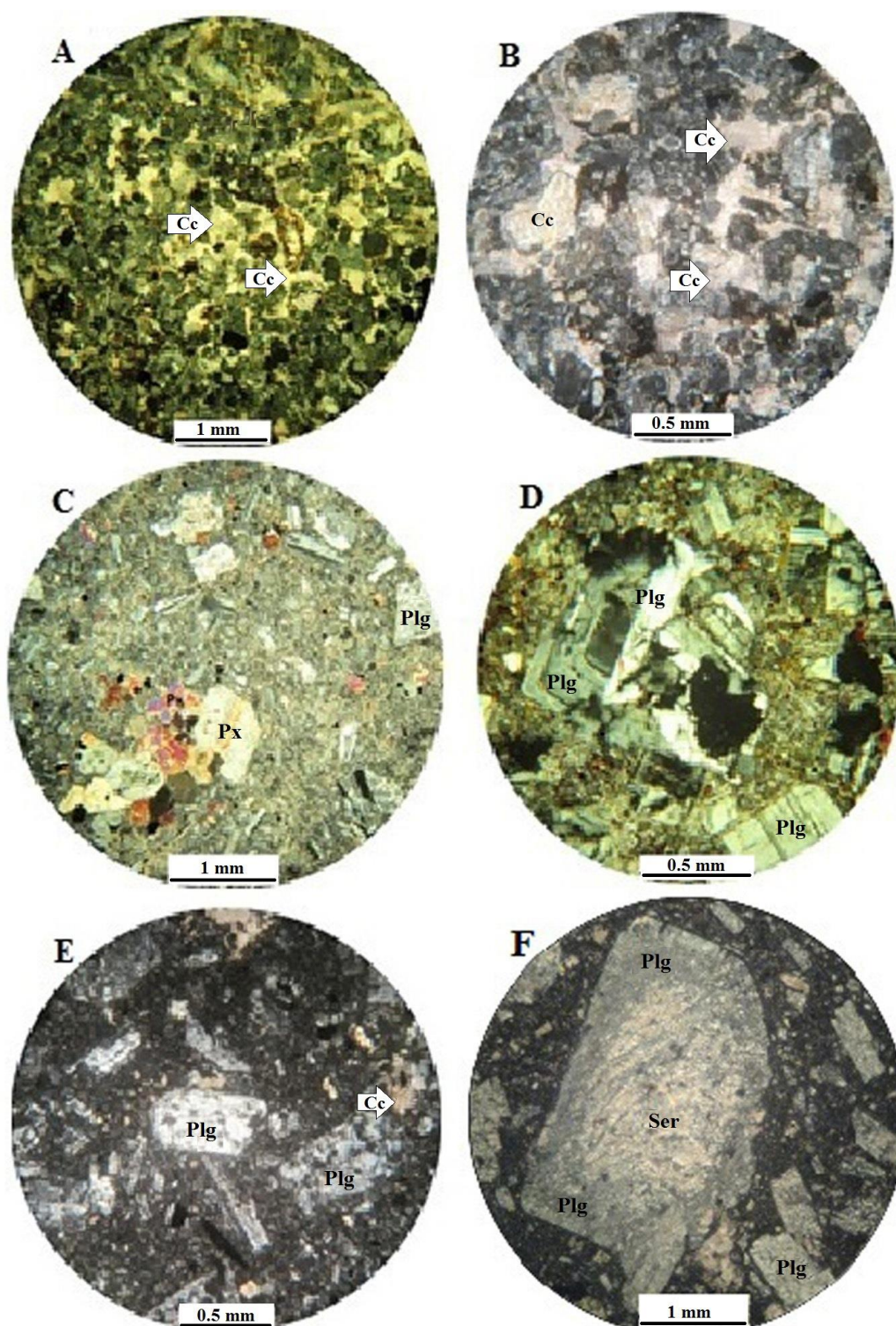
سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن میزبان رگه‌های کوارتزی که دارای کانه‌زایی مس- طلا هستند، گسترش کمابیش بالایی در بخش‌های مرکزی و نیمه خاوری منطقه دارند. این سنگ‌ها عبارتند از: تناوب لایه‌های نازک تا متوسط کریستال توف- لیتیک توف خاکستری تا سرخ‌رنگ، با میان‌لایه‌های نازک ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و شیل و گاه گدازه‌های بازالتی تا بازالت‌اندزیتی (شکل‌های ۲ و ۳). در بخش‌های جنوبی منطقه آغ‌اتاق، دهانه فروریخته یک گنبد آتشفشانی جوان‌تر دیده می‌شود که نشانه‌های فعالیت‌های آن، به صورت سنگ‌های آذرآواری (گدازه و ایگنمبریت) با ترکیب داسیتی است. این سنگ‌ها



شکل ۳- دورنمایی از توالی سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی در منطقه آغ‌اتاق و موقعیت یکی از رگه‌های کانه‌دار در بخش‌های مرکزی آن و درون واحد توفی OM^{t1} (دید به خاور).

سرشار از هیدروکسیدهای آهن ساخته شده‌اند (شکل ۴- A). زمینه میان بلورها و پاره‌های سنگی بسیار کربناتی شده است (شکل ۴- B). سنگ‌های بازالتی دارای بافت پورفیری و گلوپورفیری هستند (شکل ۴- C) و از درشت‌بلوره‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن، در زمینه‌ای از بلوره‌های کوچک همان کانی‌ها، ساخته شده‌اند. بیشتر بلوره‌های پلاژیوکلاز منطقه‌بندی دارند (شکل ۴- D) و بافت غربالی نشان می‌دهند (شکل ۴- E).

لیتیک کریستال توف آندزیتی، آندزیت و آندزیت‌بازالتی از سنگ‌های میزبان کانه‌زایی هستند. بیشترین کانی‌سازی در سنگ‌های توفی دیده می‌شود. سنگ‌های لیتیک کریستال توف که بیشتر از بلوره‌های پلاژیوکلاز ساخته شده‌اند، دگرسانی به کانی‌های رسی، سریسیت و گاه کربنات را نشان می‌دهند. کانی‌های مافیک آنها کاملاً با کلریت و اندکی کلسیت جایگزین شده‌اند. پاره‌های سنگی بافت پورفیری دارند و از بلوره‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ای تی‌ره و



شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی از سنگ‌های میزبان کان‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): (A) بلورهای پلاژیوکلاز و پارچه‌های سنگی (با بافت پورفیریتی و زمینه‌ای از هیدروکسیدهای آهن) در زمینه‌ای کلسیتی پراکنده هستند؛ (B) سیمان کربناتی در میان بلورها در توف‌آندزیتی؛ (C) بافت گلمروپورفیریتی ساخته‌شده از بلورهای پیروکسن؛ (D) درشت‌بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی؛ (E) بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی؛ (F) پلاژیوکلازهایی که از مرکز به سرسیت دگرسان شده‌اند (همه تصویرها در نور XPL هستند) (Plg: پلاژیوکلاز؛ Cc: کلسیت؛ Px: پیروکسن؛ Ser: سرسیت؛ برپایه: Whitney و Evans, ۲۰۱۰)

آمفیبول‌های اکتینولیتی‌شده ریز دیده می‌شوند. گدازه‌های توالی آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن دارای سرشت کالک‌آلکان پتاسیم متوسط تا بالا هستند و در نمودارهای عنکبوتی، غنی‌شدگی از LILEها، به‌همراه آنومالی منفی در HFSEها را نشان می‌دهند (Rahmati, 2015). این ویژگی‌ها از ویژگی‌های ماگماهای وابسته به پهنه‌های فرورانش هستند. همچنین، در نمودارهای شناسایی پهنه زمین‌ساختی ماگما، این سنگ‌های در پهنه کوهزایی حاشیه فعال قاره‌ای جای می‌گیرند (Rahmati, 2015).

کانه‌زایی

سیمای اصلی کانه‌زایی در منطقه آغاتاق عبارت است از رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی‌شده با کانی‌سازی مس (به‌صورت کالکوپیریت و آغشتگی‌های مالاکیت و آزوریت) (شکل ۵- A) که با کانی‌سازی عنصرهایی مانند سرب، روی، طلا و نقره همراه هستند. افزون‌براین، گونه‌ی دیگری از کانی‌سازی در این منطقه، کلاهک‌های سیلیسی برشی‌شده با آغشتگی‌های هیدروکسیدهای آهن هستند (شکل ۵- B). کانه‌زایی در منطقه آغاتاق بیشتر رگه-رگچه‌ای و برشی است (شکل ۶).

(الف) رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی

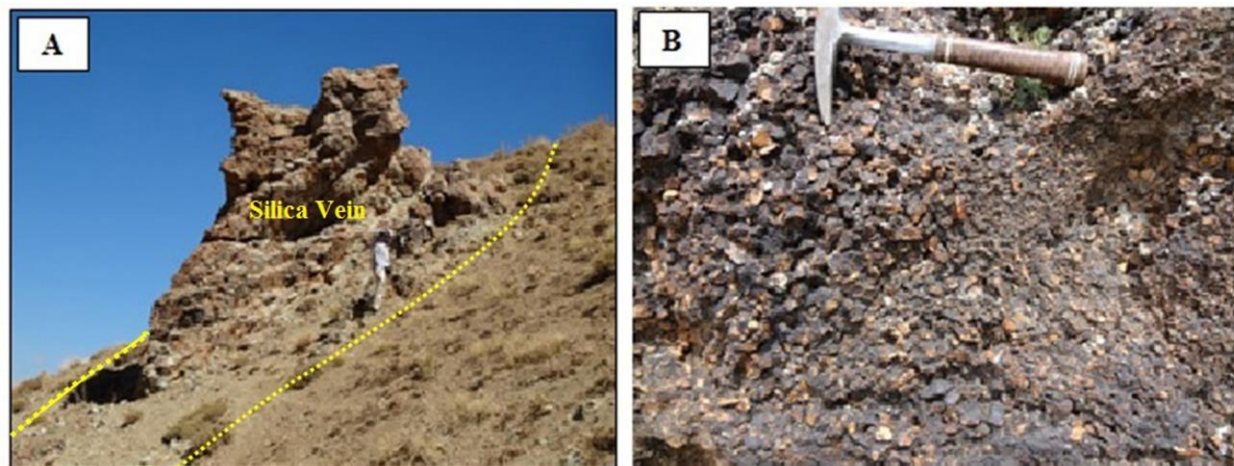
حاوی کانی‌سازی فلزهای پایه-گرانبه‌ها: رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانی‌سازی مس، سرب، روی، طلا و نقره، گونه‌ی فراگیر و اصلی کانی‌سازی در منطقه آغاتاق هستند که در بخش‌های میانی این محدوده رخنمون دارند. سنگ میزبان اصلی این رگه‌ها، توالی لایه‌های نازک تا متوسط کریستال‌توف-لیتیک توف خاکستری تا سرخ‌رنگ با

در نمونه‌های بررسی‌شده، بافت غربالی شاید پیامد آمیزش ماگمایی (Kuscu and Floyd, 2001; Kawabata and Shuto, 2005; Kurum *et al.*, 2008) و یا کاهش فشار و یا بالا آمدن پرشتاب ماگما باشد (Stormer, 1972; Tsuchiyama, 1985). برخی پلاژیوکلازها در بخش‌های مرکزی به سریسیت و گاه کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۴-F). این پدیده می‌تواند نشان‌دهنده‌ی دگرسانی گزینشی در بخش‌های کلسیک پلاژیوکلازها، در پی واکنش با سیال‌های گرمایی باشد (Que and Allen, 1996). بیشتر پیروکسن‌ها سالم هستند؛ اما گاه به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند. در سنگ‌های آندزیت‌بازالتی، بافت‌های پورفیری و گلومروپورفیری دیده می‌شوند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول از کانی‌های سازنده‌ی این سنگ‌ها هستند. این کانی‌ها در زمینه‌ای ریزبلور تا میکروولیتی از پلاژیوکلاز، کانی‌های مافیک کربناتی-کلریتی‌شده و کانی‌های کدر جای دارند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز منطقه‌بندی دارند. منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها می‌تواند پیامد نبود تعادل در هنگام پیدایش بلور دانسته شود. این پدیده بیشتر هنگام تبلور پرشتاب ماگما روی می‌دهد (Shelley, 1993). برخی بلورهای پیروکسن آندزیت‌بازالتی بافت غربالی نشان می‌دهند.

گدازه‌های داسیتی بافت‌های پورفیری، فلسوفیری و گلومروپورفیری، با انباشتگی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز دارند. بیشتر درشت‌بلورها پلاژیوکلاز، آمفیبول و به مقدار کمتر، کوارتز و آلکالی‌فلدسپار هستند. این کانی‌ها در زمینه‌ای کمابیش ریزدانه از کوارتز، کانی‌های کدر، آلکالی‌فلدسپار، پلاژیوکلازهای کوچک و

هستند. بیشترین کانی‌سازی در این رگه‌ها مس سولفیدی و اکسیدی است که در برخی رگه‌ها با کانی‌سازی سرب و روی همراهی می‌شود.

میان‌لایه‌های نازک سیلت‌سنگ و شیل و گاه گدازه‌های بازالتی تا آندزیت بازالتی است. بیشتر این رگه‌ها دارای روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری



شکل ۵- تصویرهای صحرایی از کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): (A) نمایی از یکی از رگه‌های کوارتزی با کانی‌سازی مس-طلا (دید رو به شمال‌خاوری)؛ (B) نمایی نزدیک از کلاهک‌های سیلیسی برشی شده با آغشتگی‌های هیدروکسیدهای آهن



شکل ۶- ساخت و بافت‌های کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): (A) بافت برشی؛ (B) رگه-رگچه‌های متقاطع؛ (C) رگه-رگچه‌ای با بافت شانه‌ای

دستی؛ کانه‌های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن را می‌توان درون آنها شناسایی کرد. در بخش‌های حاشیه‌ای محل تمرکز رگه‌های کوارتزی، پهنه‌های سیلیسی شده جایگزین رگه‌های کوارتزی می‌شوند. در این پهنه‌ها، نشانه‌های کانی‌سازی مس نیز ضعیف‌تر دیده می‌شوند. ستبرای رگه‌های کوارتزی از ۰/۵ تا ۲

بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که رگه‌های کانه‌زایی مس (\pm طلا) در بخش‌های مرکزی و کم ارتفاع هستند؛ اما رگه‌های با کانی‌سازی Pb-Zn در کناره باختری کانه‌زایی و در تراز ارتفاعی بالاتر دیده می‌شوند. در حقیقت، در این منطقه، نوعی منطقه‌بندی عنصری را می‌توان دید. بیشتر رگه‌های کوارتزی بافت برشی (شکل ۶- A) و شانه‌ای (شکل ۶- C) دارند و در نمونه

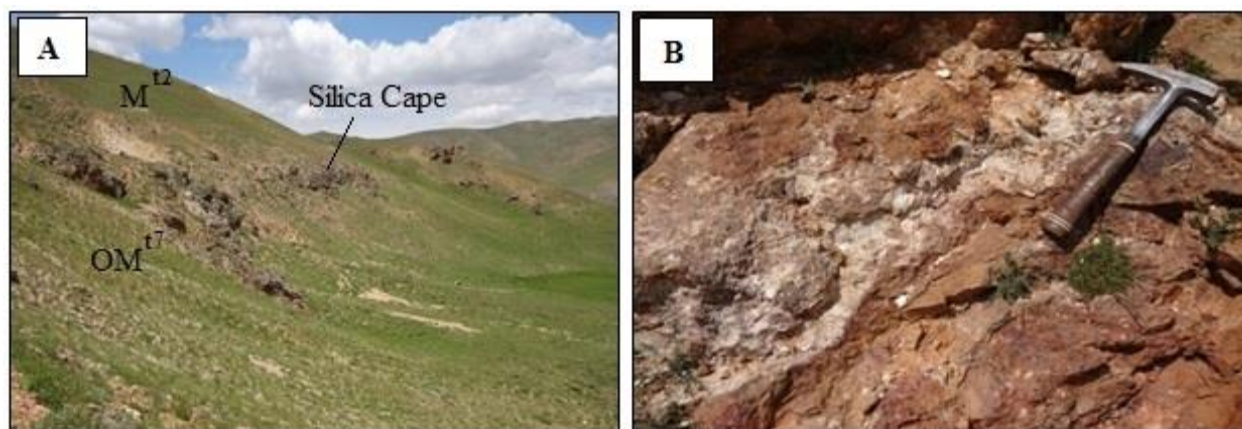
متر بوده و درازای رخنمون آنها تا ۳۰۰ متر نیز می‌توان با ستبرای بیشتر (تا ۵ متر) و درازای رخنمون تا ۱۵۰ متر پیگیری کرد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های کلی رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی منطقه آغ‌اتاق (شمال تکاب) (شیب و جهت شیب رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی در پراتز نوشته شده‌اند)

ردیف	شماره رگه و پهنه سیلیسی	توصیف ماکروسکوپی (همراه با امتداد)	طول تقریبی عرض (m)	عرض (m)
۱	SZ1a	پهنه سیلیسی با رگه- رگچه‌های کوارتزی درون سیلت‌سنگ با نشانه‌هایی از کانی‌سازی سرب (75/340)	50	0.5-2
	SZ1b	پهنه سیلیسی با رگه- رگچه‌های کوارتزی با کانی‌سازی مس (66/300)	200	1-7
۲	QV2	رگه کوارتزی با کانی‌سازی مس (کالکوپیریت و مالاکیت) (58/290)	30	1
۳	QV3	رگه کوارتزی برشی شده با کانی‌سازی مس (کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت) (50/280)	50	1
۴	SZ4	پهنه سیلیسی درون توف‌ها با رگچه‌های کوارتزی و کانی‌های سولفیدی اکسید شده	50	1-2
۵	SZ5	پهنه سیلیسی گاه با رگچه‌های کوارتزی	100	2-5
۶	QV6	رگه کوارتزی با کانی‌سازی مس (مالاکیت و آزوریت) (70/325)	30	1
۷	QV7	رگه کوارتزی با کانی‌سازی مس (کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت) (55/285)	20	0.7
۸	QV8a	رگه کوارتزی با کانی‌سازی مس (مالاکیت و آزوریت) (75/320)	50	1
	QV8b	رگه کوارتزی با کانی‌سازی مس (مالاکیت و آزوریت) (75/350)	50	1
۹	SZ9	پهنه سیلیسی با رگه و رگچه‌های کوارتزی و آغشتگی هیدروکسیدهای آهن	20	5
۱۰	SZ10	پهنه سیلیسی با رگه و رگچه‌های کوارتزی با نشانه‌هایی از کانی‌سازی مس (مالاکیت، آزوریت و گاه کالکوپیریت) در برخی نقاط (75/290)	100	2-7
۱۱	SZ11	پهنه سیلیسی با کانی‌سازی مس و سرب (گالن و مالاکیت) (62/285)	40	2

دارای روند شمالی- جنوبی هستند و در برابر رگه‌های کوارتزی، در بلندی‌های بالاتری جای دارند. گویا این کلاک‌ها بخش بالایی سیستم کانی‌سازی در منطقه آغ‌اتاق باشند. در برخی نقاط، رگه‌های باریتی با ستبرای گوناگون درون کلاک‌های سیلیسی یاد شده دیده می‌شوند (شکل ۷- B). ستبرای رگه‌های باریتی یاد شده تا یک متر و درازای رخنمون آنها گاه تا ۵۰ متر نیز می‌رسد. از ویژگی‌های رگه‌های باریتی، نبود کانی‌سازی شناخته‌شده سولفیدی یا اکسیدی درون آنها بوده و به‌صورت رگه‌های باریتی با خلوص بالا هستند.

(ب) کلاک‌های سیلیسی: شکل دوم کانی‌سازی‌های در منطقه آغ‌اتاق عبارت است از کلاک‌های سیلیسی که بیشتر در بخش‌های خاوری منطقه بررسی شده و روی واحد سنگی ساخته شده از تناوب لایه‌های متوسط تا ستر کریستال توف، با میان لایه‌های آندزیتی تا بازالتی (به سن الیگو- میوسن) متمرکز شده‌اند (شکل ۷- A). در بسیاری موارد، کلاک‌های سیلیسی یاد شده حالت برشی داشته و دارای آغشتگی هیدروکسیدهای آهن هستند (شکل ۵- B). این سنگ‌ها به رنگ قهوه‌ای تا سرخ‌رنگ و گاه زرد دیده می‌شوند. کلاک‌های سیلیسی یاد شده،



شکل ۷- تصویرهای صحرایی از کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): (A) نمایی از کلاهک‌های سیلیسی برشی شده حاوی آغشتگی‌های هیدروکسیدهای آهن در بخش خاوری منطقه آغاتاق با روند کمابیش شمالی- جنوبی (دید رو به شمال)؛ (B) نمای نزدیکی از رگه باریتی درون کلاهک سیلیسی

زمین‌شیمی

داده‌های تجزیه‌ای نمونه‌های برداشته‌شده از رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی نشان می‌دهند که بالاترین عیار طلا در این نمونه‌ها برابر با ۶۶۴ ppb است. افزون‌بر این نمونه، نمونه‌های دیگری با عیارهای ۵۲۷، ۳۴۳ و ۳۳۶ میلی‌گرم در تن (ppb) به‌دست آمده‌اند (جدول ۲). در کل می‌توان گفت که داده‌های تجزیه‌ای طلا در این نمونه‌ها عیارهای چندان چشمگیری را نشان نمی‌دهند؛ اما همه آنها غنی‌شدگی طلا را دست‌کم تا ۱۰ برابر کلارک طلا (۲۲ تا ۶۶۴ ppm) نشان می‌دهند. در برخی نمونه‌ها، عنصرهای نقره، مس، سرب، روی و نیز آنتیموان، عیارهای چشمگیری را نشان می‌دهند. در این نمونه‌ها، بالاترین عیار برای نقره برابر با ۱۲۰ گرم در تن، مس برابر با ۱/۳ درصد، سرب برابر با ۵/۵ درصد، روی برابر با ۴/۵ درصد و آنتیموان برابر با ۱۴۷۶ گرم در تن به‌دست آمده است (جدول ۲). برپایه داده‌های تجزیه‌ای، کانی‌سازی در

منطقه آغاتاق را می‌توان در گروه کانی‌سازی‌های فلزهای پایه-گرانیتها قرار داد. در کل، کانی‌سازی اصلی این مجموعه عبارت است از مس که در برخی رگه‌ها با عنصرهای دیگری مانند سرب، روی، طلا و نقره ($Cu+Pb+Zn+Au+Ag$) همراهی می‌شود.

در نمونه‌های برداشته‌شده از کلاهک‌های سیلیسی، داده‌های تجزیه‌ای تمرکز مشخصی را در ارتباط با هیچ‌یک از عنصرها نشان نمی‌دهند (جدول ۳). ویژگی آشکار این نمونه‌ها عبارت است از غنی‌شدگی طلا در همه نمونه‌ها از ۲ تا ۳۵ برابر کلارک این عنصر (۷۷ - ۵ ppm) (جدول ۳). عنصرهای دیگر نیز تمرکز چشمگیری ندارند و تنها در برخی نمونه‌ها، غنی‌شدگی نسبی از سرب، روی و آنتیموان دیده می‌شود.

بررسی همبستگی میان عنصرها در رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی یادشده نشان‌دهنده نبود همبستگی آشکاری میان عنصر طلا با عنصرهای دیگر است (جدول ۴).

جدول ۲- داده‌های تجزیه‌ای برخی عنصرها در نمونه‌های برداشته‌شده از رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی منطقه آغاتاق (شمال تکاب) (Behmaneh, 2013)

No.	Sample No.	Sb (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppb)
1	AO.17Ch	192.7	11619	15199	681	17	133
2	AO.18Ch	62.9	407	297	189	0.43	35
3	AO.19Ch	92.3	325	1353	2435	10	51
4	AO.20ch	78	554	650	5154	10	664
5	AO.22ch	96.9	17610	4657	5094	22.1	77
6	AO.25ch	212.7	158	1134	5042	12.5	36
7	AO.42ch	288	45034	54944	796	78.8	336
8	AO.44ch	205	2326	1381	129	46	343
9	AO.46ch	1016.6	406	2689	10304	66.5	148
10	AO.48ch	-	-	-	-	-	106
11	AO.49ch	-	-	-	-	-	67
12	AO.50ch	1.27	72	22	39	0.24	22
13	AO.51ch	18.7	42	29	1605	2.6	83
14	AO.52ch	129.4	486	845	9031	38	156
15	AO.54ch	1476.4	158	23	13131	120.2	110
16	AO.55ch	14.9	1269	246	345	0.6	527

جدول ۳- داده‌های تجزیه‌ای برخی عنصرها در نمونه‌های برداشته‌شده از کلاک‌های سیلیسی منطقه آغاتاق (شمال تکاب) (Behmaneh, 2013)

No.	Sample No.	Sb (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppb)
1	AO.2Ch	1.03	130	8	8	0.27	-
2	AO.3Ch	-	-	-	-	-	5
3	AO.4ch	32.2	71	9	134	0.36	-
4	AO.5ch	10.5	22	5	22	0.2	-
5	AO.6ch	-	-	-	-	-	10
6	AO.7ch	1.38	429	131	44	0.39	18
7	AO.10ch	-	-	-	-	-	17
8	AO.12ch	46.2	210	208	58	0.9	19
9	AO.27ch	-	-	-	-	-	28
10	AO.28ch	-	-	-	-	-	11
11	AO.29ch	1.28	63	9	31	0.3	-
12	AO.36ch	1.24	14	58	23	0.34	-
13	AO.38ch	1.33	215	9	607	0.3	6
14	AO.40ch	-	-	-	-	-	77
15	AO.41ch	-	-	-	-	-	45
16	AO.57ch	1.04	18	8	10	0.24	-

آنتیموان و مس همبستگی بالایی نشان می‌دهد. شاید این همبستگی را بتوان به حضور

طلا با عنصرهای مس، سرب، روی و آرسنیک همبستگی اندکی دارد. عنصر نقره با دو عنصر

منطقه‌بندی عنصری (زمین‌شیمیایی) عنصرهای یادشده در رگه‌های کوارتزی کانه‌دار وابسته دانست (در بخش کانه‌زایی درباره این نکته گفته شده است).

در این نمونه‌ها، همبستگی بسیار بالایی میان سرب و روی دیده می‌شود. در پایان، در نمونه‌های برداشته‌شده از رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی، همبستگی کمابیش خوبی میان آنتیموان و آرسنیک دیده می‌شود (جدول ۴). گفتنی است که برای به‌دست آوردن نتایج بهتر و دقیق‌تر، شمار نمونه‌ها باید بیشتر شود.

سولفوسالت‌های مس و نقره وابسته دانست که در بخش کانه‌نگاری از حضور این کانی‌ها در رگه‌های کوارتزی یاد شد؛ هر چند چنین می‌نماید که برای شناسایی دقیق کانی‌های یادشده، بررسی‌های SEM و EPMA ضروری باشد. از سوی دیگر، نقره با سرب، روی و آرسنیک همبستگی ضعیفی نشان می‌دهد. همچنین، مس و آنتیموان همبستگی بالا و مس و آرسنیک همبستگی خوبی دارند. این پدیده می‌تواند وابسته به سولفوسالت‌های مس (کانی‌های تتراکدریت-تاناتیت) دانسته شود. از سوی دیگر، مس با عنصرهای سرب و روی همبستگی منفی دارد که می‌توان آن را به

جدول ۴- ضرایب همبستگی میان عنصرهای گوناگون رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی کانه‌زایی آغاتاق (شمال تکاب)

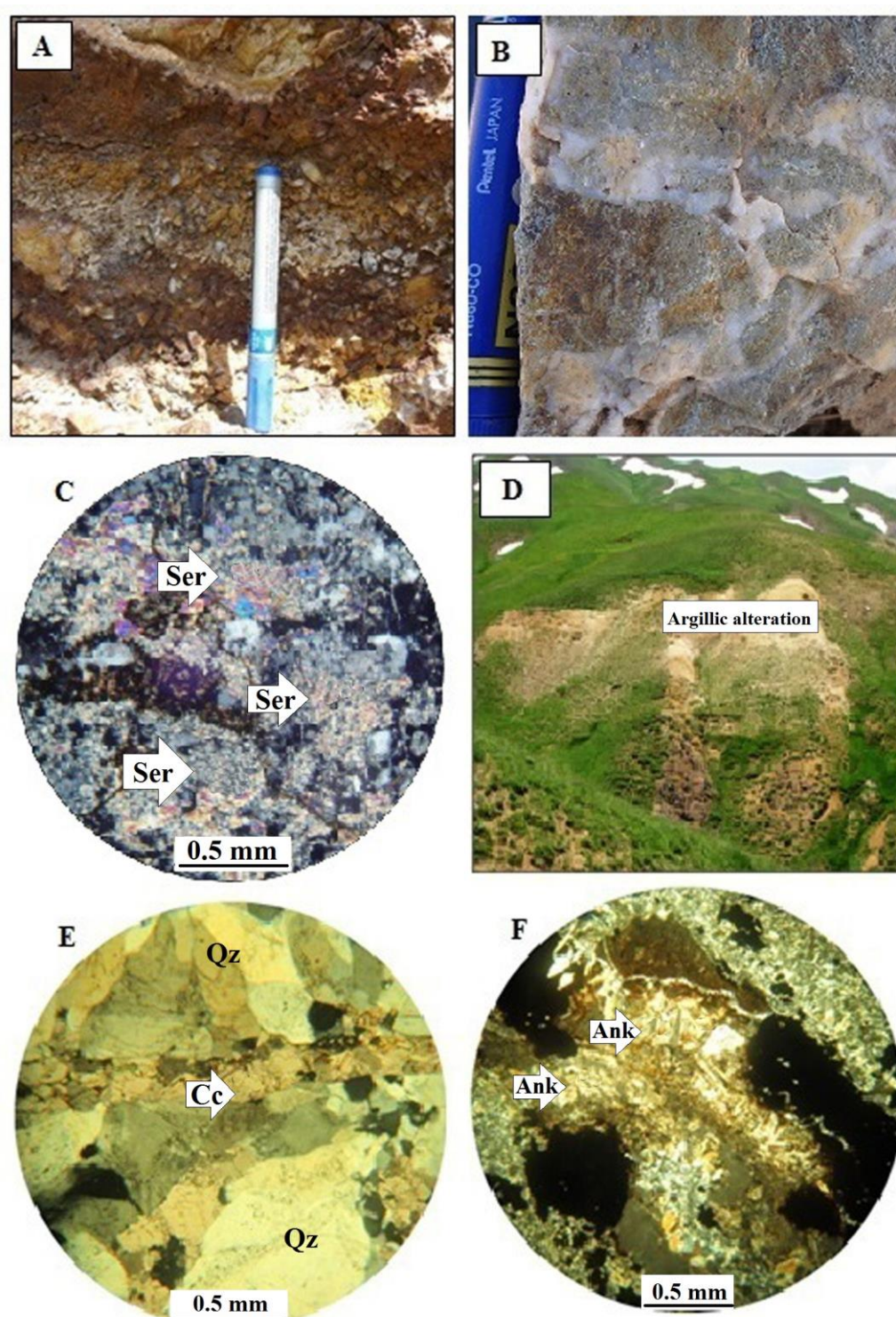
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	S	Sb
Au	1	0.0082	0.215	0.166	0.133	0.215	-0.138	-0.132
Ag		1	0.648	0.36	0.321	0.328	0.016	0.867
Cu			1	-0.239	-0.231	0.419	0.187	0.87
Pb				1	0.952	-0.132	0.064	-0.0044
Zn					1	-0.164	0.325	-0.0587
As						1	0.0058	0.358
S							1	-0.153
Sb								1

دگرسانی

در مجموعه آتشفشانی-رسوبی میزبان کانه‌زایی آغاتاق، دگرسانی‌های بسیار شناخته‌شده سیلیسی‌شدن، سربیسیتیک، آرژیلیک، پروپلیتیک، کربناتی‌شدن و پیدایش هیدروکسیدهای ثانویه آهن روی داده است. گسترش و سرشت دگرسانی در منطقه آغاتاق، بیشتر با ساختارهای زمین‌ساختی (گسل‌ها) کنترل شده است. در ادامه به توضیح این دگرسانی‌ها پرداخته شده است.

(الف) **دگرسانی سیلیسی**: دگرسانی سیلیسی شناخته‌شده‌ترین و مهم‌ترین نوع دگرسانی در منطقه آغاتاق است. این نوع دگرسانی، به‌صورت رگه‌های

کوارتزی، پهنه‌های سیلیسی‌شده و کلاک‌های سیلیسی دیده می‌شود. رگه‌های کوارتزی یادشده که از کوارتزهای نهان بلورین تا ریزدانه و گاه با بلورهای درشت ساخته شده‌اند، همراه با کانی‌سازی منطقه آغاتاق دیده می‌شوند (شکل ۸- A). در پهنه‌های سیلیسی‌شده نیز افزون‌بر جانشینی بلورهای کوارتزی ریزبلور به جای سنگ اولیه، رگه-رگچه‌های باریک کوارتزی نیز حضور دارند (شکل ۸- B). کانی‌سازی در این پهنه‌ها، بیشتر در ارتباط با این رگه-رگچه‌هاست. کلاک‌های سیلیسی که از کوارتزهای نهان بلورین و کلسدوئن ساخته شده‌اند، بیشتر برشی‌شده و آغستگی بالایی به هیدروکسیدهای آهن نشان می‌دهند (شکل ۵- B).



شکل ۸- تصویرهای میکروسکوپی از کانه‌زایی آغاتاق (شمال تکاب): (A) بلورهای درشت و خودشکل کوارتز که بر روی سطح یک رگه کوارتزی ریزبلور رشد کرده‌اند؛ (B) رگه- رگچه‌های کوارتزی موجود درون توف سیلیسی‌شده. C: دگرسانی سربستیکی در قطعات لیتیک موجود در بخش‌های برش‌شده؛ (D) نمایی از دگرسانی آرژلیک به رنگ نخودی تا زرد در سنگ‌های توفی خاور منطقه بررسی‌شده (دید به سمت جنوب‌باختر)؛ (E, F) رگچه‌های کلسیتی و آنکریتی مراحل تأخیری کانه‌زایی (تصویرهای میکروسکوپی در نور XPL هستند) Ser: سربستیت؛ Cc: کلسیت؛ Qz: کوارتز؛ Ank: آنکریت؛ نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney و Evans (۲۰۱۰) هستند)

(پ) **دگرسانی پروپلیتیک:** دگرسانی پروپلیتیک با سربسیتیک، کربناتی و کلریتی شدن پلاژیوکلازها و کانی‌های مافیک سنگ‌ها شناخته می‌شود. این دگرسانی در سنگ‌های میزبان کانه‌زایی دیده می‌شود. این دگرسانی به صورت هاله‌های دیگر، هاله‌های دگرسانی را دربر گرفته است. نشانه‌های کانه‌زایی درون این دگرسانی دیده نمی‌شوند.

(ت) **دگرسانی کربناتی:** رخداد دگرسانی کربناتی پیامد واکنش میان سیال گرمابی سرشار از CO_2 و سنگ دیواره است (Reed, 1994). این دگرسانی به مقدار کمتر در منطقه رخ داده است. کلسیت و آنکرایت از محصول‌های اصلی کربناتی شدن هستند. ویژگی‌های میکروسکوپی و نمونه‌های دستی نشان می‌دهند که دگرسانی کربناتی به صورت رگه-رگچه‌های کربناتی تأخیری (کلسیت و آنکرایت) بوده (شکل‌های E-8 و F-8) و مرحله‌های پیشین کانه‌زایی را قطع کرده‌اند. کانی‌سازی آشکاری با این دگرسانی همراه نیست.

کانی‌شناسی، ساخت و بافت و مراحل کانه‌زایی

برپایه بررسی‌های کانه‌نگاری انجام‌شده روی نمونه‌های با کانی‌سازی، کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، تتراندیریت-تنانتیت، استینیت، کوولیت، کالکوسیت، سرروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای ثانویه آهن از مهم‌ترین کانه‌ها در رخداد معدنی آغاتاق هستند.

پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین بوده و معمولاً نخستین فاز سولفیدی در نهشته‌های معدنی است. از این رو، شناخت رفتار و وابستگی آن با فازهای همراه در سنگ‌های پیریت‌دار برای تفسیر خاستگاه و

(ب) **دگرسانی سربسیتیک:** این نوع دگرسانی، با وجود گسترش کم، اهمیت چشمگیری در منطقه آغاتاق دارد. دگرسانی سربسیتیک همراه با دگرسانی سیلیسی، در بخش‌های با کانی‌سازی (در کناره رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی‌شده) دیده می‌شود. در حقیقت، این دگرسانی دربرگیرنده کانه‌زایی فلزهای پایه-گرانبه‌های منطقه آغاتاق است. در هنگام رویداد این دگرسانی، پلاژیوکلازهای سنگ‌های میزبان، به طور کامل با سربسیت جانشین شده‌اند. از این رو، در مقطع‌های میکروسکوپی، سربسیت‌ها به صورت ورقه‌های ریز تا کمابیش درشت پدیدآمده از تجزیه فلدسپارها دیده می‌شوند (شکل ۸-C). کانی‌های سرشار از آلومینیم سنگ‌های آذرین و دگرگونی (مانند فلدسپارها)، هنگامی که دچار هجوم سیال‌های اسیدی می‌شوند، هیدرولیز شده و با مسکوویت ریزبلور (سربسیت) جانشین شده و از این رو، چه بسا سربسیت‌ها به صورت لکه‌لکه و یا کامل دیده شوند (Shelley, 1993).

(پ) **دگرسانی آرژیلیک:** در مقیاس صحرایی، گسترش این نوع دگرسانی در ارتباط با سنگ‌های آتشفشانی است که با رنگ زرد آجری رخنمون دارد و از دور خودنمایی می‌کند (شکل ۸-D). در برخی نقاط، این نوع دگرسانی با هیدروکسیدهای آهن همراهی می‌شود؛ از این رو، رخنمون‌های دگرسانی آرژیلیک تیره‌تر و به رنگ سرخ آجری تا قهوه‌ای دیده می‌شوند. بخش‌هایی که دچار دگرسانی آرژیلیک شده‌اند کانی‌سازی ندارند. ویژگی‌های صحرایی نشان می‌دهند که این دگرسانی‌ها در حاشیه خاوری سیستم کانه‌زایی هستند و در برابر دگرسانی‌های دیگر، در ارتفاع بالاتری روی داده‌اند.

به‌صورت بلورهای ریز درون پیریت و کالکوپیریت دیده می‌شوند (شکل ۹- A). این پدیده نشان‌دهنده اینست که پیدایش این کانی‌ها پیش از کالکوپیریت و پیریت و حتی همزمان با آنها بوده است. تمرکز آنها در بخش‌های گوتیتی کالکوپیریت‌ها بیشتر دیده می‌شود. در کانسار آغاتاق، استیبنیت فراوانی کمتری دارد و بیشتر در کناره‌های اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۹- D).

کوارتز کانی باطله اصلی در رخداد کانه‌زایی آغاتاق است. کوارتزها معمولاً به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل روشن، سفید و یا خاکستری‌رنگ در رگه-رگچه‌های کوارتزی و سیمان گرمابی برش‌ها دیده می‌شوند (شکل‌های ۸- A، ۸- B، ۸- C، ۹- F و ۹- H). کلسیت و آنکریت از دیگر کانی‌های باطله رگه‌های و پهنه‌های کانه‌زایی هستند که به مقدار اندک و به‌صورت رگچه‌های کلسیتی-آنکریتی تأخیری دیده می‌شوند (شکل‌های ۸- E و ۸- F).

کالکوسیت و کوولیت از کانی‌های سولفیدی ثانویه و برون‌زاد هستند که از تجزیه کانی‌های سولفیدی نخستین مس پدید آمده‌اند. در نمونه‌های بررسی‌شده، کالکوپیریت به درجات متغیری به کالکوسیت و کوولیت تجزیه شده است. جانشینی به کالکوسیت و کوولیت از حاشیه و مرز کانه‌ها روی داده است (شکل ۹- E). همان‌گونه که پیشتر گفته شد، در هنگام هوازدگی سوپرژن کالکوپیریت، آهن پیش از مس از شبکه کالکوپیریت آزاد می‌شود؛ از این‌رو، کالکوپیریت در کناره‌ها با کالکوسیت جایگزین شده و آهن نیز وارد محلول می‌شود.

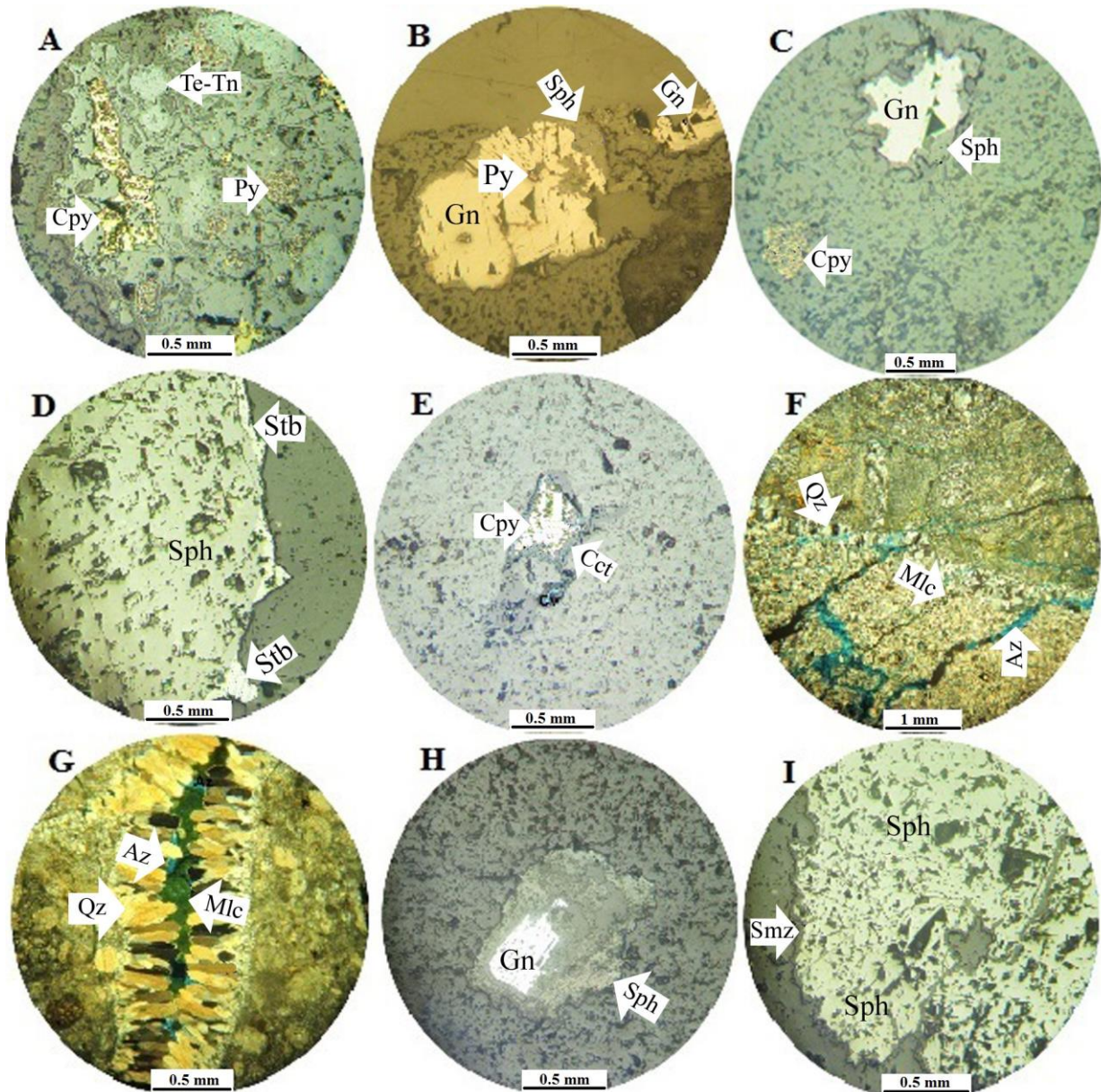
بخشی از مس آزادشده از شبکه کالکوپیریت نیز به‌صورت ملاکیت و آزوریت در بخشی از

تحولات پس از ته‌نشست آنها ضروری است (Craig *et al.*, 1993) پیریت از کانه‌های سولفیدی منطقه است که بیشتر درون تکه‌های سنگی و به‌مقدار کمتر درون رگه‌های سیلیسی با بافت دانه‌پراکنده، رگچه‌ای و بازماندی دیده می‌شود. پیریت در همراهی با کالکوپیریت، گالن و اسفالریت دیده می‌شود. پیدایش پیریت پیش از کالکوپیریت و حتی همزمان با آن ادامه یافته است (شکل ۹- A)؛ اما تبلور آن پیش از گالن و اسفالریت بوده است و درون آنها حضور دارد (شکل ۹- B). پیریت بیشتر دچار دگرسانی سوپرژن شده و با گوتیت جایگزین شده است و بافت بازماندی (Relict texture) نشان می‌دهد.

کالکوپیریت فراوان‌ترین کانه موجود در کانسار آغاتاق است و درون رگه‌های سیلیسی با بافت دانه‌پراکنده، رگچه‌ای و بازماندی دیده می‌شود. کالکوپیریت بیشتر به گوتیت، ملاکیت، آزوریت، کالکوسیت و کوولیت تجزیه شده است. در پی دگرسانی کالکوپیریت، آهن پیش از مس از شبکه کالکوپیریت آزاد می‌شود؛ از این‌رو، کناره‌های کالکوپیریت با کالکوسیت جایگزین شده است. آهن نیز وارد محلول می‌شود و یا به‌صورت گوتیت ته‌نشین می‌شود (Gaedamini Harouni *et al.*, 2015). فراوانی گالن و اسفالریت کمتر از پیریت و کالکوپیریت است. گالن در اندازه‌های کوچک تا نزدیک به ۲ mm، به‌صورت بلورهای نیمه‌خودشکل با رخ آشکار دیده می‌شود. اسفالریت نیز در همراهی با گالن و معمولاً در کناره‌های گالن، به‌صورت بلورهای ناخودشکل دیده می‌شود (شکل‌های ۹- B و ۹- C). این پدیده نشان‌دهنده تبلور اسفالریت پیش از گالن است. تتراندیت-تانانتیت از سولفوسالت‌های مس هستند که

درون تکه‌های سنگی و نیز درون شکستگی‌ها و فضای میان بلورهای کوارتزهای شانه‌ای دیده می‌شوند (شکل‌های F-۹ و G-۹).

کانه‌زایی که کربنات دارد، نهشته می‌شود (Gaedamini Harouni *et al.*, 2015). مالاکیت و آزوریت از کانی‌های سوپرژنی هستند که بیشتر



شکل ۹- تصویرهای میکروسکوپی از کانه‌زایی آغاتاق (شمال تکاب): (A) به‌جامانده‌های پیریت و کالکوپیریت به‌همراه تتراندردیت/ تنانتیت درون گوتیت؛ (B) همراهی پیریت با گالن و اسفالریت؛ (C) اسفالریت در کنار گالن؛ (D) استینیت در کنار اسفالریت؛ (E) کالکوسیت و کوولیت در کنار کالکوپیریت؛ (F) رگه و رگچه‌های مالاکیت و آزوریت درون شکستگی‌های پهنه سیلیسی‌شده ساخته‌شده از کوارتزهای ریزبلور؛ (G) مالاکیت و آزوریت درون کوارتزهای شانه‌ای؛ (H) سرزیت در کنار گالن؛ (I) اسمیت‌زونیت در کنار اسفالریت (تصویرها در نور انعکاسی یک‌بار پلاریزه هستند) (Py: پیریت؛ Cpy: کالکوپیریت؛ Te- Tn: تتراندردیت- تنانتیت؛ Gn: گالن؛ Sph: اسفالریت؛ Stb: استینیت؛ Smz: اسمیت‌زونیت؛ Mlc: مالاکیت؛ Az: آزوریت؛ Cv: کوولیت؛ Cct: کالکوسیت؛ نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney و Evans (۲۰۱۰) است)

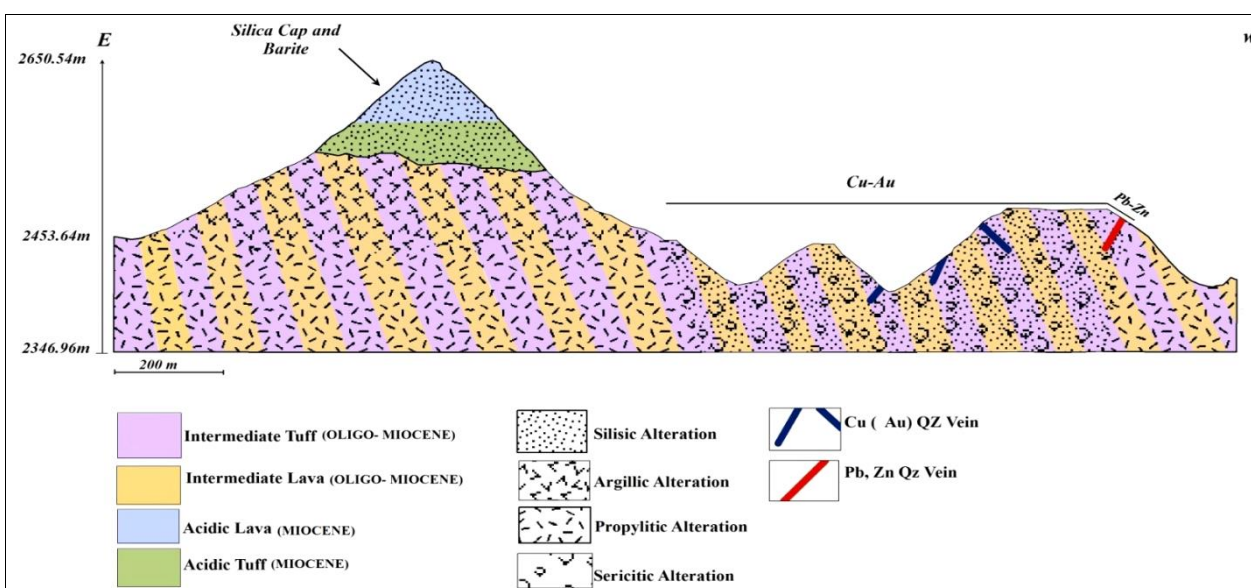
سیلیسی-سولفیدی (مرحله کانه‌زایی) است. در این مرحله، در پی پیدایش رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی مرحله‌نخست، مسیرهای گذر سیال‌ها بسته‌شده و فشار سیال‌های گرمایی افزایش یافته و فراوانی شکستگی‌ها و برشی‌شدن بیشتر شده است. همراه با این فرایند، کانه‌زایی سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، تتراندريت-تنانتیت، گالن، اسفالریت و استیبینیت) درون رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی‌شده پدید آمده است. همان‌گونه که پیشتر گفته شد، کانه‌زایی مس بیشتر در بخش‌های مرکزی سیستم کانه‌زایی و در ترازهای ارتفاعی پایین‌تر پدید آمده است؛ اما کانه‌زایی گالن و اسفالریت در بخش‌های کناره‌ای سیستم کانه‌زایی و در ترازهای ارتفاعی بالاتر دیده می‌شود (شکل ۱۰). استیبینیت به مقدار کمی در بخش‌های کناره‌ای سیستم و در همراهی با اسفالریت شناسایی شده است؛ اما آنتیموان بیشترین همبستگی را با مس و نقره در نمونه‌ها داشته است (جدول ۴). همان‌گونه که پیشتر گفته شد، این همبستگی شاید پیامد همراهی این عنصرها در شبکه کانی‌های سولفوسالیتی (مانند: تتراندريت) است. ستبرای رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی یادشده تا ۷ متر می‌رسد. افزون‌براین، تنش پدیدآمده از فشار سیال‌های گرمایی در این مرحله، برشی‌شدن کلاهدک سیلیسی در مرحله اول را در پی داشته است. مرحله سوم کانه‌زایی عبارت از رگه-رگچه‌های تأخیری کوارتزی-باریتی-کربناتی است که رگه‌ها و برش‌های گرمایی مراحل پیشین را قطع کرده‌اند. در این مرحله، هیچگونه کانی‌سازی سولفیدی روی نداده است.

گاه بلورهای درشت‌تر آزوریت در فضاهای تهی سنگ و رگه‌های کوارتزی پدید آمده‌اند (شکل ۶- A). نشانه‌های سطحی کانی‌زایی مس به‌صورت مالاکیت و آزوریت در پهنه‌های دگرسانی فلیک به‌صورت چشمگیر دیده شده و پیامد بالابودن غلظت CO₂ در محلول‌های جوی نفوذی دانسته می‌شوند (Vink, 1986; Komeili et al., 2014). گالن و اسفالریت از حاشیه بلورها و همچنین در راستای شکستگی‌ها دچار دگرسانی شده و به‌ترتیب، با سروریت و اسمیت‌زونیت جایگزین شده‌اند (شکل‌های ۹-H و ۹-I). در پی دگرسانی سوپرژن کانی‌های سولفیدی نخستین، به‌ویژه پیریت و کالکوپیریت، هیدروکسیدهای ثانویه آهن جانشین کانی‌های نخستین شده‌اند (شکل ۹-A). همچنین، هیدروکسیدهای ثانویه آهن به‌صورت رگچه‌ای در راستای شکستگی‌های رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی‌شده پدید آمده‌اند.

برپایه بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی انجام‌شده در منطقه آغاتاق، کانه‌زایی مس در چهار مرحله روی داده است. مرحله نخست یا مرحله پیش از رویداد کانه‌زایی همان مرحله برشی-سیلیسی است. در این مرحله، سنگ نخستین با سرشت توفی و گاه‌گدازه‌ای دچار فشار سیال‌های گرمایی شده و برشی شده است. سپس محلول گرمایی درون آن تزریق شده و رگه‌های کوارتزی با بافت شانهای و کوکاد را ساخته است. هم‌زمان با این مرحله، کلاهدک‌های سیلیسی نیز در بالاترین تراز ارتفاعی پدید آمده‌اند. امروزه این کلاهدک‌های سیلیسی در کناره‌ی خاوری منطقه دیده می‌شوند. مرحله دوم کانه‌زایی همان مرحله برشی-

رگچه‌ای، جانشین‌ی و پُرکننده فضاهای خالی را در پی داشته است. برپایه بررسی‌های صحرائی، نمونه دستی و میکروسکوپی، توالی پاراژنزی کانه‌ها، کانی‌های باطله، دگرسانی‌ها و بافت‌های کانه‌زایی منطقه آغاتاق را می‌توان در جدول ۵ نشان داد.

ستبرای رگه و رگچه‌های یادشده از یک میلیمتر تا ۵۰ سانتیمتر متغیر است. کانی‌زایی مرحله چهارم مربوط به فرایندهای سوپرژن بوده و پیدایش کالکوسیت، کوولیت، سرروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن به‌صورت رگه-



شکل ۱۰- نیم‌رخ از جایگاه نسبی رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانه‌زایی و کلاک‌های سیلیسی و دگرسانی‌های گوناگون در کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب) (الگوی ارتفاعی با نرم‌افزار google earth تهیه شده است)

سولفیداسیون بالا (HS)، سولفیداسیون حد واسط (IS) و سولفیداسیون پایین (LS) رده‌بندی می‌کنند (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Cooke and Deyell, 2003; Sillitoe, 1989).

برپایه ویژگی‌هایی مانند سنگ درونگیر، کانی‌شناسی و دگرسانی، کانسار آغاتاق بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون متوسط فلزهای پایه-گرانبها نشان می‌دهد. در جدول ۶، ویژگی‌های کانه‌زایی منطقه آغاتاق با کانسارهای اپی‌ترمال ارزیابی شده است.

تیپ و خاستگاه کانه‌زایی فلزهای پایه-گرانبها در رخداد کانه‌زایی آغاتاق

شناسایی نوع کانه‌زایی در هر کانسار در پیجویی و اکتشاف تفصیلی اهمیت بسیاری دارد. از دیدگاه ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی گرمایی، ساخت و بافت و کانی‌زایی، کانه‌زایی در منطقه آغاتاق نمونه‌ای از کانسارهای اپی‌ترمال است و ویژگی‌های مشترک فراوانی با این دسته از کانسارها دارد (جدول ۶).

از دیدگاه جایگاه زمین‌ساختی، پژوهشگران گوناگون اپی‌ترمال را ویژگی‌های ماگمایی و کانی‌شناسی دگرسانی گرمایی به سه رده

جدول ۵- توالی پاراژنزی کانه‌ها، کانی‌های باطله، دگرسانی‌ها و بافت‌های کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب)

		Hypogene			Supergene
		Preminalization (Breccia- Silicic)	Ore stage (Breccia- Silicic- Sulfide)	Late stage vein and veinlets	
Minerals	Pyrite	—————			
	Chalcopyrite		—————		
	Galena		—————		
	Sphalerite		—————		
	Tetrahedrite- Tenantite		—————		
	Stibnite		—————		
	Chalcocite		—————		
	Covellite		—————		
	Malachite		—————		
	Azurite		—————		
	Cerussite		—————		
	Smithsonite		—————		
	Fe- hydroxide		—————		
	Gangues	Quartz	—————		
Barite				————— ◆ ? ◆	
Carbonate				—————	
Alterations	Silicic	—————			
	Sericitic		—————		
	Propylitic	—————		
	Argillic		—————		
	Carbonatization			—————	
Texture and structure	Vein- veinlet	—————			
	Breccia			
	Open space filling		—————		
	Cockade	—————			
	Comb	—————			
	Disseminated	—————			
	Replacement		—————		
	Relict		—————		

بحث و نتیجه‌گیری

مجموعه آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن روی داده است. چنین می‌نماید این کانه‌زایی پیامد پایانی‌ترین فعالیت ماگمایی، به‌صورت گنبد آتشفشانی داسیتی در جنوب منطقه و جایگیری توده نفوذی مرتبط و در پی آن، رخدادهای شدید و گسترده برشی و دگرسانی باشد (شکل ۱۱).

سیمای کانه‌زایی در منطقه آغاتاق عبارت است از رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانی‌سازی چندفلزی مس، سرب، روی، طلا و نقره است. این کانه‌زایی عبارتست از یک کانسار اپی‌ترمال فلزهای پایه- گرانبه‌ها که در ارتباط با

جدول ۶- مقایسه کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق (شمال تکاب) با کانسارهای اپی‌ترمال گوناگون

منطقه بررسی شده	کانسارهای اپی‌ترمال			ویژگی
	سولفیداسیون بالا	سولفیداسیون متوسط	سولفیداسیون کم	
پهنه‌های فرورانش	پهنه‌های فرورانش	پهنه‌های فرورانش	پهنه‌های فرورانش	پهنه زمین‌ساختی
پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، تترائدریت-تانتیت، استیبینیت	انارژیت، پیریت، کالکوپیریت، لوزونیت، بورنیت، تانتیت، تلورید گالن، اسفالریت، الکتروم، طلای آزاد	پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، الکتروم، سولفوسالت نقره، آکانتیت، سلنیت، تترائدریت-تانتیت، تلورید	الکتروم، آکانتیت، پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، سولفوسالت نقره، تلورید، سلنیت، تترائدریت-تانتیت	کانه‌ها
شانه‌ای، کوکاد، برشی و دانه‌پراکنده	کوارتز حفره‌ای، رگه‌ای، برشی، توده‌ای	پوسته‌ای، کلوپورم، جانشین، کوکاد، شانه‌ای	پوسته‌ای، کلوپورم، جانشین، کوکاد، شانه‌ای	بافت رگه‌ها
توف و گدازه آندزیتی	آندزیت، داسیت	آندزیت، داسیت، ریولیت	آندزیت، ریوداسیت، ریولیت	سنگ میزبان
سیلیسی، سریسیتیک، آرژیلیک، پروپلیتیک، کربناتی	کوارتز حفره‌ای، آرژیلیک پیشرفته، کوارتز، آلونیت، پروپلیتیک-سریسیتیک	سریسیتیک، آرژیلیک حد واسط، سیلیسی	سیلیسی، آرژیلیک متوسط، پروپلیتیک	دگرسانی
کوارتز، سریسیت، کلسیت، آنکریت، کانی‌های رسی	کوارتز، آلونیت، کانولینیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت، کلریت	کوارتز، سریسیت، آدولاریا	کوارتز، ایلیت، اسمکتیت، آدولاریا، رودوکروزیت	کانی‌های دگرسانی
کوارتز، کلسیت، آنکریت، باریت در بالای توده معدنی	کوارتز، آلونیت، کانولینیت، کلریت، باریت (فراوان)، گوگرد به‌صورت شکافه پرکن	کوارتز، کلسدوئن، کلسیت، کربنات‌های منگنز، آدولاریا، باریت، کلسیت	کوارتز، کلسدوئن، کلسیت، آدولاریا، ایلیت، کلریت، باریت و یا فلوریت (به‌صورت موضعی)	باطله‌ها
با کربنات (کلسیت و آنکریت)	نبود کربنات	دارای کربنات کمتر نسبت به سولفیداسیون پایین	کربنات موجود است و معمولاً منگنزدار است	کربنات
Cu (±Pb±Zn±Au±Ag)	Cu-Au-Ag (±Pb±Zn±Sn±W±As±Bi)	Au-Ag-Cu-Pb-Zn (±Sb±Hg±As)	Au-Ag (±Cu±Pb±Zn±Sb±Hg±As)	فلزهای موجود
بررسی کنونی	Hedenquist et al. (2000)	Hedenquist et al. (2000)	Hedenquist et al. (2000)	منبع

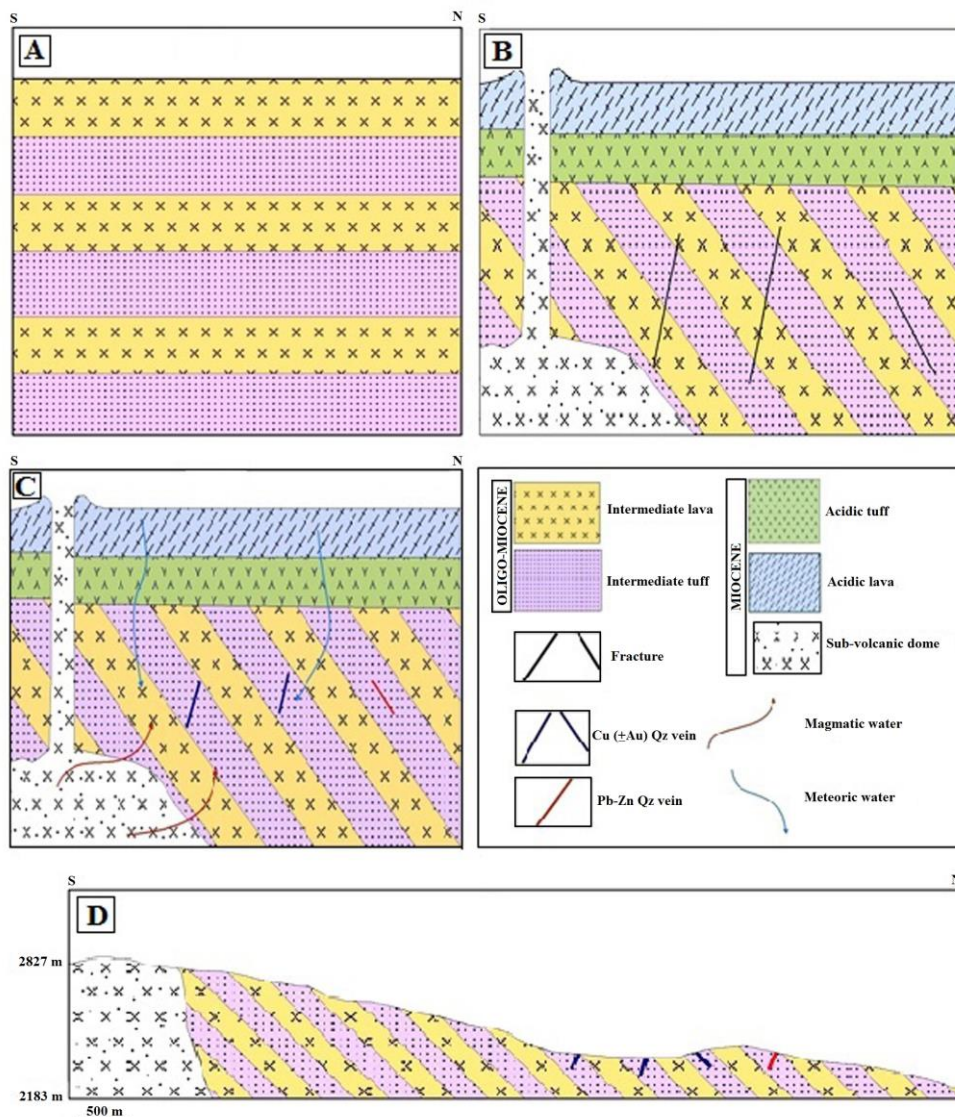
و بازشدن رگه‌ها و پیدایش گذرگاه‌های تازه روی داده است. پس رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی فلزهای پایه- گرانبها در این مرحله پدید می‌آیند. هنگام این فرایند، در پی آزادشدن بخارهای اسیدی و تأثیر آنها روی سنگ‌های میزبان، دگرسانی سریسیتیک در پیرامون رگه‌های کانه‌دار پدید می‌آیند. تهنشست فلزها در این مرحله، می‌تواند پیامد مجموعه‌ای از شرایط جوشش، از دست‌دادن گازها و واکنش با سنگ‌های دیواره باشد.

در کل، برپایه بررسی‌های صحرائی،

بررسی‌های سنگ‌شناسی نشان می‌دهند که این سنگ‌ها در یک کمان ماگمایی پدید آمده‌اند (Rahmati, 2015). با تبلور توده نفوذی در هنگام فعالیت ماگمای داسیتی جوان و جدایش سیال‌های گرمایی، فشار سیال‌ها افزایش و شکستگی‌ها گسترش یافته و برش‌های گرمایی در منطقه آغاتاق پدید آمده‌اند. تهنشست کانی‌ها، به‌ویژه کوارتز، به‌صورت سیمان در لابلای تکه‌های برش‌ها، گذرگاه‌های سیال را بسته و نرخ جریان سیال را کاهش داده است. در پی بسته‌شدن گذرگاه‌ها، فشار سیال‌ها افزایش است و برشی‌شدن

ماگمایی الیگو- میوسن، سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی این منطقه (با سرشت حد واسط- بازیگ) و مناطق همسایه پدید آمده‌اند (شکل ۱۱- A).

میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی می‌توان دریافت که کانه‌زایی در منطقه آغاتاق در چند مرحله پیوسته روی داده است. بدین‌گونه، در هنگام فعالیت‌های



شکل ۱۱- مرحله‌های پیدایش کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): (A) پیدایش سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن با ترکیب بازیگ- حد واسط؛ (B) جایگیری آشیانه ماگمای اسیدی به سن احتمالی میوسن درون سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن و چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی آنها همراه با پیدایش سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی اسیدی روی آنها؛ (C) جدایش سیال‌های گرمایی جداشده از توده نفوذی اسیدی و همچنین، گرم‌شدن سیال‌های جوی در همسایگی با توده یادشده در حال سردشدن، پیدایش کانه‌زایی منطقه آغاتاق در راستای شکستگی‌های سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن به‌صورت رگه‌های کوارتز و پهنه‌های سیلیسی کانه‌دار را در پی داشته است؛ (D) فرسایش و پیدایش رخنمون کنونی منطقه آغاتاق

(1999)، به‌صورت گنبد آتشفشانی در جنوب منطقه بررسی‌شده، سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو-

در ادامه، در پی رخدادهای کوهزایی میوسن پایانی و همچنین، ماگماتیسم جوان‌تر میوسن (Mehrabi et al.,)

نمونه‌ها از طلا غنی‌شدگی دارند؛ اما عیارهای آنها به حد اقتصادی نمی‌رسد. با وجود این، از تمرکزهای بالای این عنصر در همراهی با عنصرهای دیگر (مانند: مس، سرب، روی، نقره و حتی آنتیموان) می‌توان برای بررسی‌های اکتشافی بعدی و تکمیلی بهره گرفت.

بررسی‌های اکتشافی - پژوهشی انجام‌شده در سال‌های اخیر در بخش‌های مختلف منطقه تکاب- تخت سلیمان در شناسایی کانسارها و اندیس‌های فراوانی از کانه‌زایی‌های گوناگون طلا، در همراهی با عنصرهایی مانند مس، سرب- روی و آرسنیک- آنتیموان، کاربرد داشته است. این کانه‌زایی‌ها درون سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن و حتی سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین و در همسایگی با گنبد‌های داسیتی جوان به سن میوسن (Mehrabi et al., 1999) هستند. از این رو، چنین می‌نماید که مجموعه‌های سنگی الیگو- میوسن که دچار هجوم گنبد‌های داسیتی شده‌اند، از دیدگاه اکتشاف طلا اهمیت بالایی داشته باشند. بررسی این سنگ‌ها و تعمیر یافته‌های به‌دست آمده از آنها به مناطق مشابه در منطقه تکاب- تخت سلیمان - شاهین‌دژ می‌تواند در شناسایی این تیپ کانسارها به‌کار رود.

سپاس‌گزاری

نگارندگان از پشتیبانی‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش سپاس‌گزار هستند. همچنین، نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه آقای مهندس مهدی بهمنش در بازدیدهای صحرائی و ارائه اطلاعات اکتشافی موجود از منطقه، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند. همچنین، نویسندگان مقاله از سردبیر محترم مجله و داوران گرامی که با پیشنهادهای ارزنده علمی خود موجب پر بارتر شدن بیشتر این نوشتار شده‌اند، بسیار سپاس‌گزار هستند.

میوسن دچار چین‌خوردگی و همچنین، شکستگی‌ها و گسل‌خوردگی‌های فراوان شده‌اند. پیامد تازه‌ترین ماگماتیسم، پیدایش سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی جدید با سرشت اسیدی، روی سنگ‌های الیگو- میوسن است. این سنگ‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه بررسی‌شده دیده می‌شوند (شکل ۱۱- B). در پی سرد شدن ماگمای اسیدی در آشیانه ماگمایی نزدیک به سطح، سیال‌های گرمابی از این توده جدا شده‌اند. این سیال‌ها در همراهی با سیال‌های جوی گرم‌شده در همسایگی این توده، کانه‌زایی و سیستم دگرسانی منطقه آغاتاق را در شکستگی‌های سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن پدید آورده‌اند (شکل ۱۱- C). گفتنی است که کلاهک سیلیسی نیز در این مرحله ساخته شده است. برپایه ارتفاع بالای منطقه و عملکرد شدید فرسایش، منطقه بررسی‌شده به شکل امروزی درآمده است (شکل ۱۱- D) و رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی کانه‌دار در ارتفاع کمتر و کلاهک‌های سیلیسی در بخش‌های بلندتر و کناره‌ای دیده می‌شوند. کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبها آغاتاق با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون متوسط و سولفیداسیون کم مقایسه شده‌اند. برپایه برخی ویژگی‌ها (مانند: کانه‌زایی مس- سرب- روی، دگرسانی گرمابی کوارتز- سرسیت، حضور کانی‌های کربناته و باریت در بخش باطله کانسنگ، رخداد کانی‌زایی به‌صورت رگه- رگچه‌ای و برشی با ساخت و بافت‌های کوکاد، شان‌ای و دانه‌پراکنده در رگه- رگچه‌ها)، کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق را می‌توان در رده کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط جای داد. هرچند برای اثبات دقیق این موضوع، بررسی میانبرهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار می‌تواند بسیار سودمند باشد.

داده‌های تجزیه شیمیایی نشان می‌دهند که همه

منابع

- Aghanabati, A. (2005) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Annels, A. E., O'Donovan, G. and Bowles, M. (2003) New ideas concerning the genesis of the Angouran Zn-Pb deposit, NW Iran. Abstracts of the 26th Mineral Deposits Studies Group, University of Leicester, Leicester 11-12.
- Asadi Harooni, H., Voncken, J. H. L., Kuhnel, R. A. and Hale, M. (2000) Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin- Like gold deposit, northwest Iran. *Mineralium Deposita* 35: 656-671.
- Babakhani, A. R. and Ghalamghash, J. (2006) Explanatory text of geological map of Takht-e-Soleyman 1:100000, No. 5463. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Behmanesh, M. (2013) Report of preliminary exploration of Cu-Au mineralization in Agh Otag, north of Takab. Organization of industry, mining and trade of Western Azarbaijan Province (in Persian).
- Borg, G. and Daliran, F. (2004) Hypogene and supergene formation of sulphides and non-sulphides at the Angouran high-grade zinc deposit, NW-Iran. Abstract volume of Geoscience Africa 2004, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Cooke, D. R. and Deyell, C. L. (2003) Descriptive names for epithermal deposits: Their implications for genetic classifications and inferring ore fluid chemistry. In: *Mineral exploration and sustainable development*. (Eds. Eliopoulos, D., et al.) 1:457-460. Rotterdam, Millpress
- Craig, J. R., Vokes, F. M. and Solberg, T. N. (1993) The metamorphism of pyrite and pyretic and chemical textures. *Mineralium Deposita* 34: 82-101.
- Daliran, F. (2008) The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran: hydrothermal alteration and mineralization. *Mineralium Deposita* 43: 383-404.
- Daliran, F. and Borg, G. (2005) Characterisation of the nonsulfide zinc ore at Angouran, northwestern Iran, and its genetic aspects. In: *Mineral deposit research: meeting the global change* (Eds. Jingwen, M. and Bierlein, F. P.) 2: 913-916. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Daliran, F., Hofstra, A. H., Walther, J. and Stüben, D. (2002) Agdarreh and Zarshouran SRHGD deposits, Takab region, NW Iran. Geological Survey of America Annual Meeting 2002, Abstracts with Programs, Session 63-8.
- Daliran, F., Walther, J. and Stüben, D. (1999) Sediment-hosted disseminated gold mineralization in the North Takab geothermal field, NW-Iran. In: *Mineral Deposits: Processes to Processing* (Eds. Stanley, C. J., et al.) 837-840. Proceeding of 5th biennial SGA Meeting and 10 quadrennial IAGOD Symposium.
- Ebrahimi, M. H., Aftabi, A. and Mohammadi Niaei, R. (2010) Structural, textural, mineralogical and geochemical features and the pattern of the Angoran ore deposit in the Sedex-VMS-MVT triangle. *Petrology* 3: 1-10 (in Persian).
- Gaedamini Harouni, M., Bagheri, H., Asadi Harooni, H., Mokhtari, A. R. and Ayati, F. (2015) Determination of Alishar Cu index (Markazi province) formation conditions using mineralogy and fluid inclusions data. *Petrology* 21: 1-18.
- Gilg, H. A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C. R., Banks, D. and Moore, F. (2006) Marble-hosted sulfide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralium Deposita* 41: 1-16
- Hedenquist, J. W., Arribas, J. A. and Gonzalez, U. E. (2000) Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology* 13: 254 - 277.

- Heidari, M. (2013) Geology, geochronology, origin and tectonic setting of gold mineralization in Toozlar, Arabshah and Gozalbolagh, in Qorveh- Tekab area, NW Iran. PhD thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (in Persian).
- Kawabata, H. and Shuto, K. (2005) Magma mixing recorded, in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Achen TTG formation. *Journal of volcanology and Geothermal Research* 140: 241-271.
- Komeili, S., Khalili, M., Asadi Harooni, H., Bagheri, H. and Ayati, F. (2014) Petrography and mineral chemistry of alteration zones in the Kahang porphyry Cu-Mo deposit (Northeast of Isfahan). *Petrology* 19: 1-20.
- Kurum, S., Onal, A., Boztug, D., Sper, T. and Arslan, M. (2008) Ar^{40}/Ar^{39} age and geochemistry of the post-collisional Miocene Yamadag volcanics in the Arapkir area (Malatya province), eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Science* 33: 229-251.
- Kuscu, G. G. and Floyed, P. (2001) Mineral compositional and textural evidence for magma mingling in the Saraykent volcanic. *Lithos* 56: 207 - 230.
- Mehrabi, B. (1997) Genesis of the Zarshuran gold deposit, NW Iran. PhD thesis, University of Leeds, UK.
- Mehrabi, B., Yardly, B. W. D. and Cann, J. R. (1999) Sediment- hosted disseminated gold mineralization at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita* 34: 673-696.
- Mohammadi Niaei, R., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Shikh Zakariaei, J. and Kouhestani, H. (2015) The Ay Qalasi deposit: An epithermal Pb-Zn (Ag) mineralization in the Urumieh- Dokhtar Volcanic Belt of northwestern Iran. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie- Abhandlungen* 192(3): 263-274.
- Nabavi, M. H. (1977) The history of Iran's Geology. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Que, M. and Allen, A. R. (1996) Sericitization of plagioclase in the Rosses Granite Complex, Co. Donegal, Ireland. *Mineralogical Magazine* 60: 927-936.
- Rahmati, N. (2015) Petrology and geochemistry of volcanic rocks in the AghOtag area (N Takab) with considering Au-Cu mineralization. MSc. thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran (in Persian).
- Reed, M. H. (1994) Hydrothermal alteration in active continental hydrothermal systems. In: (Ed. Lentz, D. R.), *Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 11: 315-337.
- Shelley, D. (1993) *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman and Hall, London.
- Sillitoe, R. H. (1989) Gold deposits in western pacific island arcs: The magmatic connection. *Economic Geology Monograph* 6: 274-291.
- Sillitoe, R. H. and Hedenquist, J. W. (2003) Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Society of Economic Geologists, Special Publication* 10: 315-343.
- Stöckiln, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petrological Geology* 52 (7): 1229-1258.
- Stormer, J. C. (1972) Mineralogy and petrology of the Raton-Clayton volcanic field northeastern New Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 83: 299-3322.
- Tsuchiyama, A. (1985) Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite and origin of dusty plagioclase in andesite. *Contributions to mineralogy and petrology* 89: 1-16.
- Vink, B. W. (1986) Stability relations of malachite and azurite. *Mineralogical Magazine* 50(355): 41-47.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W. (2010) Abbreviation for names of rock- forming minerals. *American Mineralogist* 95:185-187.