

## کانی‌شناسی و مجموعه‌های دگرسانی سامانه کانه‌سازی بغم، جنوب اردستان

مهشید کریم‌آبادی<sup>۱\*</sup>، غلامحسین شمعانیان<sup>۲</sup>، هادی عمرانی<sup>۲</sup>، مسلم آقایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

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

<sup>۳</sup> دانش آموخته دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mahshidkarimabadi79@gmail.com

### چکیده

سامانه کانه‌سازی بغم در ۲۶ کیلومتری جنوب اردستان و در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه - دختر واقع شده است. کانی‌سازی در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری حدواسط تا اسیدی ائوسن بالایی به‌صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و برش گرمایی رخ داده و شامل دو نسل متمایز کوارتز همراه با پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت است. دگرسانی گرمایی در این سامانه شامل مجموعه‌های سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی است که به‌صورت جانشینی و آکندگی شکافی-حفره‌ای ایجاد شده و شدت آن‌ها در مجاورت رگه‌ها افزایش می‌یابد. کوارتز، اپیدوت، کلریت، سریسیت، ایلیت و کلسیت از مهم‌ترین کانی‌های شناسایی شده در این مجموعه‌ها است. بر پایه شواهد کانی‌شناسی و دگرسانی، محلول‌های گرمایی در سامانه کانه‌سازی بغم دارای دامنه دمایی ۱۰۰ °C تا ۳۰۰ pH و خنثی تا کمی اسیدی بوده که در طی سرگذشت خود دستخوش فرآیندهای سردشدگی و جوشش شده است.

**کلیدواژه‌ها:** کانه‌سازی، مجموعه دگرسانی، جانشینی، آکندگی شکافی، اردستان

## Mineralogy and alteration assemblages of the Bagham mineralization system, South of Ardestan

M. Karimabadi<sup>1\*</sup>, G.H. Shamanian<sup>2</sup>, H. Omrani<sup>2</sup>, M. Aghaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Golestan University  
mahshidkarimabadi79@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of sciences, Golestan University

<sup>3</sup> Ph.D. graduate in Economic Geology, Faculty of sciences, Tarbiat Modares University

### Abstract

The Bagham mineralization system is located 26 km south of Ardestan, within the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt. Mineralization occurs within Upper Eocene intermediate to acidic volcanic and pyroclastic rocks in the form of veins, veinlets, and hydrothermal breccias. It comprises two distinct generations of quartz associated with pyrite, chalcopyrite, and chalcocite. Hydrothermal alteration includes silicic, sericitic, propylitic, and argillic assemblages, formed through replacement and fracture-vug filling, with intensity increasing in proximity to the veins. Quartz, epidote, chlorite, sericite, illite, and calcite are the main identified minerals within the alteration zones. Based on mineralogical and alteration evidence, hydrothermal fluids in the Bagham mineralization system had temperatures ranging from 100 to 300 °C and neutral to slightly acidic pH, undergoing cooling and boiling processes during their evolution.

**Keywords:** Mineralization, Alteration assemblage, Replacement, fracture-filling, Ardestan

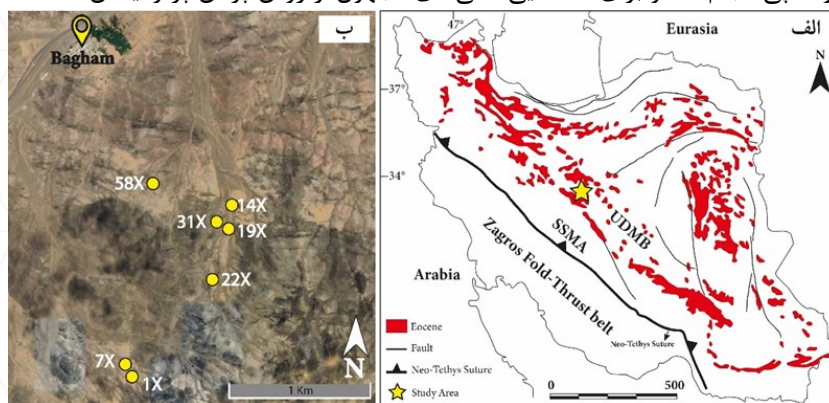
## ۱- مقدمه

دگرسانی گرمابی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مرتبط با کانی‌سازی در سامانه‌های گرمابی است که بر اثر برهمکنش محلول‌های گرمابی با سنگ دیواره رخ می‌دهد (Hedenquist & Lowenstern, 1994; Pirajno, 2009). بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمابی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره دما، فشار و pH محلول‌های گرمابی فراهم آورد (Sillitoe, 2010). شناسایی زون‌های دگرسانی گرمابی نه تنها در تفسیر شرایط فیزیکوشیمیایی سامانه‌های کانه‌سازی کاربرد دارد بلکه می‌تواند در اکتشاف زون‌های کانه‌سازی به‌ویژه در کانسارهای رگه‌ای Cu-Au مورد استفاده قرار گیرد (Hezarkhani, 2006; Richards, 2013).

سامانه کانه‌سازی بغم با موقعیت جغرافیایی  $33^{\circ} 10' 15''$  عرض شمالی و  $52^{\circ} 17' 52''$  طول شرقی در فاصله ۲۶ کیلومتری جنوب اردستان واقع شده است. این سامانه، بخشی از چهارگوش زمین‌شناسی اردستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ بوده (رادفر و امینی چهرق، ۱۳۷۸) که از دیدگاه ساختاری در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر (UDMB) قرار دارد (شکل ۱ الف). بررسی‌های اکتشافی در این سامانه از سال ۱۳۹۹ توسط شرکت توسعه صنایع و معادن کوثر به انجام رسیده است. در این مقاله، کانی‌شناسی مجموعه‌های دگرسانی و منطقه‌بندی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و بر پایه این اطلاعات درباره شرایط کانه‌سازی و ویژگی‌های محلول‌های گرمابی اظهار نظر شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمابی در سامانه کانه‌سازی بغم در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی به انجام رسید. در بخش صحرایی، تغییرات ریخت‌شناسی و کانی‌شناختی زون‌های کانه‌سازی و دگرسانی گرمابی بررسی شد و نمونه‌برداری از رگه‌ها، زون‌های دگرسانی و سنگ دیواره به عمل آمد. موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها و توصیف ماکروسکوپی آن‌ها در صحرای انجام شد و موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه به نمایش درآمد (شکل ۱ ب). در بخش آزمایشگاهی، مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی به روش‌های مرسوم میکروسکوپی انجام شد و برای شناسایی کانی‌های مجهول از روش پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد.



شکل ۱ الف) موقعیت سامانه کانه‌سازی بغم (ستاره توپر) در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر (با اصلاحات از Agard et al., 2011)، ب) موقعیت نمونه‌های کانی‌شناسی (دایره توپر) به روش پراش اشعه ایکس (XRD).



### ۳- بحث

#### زمین‌شناسی و کانی‌سازی

سامانه کانه‌سازی بغم از نظر زمین‌شناسی بخشی از کمربند ماگمایی ارومیه-دختر است. این کمربند ماگمایی در راستای شمال غرب-جنوب شرق گسترش یافته و از سنگ‌های آذرین ائوسن و جوان تر (Allen and Armstrong, 2008) بر روی پوسته قاره‌ای تشکیل شده است (Babazadeh et al., 2023). در سامانه کانه‌سازی بغم مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی شامل گدازه‌های بازالتی تا آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری داسیتی و ریوداسیتی برونزد دارد (شکل ۲ الف) که توسط توده‌های نیمه آتشفشانی داسیتی و دایک‌های دیابازی تا میکرودیوریتی با دو راستای غالب شمال غربی-جنوب شرقی و شرقی-غربی قطع شده است. بر اساس یگانه‌فر (۱۳۸۶)، سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از نوع کالک‌آلکالن بوده و ویژگی‌های ژئوشیمیایی مرتبط با فرورانش حاشیه فعال قاره را نشان می‌دهد.

کانه‌سازی در سامانه گرمابی بغم به‌طور عمده از نوع شکافه‌پرکن است که به‌صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و برش گرمابی در میزبانی از سنگ‌های آتشفشانی تظاهر داشته و از چند سانتی‌متر تا چند متر در تغییر است (شکل ۲ ب). کانی‌شناسی کانسنگ نسبتاً ساده بوده و به‌طور عمده از کوارتز، پیریت، کالکوپریت و کالکوسیت تشکیل شده است. شواهد بافتی نشانگر تشکیل کوارتز در طی دو نسل مختلف است. کوارتزهای نسل اول (Qtz I) به صورت شکافه‌پرکن در سنگ دیواره تظاهر داشته و رگه‌های اصلی را پدید آورده است. کوارتزهای نسل دوم (Qtz II)، کوارتزهای نسل اول را قطع کرده و فضای خالی بین قطعات سنگی و قطعات کوارتزی را آکنده است. این کوارتزها وجه‌دار تا بی‌وجه بوده و گاه با کلسدونی، اکتینولیت و تورمالین همراهی می‌شوند.

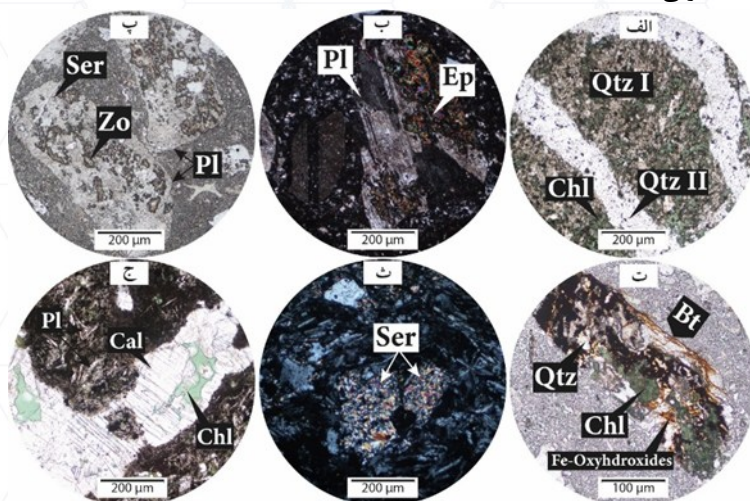
#### دگرسانی گرمابی

کانه‌سازی در سامانه گرمابی بغم با دگرسانی گرمابی همراه است که بر اثر برهمکنش محلول‌های گرمابی با سنگ دیواره پدید آمده و باعث تغییرات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در سنگ دیواره شده است. گسترش زون‌های دگرسانی بسته به ماهیت فیزیکی‌وشیمیایی سنگ دیواره و محلول‌های گرمابی از چند سانتی متر تا چند متر در اطراف زون‌های کانه‌سازی در تغییر است (شکل ۲ پ و ت).



شکل ۲ تصاویر صحرایی از سنگ دیواره (الف)، زون‌های کانی‌سازی (ب) و زون‌های دگرسانی گرمابی (پ، ت) در سامانه کانه‌سازی بغم.

دگرسانی گرمابی در سامانه بغم به دو صورت جانیشینی در بطن کانی‌های قبلی و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌ها رخ داده است. کوارتز، اپیدوت، کلریت، سریسیت، ایلیت و کلسیت از مهم‌ترین کانی‌های شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه است. کوارتز به صورت جانیشینی و آکندگی حفرات در تمام مراحل کانی‌سازی تظاهر داشته و در نزدیکی رگه‌ها از فراوانی بیشتری برخوردار است (شکل ۳ الف). اپیدوت به صورت جانیشینی به جای پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند و نیز آکندگی‌های شکافی و حفره‌ای تظاهر دارند (شکل ۳ ب). زوئیزیت از دیگر فرآورده‌های دگرسانی گرمابی در سامانه بغم است است که اغلب جانشین پلاژیوکلازها شده است (شکل ۳ پ). کلریت نیز به دو شکل شکافه‌پرن و جانیشینی قابل مشاهده است. این کانی همراه با اپیدوت جانشین بیوتیت و پلاژیوکلاز شده است (شکل ۳ ت). سریسیت از محصولات دگرسانی گرمابی است که به طور عمده جانشین درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (شکل ۳ ث)، فلدسپات پتاسیک (سانیدین) و گاه هورنبلند، بیوتیت و زمینه سنگ شده است. کلسیت دارای فراوانی کمتری نسبت به اپیدوت و کلریت است و به صورت آکندگی‌های شکافی-حفره‌ای و جانیشینی تظاهر دارد (شکل ۳ ج). بر اساس شواهد میکروسکوپی، فضاهای خالی باقی‌مانده در سنگ دیواره در مراحل پایانی کانی‌سازی توسط کوارتز و کلسدونی آکنده شده است.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی گرمابی در سامانه کانه‌سازی بغم. الف) تشکیل کوارتز در زمینه سنگ دیواره (Qtz I) و آکندگی‌های شکافی (Qtz II)، ب) اپیدوت به صورت جانیشینی به جای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و آکندگی فضاهای خالی، پ) دگرسانی شدید پلاژیوکلاز به سریسیت و زوئیزیت، ت) دگرسانی بیوتیت به کلریت، ث) دگرسانی پلاژیوکلاز به سریسیت، ج) کلریت و کلسیت به صورت آکندگی شکافی، Qtz I = کوارتز نسل اول، Qtz II = کوارتز نسل دوم، Chl = کلریت، Pl = پلاژیوکلاز، Ep = اپیدوت، Ser = سریسیت، Zo = زوئیزیت، Bt = بیوتیت، Qtz = کوارتز، Cal = کلسیت. (تصاویر الف، پ، ت، ج، در نور عبوری عادی و تصاویر ب و ث در نور عبوری پلاریزه).

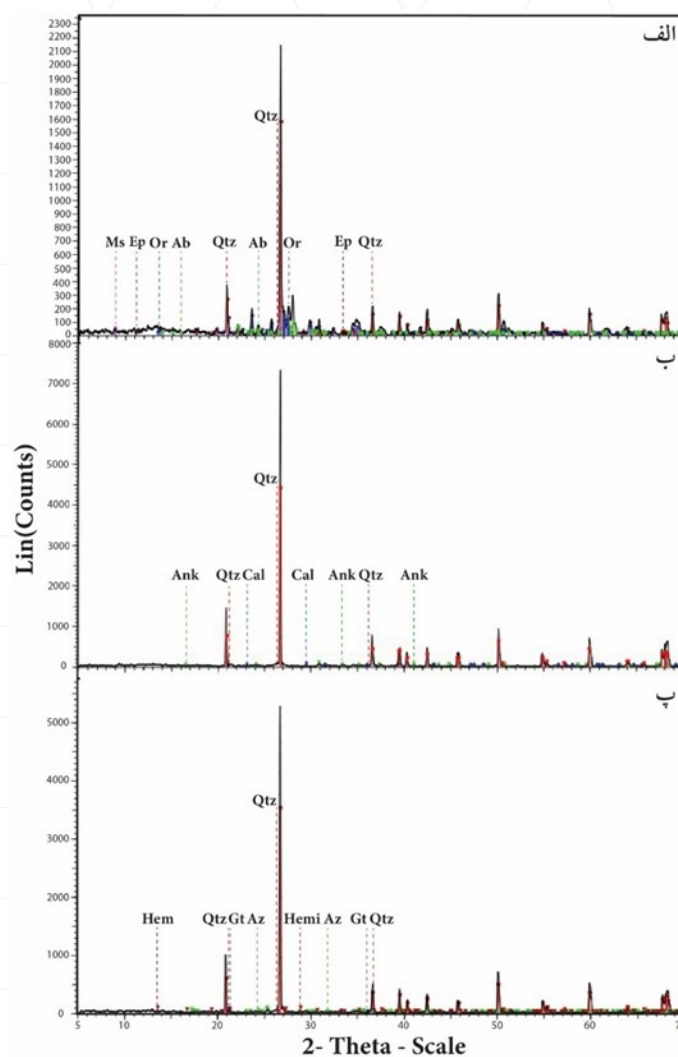
### مطالعات پراش پرتو ایکس

برای شناسایی کانی‌های مجهول در مجموعه‌های دگرسانی، تعداد ۷ نمونه از زون‌های دگرسانی گرمابی انتخاب و در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به روش پراش پرتو ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱ ب). نتایج بدست آمده نشانگر حضور ایلیت، آنکریت و همی‌مورفیت افزون بر کانی‌های دگرسانی معرفی شده در بخش قبل است (جدول ۱).



جدول ۱ نتایج مطالعات کانی‌شناسی به روش پراش پرتو ایکس

شماره نمونه	کانی‌های شناسایی شده
1X	Quartz, Orthoclase, Albite, Illite, Epidote
7X	Quartz, Ankerite, Calcite
14X	Quartz, Albite, Microcline, Illite
19X	Quartz, Epidote, Geothite, Pyrite
22X	Albite, Quartz, Epidote, Hematite
31X	Quartz, Epidote
58X	Quartz, Geothite, Hemimorphite, Azurite



شکل ۴ نمونه‌ای از نمودارهای XRD در این پژوهش. الف) نمونه شماره 1X، ب) نمونه شماره 7X، پ) نمونه شماره 58X. اختصارات: Qtz= کوارتز، Or= ارتوکلاز، Ab= آلبیت، Ms= موسکوویت، Ep= اپیدوت، Ank= آنکریت، Cal= کلسیت، Gt= گوتیت، Hemi= همی مورفیت، Az= آزوریت.

### مجموعه‌های دگرسانی و شیمی محلول گرمابی

مجموعه‌های دگرسانی گرمابی در سامانه کانه‌سازی بغم شامل دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی است که در پیرامون زون‌های کانی‌سازی به دو صورت جان‌شینی و آکندگی شکافی-حفره‌ای رخ داده است. تلفیق یافته‌های این پژوهش به‌طور عمده نشانگر نقش محلول‌های گرمابی خنثی تا کمی اسیدی است که با سامانه‌های اپی‌ترمال نوع کم‌سولفید همخوانی دارد (White & Hedenquist, 1995). دگرسانی پروپیلیتی در فاصله نسبتاً دور از زون‌های کانی‌سازی گسترش دارد. فراوانی اپیدوت و کلریت در مجموعه دگرسانی پروپیلیتی پیشنهاد دهنده شرایط خنثی و دمای بالاتر از  $200^{\circ}\text{C}$  برای محلول گرمابی است (Arribas, 1995) (شکل ۵). با این حال، حضور کلسیت در این مجموعه که از فراوانی کمتری برخوردار است می‌تواند معرف شرایط دمایی  $100^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  و pH قلیایی باشد. دگرسانی سریستی در نزدیکی زون‌های کانی‌سازی تظاهر دارد. حضور ایلیت و سریسیت در این مجموعه بیانگر شرایط خنثی تا کمی اسیدی و دمایی بیش از  $200^{\circ}\text{C}$  است. سیلیسی شدن سنگ دیواره یکی از رخداد‌های مهم دگرسانی در سامانه بغم است که بیانگر شرایط اسیدی و دمای بالاتر از  $100^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. دگرسانی رسی به‌صورت لیتوکپ‌هایی پراکنده‌ای تظاهر دارد که بر اثر میعان بخارات داغ اسیدی ناشی از جوشش پدید آمده‌اند.



شکل ۵ محدوده pH و دمای پایداری کانه‌های حاصل از دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه بر اساس White & Hedenquist (1995)

### ۴- نتیجه‌گیری

سامانه کانه‌سازی بغم یک سامانه گرمابی اپی‌ترمال است که با کانی‌سازی فلزات پایه و گران‌بها مشخص می‌شود. این سامانه با مجموعه‌های دگرسانی‌های سیلیسی، سریسیتی، پروپیلیتی و رسی همراه است که در اطراف زون‌های کانی‌سازی توسعه یافته‌اند. بررسی این مجموعه‌ها منجر به تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی محلول‌های گرمابی در این سامانه شد که می‌تواند در درک فرآیندهای کانی‌سازی و ارزیابی‌های اکتشافی بکار رود. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که محلول‌های گرمابی در نزدیکی زون‌های کانی‌سازی از شرایط pH اسیدی تا خنثی برخوردار بوده و باعث رخداد دگرسانی‌های سیلیسی و سریسیتی شده است. در بخش‌های دورتر از زون‌های کانی‌سازی، برهمکنش محلول‌های گرمابی با سنگ‌های آندزیتی منجر به افزایش pH و تشکیل دگرسانی پروپیلیتی شده که با فراوانی اپیدوت و کلریت مشخص می‌شود. به‌طور کلی، محلول‌های گرمابی در سامانه کانه‌سازی بغم با دامنه دمایی  $100^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  و pH خنثی تا کمی اسیدی کانی‌سازی کرده و دستخوش فرآیندهای سردشدگی و جوشش شده است.

## ۵- مراجع

- رادفر، ج.، امینی چهرق، م.ر.، امامی، م.ه.، ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یگانه‌فر، ح.، ۱۳۸۶. ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب اردستان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., and Wortel, R. (2011). Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine* 148, 692-725. <https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>.
- Allen, M. B., and Armstrong, H. A. (2008). Arabia–Eurasia collision and the forcing of mid–Cenozoic global cooling, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 265, 52-58.
- Arribas Jr., A. (1995). Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. *Mineralogical Association of Canada short course* 23, 419-454.
- Babazadeh, S., Haase, K., Ghalamghash, J., Regelous, M., Poujol, M., Raeisi, D., & Zhao, M. (2023). Magmatic evolution of the migrating central Urumieh-Dokhtar arc, Iran: Implications for magma production. *International Journal of Earth Sciences*, 112, 1577-1597. <https://doi.org/10.1007/s00531-023-02314-5>.
- Hedenquist, J. W., & Lowenstern, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370, 519-527.
- Hezarkhani, A. (2006). Controls of alteration and mineralization in the sungun porphyry copper deposit, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(3), 326-338.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer.
- Richards, J. P. (2013). Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes. *Nature Geoscience*, 6, 911-916.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1995). Epithermal gold deposits: Styles, Characteristics, and exploration. *SEG Newsletter*, 23, 1, 9 – 13.