

# مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی کانسار مس پورفیری بارملک (شمال ورزقان-استان آذربایجان شرقی)

علیرضا روان‌خواه<sup>(۱)</sup>، محسن مؤید<sup>(۲)</sup> و علی لطفی‌بخش<sup>(۳)</sup>

۱. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۷

## چکیده

گستره اکتشافی بارملک در شمال غرب کشور، استان آذربایجان شرقی و شمال شرق شهرستان ورزقان قرار دارد. رخنمون‌های شمالی منطقه شامل سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن و توده‌های نفوذی کوارتز مونزونیت پورفیری الیگوسن می‌باشند که خود توسط دایک‌های نسل اول و دوم غیر مینرالیزه قطع می‌شوند. در ادامه به سمت شمال، توده نفوذی با نهشته‌های کربناته-فیلیسی کرتاسه فوقانی-پالئوسن همبری دارد. علاوه بر این تزریق دم‌های ساب‌ولکانیک داسیتی و فوران‌های بازالتی آلکالن پلیو-کواترنر نیز در منطقه انجام شده است. توده پورفیری کیکال در ادامه به سمت جنوب غرب به منطقه بارملک می‌رسد. دگرسانی‌های گرمایی فیلیک، پروپیلیتیک و آرژلیک در این توده شناسایی شده‌اند ولی به دگرسانی پتاسیک برخورد نشده است و این مسئله نشان می‌دهد که توده بارملک پورفیری، توده مستقلی نبوده و حاشیه توده پورفیری کیکال محسوب می‌شود. بافت غالب در توده پورفیری، پورفیریک با خمیره ریزبلور است و کانی‌سازی به فرم افشان، رگه-رگچه‌ای و پیرکننده سطوح درزه و شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت رخ داده است. میزان پیریت در این توده کم می‌باشد و یکی از دلایل عدم غنی‌شدگی زون سوپرژن همین مسئله است. با توجه به مشاهده کانی‌سازی سرب و روی اغلب به فرم رگه-رگچه‌ای در دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل اول (DK1) و با عنایت به اینکه تزریق این دایک‌ها در سونگون بعد کانی‌سازی بوده است، می‌توان کانی‌سازی سرب و روی را به فرآیندهای اپی‌ترمالی توده نفوذی بارملک نسبت داد که بعد از تزریق دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل اول رخ داده است.

**واژه‌های کلیدی:** دم‌های ساب‌ولکانیک، توده پورفیری بارملک، غنی‌شدگی زون سوپرژن، اپی‌ترمال، ورزقان.

## مقدمه

بارملک، این مناطق از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده و کارهای اکتشافی سطحی متعددی در این مناطق انجام شده است. پژوهش حاضر نتیجه بررسی‌های زمین‌شناسی سطحی و مطالعه مغزه‌های حاصل از حفاری‌های اکتشافی در این گستره و به تعداد پنج حلقه می‌باشد. راه‌های دسترسی به منطقه اکتشافی در شکل ۱ نشان داده شده است.

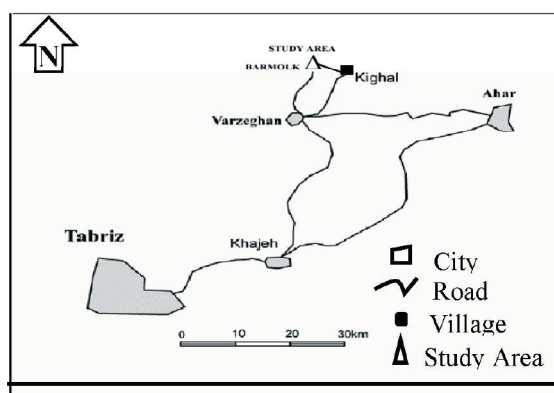
گستره اکتشافی بارملک در شمال غرب کشور، استان آذربایجان شرقی و به فاصله ۱۸ کیلومتری شمال شرق شهرستان ورزقان قرار دارد و در شمال غرب روستای کیکال واقع شده است. به دلیل نزدیکی این منطقه به بخش معدنی سونگون و گسترش دگرسانی گرمایی در مناطق کیکال و

\* نویسنده مرتبط: aravankhah@gmail.com

تشکیل این کانسارها را کنترل می‌کنند (Sillitoe, 1998). ثابت شده است که تشکیل کانسارهای مس پورفیری نه تنها توسط فرآیندهای گرمایی و ماگمایی کنترل می‌شود، بلکه تکتونیک ناحیه‌ای نیز در زمان تشکیل این کانسارها تأثیرگذار است (Sillitoe, 1994; Richards et al., 2001). تشکیل کانسارهای مس پورفیری در قوس‌های ماگمایی کالک‌آلکان محصولی از یک سری فرآیندهای گسترده آب‌گیری صفحه اقیانوسی فرورانده و فرآیندهای (MASH) بعدی در پوسته تحتانی است (Richards, 2005). در مناطق حاشیه فعال قاره‌ای، با توجه به اندرکنش پوسته‌ای قابل توجه، نفوذی‌های آلکان (شوشونیتی) نیز مشاهده می‌شوند (Sillitoe, 2005; Richards, 2005; Richards, 1993, 2000, 1989). اکثر کانسارها در این مناطق در طول گسلی قدیمی قرار گرفته‌اند که تراوایی پوسته‌ای را ایجاد می‌کند. (Richards et al., 2001) Richards (2005) معتقد است که ترکیب سیستم‌های ماگمایی میزبان این کانسارها، فلسیک تا حدواسط کالک‌آلکان می‌باشد که از یک ماگمای مافیک‌تر گوشته‌ای مشتق شده است. همچنین در نفوذی‌های شوشونیتی میزان Au بالا می‌باشد (Sillitoe, 2000). نفوذی‌های میزبان مس پورفیری در شرایط حرارتی  $750-850^{\circ}\text{C}$ ، فشار یک تا دو کیلوبار و عمق معادل  $1/5$  تا چهار کیلومتر جای‌گیری می‌کنند (Guilbert and Park, 1986).

#### روش مطالعه

در این پژوهش ابتدا از نمونه‌های سطحی و نیز از مغزه‌های گمانه‌های حفاری شده توسط شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۰۰ مقطع نازک، ۴۰ مقطع صیقلی و ۱۵ مقطع نازک-صیقلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. در راستای مطالعات مغزه‌های حفاری علاوه بر لاگینگ نمونه‌های دستی و تعیین زون‌های دگرسانی و مینرالیزه و شکل و فراوانی کانی‌سازی در نمونه‌ها، مبادرت به برداشت‌های ساختاری از این مغزه‌ها شده است و نمونه‌های مناسب برای تهیه مقاطع میکروسکوپی و صیقلی انتخاب شده‌اند که نتایج این مطالعات در پژوهش حاضر منعکس شده است. علاوه بر این نتایج آنالیز پنج حلقه گمانه اکتشافی از سوی شرکت پارس اولنگ مورد استناد قرار گرفتند.



شکل ۱. راه‌های دسترسی به گستره اکتشافی بارملک (براساس نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر)

کانسارهای پورفیری از مهم‌ترین منابع مس و مولیبدن در دنیا می‌باشند که حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از تولیدات مس دنیا و بیش از ۹۵ درصد از تولیدات مولیبدن دنیا را بر عهده دارند. کانسارهای مس پورفیری اغلب تناژ بالا، عیار پایین، غیر همزاد و درون‌زاد بوده (Titley and Hicks, 1966) و از نظر زمانی و مکانی در ارتباط با نفوذی‌های نیمه عمیق پورفیری کالک‌آلکان می‌باشند. کانسارهای مس پورفیری را می‌توان محصول سرد شدن سیستم‌های گرمایی مرتبط با نفوذی‌های کم‌عمق جای‌گیر شده در کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی دانست (Zarasvandi et al., 2005). کانسارهای مس پورفیری در ایران منطبق بر نوارهای ولکانو-پلوتونیک ترشیری است و در داخل کمربند تتیس قرار دارند (Waterman and Hamilton, 1975). در ایران سنگ‌های ولکانو-پلوتونیک کالک‌آلکان در کمان ماگمایی ارومیه-دختر، توانائی بالائی در اکتشاف کانسارهای  $\text{Cu}\pm\text{Mo}\pm\text{Au}$  دارند، به طوری که بسیاری از مهم‌ترین کانسارهای مس پورفیری ایران در شمال غرب تا جنوب شرق ارومیه-دختر واقع شده‌اند (Hassanpour et al., 2015; Ayati et al., 2008; Shahabpour, 1999). از نظر جایگاه تکتونیک بخش عمده‌ای از کانسارهای مس پورفیری در حاشیه صفحات همگرا (حواشی فعال قاره‌ای و جزایر قوسی) تشکیل می‌شوند. سامانه‌های پورفیری مس به صورت بارز در نواحی فرورانش مرتبط با قاره‌ها و جزایر کمانی گسیل می‌شوند (Chen et al., 2015). فرورانش مشخصه این مناطق می‌باشد، با این حال فاکتورهای متالورژیک دیگری نیز

## زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در بخش جنوب منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن سنگ‌های درون‌گیر توده بارملک پورفیری را تشکیل می‌دهند و سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک پلیو-کواترنر با دگرشیبی آذرینی بر روی این مجموعه‌ها قرار گرفته‌اند (شکل ۲). در شمال کیکال و شمال شرق بارملک همبری این توده‌ها با ماسه‌سنگ‌های نومولیت‌دار ائوسن گزارش شده است. همچنین گدازه‌هایی با ترکیب ریولیتی و متعلق به الیگوسن در شمال شرق بارملک و شمال غرب آن گزارش شده‌اند که ارتباط سنی آن با بقیه واحدها مشخص نیست و دلیل انتساب این گدازه‌ها به الیگوسن نیز مشخص نمی‌باشد. توده‌های ساب‌ولکانیک پلیوسن با ترکیب داسیتی، تراکی‌آندزیتی و ریوداسیتی در شمال بارملک گزارش شده‌اند که هم‌سن با توده چال‌داغی در کانسار مس پورفیری سونگون بوده و ریولیت‌های الیگوسن و توده مونزونیتی را قطع کرده‌اند (شرکت پارس اولنگ، ۱۳۸۳). جوان‌ترین فعالیت ماگمایی در منطقه بارملک مربوط به گدازه‌های بازالتی تا آندزیت بازالتی به سن کواترنر است که در شمال روستای بارملک رخنمون دارند. این بازالت‌ها با بازالت‌های آکالان مسیر جاده اهر-ورزقان هم‌سن بوده و تا حدودی می‌توان آن‌ها را با گدازه‌های تراکی‌آندزیت بازالتی داش‌دیبی در سونگون مقایسه کرد (حیدری و همکاران ۱۳۸۶). بررسی‌های سطحی نشان می‌دهد که توده کوارتز مونزونیتی کیکال که شباهت زیادی به توده کوارتز مونزونیتی سونگون دارد در ادامه به سمت غرب به منطقه بارملک کشیده شده و از پهنای آن به میزان قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود و در نهایت به فرم زبانه مانند به دره قیه‌قشلاق (دوغوز دره سی) با راستای تقریبی N-S کشیده می‌شود. در این محل توده با توف‌ها و سنگ‌های ولکانیک ائوسن دارای همبری مشخصی است و باعث توسعه کانی‌سازی سرب و روی در سنگ‌های درون‌گیر شده است. استوک کوارتز مونزونیت پورفیری کیکال طی فعالیت‌های ماگمایی نفوذی فاز پیرنه به درون واحدهای آتشفشانی قدیمی‌تر نفوذ کرده و موجب کانی‌سازی مس-مولیبدن پورفیری و گسترش زون‌های دگرسانی گرمابی در

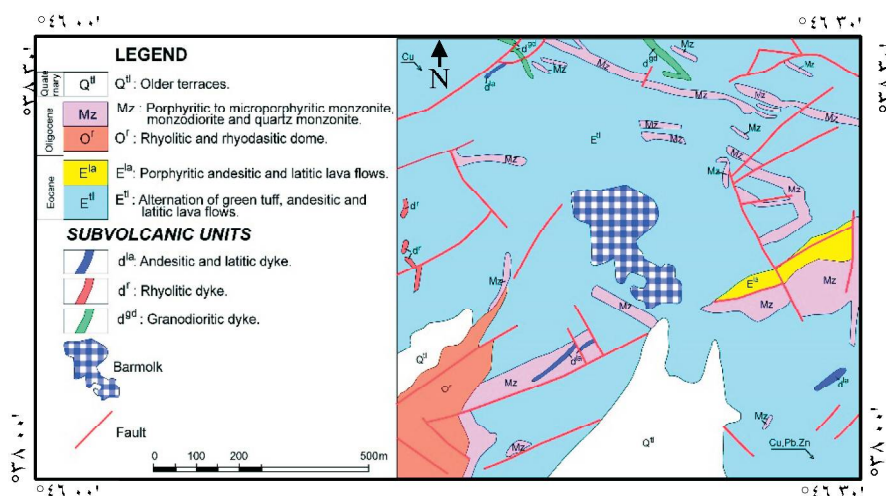
منطقه شده است. پس از جایگیری این توده، دایک‌های تأخیری متعددی با ترکیب عمده دیوریتی-کوارتز دیوریتی در این منطقه به داخل استوک کوارتز مونزونیتی نفوذ کرده‌اند. رخداد شکستگی‌های هیدرولیکی موجب ایجاد زون‌های خرد شده‌ی نفوذپذیر در داخل استوک پورفیری و سنگ‌های پیرامونی و تسهیل گردش سیالات گرمابی شده که منجر به گسترش زون‌های دگرسانی پتاسیک، فلیک، آرژیلیک پیشرفته و پروپیلیتیک در گستره کیکال شده است. تجزیه شیمیایی نمونه‌های استوک کوارتز مونزونیتی و دایک‌های تأخیری نشان می‌دهد که آن‌ها سرشت کالک‌آکالان غنی از پتاسیم و شوشونیتی دارند. این نفوذی‌ها از نظر زمین‌شناسی ساختمانی در قوس آتشفشانی پس برخوردی و حواشی فعال قاره‌ای شکل گرفته‌اند (سیمونز و همکاران ۱۳۹۰، ۱۳۸۹). توده کوارتز مونزونیت پورفیری در صحرا با دگرسانی شدید نسبت به سنگ‌های درون‌گیر و دایک‌های نفوذی و با رنگ روشن مشخص می‌شود (شکل A-۳). دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل دوم با برجستگی مشخص و مقاومت فرسایشی بالا نسبت به توده پورفیری مشاهده می‌شوند (شکل B-۳). سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی و توف‌های وابسته می‌باشند که در شکل‌های C-۳ و D-۳ نمایی از این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند.

### بحث

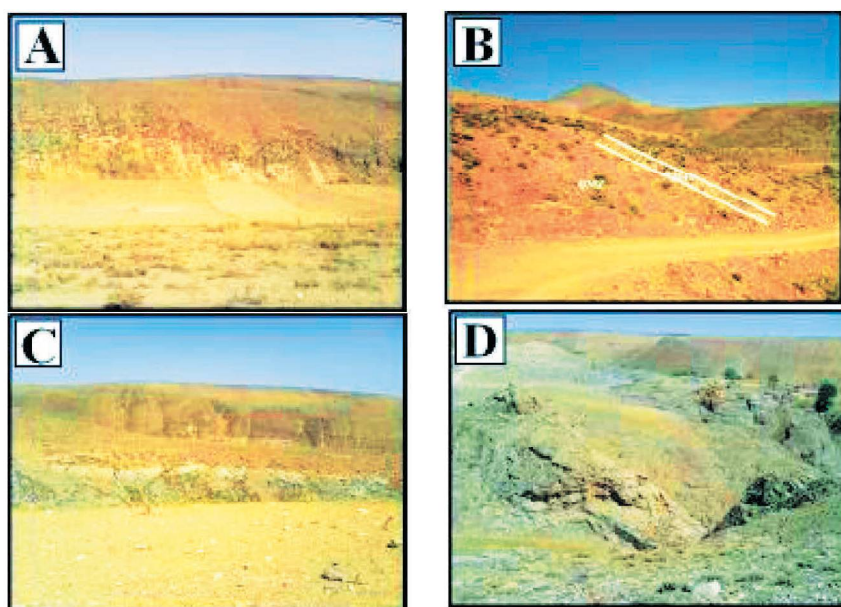
#### سنگ‌نگاری

با توجه به نمونه‌های سنگی اخذ شده از مغزه‌های حفاری و نمونه‌های سطحی منطقه اکتشافی، توده نفوذی این منطقه ترکیبی در حد کوارتز مونزونیت دارد که مشابه توده کیکال پورفیری است و در حقیقت ادامه آن به سمت غرب و جنوب غرب می‌باشد. دایک‌های تأخیری شامل دایک کوارتز دیوریتی نسل اول و دایک کوارتز دیوریتی نسل دوم و سنگ‌های درون‌گیر این مجموعه‌ها که شامل سنگ‌های ولکانیک با ترکیب آندزیت تا آندزیت بازالتی و توف‌های متنوع می‌باشند.

توده کوارتز مونزونیت پورفیری شامل فنوکریستال‌های نیمه‌شکل دار پلاژیوکلاز است که در خمیره ریز تا درشت بلوری



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی بارملک (شرکت مهندسی زرناب، مقیاس ۱:۵۰۰۰)



شکل ۳. (A) نمای از توده بارملک پورفیری (دید به سمت شرق)، (B) کنتاکت دایک کوارتز دیوریتی نسل دوم با توده پورفیری (دید به سمت شمال شرق)، (C) تناوب توف و گدازه (دید به سمت شرق)، (D) سنگ‌های آندزیت و آندزی بازالت (دید به سمت شرق)

بیوتیت است که به کلریت، مسکوویت و کربنات تجزیه شده‌اند. زینوکریستال‌های گرد شده کوارتز که گاهی دارای خوردگی خلیجی شکل می‌باشند (شکل ۴-B)، به‌وفور در آن‌ها دیده می‌شود و از ویژگی‌های بارز این دایک‌ها است. در برخی از نمونه‌ها، کوارتز بصورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با حاشیه واکنشی مشاهده می‌شود. از مشخصات بارز این دایک‌ها وجود بلورهای شکل‌دار بیوتیت و آپاتیت در این سنگ‌ها است و زیرکن نیز گاهی به همراه آپاتیت مشاهده می‌شود. بافت این دایک‌ها از پورفیریک با خمیره ریزبلور تا درشت‌بلور در نوسان است.

از کوارتز و فلدسپار آلکالن قرار دارند. کانی‌های فرومنیزین این توده شامل بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل آمفیبول و بیوتیت است و کانی‌های متفرقه شامل آپاتیت و زیرکن می‌باشند. بافت این توده از پورفیریک با خمیره ریزبلور تا پورفیریک با خمیره درشت‌بلور در نوسان است (شکل ۴-A). کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل اول شامل بلورهای نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز که در خمیره ریز تا درشت‌بلوری از کوارتز و پلاژیوکلاز و مقادیر جزئی فلدسپار آلکالن قرار دارند. کانی فرومنیزین این دایک‌ها شامل فنوکریستال‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار



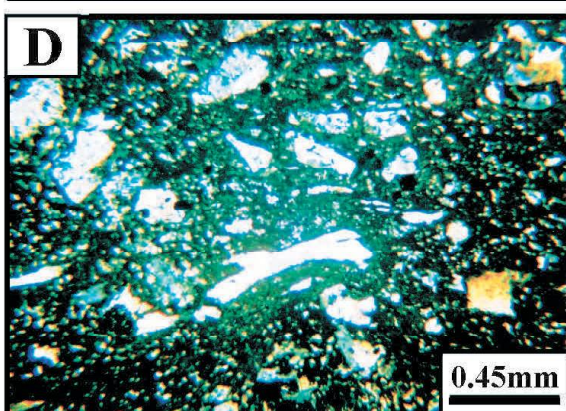
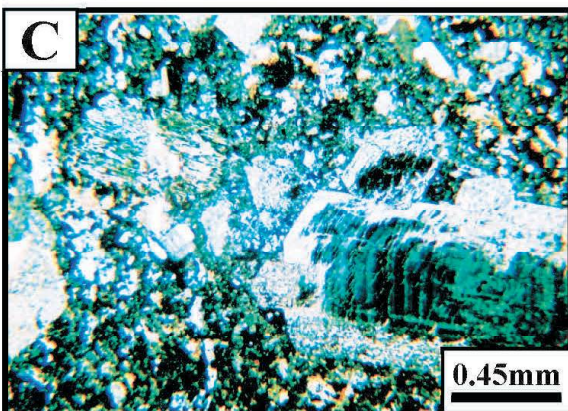
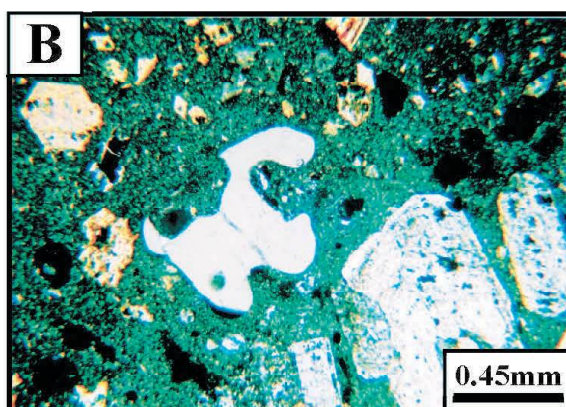
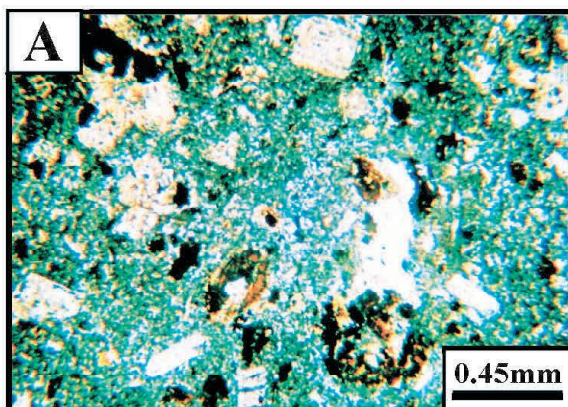
کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده آندزیت‌ها شامل فنوکریستال‌های نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز و مقادیری آمفیبول نیمه شکل‌دار می‌باشد که در خمیره شیشه‌ای و میکروولیتی قرار دارند. بافت این سنگ‌ها هیالومیکروولیتی پورفیریک است (شکل ۴-D) و کانی عارضه‌ای در آن‌ها اغلب آپاتیت می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها پلاژیوکلازها به مجموعه سرپسیت، کلسیت و کانی رسی تجزیه شده‌اند.

کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده آندزیت‌های بازالتی شامل میکروکریستال‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن است و مقادیری آمفیبول نیز در آن‌ها دیده می‌شود. کانی عارضه‌ای در این سنگ‌ها آپاتیت است. کلینوپیروکسن و آمفیبول اغلب به کلریت نوع پنین تجزیه شده‌اند و تجمعاتی از کلریت در خمیره این سنگ‌ها دیده می‌شود. بافت این سنگ‌ها میکروولیتیک است.

توف‌های مشاهده شده در مغزه‌های حفاری شده به دو دسته کریستال توف و لیتیک‌توف تقسیم می‌شوند. کریستال

کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل دوم شامل فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز با زونینگ نوسانی است (شکل ۴-C) که در حواشی، اندکی به سرپسیت تجزیه شده‌اند و در خمیره ریز تا درشت‌بلوری از کوارتز و پلاژیوکلاز قرار دارند. کانی فرومنیزین اصلی آن‌ها آمفیبول است که اغلب به مجموعه کلریت، کربنات و گاهی اپیدوت تجزیه شده است و بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بیوتیت نیز به کلریت و کربنات تجزیه گشته‌اند. کانی عارضه‌ای غالب در این دایک‌ها آپاتیت است. این دایک‌ها فاقد کانه‌زایی‌اند و بافت غالب در آن‌ها پورفیریک با خمیره ریز تا درشت‌بلور است.

سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی و توف‌های وابسته (کریستال توف تا لیتیک توف) می‌باشند و در بخش جنوب منطقه با شیب متوسط به سمت جنوب جنوب‌غربی رخمون دارند.



شکل ۴. A) بافت پورفیریک با خمیره متوسط بلور در توده کوارتز مونزونیت پورفیری، (XPL،  $\times 25$ )، B) زینوکریستال‌های کوارتز با خوردگی خلیجی شکل در دایک کوارتز دیوریتی نسل اول، (XPL،  $\times 25$ )، C) زونینگ نوسانی در فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز در دایک کوارتز دیوریتی نسل دوم که در حواشی به سرپسیت تجزیه شده‌اند، (XPL،  $\times 25$ )، D) بافت هیالومیکروولیتی پورفیریک در آندزیت، (XPL،  $\times 25$ )

(شکل‌های ۵ و ۶-A, B). در دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل اول فنوکریستال‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بیوتیت به کلریت، مسکوویت و کربنات و در دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل دوم بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بیوتیت به کلریت و کربنات تجزیه شده‌اند (شکل ۶-C, D). بخشی از دگرسانی پروپلیتیک در سنگ‌های درون‌گیر این توده توسعه یافته است و نمونه‌های آندزیتی و توف‌های وابسته این ویژگی را به خوبی نشان می‌دهند (شکل ۶-E).

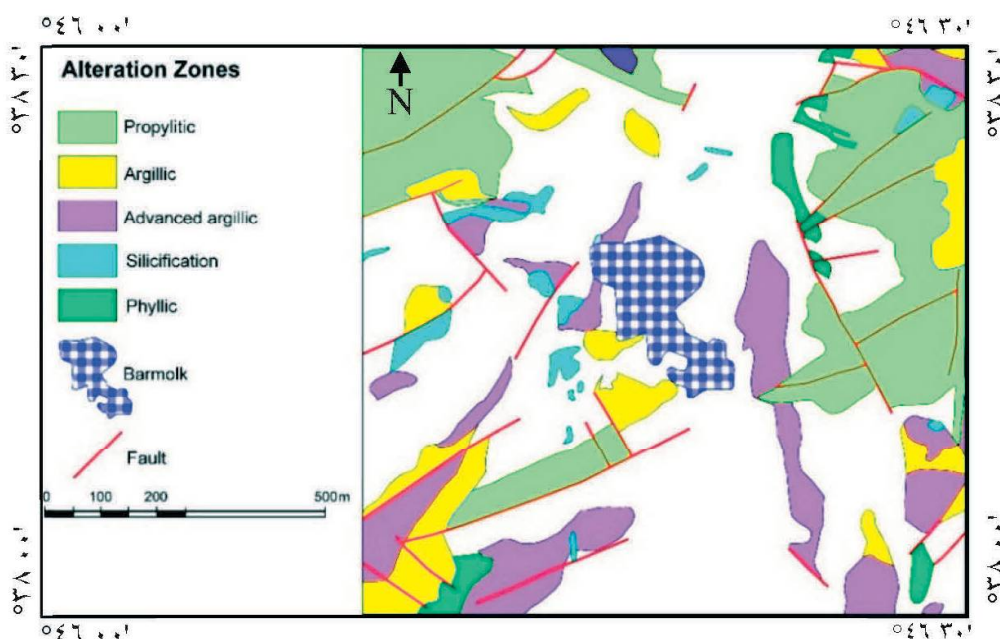
### کانی‌سازی

با توجه به عمق فرسایش بالا در این منطقه و قرار گرفتن گستره اکتشافی بارملک در حاشیه توده مذکور، کانی‌سازی مس در این منطقه قابل توجه نیست ولی کانی‌سازی سرب و روی که خاص زون‌های حاشیه‌ای سیستم‌های پورفیری است، در این منطقه به خوبی گسترش دارد. کانی‌سازی مس در توده بارملک پورفیری به صورت افشان، رگه-رگچه‌ای و پرکننده سطوح درزه می‌باشد. در زون‌های فروشست هماتیت، لیمونیت و جاروسیت در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. کانی‌های سولفیدی مس در این منطقه از تنوع بسیار کمتری برخوردار می‌باشد و بیشتر شامل کالکوپیریت است. کانی‌های سولفیدی سرب و

توف‌ها شامل بلورهای ریز و شکسته شده و زاویه‌دار پلاژیوکلاز، مقادیر جزئی کوارتز و کانی‌های فرومنیزین که به میزان جزئی سرپیسیت هستند و اغلب بافت کریستالو کلاستیک دارند. لیتیک توف‌ها از قطعات سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی تشکیل شده‌اند و توسط رگه‌های کربناته قطع شده و واجد پیریت می‌باشند. در برخی از نمونه‌ها، رگچه‌های سیلیسی و کربناته سنگ را قطع کرده‌اند و پیریت‌های شکل‌دار در متن آن‌ها مشاهده می‌شود. ترکیب کلی این توف‌ها آندزیتی می‌باشد و وابسته به ولکانیزم آندزیتی ائوسن می‌باشند. این سنگ‌ها در حاشیه توده پورفیری میزبان کانی‌سازی سرب و روی می‌باشند.

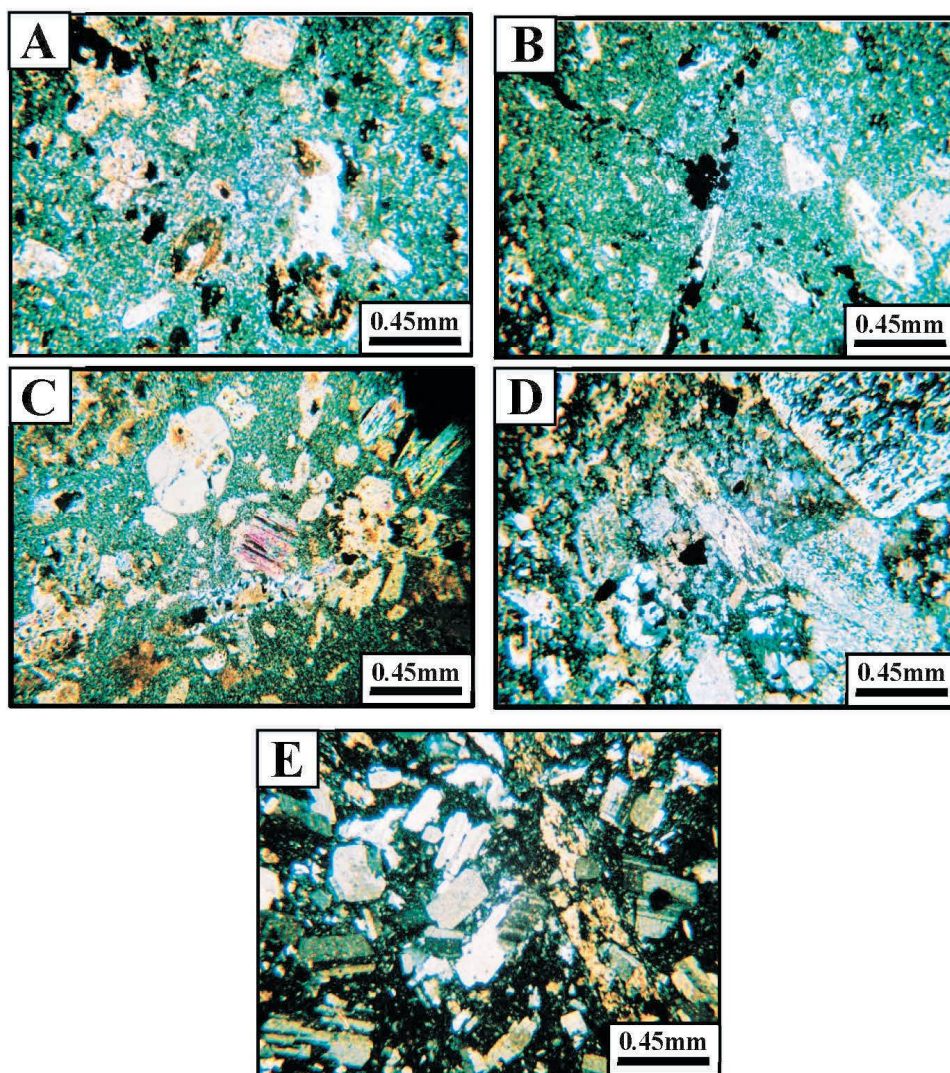
### دگرسانی

بررسی نمونه‌های سطحی و مغزه‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی در منطقه بارملک نشان می‌دهد که توده کوارتز مونزونیتی بارملک که ادامه توده کیفال پورفیری به سمت جنوب غرب می‌باشد، بخش حاشیه‌ای این توده است و فاقد دگرسانی پتاسیک می‌باشد. دگرسانی‌های مشاهده شده در این توده و در منطقه بارملک شامل دگرسانی‌های فیلیک متوسط تا شدید می‌باشد که توسط دگرسانی‌های پروپلیتیک ضعیف تا متوسط و آرتزلیک ضعیف تا متوسط همراهی می‌شود



شکل ۵. نقشه دگرسانی محدوده اکتشافی بارملک (شرکت مهندسی زرناب، مقیاس ۱:۵۰۰۰)

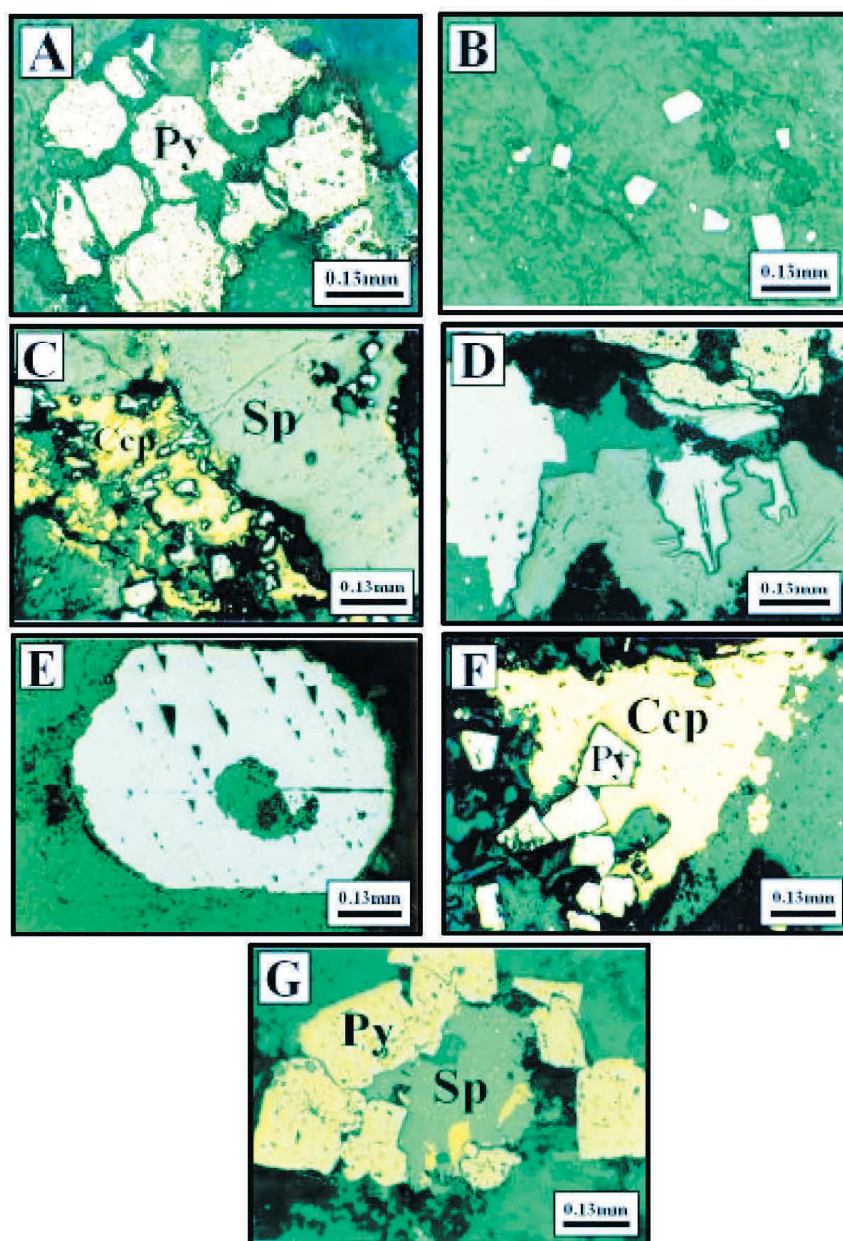




شکل ۶. A) بافت پورفیریک با خمیره متوسط بلور و دگرسانی فیلیک ضعیف تا متوسط-آرژیلیک، پروپیلیتیک ضعیف تا متوسط در توده پورفیری، B) بافت پورفیریک با خمیره ریزبلور و دگرسانی فیلیک ضعیف-پروپیلیتیک ضعیف تا متوسط در توده پورفیری، C) تجزیه بیوتیت به کلریت، موسکویت و کربنات در دایک کوارتز دیوریتی نسل اول، D) تجزیه بلورهای نیمه شکل دار تا شکل دار بیوتیت به کلریت و کربنات در دایک کوارتز دیوریتی نسل دوم، E) بافت پورفیریک با خمیره درشت بلور و دگرسانی فیلیک ضعیف-پروپیلیتیک ضعیف در اندزیت

نیمه شکل دار (شکل ۷-A) و همچنین به فرم رگه-رگچه‌ای و افشان در توده کوارتز مونزونیت پورفیری دیده می‌شود. اصولاً میزان پیریت در این توده کم است و شاید یکی از دلایل عدم غنی‌شدگی زون سوپرژن همین مسئله باشد. با عنایت به اینکه زون سوپرژن در اثر سطح فرسایش و عمق فرسایش بالا از بین رفته است، اظهار نظر قطعی در این خصوص منطقی به نظر نمی‌رسد. پیریت در برخی از نمونه‌ها توسط گوتیت جانشین شده است. همچنین پیریت توسط کالکوپیریت و اسفالریت جانشین شده است (شکل ۷-C). در نمونه‌های واجد گالن و اسفالریت اکسولوشن بین

روی شامل گالن و اسفالریت در این منطقه به وفور دیده می‌شوند. این کانی‌سازی اغلب به فرم رگه-رگچه‌ای در توده کوارتز مونزونیت پورفیری و سنگ‌های درون‌گیر توده توسعه یافته است و در تمامی گمانه‌های اکتشافی کمابیش مشاهده شده است. پیریت به فرم افشان، رگه-رگچه‌ای و پرکننده سطوح درزه در تمامی سنگ‌های این منطقه مشاهده شده است. از کانی‌های اکسیدی می‌توان به مگنتیت و هماتیت اشاره کرد. مگنتیت در توده کوارتز مونزونیت پورفیری به مارتیت تجزیه شده است (شکل ۷-B). پیریت به فرم افشان و به صورت بلورهای شکل دار تا



شکل ۷. A) پیریت‌های به فرم افشان و به صورت بلورهای بی‌شکل در توده کوارتزموزنویت پورفیری، B) تجزیه مگنتیت به مارتیت در توده کوارتزموزنویت پورفیری، C) جانشینی کالکوپیریت و اسفالریت به‌جای پیریت در توده کوارتزموزنویت پورفیری، D) پیریت، گالن، اسفالریت و اکسولوشن بین کالکوپیریت و اسفالریت در توده کوارتزموزنویت پورفیری، E) گالن به فرم افشان با پیت‌های قابل مشاهده در توده کوارتزموزنویت پورفیری، F) درهم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت در نمونه‌های آندزیتی، G) جانشینی پیریت توسط اسفالریت با اکسولوشن کالکوپیریت و اسفالریت در توفها. حروف اختصاری (Ccp:Chalcopyrite, Py:Pyrite, Sp:Sphalerite)

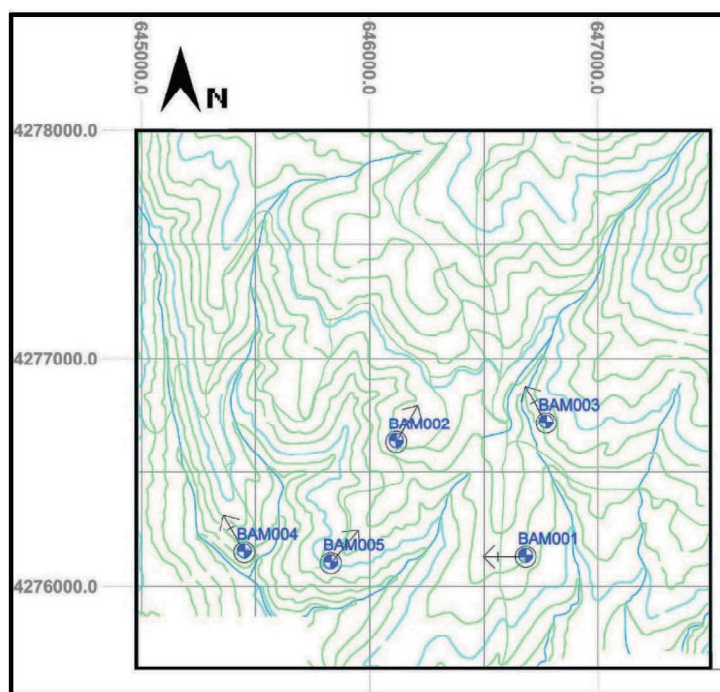
اشاره شد کانی‌سازی علاوه بر توده نفوذی کوارتزموزنویتی در سنگ‌های درون‌گیر ولکانیک و ولکانو-کلاستیک نیز انجام شده است. پیریت در نمونه‌های آندزیتی به فرم افشان حضور دارد و در هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت نیز در آن‌ها قابل رویت است (شکل ۷-F). در نمونه‌های آذرآوری نیز پیریت‌های شکل دار به همراه هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت

کالکوپیریت و اسفالریت قابل مشاهده است و پارائز شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت است (شکل ۷-D). پیریت در برخی از نمونه‌ها توسط گالن و اسفالریت جانشین شده است. در این نمونه اکسولوشن کالکوپیریت و اسفالریت قابل رویت است. در نمونه‌های با کانی‌سازی گالن، پیت‌های آن به‌خوبی قابل مشاهده است (شکل ۷-E). همان‌طوری‌که



جدول ۱. پارامترهای آماری عیار مس مغزه‌های حفاری

BHNo	Depth	Total sample	Cu Ave%	CuMax%	Cu≤0.15%		Cu>0.15%	
					Ave	Num of sam	Ave	Num of sam
BAM_01	۳۶۰/۵۰	۱۶۲	۰/۰۲۵	۰/۲۶	۰/۰۱۴	۱۵۴	۸	۰/۲۳
BAM_02	۳۱۶/۳۰	۸۳	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۰۸	۸۲	۱	۰/۱۷
BAM_03	۳۱۹/۰۰	۳۳	۰/۰۱۶	۰/۱۶	۰/۰۱۱	۳۲	۱	۰/۱۶
BAM_04	۳۵۲/۲۰	۳۵	۰/۰۱۲	۰/۰۸	۰/۰۱۲	۳۵	۰	۰
BAM_05	۳۰۰/۶۰	۲۷	۰/۰۴۲	۰/۵۱	۰/۰۱۶	۲۵	۲	۰/۳۸
TOTAL	۱۶۴۸/۶۰	۳۴۰	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۰۱۲	۳۲۸	۱۲	۰/۲۵



شکل ۸. پلان گمانه‌های اکتشافی در محدوده بارملک

نشان می‌دهد که این محدوده از پتانسیل مناسبی برای پی‌جویی ذخائر مس پورفیری برخوردار نیست. جدول ۱ وضعیت کانی‌سازی مس در پنج گمانه اکتشافی را مشخص می‌کند.

در شکل ۸ پلان و مقاطع پنج گمانه اکتشافی که براساس شواهد سطحی کانی‌سازی و مطالعات ژئوشیمیایی ارائه گردیده، دیده می‌شود. عمق حفاری‌ها از ۳۰۰/۶۰ متر تا ۳۶۰/۵۰ متر متغیر است و مجموع مترژ حفاری‌ها ۱۶۴۸/۶ متر می‌باشد. اطلاعات سنگ‌شناسی، مینرال زون، دگرسانی و عیار گمانه‌ها در شکل ۹ آمده است. بررسی‌های صحرایی و لاگینگ گمانه‌های حفاری شده

مشاهده می‌شود. همچنین پیریت در این نمونه‌ها توسط اسفالریت جانشین شده و جدایش کالکوپیریت و اسفالریت نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۷-۱-۱).

با توجه به اینکه در منطقه اکتشافی سونگون دایک‌های کوارتز دیوریتی نسل اول بعد کانی‌سازی و حتی بعد از تشکیل زون سوپرژن به درون توده پورفیری سونگون تزریق شده‌اند (Moayyed, 1383)، لذا می‌توان کانی‌سازی گالن و اسفالریت در این توده را به فرآیندهای تاخیری ابی‌ترمالی نسبت داد که حتی توانسته است دایک‌های بعد کانی‌سازی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در مجموع بررسی عیار و گسترش کانی‌سازی مس در توده بارملک



## منابع

- بابائی، ع.، علوی‌تهرانی، م. و نوگل‌سادات، ج. ۱۳۷۵. نقشه توپوگرافی اهر با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حیدری، م.، مؤید، م. و طالبی‌راد، ف.، ۱۳۸۶. ماگماتیسم پلیوکواترنری در محدوده معدن مس سونگون. هفتمین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه اصفهان، ۴۴۷-۴۳۸.
- سیمونز، و.، کلاگری، ع.ا.، مؤید، م. و جهانگیری، ا.، ۱۳۹۰. بررسی زون‌های دگرسانی نوع پورفیری و رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و نادر خاکی در آنها در منطقه کیکال (شمال ورزقان، آذربایجان شرقی). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۹، ۴، ۵۷۸-۵۶۵.
- سیمونز، و.، کلاگری، ع.ا.، مؤید، م. و جهانگیری، ا.، ۱۳۸۹. بررسی سنگ‌شناسی و سنگ‌زائی استوک کوارتزومونزونیت پورفیری کیکال (شمال ورزقان، آذربایجان شرقی). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴، ۱۳، ۴۷-۶۰.
- شرکت مهندسی زرناب، ۱۳۸۷. گزارش زمین‌شناسی محدوده بارملک، ۱۵۲.
- شرکت مهندسی و مشاوره‌ای پارس‌اولنگ، ۱۳۸۸. گزارش زمین‌شناسی محدوده بارملک، ۱۶۶.
- Ayati, F., Yavuz, F., Noghreyan, M., Haroni, H.A. and Yavuz, R., 2008. Chemical characteristics and composition of hydrothermal biotite from the Dalli porphyry copper prospect, Arka, central province of Iran. *Mineralogy and Petrology*, 94, 1, 107-122.
- Chen, J.L., Xu, J.F., Wang, B.D., Yang, Z.Y., Ren, J.B., Yu, H.X., Liu, H. and Feng, Y., 2015. Geochemical differences between subduction and collision-related copper bearing porphyries and implications for metallogenesis. *Ore Geology Reviews*, 70, 1, 424-437.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F., Jr., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. Freeman and Company, New York, 985.
- Hassanpour, Sh., Alirezai, S., Selby, D. and Sergeev, S., 2015. SHRIMP zircon U-Pb and

در منطقه بارملک نشان می‌دهد که دگرسانی غالب در توده کوارتزومونزونیت پورفیری فیلیک همراه با پروپلیتیک و آرژیلیک، در دایک‌های کوارتزیدیوریتی نسل اول و دوم پروپلیتیک همراه با سریسیت و آرژیلیک ضعیف و در سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن پروپلیتیک ضعیف می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی سطحی و اطلاعات گمانه‌های اکتشافی در منطقه بارملک را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

عمق زون‌های سولفور در منطقه آنومال بارملک ۶۰ تا ۱۰۰ متر می‌باشد و در کل کمتر از ۱۰۰ متر برآورد شده است. تنوع‌های لیتولوژیک در این منطقه به ترتیب رخداد سنی شامل سنگ‌های ولکانیک و ولکانو-کلاستیک ائوسن، توده کوارتزومونزونیت پورفیری و دایک‌های کوارتزیدیوریتی نسل اول و دوم است. دگرسانی‌های غالب در توده کوارتزومونزونیت پورفیری که در واقع ادامه توده کیکال پورفیری به سمت جنوب غرب است شامل دگرسانی‌های فیلیک، پروپلیتیک و آرژیلیک بوده و به علت حاشیه‌ای بودن، دگرسانی پتاسیک در این منطقه دیده نمی‌شود. میزان پیریت این توده کم است و شاید یکی از دلایل عدم تشکیل زون غنی شده سوپرژن همین مسئله باشد. کانی‌سازی مشاهده شده در توده پورفیری بارملک شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت به فرم افشان، رگه-رگچه‌ای و پرکننده سطوح درزه می‌باشد و گسترش کانی‌سازی سرب و روی در این منطقه دلالت بر قرار داشتن این منطقه در بخش حاشیه‌ای یک توده پورفیری است. کانی‌سازی سرب و روی علاوه بر توده پورفیری، در دایک‌های کوارتزیدیوریتی نسل اول و سنگ‌های درون‌گیر نیز توسعه یافته است. مشاهده کانی‌سازی سرب و روی در دایک‌های کوارتزیدیوریتی نسل اول بعد کانی‌سازی سوپرژن نشان می‌دهد که تزریق این دایک‌ها قبل از رخداد فاز اپی‌ترمالی توده پورفیری انجام شده است.



- biotite and hornblende Ar-Ar geochronology of Sungun, Haftcheshmeh, Kighal and Niaz porphyry Cu-Mo systems: evidence for an early Miocene porphyry-style mineralization in northwest Iran. *International Journal of Earth Sciences*, 104,1, 45-59.
- Moayyed, M., 2004. Reporting of geological studies and drilling cores of logging in Bar-molk limit. Pars olang Engineering and Consulting Co, Tehran, 170.
  - Richards, J.P., 2005. Cumulative factors in the generation of giant calc-alkaline porphyry Cu deposits, in Porter, T.M., (ed.), *Super porphyry copper and gold deposits. A Global Perspective*, PGC Publishing, Adelaide, 1, 7-25.
  - Richards, J.P., Boyce, A.J. and Pringle, M.S., 2001. Geological evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization. *Economic Geology*, 96, 271-305.
  - Shahabpour, J., 1999. The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of Zagros thrust zone. *Journal of Geodynamics*, 28, 237-250.
  - Sillitoe, R.H., 1989. Gold deposits in western Pacific island arcs: the magmatic connection, in: Keays, R.R., Ramsay, W.R.H., and Groves, D.I. (eds.) *The geology of gold deposits: the perspective in 1988*. *Economic Geology Monograph*, 6, 274-291.
  - Sillitoe, R.H., 1993. Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications. *Geological Association of Canada Special Paper*, 40, 465-478.
  - Sillitoe, R.H., 1994. Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. *Geology*, 22, 945-948.
  - Sillitoe, R.H., 1998. Major regional factors favoring large size, high hypogene grade elevated gold content and supergene oxidation and enrichment of porphyry copper deposits, in: Porter, T.M., (ed.), *Porphyry and Hydrothermal copper and gold deposits. A Global Perspective*: PGC Publishing, Adelaide, 21-34.
  - Sillitoe, R.H., 2000. Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *SEG Reviews*, 13, 315-345.
  - Titley, S.R. and Hicks, C.L., 1966. *Geology of the porphyry copper deposits, Southwestern North America*. Tuoson: Univ, Ariz Press, 287.
  - Waterman, G.C. and Hamilton, R.L., 1975. The Sar Cheshmeh porphyry copper deposit. *Economic Geology*, 70, 568-576.
  - Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, central Iran. *International Geology Review*, 47,6, 620-646.