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 andesistic 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

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

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق (شمال تکاب)

ناهید رحمتی، میرعلی‌اصغر مختاری*، محمد ابراهیمی و قاسم نباتیان
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

منطقه کانه‌زایی آغاتاق در شمال تکاب و درون توف‌های آندزیتی الیگو- میوسن روی داده است. کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانی‌سازی چندفلزی (Cu-Pb-Zn-Au-Ag) به‌صورت برشی و رگه- رگچه‌ای با بافت‌های شانه‌ای، کوکاد و دانه‌پراکنده رخ داده‌است. کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت از مهم‌ترین کانه‌ها بوده و سیلیسی، سریسیتیک، آرژیلیک، پروپلیتیک و کربناتی‌شدن از دگرسانی‌ها هستند. کانی‌سازی با دگرسانی‌های سیلیسی- سریسیتیک همراه است. تجزیه نمونه‌هایِ رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی، عیار طلا را تا ۶۶۴ppb (میانگین: ۱۸۱ppb) نشان داده است. بالاترین و میانگین عیار نقره، مس، سرب و روی، به‌ترتیب ۱۲۰ppm (۳۰ppm)، ۱/۳ درصد (۰/۳۸ درصد)، ۵/۵ درصد (۰/۶ درصد) و ۴/۵ درصد (۰/۲۸ درصد) به‌دست آمده است. بررسی‌های انجام‌شده نشان‌دهندۀ رویداد کانه‌زایی در چهار مرحله است. در مرحله نخست یا پیش از کانه‌زایی، در پی فرایند گرمابی، سنگ میزبان برشی شده و گروهی از رگه‌های کوارتزی و کلاهک سیلیسی پدید آمده‌اند. در مرحله دوم یا مرحله کانه‌زایی، کانه‌های سولفیدی در رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی پدید آمده‌اند. در مرحله سوم، رگه- رگچه‌های تأخیری کوارتزی، باریتی و کربناتیِ بدون کانه‌زایی، مرحله‌های پیشین را قطع کرده‌اند. در مرحله چهارم، کانه‌زایی در پی فرایندهای سوپرژن روی داده است. یافته‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ساخت و بافت نشان‌دهندۀ شباهت کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق با کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون متوسط هستند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبها، تیپ اپی‌ترمال، آغاتاق، تکاب

مقدمه

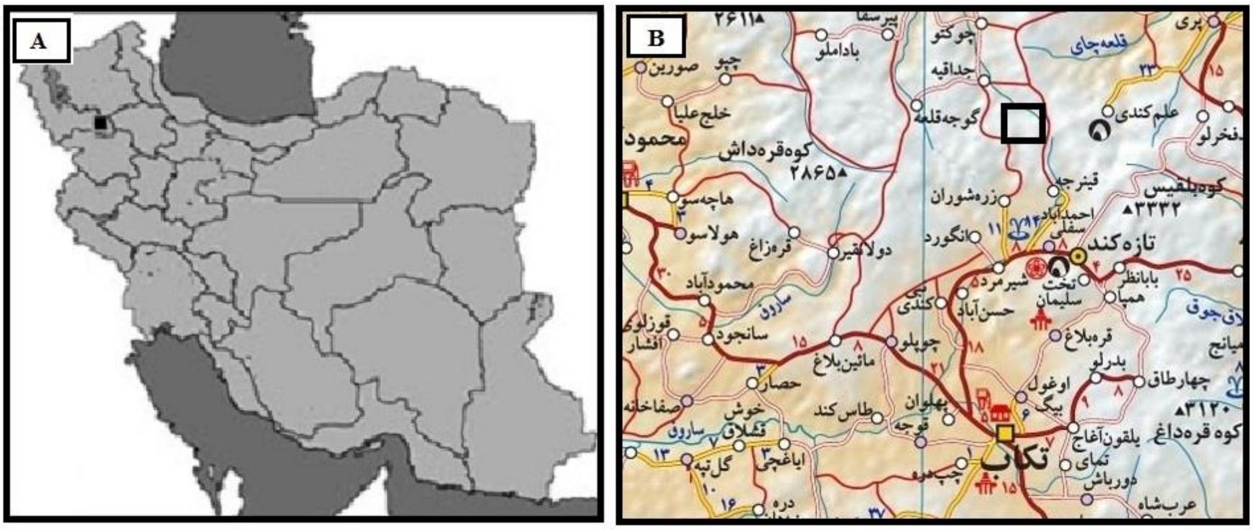
منطقه تکاب- تخت‌سلیمان از پهنه‌های با توان معدنی و با کانی‌سازی‌های فراوان است. مانند: کانسار آرسنیک- طلای زرشوران (Mehrabi, 1997; Daliran *et al*., 1999; Mehrabi *et al*., 1999; Asadi Harooni *et al*., 2000)، کانسار طلا- آنتیموان آق‌دره (Daliran,

* amokhtari@znu.ac.ir

(Daliran *et al.*, 2002; 2008)، کانی‌سازی سرب- روی- طلای آی‌قلعه‌سی (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 کیلومتریِ شمال تکاب، ۲۰ کیلومتریِ شمال‌باختری تخت‌سلیمان و نزدیک به ۱۰ کیلومتریِ شمال کانسار طلا- آرسنیک زرشوران است (شکل‌های ۱- A و ۱- B).

در مجموعه آتشفشانی- رسوبی منطقه آغاتاق، 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 عنصرهایِ این رگه‌هاست که به‌صورت کالکوپیریت و آغشتگی‌های آزوریتی و مالاکیتی در نمونه‌های صحرایی دیده می‌شود. افزون‌بر بررسی‌های اکتشافیِ یادشده، بررسی‌های پژوهشی دقیقی روی این کانی‌سازی انجام نشده است. ازاین‌رو، در این پژوهش به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، ساخت و بافت و کانی‌شناسیِ کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق پرداخته شده است.



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

روش انجام پژوهش

در راستای بررسی کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای 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 از نمونه‌های برداشت‌شده ساخته شد. بررسی‌های میکروسکوپی در آزمایشگاه سنگ‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه زنجان با بهره‌گیری از میکروسکوپ پلاریزان دو منظورهٔ Prior انجام شد. همچنین، شمار ۴ نمونه از رگه‌های سیلیسیِ کانه‌دار برای تجزیه‌های شیمیایی عنصرهای اصلی،

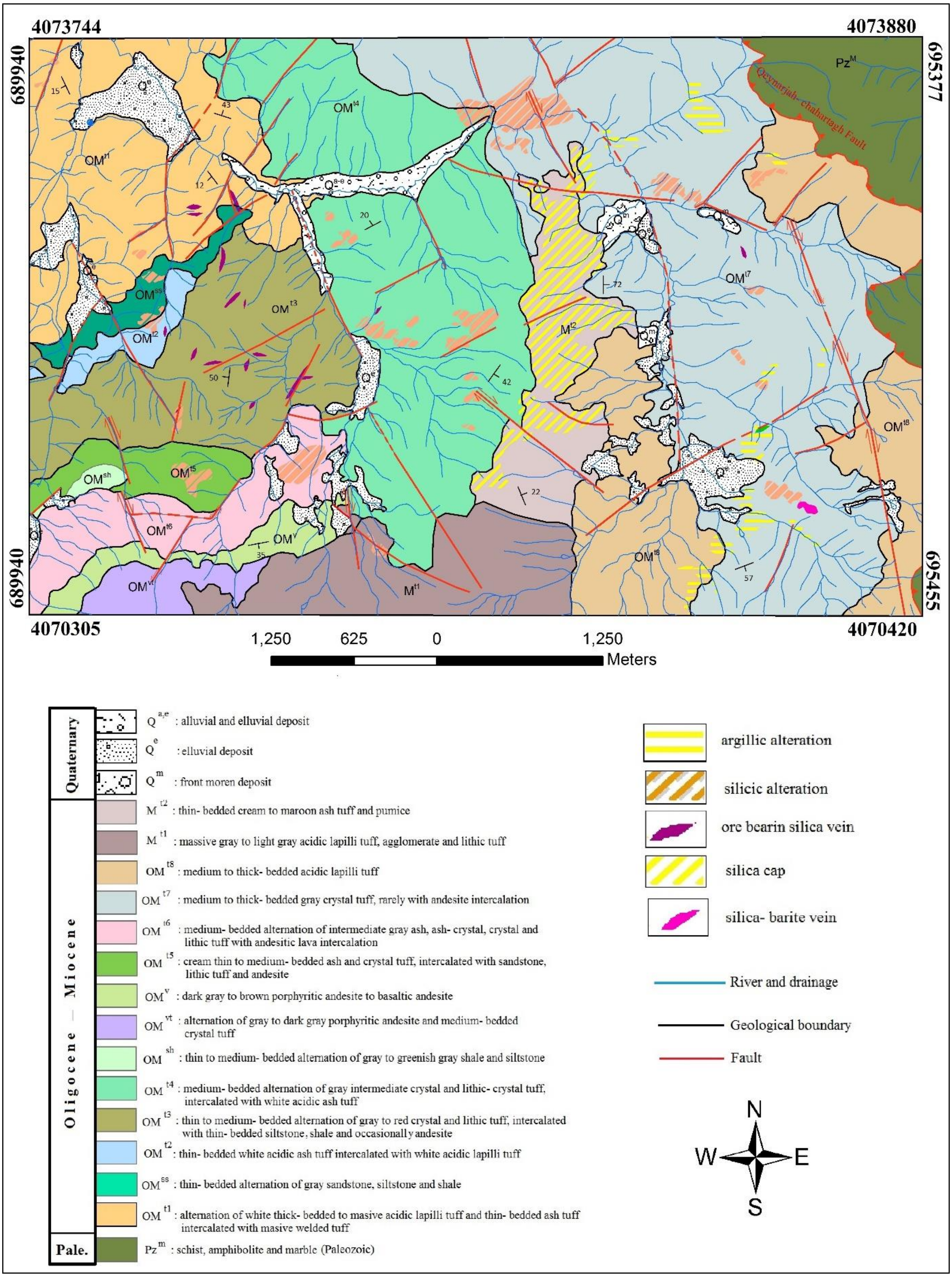
کمیاب و خاکی نادر، به روش‌های XRF و ICP-MS، در آزمایشگاه‌های زرآزما و Labwet استرالیا آنالیز شدند. گفتنی است که افزون‌بر داده‌های یادشده، از داده‌های تجزیه‌ایِ Behmanesh (2013) (شمار ۳۲ نمونه تجزیه‌شده به روش ICP-OES از پهنه‌های کانه‌زایی و کلاهک‌های سیلیسی و اندازه‌گیری طلا به روش FireAssey در آزمایشگاه 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 ایران‌مرکزی (Aghanabati, 2005) است. این منطقه در محل برخورد پهنه‌های ساختاری ایران‌مرکزی و سنندج- سیرجان جای گرفته است. سنگ‌های زمین‌شناسی سازندهٔ منطقه آغاتاق با واحدهای زمین‌شناسی ایران‌مرکزی (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 خاوریِ منطقهٔ بررسی‌شده (بلندی‌های کوه بلقیس که از سنگ‌های دگرگونی گوناگونی مانند آمفیبولیت، گنیس، 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, 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 پالئوزوییک بالایی) روی نداده است و یا اینکه شاید همان اندک رسوبگذاریِ روی‌داده، در پی بالاآمدگی 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 پالئوزوییک، توده‌های نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتیِ مزوزوییک، 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 سنگ‌هایِ رخنمون‌یافته در منطقه آغاتاق هستند (شکل ۲). این سنگ‌ها در بخش خاوری با گسل روراندهٔ قینرجه- چهارتاق در کنار سنگ‌های دگرگونهٔ بلندی‌های کوه بلقیس جای گرفته‌اند. در کنارهٔ شمال‌خاوری منطقه آغاتاق، رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوییک دیده می‌شوند (شکل ۲).

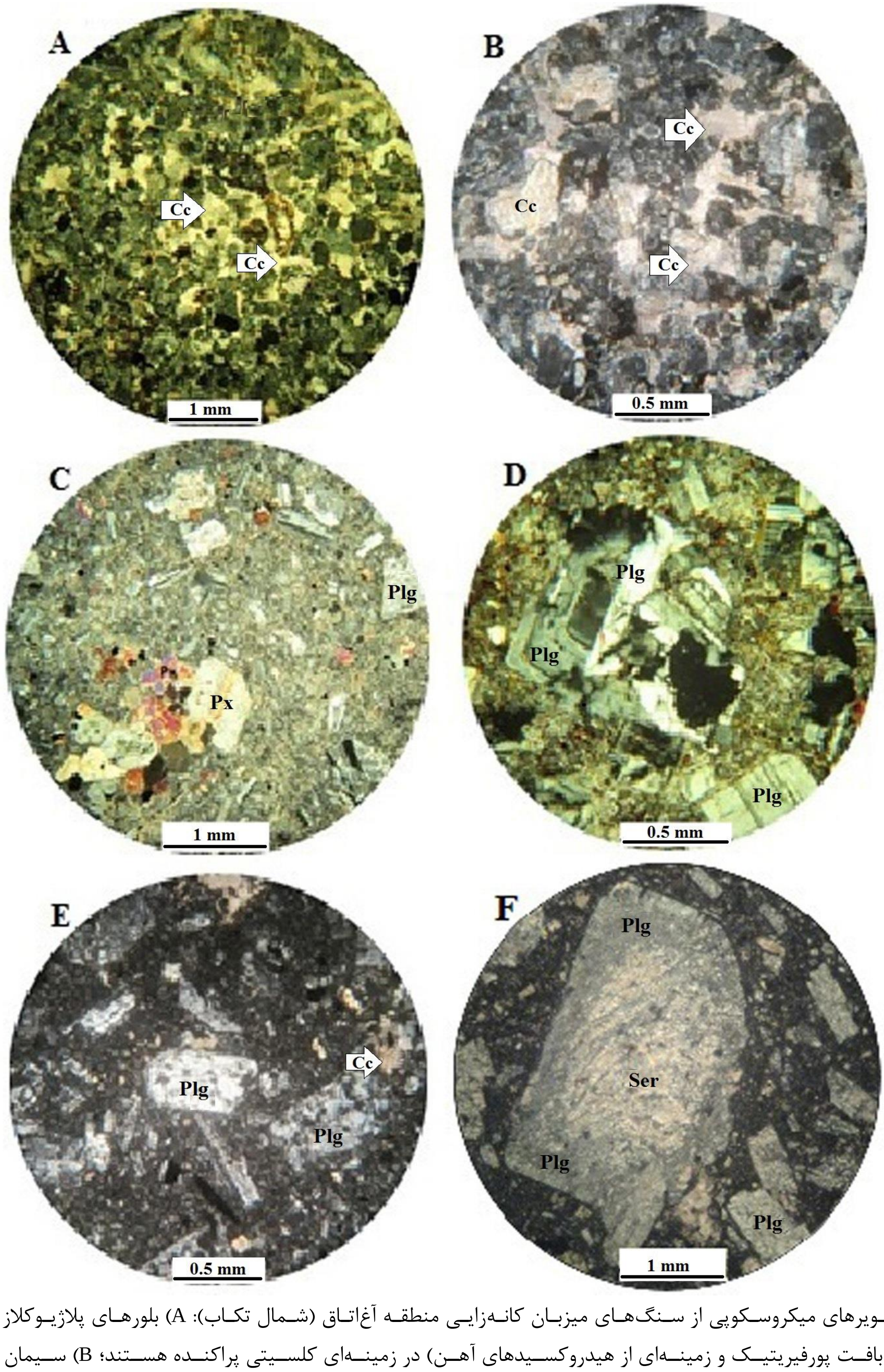


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه کانه‌زایی آغ‌اتاق (Behmanesh, 2013 با اندکی تغییرات).

سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن میزبان رگه‌های کوارتزی که دارای کانه‌زایی مس- طلا هستند، گسترش کمابیش بالایی در بخش‌های مرکزی و نیمهٔ خاوری منطقه دارند. این سنگ‌ها عبارتند از: تناوب لایه‌های نازک تا متوسط کریستال‌توف- لیتیک‌توف خاکستری تا سرخ‌رنگ، با میان‌لایه‌های نازک ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و شیل و گاه گدازه‌های بازالتی تا بازالت‌آندزیتی (شکل‌های ۲ و ۳). در بخش‌های جنوبی منطقه آغاتاق، دهانه فروریختهٔ یک گنبد آتشفشانی جوان‌تر دیده می‌شود که نشانه‌های فعالیت‌های آن، به‌صورت سنگ‌های آذرآواری (گدازه و ایگنمبریت) با ترکیب داسیتی است. این سنگ‌ها به‌صورت دگرشیب، روی مجموعه آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن جای گرفته‌اند. سنگ‌های گنبد آتشفشانیِ یادشده که پیامد پایانی‌ترین فعالیت‌های ماگمایی منطقه هستند، در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان به سن الیگو- میوسن دانسته شده‌اند (Babakhani and Ghalamgash, 2006)؛ اما یافته‌های صحرایی نشان‌دهندهٔ سن جوان‌تر این سنگ‌ها هستند. در بررسی‌های Mehrabi و همکاران (1999)، سنی برابر با ۱۳/۷±۲/۹ میلیون سال پیش (برابر با میوسن) برای گنبدهای داسیتی پیرامون کانسار آرسنیک- طلای زرشوران به‌دست آمده است. ازاین‌رو، این گنبد آتشفشانی را نیز می‌توان به سن میوسن دانست.

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).

لیتیک‌کریستال توف آندزیتی، آندزیت و آندزیت‌بازالتی از سنگ‌های میزبان کانه‌زایی هستند. بیشترین کانی‌سازی در سنگ‌های توفی دیده می‌شود. سنگ‌های لیتیک‌کریستال توف که بیشتر از بلورهای 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 بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای تیره و 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 گلومروپورفیری هستند (شکل ۴- C) و از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن، در زمینه‌ای از بلورهای کوچک همان کانی‌ها، ساخته شده‌اند. بیشتر بلورهای پلاژیوکلاز منطقه‌بندی دارند (شکل ۴- D) و بافت غربالی نشان می‌دهند (شکل ۴- E).



شکل ۴- تصـویرهای میکروسـکوپی از سـنگ‌هـای میزبـان کانـه‌زایـی منطقـه آغاتـاق (شـمال تکـاب): A) بلورهـای پلاژیـوکلاز و پـاره‌هـای سـنگی (بـا بافـت پورفیریتیـک و زمینـه‌ای از هیدروکسـیدهای آهـن) در زمینـه‌ای کلسـیتی پراکنـده هسـتند؛ B) سـیمان کربنـاتی در میـان بلورهـا در تـوف‌آنـدزیتی؛ C) بافـت گلومروپورفیریتیـک سـاخته‌شـده از بلورهـای پیروکسـن؛ D) درشـت‌بلـور پلاژیـوکلاز بـا منطقه‌بندی؛ E) بلورهای پلاژیوکلاز بـا بافـت غربـالی؛ F) پلاژیوکلازهـایی کـه از مرکـز بـه سریسـیت دگرسـان شـده‌انـد (همـه تصـویرها در نور XPL هستند) (Plg: پلاژیوکلاز؛ Cc: کلسیت؛ Px: پیروکسن؛ Ser: سریسیت؛ برپایه: Whitney و Evans، ۲۰۱۰)

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 بالاآمدن 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 نشان‌دهندهٔ دگرسانی گزینشی در بخش‌های کلسیک پلاژیوکلازها، در پی واکنش با سیال‌های گرمابی 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 سازندهٔ این سنگ‌ها هستند. این کانی‌ها در زمینه‌ای ریزبلور تا میکرولیتی 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 پیروکسنِ 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 آمفیبول‌های اکتینولیتی‌شده ریز دیده می‌شوند.

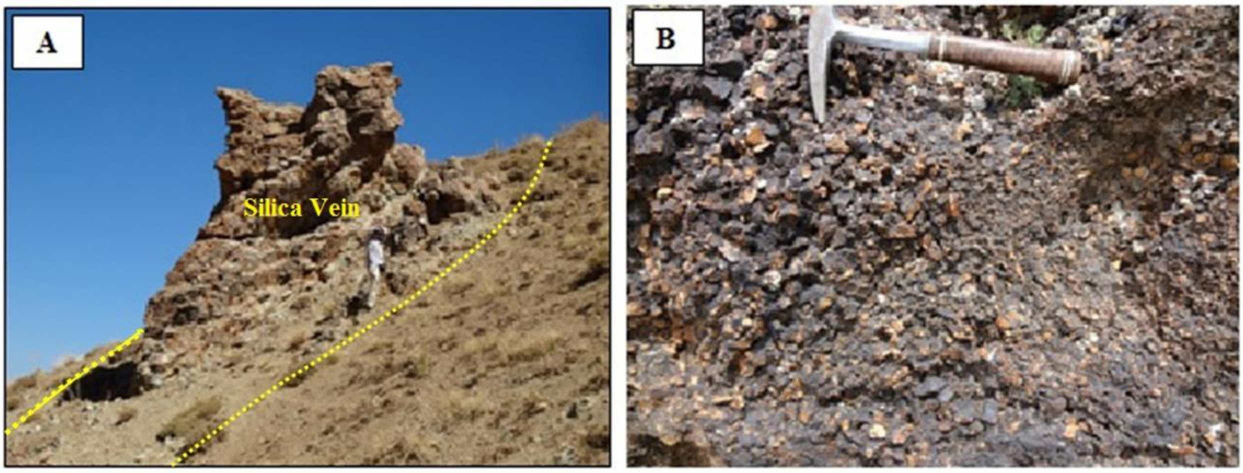
گدازه‌های توالی آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن دارای سرشت کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا هستند و در نمودارهای عنکبوتی، غنی‌شدگی از LILEها، به‌همراه آنومالی منفی در HFSEها را نشان می‌دهند (Rahmati, 2015). این ویژگی‌ها از ویژگی‌های ماگماهای وابسته به پهنه‌های فرورانش هستند. همچنین، در نمودارهای شناسایی پهنه زمین‌ساختیِ 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، گونهٔ 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- گرانبها: رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی با کانی‌سازی مس، سرب، روی، طلا و نقره، گونهٔ فراگیر و اصلیِ 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

میان‌لایه‌های نازک سیلت‌سنگ و شیل و گاه گدازه‌های بازالتی تا آندزیت بازالتی است. بیشتر این رگه‌ها دارای روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری هستند. بیشترین کانی‌سازی در این رگه‌ها مسِ سولفیدی و اکسیدی است که در برخی رگه‌ها با کانی‌سازی سرب و روی همراهی می‌شود.



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 برشی‌شده با آغشتگی‌های هیدروکسیدهای آهن

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

بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که رگه‌های کانه‌زایی مس (± طلا) در بخش‌های مرکزی و کم ارتفاع هستند؛ اما رگه‌های با کانی‌سازی Pb-Zn در کنارهٔ 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 دستی؛ کانه‌های کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن را می‌توان درون آنها شناسایی کرد.

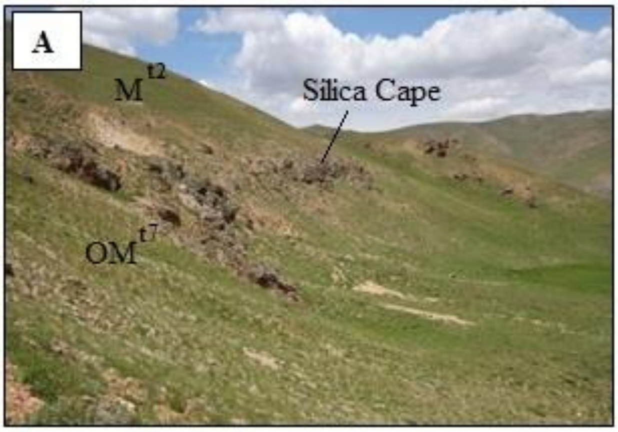
در بخش‌های حاشیه‌ای محل تمرکز رگه‌های کوارتزی، پهنه‌های سیلیسی‌شده جایگزین رگه‌های کوارتزی می‌شوند. در این پهنه‌ها، نشانه‌های کانی‌سازی مس نیز ضعیف‌تر دیده می‌شوند. ستبرای رگه‌های کوارتزی از ۰/۵ تا ۲

متر بوده و درازای رخنمون آنها تا ۳۰۰ متر نیز می‌رسد. همچنین، پهنه‌های سیلیسی‌شده را 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 پرانتز نوشته شده‌اند)

ردیف	شماره رگه و پهنه سیلیسی	توصیف ماکروسکوپی (همراه با امتداد)	طول تقریبی (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 برشی‌شده با کانی‌سازی مس (کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت) (50/280)	50	1
۴	SZ4	پهنه سیلیسی درون توف‌ها با رگچه‌های کوارتزی و کانی‌های سولفیدی اکسیدشده	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

(ب) کلاهک‌های سیلیسی: شکل دوم کانی‌سازی‌های در منطقه آغاتاق عبارت است از کلاهک‌های سیلیسی که بیشتر در بخش‌های خاوری منطقه بررسی‌شده و روی واحد سنگی ساخته‌شده از تناوب لایه‌های متوسط تا ستبر کریستال‌توف، با میان لایه‌های آندزیتی تا بازالتی (به سن الیگو- میوسن) متمرکز شده‌اند (شکل ۷- A). در بسیاری موارد، کلاهک‌های سیلیسی یادشده حالت برشی داشته و دارای آغشتگی هیدروکسیدهای آهن هستند (شکل ۵- B). این سنگ‌ها به رنگ قهوه‌ای تا سرخ‌رنگ و گاه زرد دیده می‌شوند. کلاهک‌های سیلیسی یادشده، دارای روند شمالی- جنوبی هستند و در برابر رگه‌های کوارتزی، در بلندی‌های بالاتری جای دارند. گویا این کلاهک‌ها بخش بالایی سیستم کانی‌سازی در منطقه آغاتاق باشند. در برخی نقاط، رگه‌های باریتی با ستبرای گوناگون درون کلاهک‌های سیلیسی یادشده دیده می‌شوند (شکل ۷- B). ستبرای رگه‌های باریتی یادشده تا یک متر و درازای رخنمون آنها گاه تا ۵۰ متر نیز می‌رسد. از ویژگی‌های رگه‌های باریتی، نبود کانی‌سازی شناخته‌شدهٔ سولفیدی یا اکسیدی درون آنها بوده و به‌صورت رگه‌های باریتی با خلوص بالا هستند.



شکل ۷- تصویرهای صحرایی از کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): A) نمایی از کلاهک‌های سیلیسی برشی‌شده 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 تجزیه‌ایِ 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 تجزیه‌ایِ 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- گرانبها قرار داد. درکل، 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 تجزیه‌ایِ 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 (۵ - ۷۷ ppb) (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 نشان‌دهندهٔ نبود همبستگی آشکاری میان عنصر طلا با عنصرهای دیگر است (جدول ۴).

جدول ۲- داده‌های تجزیه‌ایِ 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 تجزیه‌ایِ برخی عنصرها در نمونه‌های برداشته‌شده از کلاهک‌های 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	-

طلا با عنصرهای مس، سرب، روی و آرسنیک همبستگی اندکی دارد. عنصر نقره با دو عنصر آنتیموان و مس همبستگی بالایی نشان می‌دهد. شاید این همبستگی را بتوان به حضور

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 تترائدریت- تنانتیت) دانسته شود. از سوی دیگر، مس با عنصرهای سرب و روی همبستگی منفی دارد که می‌توان آن را به 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.

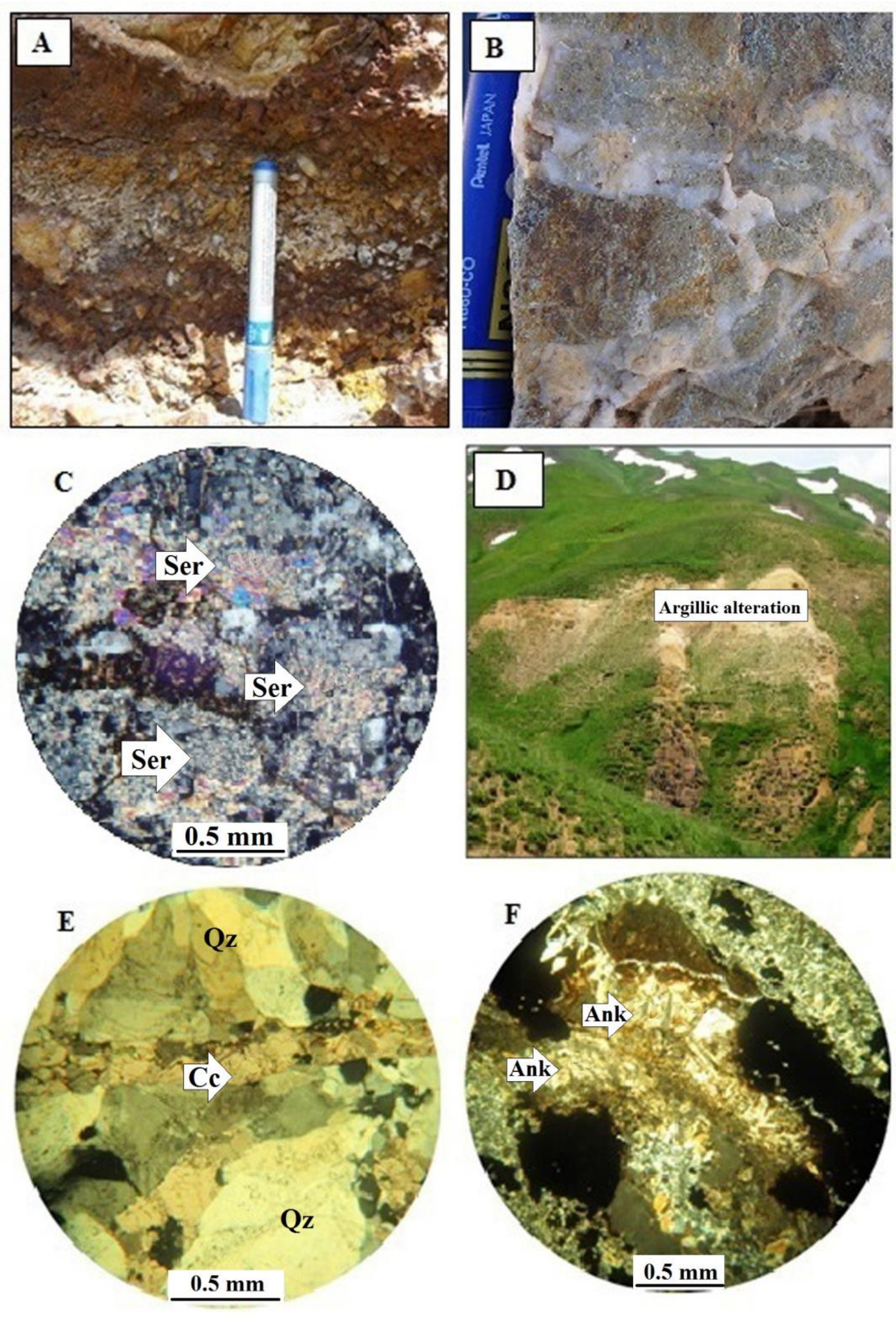
جدول۴- ضرایب همبستگی میان عنصرهای گوناگونِ رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی کانه‌زایی آغاتاق (شمال تکاب)

	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 شناخته‌شدهٔ سیلیسی‌شدن، سریسیتیک، 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 کلاهک‌های سیلیسی دیده می‌شود. رگه‌های کوارتزی یادشده که از کوارتزهای نهان‌بلورین 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 به‌جای سنگ اولیه،رگه- رگچه‌های باریک کوارتزی نیز حضور دارند (شکل ۸- B). کانی‌سازی در این پهنه‌ها، بیشتر در ارتباط با این رگه- رگچه‌هاست. کلاهک‌های سیلیسی که از کوارتزهای نهان‌بلورین و کلسدوئن ساخته شده‌اند، بیشتر برشی‌شده و آغشتگی 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 سریسیتیک در قطعات لیتیک موجود در بخش‌های برش‌شده؛ D) نمایی از دگرسانی آرژیلیک 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: سریسیت؛ Cc: کلسیت؛ Qz: کوارتز؛ Ank: آنکریت؛ نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney و Evans (۲۰۱۰) هستند)

(ب) دگرسانی سریســیتیک: ایـن نـوع دگرسـانی، با وجـود گسـترش کـم، اهمیـت چشـمگیری در منطقـه آغاتـــاق دارد. دگرســـانی سریســـیتیک همـــراه بـــا دگرسانی سیلیسـی، در بخـش‌هـایِ بـا کـانی‌سـازی (در کنارۀ رگـه‌هـای کـوارتزی و پهنـه‌هـای سیلیسـی‌شـده) دیـــده مـــی‌شـــود. در حقیقـــت، ایـــن دگرســـانی دربرگیرنـــده کانـــه‌زایـــی فلزهـــای پایـــه- گرانبهـــای منطقـــه آغاتـــاق اســـت. در هنگـــام رویـــداد ایـــن دگرسانی، پلاژیوکلازهـایِ سـنگ‌هـای میزبـان، بـه‌طـور کامـل بـا سریسـیت جانشـین شـده‌انـد. ازایـن‌رو، در مقطـع‌هـای میکروسـکوپی، سریسـیت‌هـا بـه‌صـورت ورقه‌های ریز تـا کمـابیش درشـت پدیدآمـده از تجزیـه فلدسپارهـا دیـده مـی‌شـوند (شـکل ۸- C). کـانی‌هـای سرشـار از آلـومینیمِ سـنگ‌هـای آذریـن و دگرگـونی (ماننـد فلدسـپارهـا)، هنگـامی‌کـه دچـار هجـوم سـیال‌هـای اسـیدی مـی‌شـوند، هیـدرولیز شـده و بـا مسکوویت ریزبلـور (سریسـیت) جانشـین شـده و ازاین‌رو، چه‌بسا سریسیت‌هـا بـه‌صـورت لکـه‌لکـه و یـا کامل دیده شوند (Shelley, 1993).

(پ) دگرســانی آرژیلیــک: در مقیـاس صـحرایی، گسترش این نـوع دگرسـانی در ارتبـاط بـا سـنگ‌هـای آتشفشـانی اسـت کـه بـا رنـگ زرد آجـری رخنمـون دارد و از دور خودنمـایی مـی‌کنـد (شـکل ۸- D). در برخـی نقـاط، ایـن نـوع دگرسـانی بـا هیدروکسـیدهای آهـن همراهـی مـی‌شـود؛ ازایـن‌رو، رخنمـون‌هـای دگرسانی آرژیلیک تیره‌تـر و بـه رنـگ سـرخ آجـری تـا قهـوه‌ای دیـده مـی‌شـوند. بخـش‌هـایی کـه دچـار دگرسـانی آرژیلیـک شـده‌انـد کـانی‌سـازی ندارنـد. ویژگـی‌هـای صـحرایی نشـان مـی‌دهنـد کـه ایـن دگرسـانی‌هـا در حاشـیه خـاوری سیسـتم کانـه‌زایـی هسـتند و در برابـر دگرسـانی‌هـای دیگـر، در ارتفـاع بالاتری روی داده‌اند.

(پ) دگرســـانی پروپلیتیـــک: دگرســـانی پروپلیتیـک بـا سریسـیتیک، کربنـاتی و کلریتـی‌شـدنِ پلاژیوکلازهـا و کـانی‌هـای مافیـک سـنگ‌هـا شـناخته مـی‌شـود. ایـن دگرسـانی در سـنگ‌هـای میزبـانِ کانـه‌زایـی دیـده مـی‌شـود. ایـن دگرسـانی بـه‌صـورت هالـه‌ای دیگـر، هالـه‌هـای دگرسـانی را دربـر گرفتـه است. نشانه‌های کانـه‌زایـی درون ایـن دگرسـانی دیـده نمی‌شوند.

(ت) دگرســانی کربنـــاتی: رخـــداد دگرســـانی کربنـاتی پیامـد واکـنش میـان سـیال گرمـابی سرشـار از CO_2 و سـنگ دیـواره اسـت (Reed, 1994). ایـن دگرسـانی بـه مقـدار کمتـر در منطقـه رخ داده اسـت. کلسـیت و آنکریـت از محصـول‌هـای اصـلی کربنـاتی‌شـدن هسـتند. ویژگـی‌هـای میکروسـکوپی و نمونـه‌هـای دسـتی نشـان مـی‌دهنـد کـه دگرسـانی کربناتی به‌صورت رگـه- رگچـه‌هـای کربنـاتی تـأخیری (کلسـیت و آنکریـت) بـوده (شـکل‌هـای ۸- E و ۸- F) و مرحلـه‌هـای پیشـینِ کانـه‌زایـی را قطـع کـرده‌انـد. کانی‌سازی آشکاری با این دگرسانی همراه نیست.

کانی‌شناسی، ساخت و بافت و مراحل کانه‌زایی

برپایـه بررسـی‌هـای کانـه‌نگـاری انجـام‌شـده روی نمونـه‌هـای بـا کـانی‌سـازی، کالکوپیریـت، پیریـت، گـالن، اسـفالریت، تترائـدریت- تنانتیـت، اسـتیبنیت، کوولیـت، کالکوسـیت، سـروزیت، اسـمیت‌زونیـت، مالاکیـت، آزوریـت و هیدروکسـیدهای ثانویـه آهـن از مهم‌ترین کانه‌ها در رخداد معدنی آغاتاق هستند.

پیریـت گسـترده‌تـرین و فـراوان‌تـرین کـانی سـولفیدی در پوسـته زمـین بـوده و معمـولاً نخسـتین فاز سـولفیدی در نهشـته هـای معـدنی اسـت. ازایـن رو، شـناخت رفتـار و وابسـتگی آن بـا فازهـای همـراه در سـنگ‌هـای پیریـت‌دار بـرای تفسـیر خاسـتگاه و

تحـولات پـس از تـه‌نشست آنهـا ضـروری اسـت (Craig *et al.*, 1993) پیریـت از کانـه‌های سـولفیدیِ منطقـه اسـت کـه بیشـتر درون تکـه‌هـای سـنگی و بـه‌مقـدار کمتـر درون رگـه‌هـای سیلیسـی بـا بافـت دانـه‌پراکنـده، رگچـه‌ای و بازمانـدی دیـده مـی‌شـود. پیریـت در همراهـی بـا کالکوپیریـت، گـالن و اسـفالریت دیـده مـی‌شـود. پیـدایش پیریـت پـیش از کالکوپیریت و حتـی همزمـان بـا آن ادامـه یافتـه اسـت (شـکل ۹- A)؛ امـا تبلـور آن پـیش از گـالن و اسـفالریت بـوده اسـت و درون آنهـا حضـور دارد (شـکل ۹- B). پیریـت بیشـتر دچـار دگرسـانی سـوپرژن شـده و بـا گوتیـت جـایگزین شـده اسـت و بافت بازماندی (Relict texture) نشان می‌دهد.

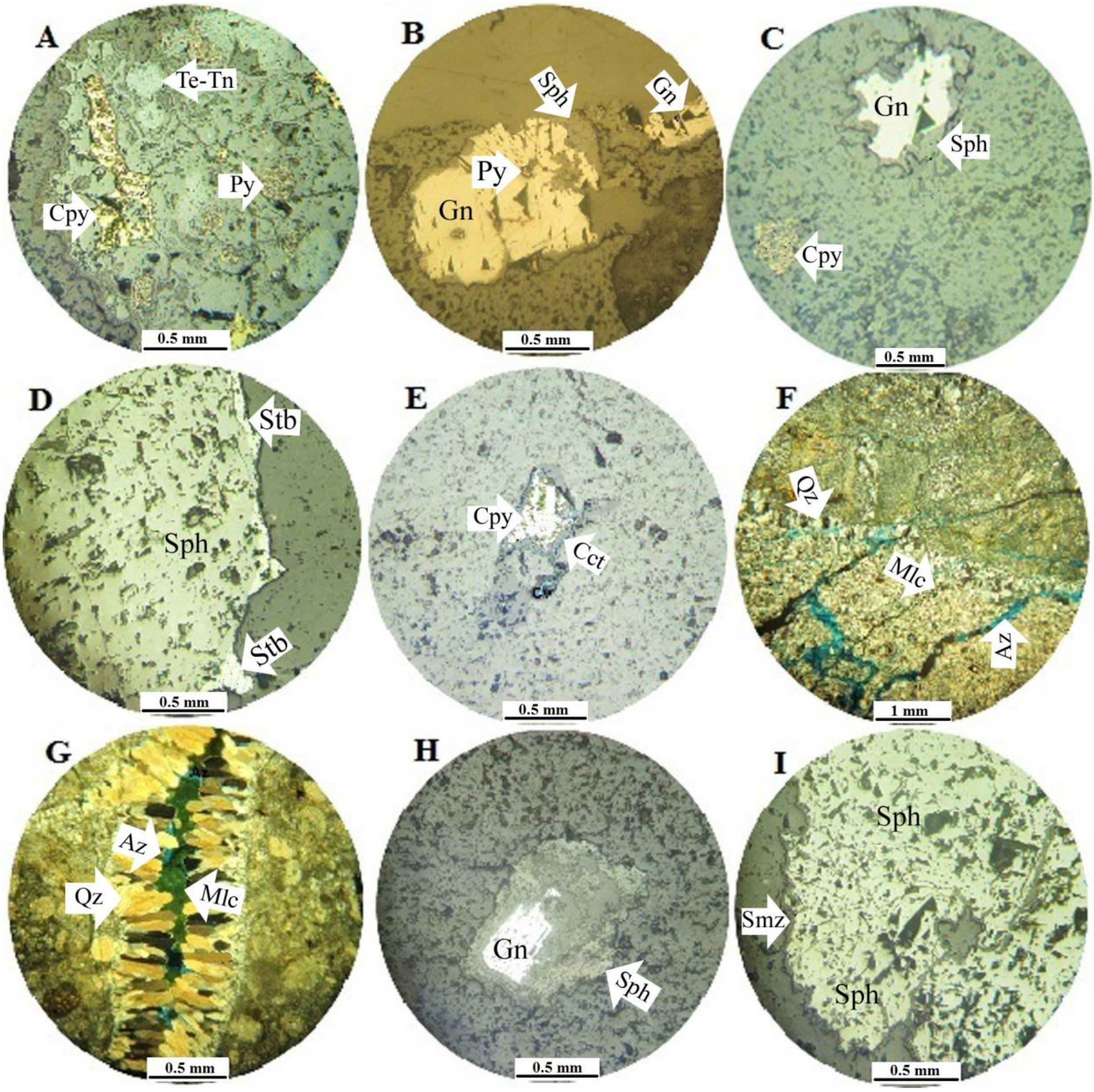
کالکوپیریـت فـراوان‌تـرین کانـه موجـود در کانسـار آغاتـاق اسـت و درون رگـه‌هـای سیلیسـی بـا بافـت دانـه‌پراکنـده، رگچـه‌ای و بازمانـدی دیـده مـی‌شـود. کالکوپیریـت بیشـتر بـه گوتیـت، مالاکیـت، آزوریـت، کالکوسـیت و کوولیـت تجزیـه شـده اسـت. در پـی دگرسـانی کالکوپیریـت، آهـن پـیش از مـس از شـبکه کالکوپیریـت آزاد مـی‌شـود؛ ازایـن‌رو، کنـاره‌هـای کالکوپیریـت بـا کالکوسـیت جـایگزین شـده اسـت. آهن نیز وارد محلول مـی‌شـود و یـا بـه‌صـورت گوتیـت تـه‌نشـین مـی‌شـود (Gaedamini Harouni *et al.*, 2015). فراوانـی گـالن و اسـفالریت کمتـر از پیریـت و کالکوپیریـت اسـت. گـالن در انـدازه‌هـای کوچـک تـا نزدیک به ۲ mm، بـه‌صـورت بلورهـای نیمـه‌خودشـکل بـا رخ آشـکار دیـده مـی‌شـود. اسـفالریت نیـز در همراهـی بـا گـالن و معمـولاً در کنـاره‌هـای گـالن، بـه‌صـورت بلورهـای نـاخودشـکل دیـده مـی‌شـود (شـکل‌هـای ۹- B و ۹- C). ایـن پدیـده نشـان‌دهنـدهٔ تبلـور اسـفالریت پـش از گـالن اسـت. تترائـدریت- تنانتیـت از سولفوسـالت‌هـای مـس هسـتند کـه بـه‌صـورت بلورهـای ریـز درون پیریـت و کالکوپیریـت دیـده مـی‌شـوند (شـکل ۹- A). ایـن پدیـده نشان‌دهندهٔ اینسـت کـه پیـدایش ایـن کـانی‌هـا پـیش از کالکوپیریت و پیریت و حتـی همزمـان بـا آنهـا بـوده اسـت. تمرکـز آنهـا در بخـش‌هـای گـوتیتی کالکوپیریـت‌هـا بیشـتر دیـده مـی‌شـود. در کانسـار آغاتـاق، اسـتیبنیت فراوانـی کمتـری دارد و بیشـتر در کناره‌های اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۹- D).

کـوارتز کـانی باطلـه اصـلی در رخـداد کانـه‌زایـی آغاتـاق اسـت. کوارتزهـا معمـولاً بـه‌صـورت بلورهـای نیمـه‌شـکل‌دار تـا بـی‌شـکل روشـن، سـفید و یـا خاکسـتری‌رنـگ در رگـه- رگچـه‌هـای کـوارتزی و سیمان گرمـابی بِـرش‌هـا دیـده مـی‌شـوند (شـکل‌هـای ۸- A، ۸- B، ۸- C، ۹- F و ۹- H). کلسـیت و آنکریـت از دیگـر کـانی‌هـای باطلـه رگـه‌هـای و پهنـه‌هـای کانـه‌زایـی هسـتند کـه بـه مقـدار انـدک و بـه‌صـورت رگچـه‌هـای کلسـیتی- آنکریتـی تـأخیری دیده می‌شوند (شکل‌های ۸- E و ۸- F).

کالکوسـیت و کوولیـت از کـانی‌هـای سـولفیدی ثانویـه و بـرون‌زاد هسـتند کـه از تجزیـه کـانی‌هـای سـولفیدی نخسـتین مـس پدیـد آمـده‌انـد. در نمونـه‌هـای بررسـی‌شـده، کالکوپیریـت بـه درجـات متغیری بـه کالکوسـیت و کوولیـت تجزیـه شـده اسـت. جانشـینی بـه کالکوسـیت و کوولیـت از حاشـیه و مـرز کانه‌هـا روی داده اسـت (شـکل ۹- E). همـان‌گونـه‌کـه پیشـتر گفتـه شـد، در هنگـام هـوازدگی سـوپرژن کالکوپیریـت، آهـن پـیش از مـس از شـبکه کالکوپیریـت آزاد مـی‌شـود؛ ازایـن‌رو، کالکوپیریـت در کنـاره‌هـا بـا کالکوسـیت جـایگزین شـده و آهـن نیـز وارد محلول می‌شود.

بخشـی از مـس آزادشـده از شـبکه کالکوپیریـت نیـز بـه‌صـورت مالاکیـت و آزوریـت در بخشـی از

کانه‌زایی که کربنات دارد، نهشته می‌شود (Gaedamini Harouni *et al.*, 2015). مالاکیت و آزوریت از کانی‌های سوپرژنی هستند که بیشتر درون تکه‌های سنگی و نیز درون شکستگی‌ها و فضای میان بلورهای کوارتزهای شانه‌ای دیده می‌شوند (شکل‌های ۹- F و ۹- G).



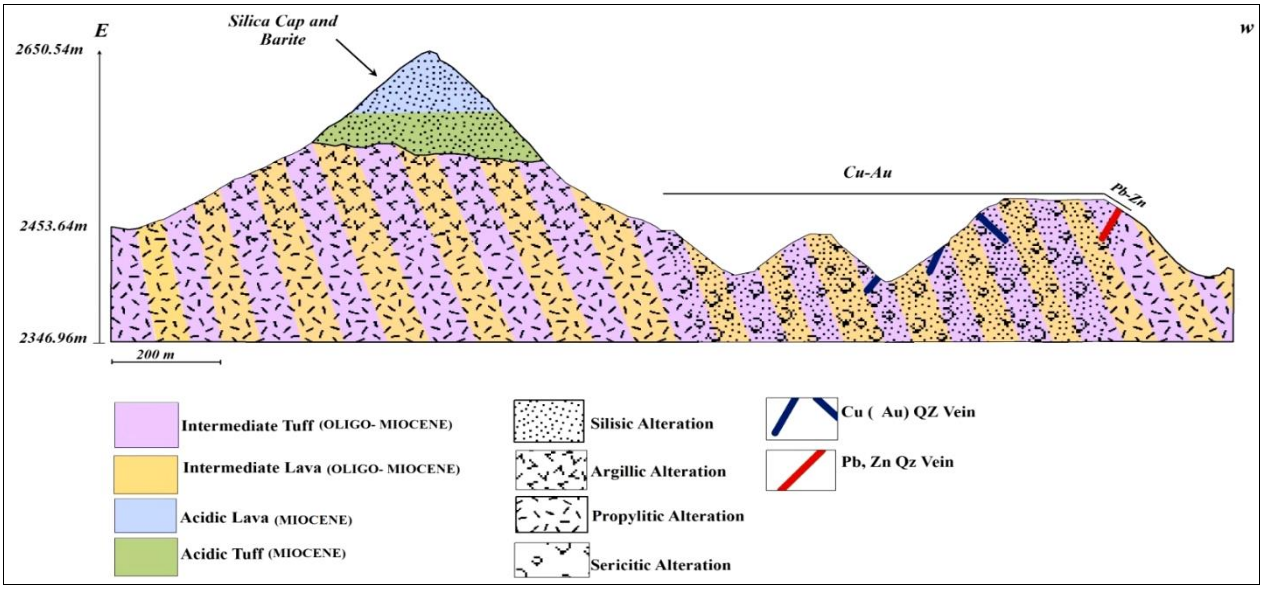
شکل ۹- تصویرهای میکروسکوپی از کانه‌زایی آغ‌اتاق (شمال تکاب): A) به‌جامانده‌های پیریت و کالکوپیریت به‌همراه تترائدریت/ تنانتیت درون گوتیت؛ B) همراهی پیریت با گالن و اسفالریت؛ C) اسفالریت در کنارهٔ گالن؛ D) استیبنیت در کنارهٔ اسفالریت؛ E) کالکوسیت و کوولیت در کنارهٔ کالکوپیریت؛ F) رگه و رگچه‌های مالاکیت و آزوریت درون شکستگی‌های پهنه سیلیسی‌شدهٔ ساخته‌شده از کوارتزهای ریزبلور؛ G) مالاکیت و آزوریت درون کوارتزهای شانه‌ای؛ H) سروزیت در کنارهٔ گالن؛ I) اسمیت‌زونیت در کنارهٔ اسفالریت (تصویرها در نور انعکاسی یک‌بار پلاریزه هستند) (Py: پیریت؛ Cpy: کالکوپیریت؛ Te- Tn: تترائدریت- تنانتیت؛ Gn: گالن؛ Sph: اسفالریت؛ Stb: استیبنیت؛ Smz: اسمیت‌زونیت؛ Mlc: مالاکیت؛ Az: آزوریت؛ Cv: کوولیت؛ Cct: کالکوسیت؛ نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney و Evans (۲۰۱۰) 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 فیلیک به‌صورت چشمگیر دیده شده و پیامد بالابودن غلظت CO_2 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 سروزیت و اسمیت‌زونیت جایگزین شده‌اند (شکل‌های ۹- H و ۹- I). در پی دگرسانی سوپرژن کانی‌های سولفیدی نخستین، به‌ویژه پیریت و کالکوپیریت، هیدروکسیدهای ثانویهٔ 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 مرحلهٔ پیش از رویداد کانه‌زایی همان مرحله برشی- سیلیسی است. در این مرحله، سنگ نخستین با سرشت توفی و گاه گدازه‌ای دچار فشار سیال‌های گرمابی شده و برشی شده است. سپس محلول گرمابی درون آن تزریق شده و رگه‌های کوارتزی با بافت شانه‌ای و کوکاد را ساخته است. هم‌زمان با این مرحله، کلاهک‌های سیلیسی نیز در بالاترین تراز ارتفاعی پدید آمده‌اند. امروزه این کلاهک‌های سیلیسی در کنارهٔ خاوری منطقه دیده می‌شوند.

مرحله دوم کانه‌زایی همان مرحله برشی- سیلیسی- سولفیدی (مرحله کانه‌زایی) است. در این مرحله، در پی پیدایش رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی مرحلهٔ نخست، مسیرهای گذر سیال‌ها بسته‌شده و فشار سیال‌های گرمابی افزایش یافته و فراوانی شکستگی‌ها و برشی‌شدن بیشتر شده است. همراه با این فرایند، کانه‌زایی سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، تترائدریت- تنانتیت، گالن، اسفالریت و استیبنیت) درون رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی‌شده پدید آمده است. همان‌گونه‌که 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). استیبنیت 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). همان‌گونه‌که پیشتر گفته شد، این همبستگی شاید پیامد همراهی این عنصرها در شبکه کانی‌های سولفوسالتی (مانند: تترائدریت) است. ستبرای رگه‌های کوارتزی و پهنه‌های سیلیسی یادشده تا ۷ متر می‌رسد. افزون‌براین، تنش پدیدآمده از فشار سیال‌های گرمابی در این مرحله، برشی‌شدن کلاهک سیلیسی در مرحله اول را در پی داشته است. مرحله سوم کانه‌زایی عبارت از رگه- رگچه‌های تأخیری کوارتزی- باریتی- کربناتی است که رگه‌ها و بِرش‌های گرمابی مراحل پیشین را قطع کرده‌اند. در این مرحله، هیچگونه کانی‌سازی سولفیدی روی نداده است.

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، سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن به‌صورت رگه-رگچه‌ای، جانشینی و پُرکننده فضاهای خالی را در پی داشته است. برپایه بررسی‌های صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی، توالی پاراژنزی کانه‌ها، کانی‌های باطله، دگرسانی‌ها و بافت‌هایِ کانه‌زایی منطقه آغاتاق را می‌توان در جدول ۵ نشان داد.



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

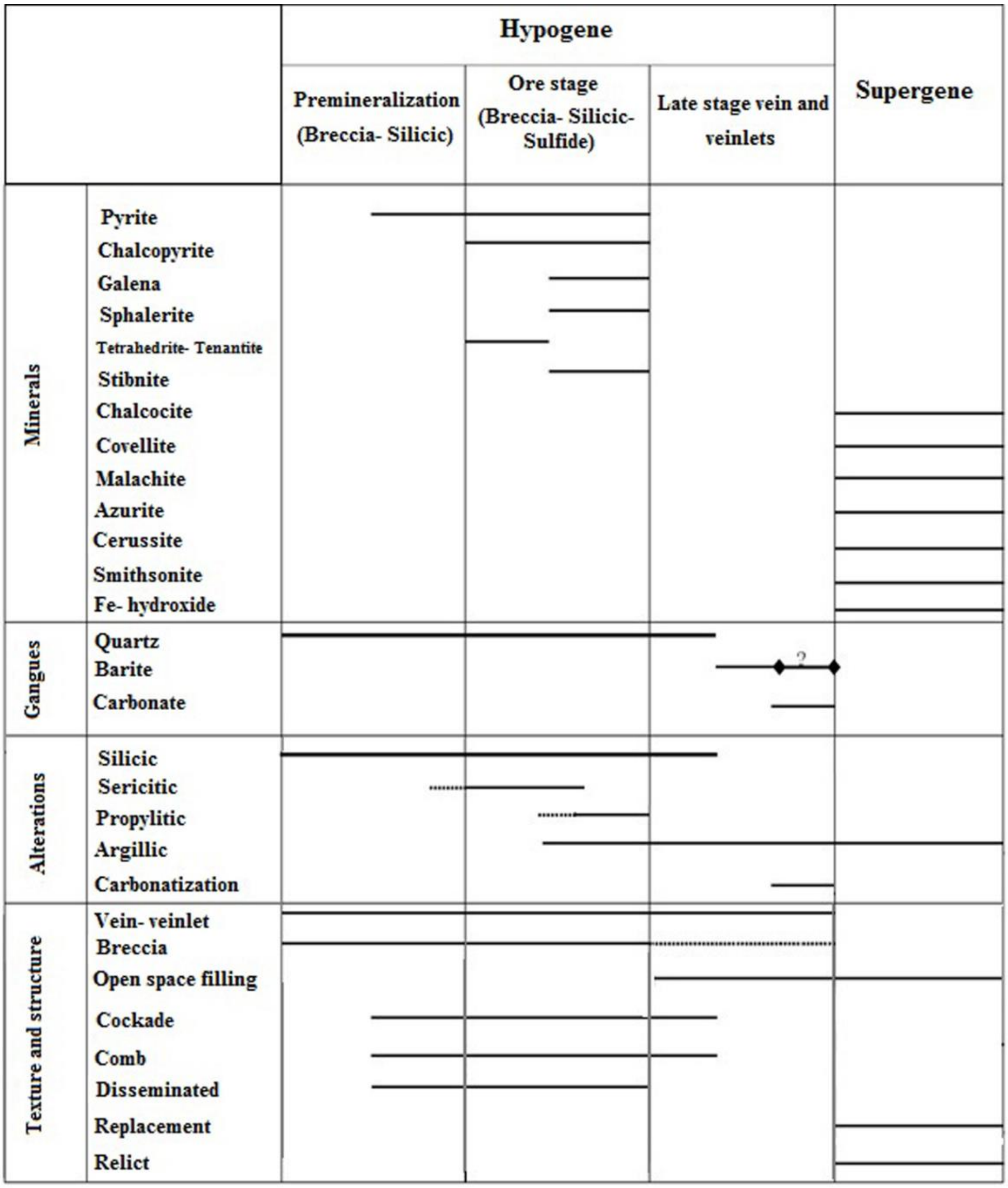
تیپ و خاستگاه کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبها در رخداد کانه‌زایی آغاتاق

شناسایی نوع کانه‌زایی در هر کانسار در پیجویی و اکتشاف تفصیلی اهمیت بسیاری دارد. از دیدگاه ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی گرمابی، 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 گرمابی به سه رده 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.

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



بحث و نتیجه‌گیری

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

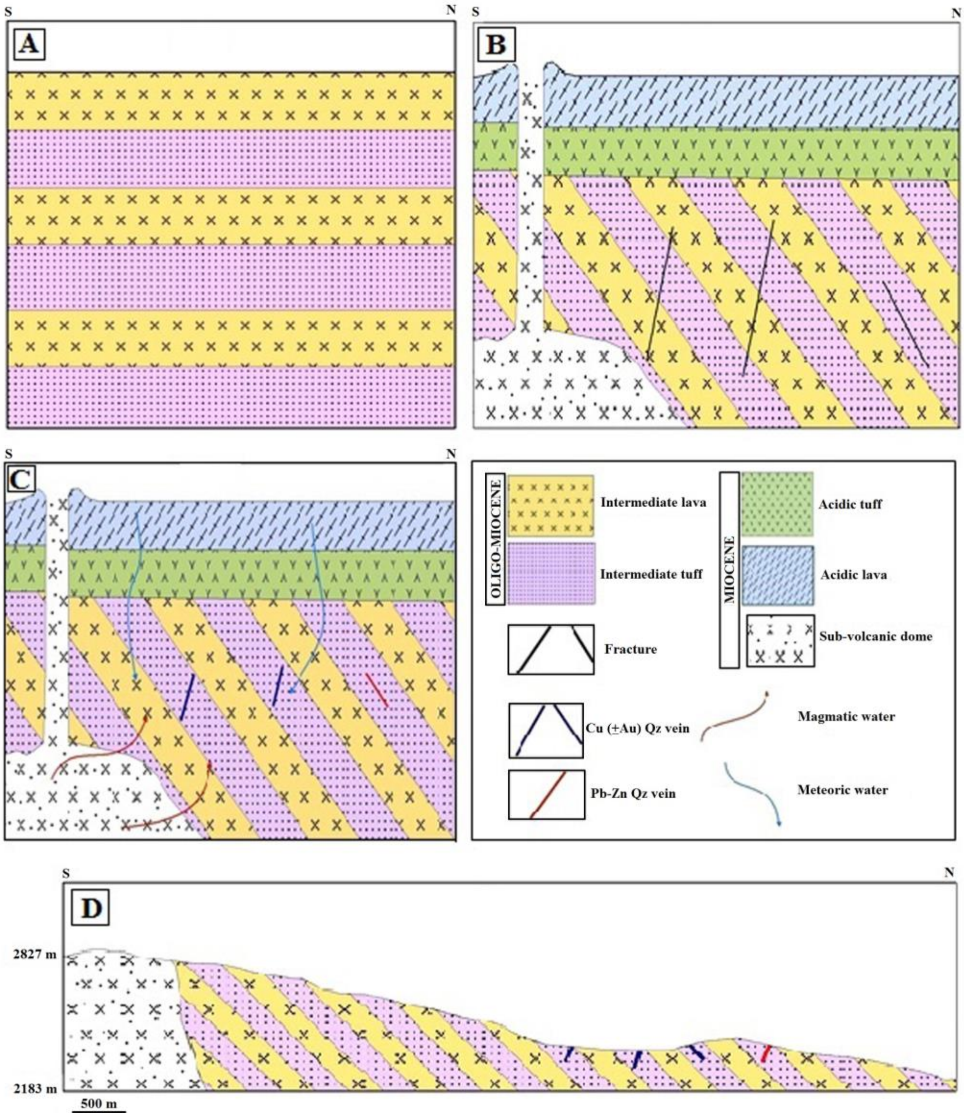
جدول۶- مقایسه کانه‌زایی فلزهای پایه- گرانبهای آغاتاق (شمال تکاب) با کانسارهای اپی‌ترمال گوناگون

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

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 گرمابی، فشار سیال‌ها افزایش و شکستگی‌ها گسترش یافته و برش‌های گرمابی در منطقه آغاتاق پدیده 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 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.

درکل، برپایه بررسی‌های صحرایی،

میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی می‌توان دریافت که کانه‌زایی در منطقه آغاتاق در چند مرحلهٔ پیوسته روی داده است. بدین‌گونه، در هنگام فعالیت‌های ماگمایی الیگو- میوسن، سنگ‌های آتشفشانی- رسوبیِ این منطقه (با سرشت حد واسط- بازیک) و مناطق همسایه پدید آمده‌اند (شکل ۱۱- A).



شکل ۱۱- مرحله‌های پیدایش کانه‌زایی منطقه آغاتاق (شمال تکاب): A) پیدایش سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی الیگو- میوسن با ترکیب بازیک- 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 گرمابی جداشده از توده نفوذی اسیدی و همچنین، گرم‌شدن سیال‌های جوی در همسایگی با تودهٔ یادشده در حال سردشدن، پیدایش کانه‌زایی منطقه آغاتاق در راستای شکستگی‌هایِ 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

در ادامه، در پی رخدادهای کوهزایی میوسن پایانی و همچنین، ماگماتیسم جوان‌تر میوسن (Mehrabi *et al.*, 1999)، به‌صورت گنبد آتشفشانی در جنوب منطقه بررسی‌شده، سنگ‌های آتشفشانی- رسوبیِ الیگو-

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 منطقهٔ بررسی‌شده دیده می‌شوند (شکل ۱۱- B). در پی سردشدن ماگمای اسیدی در آشیانهٔ ماگمایی نزدیک به سطح، سیال‌های گرمابی از این توده جدا شده‌اند. این سیال‌ها در همراهی با سیال‌های جویِ 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- سریسیت، حضور کانی‌های کربناته و باریت در بخش باطله کانسنگ، رخداد کانی‌زایی به‌صورت رگه- رگچه‌ای و برشی با ساخت و بافت‌های کوکاد، شانه‌ای 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 میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار می‌تواند بسیار سودمند باشد.

داده‌های تجزیه شیمیایی نشان می‌دهند که همه 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. ازاین‌رو، 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 تعمیم یافته‌های به‌دست آمده از آنها به مناطق مشابه در منطقه تکاب- تخت‌سلیمان- 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 صحرایی 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 پربارترشدن بیشتر این نوشتار شده‌اند، بسیار سپاس‌گزار هستند.

منابع

Aghanabati, A. (2005) Grology 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 mineralizationin 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 epitermal gold deposite of Agdarreh, Takabe 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 SRHDG 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 mineralography 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, geocronology, 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 Achenn 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 migling 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 epitermal 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 kenitics 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.