

## بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی در منطقه‌ی شرق ارغش (جنوب غرب نیشابور) با نگرشی بر پی‌جویی مس پورفیری

نرگس غلامی\*، محمدحسن کریم‌پور، سید احمد مظاهری

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۳، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۱)

**چکیده:** منطقه‌ی مورد بررسی در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی نیشابور و شرق روستای ارغش واقع شده است. واحدهای سنگی در منطقه شامل توده‌های نفوذی و آتشفشانی است که در اثر محلول‌های گرمابی شدیداً دگرسان شده‌اند. بیش از ۱۰ توده‌ی نفوذی با ترکیب مونزونیت تا دیوریت تفکیک شدند. زون‌های دگرسانی پتاسیک، سریسیتی، سیلیسی، کربناتی و پروپیلیتیک در منطقه شناسایی شدند. براساس ترکیب شیمیایی توده‌های نفوذی متا آلومینوس و از نوع آهکی-قلیایی هستند. برمبنای پذیرفتاری مغناطیسی و ترکیب کانی‌شناختی، گرانیتهای منطقه به سری مگنتیت از نوع I وابسته‌اند. کانی‌سازی به دو حالت افشان و رگه‌ای شناسایی شد. پیریت فراوان‌ترین کانی‌سازی سولفیدی در منطقه است. پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه بر مبنای رسوب‌های رودخانه‌ای و سنگی مورد بررسی قرار گرفتند. بالاترین مقدار مس در منطقه ppm ۱۰۸ است که مربوط به واحد کوارتز هورنبلند دیوریت پورفیری است. وجود سیستم دگرسانی مناسب، توده‌های نیمه‌عمیق مونزونیتی، شواهد کانی‌سازی مس، وجود بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی برای این عنصر و الگوی کلی زمین‌شناختی در منطقه مؤید پتانسیل پی‌جویی برای سیستم مس پورفیری در منطقه ارغش است.

**واژه‌های کلیدی:** ایران؛ ارغش؛ مس پورفیری؛ کانی‌سازی؛ ژئوشیمی.

### مقدمه

منطقه‌بندی دگرسانی و ارتباط آن با کانی‌سازی‌های صورت گرفته در آن، همراه با تفسیر بررسی‌های ژئوشیمیایی و ارتباط آن با سیستم‌های مس پورفیری بوده است.

### روش بررسی

بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده در منطقه شامل مراحل زیرند:

پردازش داده‌های ماهواره‌ی Aster به منظور شناسایی کانی-های خاص معرف منطقه‌های دگرسانی [۶]

- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ از منطقه‌ای به وسعت حدود ۲ کیلومترمربع
- برداشت حدود ۷۰ نمونه‌ی سنگی برای بررسی‌های سنگ

گستره‌ی مورد بررسی در  $58^{\circ} 36' 23''$  و  $58^{\circ} 34' 48''$  طول-شرقی و  $35^{\circ} 52' 01''$  و  $35^{\circ} 51' 11''$  عرض شمالی و گوشه‌ی شمال غربی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن خراسان رضوی در زون سبزواری واقع شده است. تا کنون طرح‌های مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمی از سوی سازمان زمین‌شناسی، سازمان صنایع و معادن خراسان رضوی و مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران در مناطق مجاور این منطقه انجام گرفته است. بیشتر این بررسی‌ها در مقیاس برگه‌ی کدکن بوده‌اند [۱] و در این منطقه تاکنون بررسی دقیق سنگ‌شناسی و ژئوشیمی صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی سنگ‌شناسی توده‌ها و

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۱)۲۷۳۸۰۵۲، نمابر: ۰۵۱۱)۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: narges652@yahoo.com

شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی

- بررسی سنگ‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در ۷۰ مقطع نازک و ۵ مقطع نازک صیقلی
- تجزیه‌ی ۱۰ نمونه از سنگ‌های آذرین از نظر اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی به روش XRF
- برداشت حدود ۱۰ نمونه‌ی رسوب رودخانه‌ای برای بررسی‌های ژئوشیمیایی و تحلیل به روش طیف‌سنجی جذب اتمی برای ۵ عنصر Cu, Zn, Pb, Ag, Mn
- برداشت، خردایش و نمایش ۱۷ نمونه‌ی خرده‌سنگی برای بررسی‌های ژئوشیمیایی و تحلیل به روش طیف‌سنجی جذب اتمی برای ۵ عنصر Cu, Zn, Pb, Ag, Mn

### زمین‌شناسی

این ناحیه بخشی از بلندی‌های شمال غرب کدکن با روند شمال غرب- جنوب شرقی می‌باشد. با توجه به شواهد موجود و بررسی‌های انجام شده، به نظر می‌رسد که منطقه ارغش به فرورانش حاشیه‌ی خرد قاره‌هایی وابسته باشد که در ائوسن ایران مرکزی رخ داده است [۲]. از دیدگاه زمین‌شناسی عمومی، منطقه‌ی مورد بررسی در زون ایران میانی و در زیرزون سبزوار قرار می‌گیرد.

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه با حرکت‌های جایگزینی افیولیت‌های زون سبزوار وابسته‌اند. حوضه‌ی رسوبی آتشفشانی ارغش در طول ائوسن- الیگوسن دستخوش تغییرات زیادی بوده است. در اواخر ائوسن- الیگوسن مجموعه‌ی آتشفشان‌های منطقه زیر نفوذ توده‌های نفوذی قرار گرفته‌اند [۳].

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی در گستره‌ی مورد بررسی را می‌توان به ۳ دسته تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های رسوبی پیش از ائوسن که بیشتر آن‌ها از آهک، ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده‌اند، ۲- واحدهای آتشفشانی به سن ائوسن با ترکیب بیشتر بازالتی، آندزیتی و توف سبز، ۳- توده‌های نفوذی به سن الیگومیوسن که درون واحدهای یاد شده تزریق شده‌اند.

توده‌های نفوذی در منطقه‌ی مورد بررسی عبارتند از: مونزونیت، هورنبلند مونزونیت، دیوریت، هورنبلند دیوریت، هورنبلند بیوتیت دیوریت، مونزودیوریت، هورنبلند مونزودیوریت، کوارتز مونزودیوریت، مونزوسینیت، و مونزوسینیت پورفیری، دلریت و گرانودیوریت با بافت دانه‌ای (جدول ۱ و ۲) و مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، دیوریت پورفیری، هورنبلند دیوریت پورفیری، کوارتز هورنبلند دیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، پیروکسن مونزوسینیت پورفیری و هورنبلند مونزوسینیت پورفیری با بافت پورفیری (جدول ۳).

واحدهای آتشفشانی منطقه عبارتند از: بازالت، آندزیت، تراکیت، هورنبلند بیوتیت داسیت، بیوتیت هورنبلند داسیت و توف سبز (جدول ۳). نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ بافت و حداکثر اندازه کانی‌های اصلی توده‌های نفوذی.

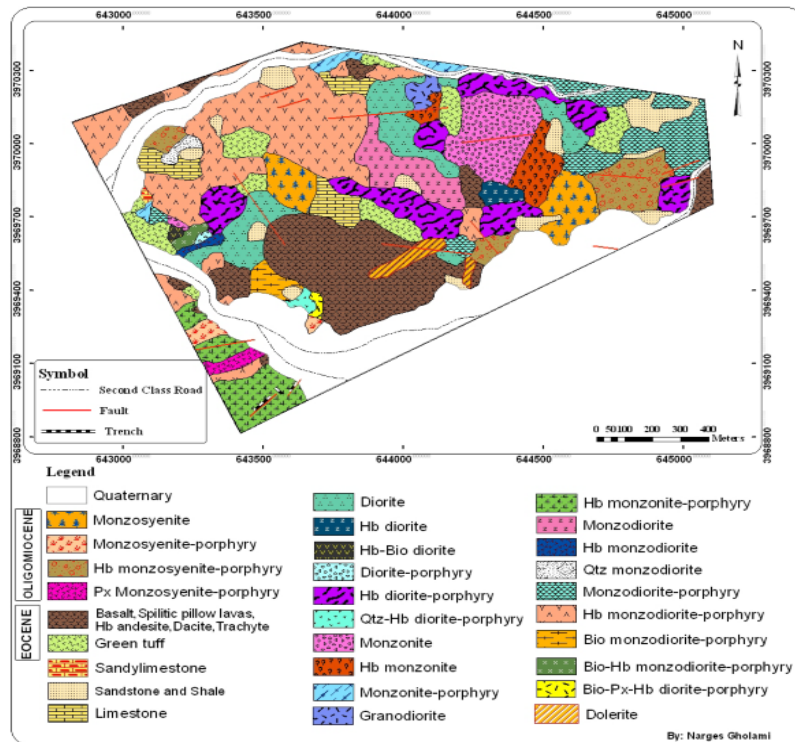
نام سنگ	نوع بافت و اندازه کانی‌ها (mm)	بافت	پلاژیوکلاز	فلدسپات آلكالی	کوارتز	هورنبلند	بیوتیت
مونزونیت		دانه‌ای	۱٫۸	۶٫۱	۰٫۸		
هورنبلند مونزونیت		دانه‌ای	۳٫۸	۸٫۲	۰٫۵		
دیوریت		دانه‌ای	۳٫۵	۲٫۱	۱		
هورنبلند دیوریت		دانه‌ای	۲٫۴	۸٫۱	۰٫۷		
هورنبلند بیوتیت دیوریت		دانه‌ای	۲٫۶	۱٫۵	۰٫۸		
مونزودیوریت		دانه‌ای	۲	۰٫۸	۰٫۴		
هورنبلند مونزودیوریت		دانه‌ای	۲٫۶	۲٫۷	۰٫۵	۱٫۳	
کوارتز مونزودیوریت		دانه‌ای	۲٫۵	۴٫۸	۰٫۶		
مونزوسینیت		دانه‌ای	۳	۳٫۵	۲٫۸		
دلریت		افیٹیک اینترسرتال	۰٫۸	۰٫۲			
گرانودیوریت		دانه‌ای	۱	۳	۱٫۸		

جدول ۲ بافت و درصد فنوکرسیت‌های اصلی توده‌های نفوذی.

نام سنگ	مشخصات	بافت	پلاژیوکلاز (%)	فلسپات آلکالی (%)	کوارتز (%)	هورنبلند (%)	بیوتیت (%)	پیروکسن (%)
مونونیت پورفیری		پورفیری	۱۲-۱۰	۱۰-۷	۳-۲	—	—	—
هورنبلند مونونیت پورفیری		میکرولیتیک پورفیری	۷	۵	—	۷	—	—
دیوریت پورفیری		پورفیری-گلوپورپورفیری	۳۰	۵-۴	۵	—	—	—
هورنبلند دیوریت پورفیری		پورفیری-گلوپورپورفیری	۲۵	۵	۴	۷	—	—
کوارتز هورنبلند دیوریت پورفیری		پورفیری-میکرولیتیک پورفیری	۱۵	۳-۲	۱۰	۳-۲	—	—
بیوتیت پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری		پورفیری	۴۰	۲۰-۱۵	۵	۴-۳	۱	۳-۲
مونودیوریت پورفیری		پورفیری-گلوپورپورفیری	۵۰-۱۵	۱۵-۵	۵-۳	—	—	—
بیوتیت مونودیوریت پورفیری		پورفیری	۴۰	۱۰	—	—	۳	—
هورنبلند مونودیوریت پورفیری		پورفیری-میکرولیتیک پورفیری	۱۵-۱۰	۵	۳-۲	۷-۱	—	—
بیوتیت هورنبلند مونودیوریت پورفیری		پورفیری	۴۵	۷	۳-۲	۳	۵	—
مونوسینیت پورفیری		میکرولیتیک پورفیری	۵	۲۰-۱۵	۴-۳	—	—	—
هورنبلند مونوسینیت پورفیری		میکرولیتیک پورفیری	۷-۵	۱۵-۱۰	۵-۴	۷-۵	—	—
پیروکسن مونوسینیت پورفیری		میکرولیتیک پورفیری	۵	۲۰-۱۵	۵-۴	—	—	۲

جدول ۳ بافت و درصد فنوکرسیت‌های اصلی واحدهای آتشفشانی

نام واحد ولکانیکی	مشخصات	بافت	پلاژیوکلاز (%)	فلسپات آلکالی (%)	کوارتز (%)	هورنبلند (%)	بیوتیت (%)	سایر مشخصات
بازالت		پورفیری-آمیگدالوئیدال	۲۵-۲۰	< ۸	—	—	—	—
هورنبلند آندزیت		پورفیری-میکرولیتیک پورفیری	۱۵-۵	۳-۲	۳-۲	۱۵-۵	—	—
تراکیت		تراکیتی	۳-۲	۱۲-۱۰	۳	—	—	—
بیوتیت هورنبلند داسیت		پورفیری	۳۵	۳-۲	۱۰-۸	۳-۲	۴-۳	آذرآواری
هورنبلند بیوتیت داسیت		پورفیری	۳۵	۳-۲	۱۰-۸	۴-۳	۳-۲	آذرآواری
توف		برشی و جعبه‌ای	—	—	—	—	—	—



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰.

### رده‌بندی سنگ‌شناسی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها به روش XRF (جدول ۴ و ۵)، نمودارهای مختلف تعیین ماهیت ماگمای سازنده و نمودارهای رده‌بندی سنگ‌های منطقه، در محیط نرم‌افزار GCDKIT رسم شدند. نمونه‌های سنگی منطقه با توجه به نمودار Middlemost (1985) در گستره‌ی مونزونیت تا دیوریت، با توجه به نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976) در گستره آهکی-قلیایی (شکل ۲ الف و ب) و با توجه به نمودار A/NK نسبت به A/CNK (Shand, 1943) در گستره‌ی متآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۳ الف).

ایش‌ها را [۴] سنگ‌های نفوذی را به دو دسته گرانیتوئیدی اکسایشی (سری مگنتیت) و احیایی (سری ایلمنیت) رده‌بندی

کرده است. گرانیت‌های نوع I به گرانیت‌های با دمای بالا، معروفند. هر دوی این گرانیتوئیدها دارای پتانسیل اقتصادی هستند، ولی گرانیتوئیدهای نوع I کانسارسازی بیشتری به همراه دارند [۵]. این گرانیتوئیدها به گستره‌ی زون فرورانش وابسته‌اند. گرانیتوئیدهای نوع I به‌علت دمای بالا می‌توانند با سنگ‌های آتشفشانی نیز همراه باشند. علاوه بر این سنگ‌ها دربرگیرنده‌ی طیف ترکیبی گسترده‌تری هستند (جدول ۶) [۶].

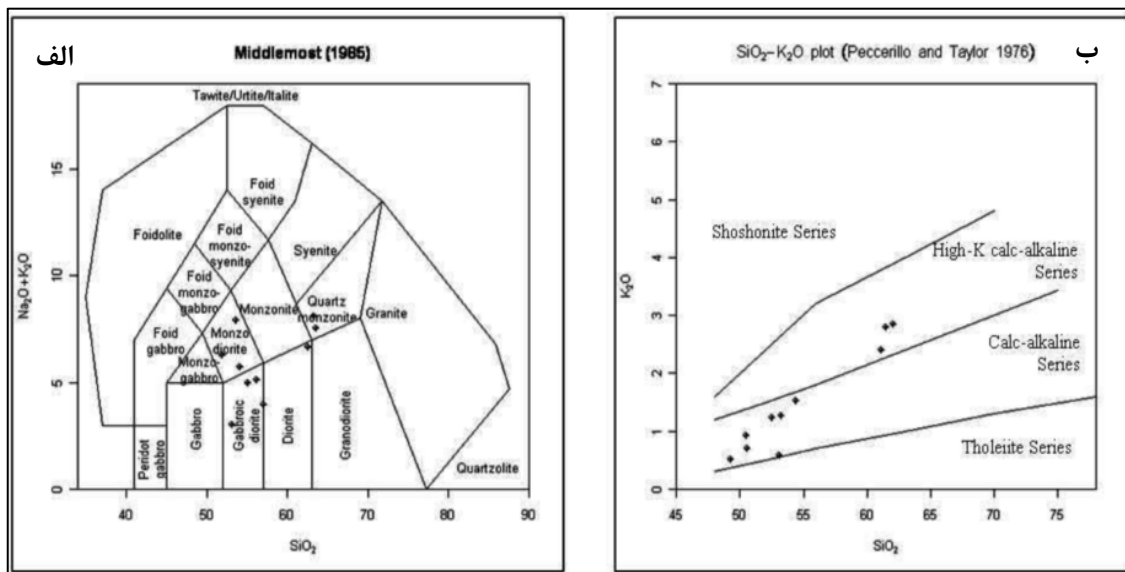
در این پژوهش نیز با توجه به نتایج حاصل از آنالیزنمونه‌ها به روش XRF و اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی، نمودار درصد  $SiO_2$  نسبت به مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی برای نمونه‌های یاد شده ترسیم شد (شکل ۳ ب)، که با توجه به این نمودار می‌توان سنگ‌های منطقه را در سری مگنتیت یا نوع I رده‌بندی کرد.

جدول ۴ نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها به روش XRF.

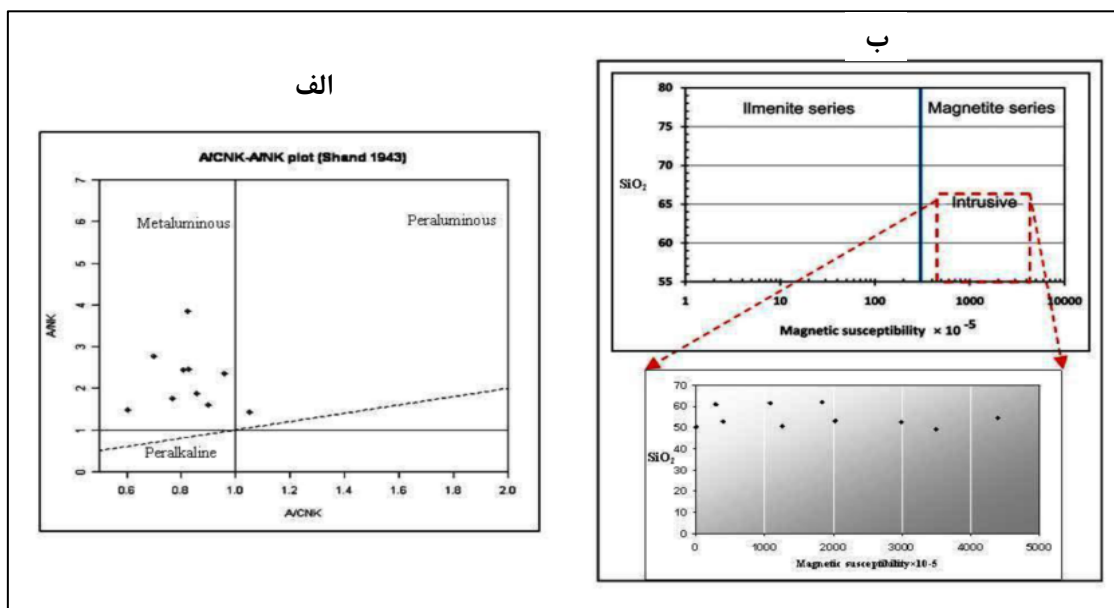
شماره نمونه	۵	۸	۱۲	۱۵	۲۵	۳۸	۳۹	۴۳	۴۴	۷۳
اکسید اصلی										
$SiO_2$	۵۳٫۲۲	۶۱٫۴۷	۵۴٫۳۸	۶۱٫۰۷	۵۳٫۰۶	۶۲٫۰۴	۵۲٫۴۷	۴۹٫۲۹	۵۰٫۵۳	۵۰٫۴۸
$TiO_2$	۰٫۶۶	۰٫۶۹	۰٫۶۲	۰٫۵۰	۰٫۶۲	۰٫۵۷	۰٫۶۹	۰٫۹۷	۰٫۸۹	۰٫۶۵
$Al_2O_3$	۱۷٫۶۳	۱۶٫۱۷	۱۷٫۸۲	۱۶٫۸۲	۱۵٫۶۹	۱۶٫۳۹	۱۹٫۸۲	۱۷٫۷۰	۱۶٫۷۷	۱۷٫۳۹
TFeO	۸٫۱۳	۴٫۹۸	۶٫۴۲	۳٫۹۴	۶٫۸۰	۶٫۰۳	۷٫۰۱	۹٫۷۸	۸٫۰۱	۸٫۱۵
MnO	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۰۹
MgO	۳٫۶۹	۱٫۵۴	۴٫۳۲	۱٫۸۳	۳٫۷۰	۲٫۴۵	۴٫۳۷	۴٫۶۹	۷٫۰۱	۰٫۳۲
CaO	۸٫۰۳	۶٫۴۸	۷٫۸۳	۴٫۴۴	۹٫۲۲	۲٫۲۶	۶٫۷۵	۶٫۱۳	۸٫۸۰	۹٫۳۴
$Na_2O$	۳٫۵۶	۳٫۷۷	۳٫۴۲	۴٫۸۶	۳٫۰۷	۵٫۱۱	۴٫۳۰	۵٫۴۳	۲٫۱۹	۶٫۵۲
$K_2O$	۱٫۲۶	۲٫۷۹	۱٫۵۲	۲٫۴۱	۰٫۵۹	۲٫۸۴	۱٫۲۴	۰٫۵۲	۰٫۷۰	۰٫۹۳
$P_2O_5$	۰٫۳۵	۰٫۲۷	۰٫۳۴	۰٫۲۵	۰٫۲۰	۰٫۳۰	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۱۸	۰٫۲۸
LO.I	۳٫۱۵	۱٫۵۴	۳٫۰۵	۳٫۵۹	۶٫۷۴	۱٫۶۹	۲٫۷۷	۴٫۷۵	۴٫۵۹	۵٫۶۳

جدول ۵ جنس نمونه‌های سنگی آنالیز شده به روش XRF.

نام سنگ	کد نمونه	ردیف
مونزودیوریت پورفیری	AR-5	۱
بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری	AR-8	۲
هورنبلند مونزودیوریت	AR-12	۳
کوارتز مونزودیوریت	AR-15	۴
گرانودیوریت	AR-25	۵
مونزوسینیت پورفیری	AR-38	۶
پیروکسن مونزوسینیت پورفیری	AR-39	۷
کوارتز هورنبلند دیوریت پورفیری	AR-43	۸
بیوتیت مونزودیوریت پورفیری	AR-44	۹



شکل ۲ الف) نمودار Middlemost (1985). ب) نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976).



شکل ۳ الف) نمودار A/NK در مقابل A/CNK (Shand, 1943). ب) نمودار درصد  $SiO_2$  نسبت به مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی.

جدول ۶ نسبت گرانیت، دیوریت و گابرو در گرانیتوئیدهای نوع I و S (کریم‌پور ۱۳۸۴).

گرانیت- دیوریت- گابرو (%)	
۲-۱۸-۸۰	نوع S
۲۰-۶۰-۲۰	نوع I

پتاسیک، سریسیتی، پروپیلیتیک، کربناتی، سیلیسی و ترکیبی از این موارد شناسایی شدند (شکل ۴).

زون دگرسانی پتاسیک: این زون مهم‌ترین زون دگرسانی تشخیص داده شده در منطقه است که رخنمون آن به علت بالا

### دگرسانی

شناخت دگرسان‌ها برای زمین‌شناس اقتصادی از این جهت اهمیت دارد که ذخایر گرمایی درون سنگ‌های دگرسان‌شده قرار دارند. در منطقه‌ی مورد بررسی زون‌های دگرسانی

بودن سطح فرسایش در سیستم اندک است و به رخنمون اندکی در بخش جنوب غربی منطقه خلاصه می‌شود (شکل ۴).

بنابر نظر [۷]، کانی اصلی زون با دگرسانی پتاسیک در منطقه بیوتیت ثانویه است. در این زون بیوتیت ثانویه هم به صورت پراکنده، هم حاصل تبلور دوباره بیوتیت‌های اولیه و نیز به صورت جانشینی در هورنبلند مشاهده می‌شود (شکل ۵ الف، ب، پ). بیوتیت ثانویه اغلب با اکسید آهن و گوتیت همراه است. از خصوصیات دیگر این منطقه وجود رگچه‌های اکسید آهن است که در حال تبدیل به گوتیت است (شکل ۵ ت).

چنانکه [۸] برای چندین کانسار مس پورفیری و مس-مولیبدن پورفیری نشان داد، منطقه‌های سولفیدی اقتصادی بیشترین همراهی را با زون دگرسانی پتاسیک دارند. نسبت سولفید مس به پیریت نیز در این زون بالاتر است ولی الزاماً نشان دهنده‌ی عیار بالاتر نیست به خاطر اینکه مقادیر کلی سولفیدها ممکن است در منطقه سرسیت بالاتر باشد [۹]. از این منطقه برای تعیین موقعیت ذخیره در مراحل پی‌جویی استفاده می‌شود [۶].

**زون سرسیتی:** این زون به سه زیر زون اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از زیرزون سرسیت + پروپیلیتیک، زیرزون سرسیت + آرژیلیک و زیر زون سرسیت + کربنات زون سرسیت + پروپیلیتیک در شمال، غرب و در جنوب شرقی منطقه از گسترش محدودی برخوردار است (شکل ۴). فلدسپات‌ها به سرسیت و کانی‌های رسی و کانی‌های مافیک به اپیدوت، کلریت آهن‌دار و کلریت منیزیم‌دار دگرسان شده‌اند. کلریت منیزیم‌دار گاه به صورت رگچه‌ای نیز مشاهده می‌شود.

زون سرسیت + آرژیلیک در شمال و در جنوب شرقی منطقه‌ی مورد بررسی از گسترش متوسطی برخوردار است (شکل ۴). در این زون فلدسپات‌ها بیشتر به سرسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. با مشاهده‌ی سرسیت در مقاطع نازک سنگ می‌توان به ماهیت اسیدی و قلیایی بودن محلول‌های گرمابی پی برد [۱۰].

زون سرسیت + کربنات در شمال و در غرب منطقه مشاهده می‌شود. این زون در غرب منطقه در کنار زون پتاسیک قرار گرفته است (شکل ۴). سرسیت حاصل دگرسانی فلدسپات‌ها و کربنات هم به صورت پراکنده و نیز حاصل فلدسپات‌های دگرسان و کانی‌های مافیک وجود دارد (شکل ۵ ث). اگر فرآیند

دگرسانی گرمابی به اندازه کافی نفوذکننده باشد، سنگ می‌تواند به‌طور کامل به کوارتز و سرسیت تبدیل شود [۱۱].

زون دگرسانی سرسیتیک با شاره‌های خنثی یا اسیدی با شوری متغیر ایجاد می‌شود [۱۲] و در همه‌ی کانسارهای پورفیری وجود ندارد و در کانسارهای زیادی که این زون وجود دارد روی زون دگرسانی پتاسیک قرار گرفته است [۱۳]. به دلیل بالا بودن درصد پیریت و گسترش زون سرسیت در ذخایر پورفیری و ماسیوسولفید، در پی‌جویی‌های ژئوفیزیکی از آن استفاده می‌شود [۶].

**زون کربناتی:** کانی‌های کربناتی حاصل از دگرسانی، معمولاً جزء کانی‌های وابسته به دگرسانی پروپیلیتیک است ولی در زون‌های معرفی شده در زیر فراوانی کانی‌های کربناتی به قدری است که ترجیح داده شد به‌عنوان دگرسانی جداگانه در نظر گرفته شود. این زون به چهار زیر زون اصلی تقسیم می‌شود که شامل زیر زون کربناتی، زیرزون کربناتی + سیلیسی، زیر زون کربناتی + پروپیلیتیک و زیرزون کربناتی + سرسیتی است.

زیر زون دگرسانی کربناتی در دو موقعیت در شرق منطقه، واقع شده است (شکل ۴). در این زون کانی‌های اولیه به خصوص کانی‌های مافیک به کربنات تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ج). حضور نسبتاً فراوان کانی‌های کربناتی، نشان دهنده‌ی غنی بودن محلول ازی کربنات است.

زیر زون دگرسانی کربناتی + سیلیسی با گسترش نسبتاً متوسطی در مرکز منطقه واقع شده است (شکل ۴). سیلیس و کربنات به صورت پراکنده در متن سنگ و گاه به صورت رگچه‌ای مشاهده می‌شود.

زیر زون کربنات + پروپیلیتیک گسترده‌ترین زون دگرسانی در منطقه است که از شرق تا غرب منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۴). کانی‌های اولیه در این منطقه به اپیدوت، کلریت، کربنات، سرسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. کلریت به دو صورت کلریت منیزیم‌دار و کلریت آهن‌دار و سیلیس به-میزان کمتر به صورت پراکنده در زمینه‌ی سنگ وجود دارد.

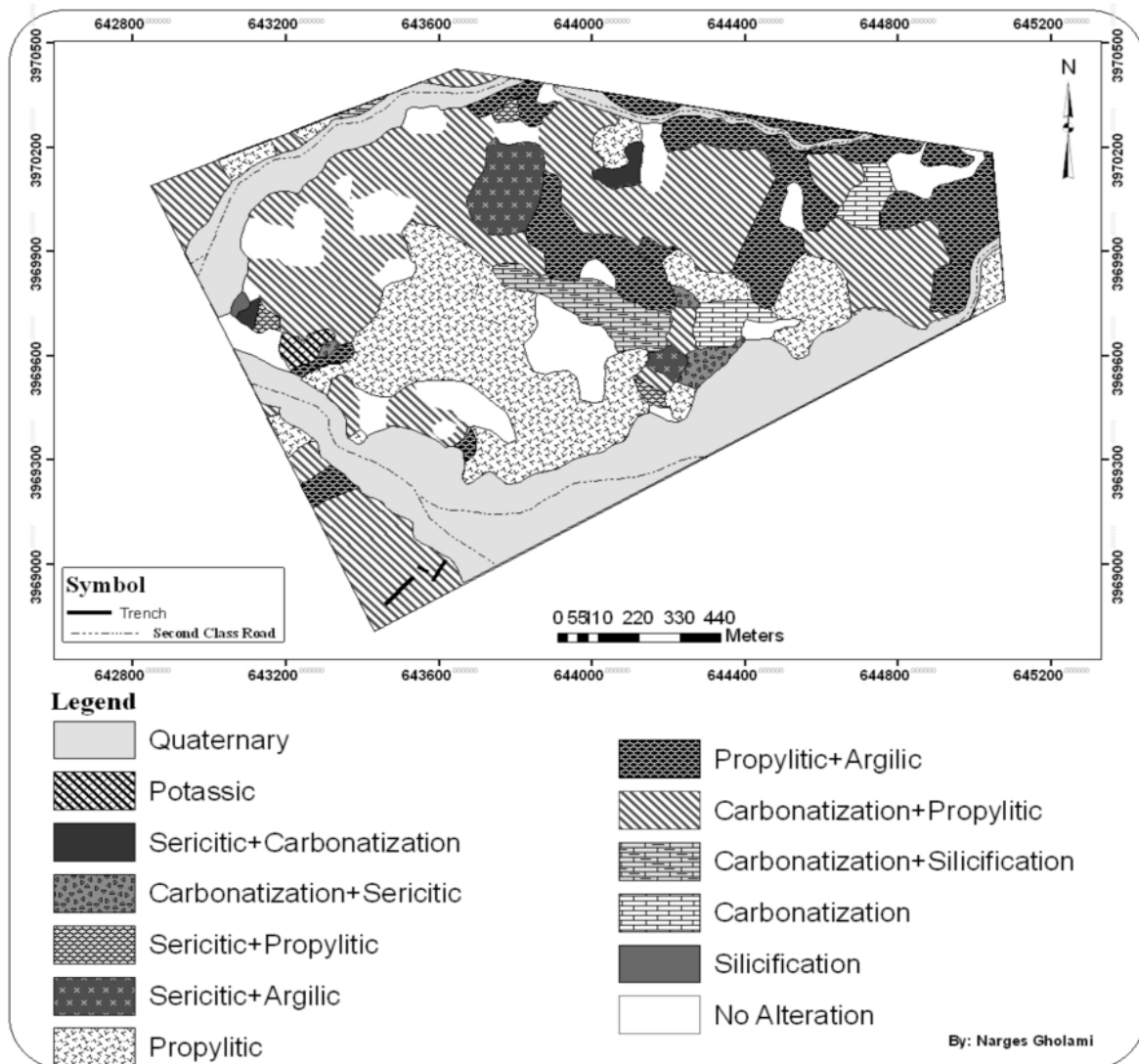
زیر زون دگرسانی کربنات + سرسیت در دو موقعیت در بخش‌های غربی و جنوب شرقی واقع شده‌اند (شکل ۴). سرسیت و کربنات حاصل دگرسانی فلدسپات‌ها و گاه کانی‌های مافیک است (شکل ۵ چ). کربنات هم به صورت رگچه و هم حاصل کانی‌های اولیه سنگ وجود دارد. میزان کربنات

سنگی به علت زمین‌ساختی فعال منطقه، برشی شده و سیلیس فضای میان قطعات را پر کرده است (شکل ۵ ح). این دگرسانی به‌عنوان دگرسانی فرعی در زون کربناتی نیز مشاهده می‌شود. سیلیسی شدن نتیجه‌ی فعالیت محلول‌ها در طیف گسترده-ای از محیط‌های شیمیایی است، به خاطر اینکه ممکن است با دگرسانی آرژلیک پیشرفته، سریسیتی شدن، کلریتی شدن، پتاسیک، آلبیتی شدن، کربناتی شدن و یا تشکیل گرازن همراه باشد [۱۵]. در منطقه‌ی مورد بررسی نیز سیلیسی شدن به-صورت پرکننده‌ی رگچه و پراکنده در زمینه‌ی سنگ، به میزان کمتر در بخش‌های مختلف منطقه مشاهده می‌شود.

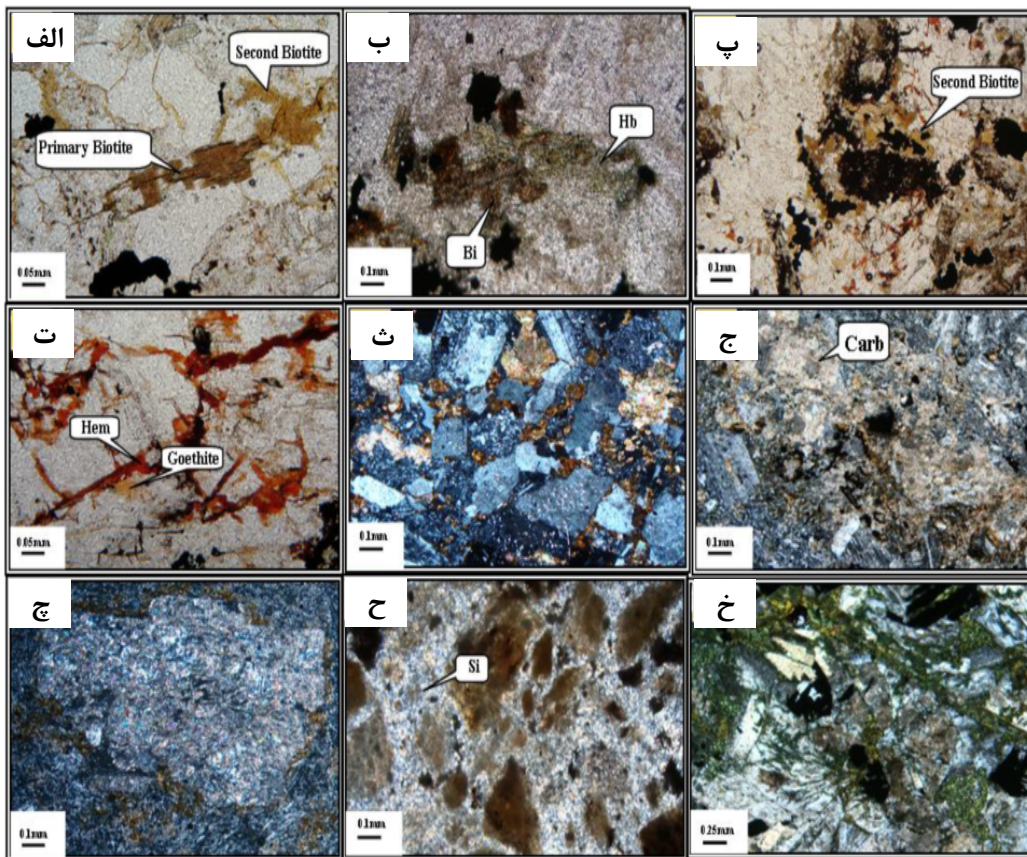
زیرزون کربناتی+سریسیتی بیشتر از زیرزون کربناتی + سیلیسی است.

به‌طور کلی کربنات‌ها نیز همچون سریسیت و کلریت، از جمله گسترده‌ترین کانی‌های دگرسانند و چنانکه درمورد کلریت گفته شد، ممکن است تغییر در ترکیب کربنات‌ها نیز نسبت به دوری یا نزدیکی به توده‌ی معدنی وجود داشته باشد [۱۴].

**زون سیلیسی:** این زون با فاصله اندکی از زون پتاسیک در غرب منطقه قرار دارد (شکل ۴). گسترش این زون بسیار اندک است و سیلیس به‌صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می-شود. این زون روی واحد سنگی توف سبز قرار دارد. این واحد



شکل ۴ نقشه‌ی منطقه بندی دگرسانی منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰.



**شکل ۵** زون‌های مختلف دگرسانی منطقه‌ی مورد بررسی در مقطع نازک. الف) بیوتیت ثانویه حاصل تبلور مجدد بیوتیت اولیه (نور PPL). ب) بیوتیت ثانویه به صورت جانشینی در هورنبلند (نور PPL). پ) بیوتیت ثانویه به صورت پراکنده در متن سنگ (نور PPL). ت) رگچه‌های اکسید آهن در حال تبدیل به گوتیت در زون دگرسانی پتاسیک (نور PPL). ث) دگرسانی سریسیت + کربنات در سنگ هورنبلند مونزونیت (نور XPL). ج) دگرسانی کربناتی در سنگ هورنبلند دیوریت (نور XPL). چ) تبدیل بلور فلدسپات به کربنات و سریسیت در زون دگرسانی کربنات + سریسیت در سنگ هورنبلند مونزوسینیت پورفیری (نور XPL). ح) دگرسانی سیلیسی در توف (نور XPL). خ) دگرسانی پروپیلیتیک در سنگ مونزوسینیت (نور XPL).

(Bi=Biotite, Hb=Hornblende, Hem=Hematite, Carb=Carbonate, Si=Silica)

مافیک سنگ به کلریت، اپیدوت و کربنات تبدیل شده‌اند. گسترش اصلی آن به واحدهای مونزودیوریت، مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند مونزونیت وابسته است. این زون از نظر گستردگی، راهنمای پی‌جویی خوبی برای ذخایر مس پورفیری است و گاهی گسترش آن تا ۴ کیلومتر می‌رسد [۶].

#### کانی‌سازی

در گستره‌ی مورد بررسی، کانی‌سازی به دو صورت اولیه و ثانویه و به دو شکل فلزی و غیر فلزی صورت گرفته است. کانی‌سازی فلزی در منطقه‌ی مورد بررسی بیشتر به شکل افشان و اولیه در متن اکثر سنگ‌های منطقه رخ داده است و بیشتر شامل پیریت و به‌میزان کمتر مگنتیت و کالکوپیریت است. بورنیت نیز به‌ندرت، تنها در جنوب منطقه و در متن سنگ بازالتی به صورت افشان مشاهده شد. از دیگر کانی‌های

**زون پروپیلیتیک:** این زون در منطقه به دو زیر زون پروپیلیتیک و پروپیلیتیک + آرژیلیک تقسیم می‌شود. گسترش زیرزون پروپیلیتیک در بخش‌های مرکزی منطقه بیشتر است. این زون بعد از زون کربنات + پروپیلیتیک گسترده‌ترین زون دگرسانی در منطقه است (شکل ۴). در این زون کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند) به کلریت و اپیدوت و به میزان کمتر به کربنات تبدیل شده‌اند (شکل ۵خ). کلریت هم به صورت کلریت منیزیم‌دار و هم به صورت کلریت آهن‌دار وجود دارد. به‌طور کلی در زون پروپیلیتیک به سمت خارج بر میزان کانی‌های رسی و کلسیت افزوده می‌شود [۶].

زون پروپیلیتیک + آرژیلیک بیشتر در بخش‌های شمالی و شرقی منطقه‌ی مورد بررسی واقع شده است (شکل ۳). فلدسپات‌ها به کانی‌های رسی و گاه به اپیدوت و کانی‌های



رگه‌های سیلیسی و کلسیتی جنوب منطقه نیز وجود دارد و تحت تاثیر دگرسانی برون زا در حال تبدیل به گوتیت است. بورنیت با فرمول  $\text{Cu}_5\text{FeS}_2$  کمترین فراوانی را بین کانی‌های فلزی در مرحله اول کانی‌سازی دارد و تنها در جنوب منطقه‌ی مورد بررسی در یک نمونه‌ی بازالت و همراه با پیریت و کالکوپیریت مشاهده شد. حداکثر اندازه‌ی بورنیت در این نمونه ۱ سانتی‌متر است که به صورت افشان در متن سنگ تشکیل شده است.

هماتیت با فرمول  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  بیشترین گسترش را بین کانی‌های فلزی در مرحله ی ثانویه کانی‌سازی دارد و اولین کانی تشکیل شده در این مرحله است. این کانی هم به‌صورت پراکنده درزه‌های سنگ و هم به‌صورت پراکنده در متن بیشتر سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۶ ت و ث). هماتیت همراه با گوتیت و گاه لیمونیت سبب تغییر رنگ کلی سنگ‌های منطقه به‌ویژه در زون پروپیلیتیک + آرژیلیک و کربنات + پروپیلیتیک دگرسان و در نتیجه ایجاد زون گوسان شده است. این زون به‌صورت پوششی سطحی و به رنگ نارنجی تا قرمز در منطقه‌ی مورد بررسی قابل مشاهده است.

گوتیت با فرمول  $\text{FeO(OH)}$  معمولاً اولین کانی دارای آهن فریک است که طی هوازدگی کانی‌های سولفیدی آهن تشکیل می‌شود. این کانی نسبت به هماتیت از فراوانی کمتری برخوردار است و بیشتر همراه با هماتیت و لیمونیت و به شکل پراکنده در متن سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود.

لیمونیت با فرمول  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  آخرین کانی است که در مرحله‌ی اکسایش تشکیل می‌شود. این کانی بیشتر در زون کانی‌سازی جنوب منطقه و به شکل پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود و مهم‌ترین محصول دگرسانی برون زا در رگه‌ها به شمار می‌رود، قسمتی از آن محصول دگرسانی نهایی پیریت و کالکوپیریت و بخش عمده‌ی آن همراه با پسیلوملان تشکیل شده است. بر اثر پدیده‌ی حمل و شستشو، لیمونیت به درون درز و شکاف‌ها و حد فاصل بلورهای گانگ غیر فلزی راه یافته و با آغشتگی گانگ آن را به رنگ‌های زرد قهوه‌ای در آورده است [۱۶]. لیمونیت به میزان کمتر در زون گوسان نیز همراه با هماتیت و گوتیت وجود دارد.

کوارتز فراوان‌ترین کانی غیر فلزی در منطقه‌ی مورد بررسی است. کانی‌سازی کوارتز به شکل رگه‌ای در زون گسلی جنوب منطقه و با روند شمال شرقی - جنوب غربی رخ داده است. طول رگه‌ها حداکثر به ۳۰۰ متر و ضخامت آن‌ها حداکثر به ۱/۵ متر می‌رسد. کوارتز به صورت پراکنده در متن سنگ‌های منطقه و به ندرت به‌صورت رگچه‌ای همراه با کربنات نیز مشاهده می‌

فلزی منطقه کانی‌های هماتیت، گوتیت و لیمونیت‌اند که در نتیجه اکسایش کانی‌های فلزی اولیه تشکیل شده‌اند. کانی‌سازی غیرفلزی در منطقه‌ی مورد بررسی شامل تشکیل رگه‌های سیلیسی و کلسیتی در جنوب منطقه است. همچنین نزدیک به منطقه مورد بررسی (در سمت غرب) آثار کانی‌سازی ترکیبات کربنات مس شامل آزوریت و مالاکیت نیز در بازدیدهای صحرائی مشاهده شد. لازم به یادآوری است که کانی مگنتیت مشاهده شده در زمینه‌ی سنگ‌های منطقه، بیشتر مربوط به خود سنگ (وابسته به ماگماتیزم) است.

پیریت با فرمول  $\text{FeS}_2$  بیشترین گسترش را بین کانی‌های فلزی در مرحله‌ی اول کانی‌سازی دارد و با توجه به بررسی‌های مینرالوگرافی احتمالاً اولین کانی سولفیدی تشکیل شده در این مرحله است. این کانی به صورت افشان در متن بیشتر سنگ‌های منطقه وجود دارد. ابعاد بلورهای پیریت از ۱ سانتی‌متر در یک نمونه بازالت در جنوب منطقه تا ابعاد میکروسکوپی در بیشتر سنگ‌های منطقه تغییر می‌کند. این کانی به‌صورت شکل دار و نیمه شکل دار، به شکل منفرد و همراه با کانی‌هایی همچون مگنتیت و به‌میزان کمتر کالکوپیریت و گاه بورنیت در منطقه دیده می‌شود. پیریت بیشترین فراوانی را در زون دگرسانی پتاسیک در جنوب غربی منطقه دارد (شکل ۶ الف) و در زون کانی‌سازی رگه‌ای در جنوب منطقه، کانه‌ی اصلی رگه‌ها به شمار می‌رود [۱۶]. همچنین در کانسارهای  $\text{Au}$ ,  $\text{Cu-Au}$ ,  $\text{Cu-Mo}$ ,  $\text{Cu}$  و  $\text{Ag}$  پورفیری، کانی سولفیدی غالب پیریت است که بازتاب دهنده‌ی این حقیقت است که این کانسارها دارای بی‌هنجاری سولفور بالایی هستند [۱۷].

کالکوپیریت با فرمول  $\text{CuFeS}_2$  کانه‌ی اصلی مس در منطقه است که گسترش کمتری نسبت به پیریت دارد و احتمالاً کمی پس از آن تشکیل شده است. کالکوپیریت در ابعاد ماکروسکوپی تنها در یک نمونه‌ی بازالت در جنوب منطقه مورد بررسی مشاهده شد. ابعاد کالکوپیریت در این نمونه حدود ۱ سانتی‌متر است. کالکوپیریت در مقاطع نازک صیقلی به‌شکل پراکنده در متن سنگ بیشتر همراه با مگنتیت و پیریت مشاهده می‌شود (شکل ۶ ب). نسبت‌های کانی‌سازی پیریت - کالکوپیریت در سیستم‌های پورفیری به نوع سنگ و زون‌های دگرسانی که آن را احاطه می‌کنند وابسته هستند [۱۸]. این کانی بیشترین فراوانی را در زون دگرسانی پتاسیک در جنوب غربی منطقه دارد (شکل ۶ پ). در این زون کالکوپیریت همراه با پیریت و مگنتیت به‌صورت پراکنده در متن سنگ‌های هورنبلند بیوتیت دیوریت و بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. همچنین بنا بر [۱۶]، این کانی در

دارند. سمت یابی ساختارهای کانی‌سازی شده می‌تواند محیط-های فشارشی محلی در اطراف و بالای پلوتون‌ها و یا شرایط فشارشی ناحیه‌ای را منعکس کند [۱۹-۲۲]. توالی تشکیل کانی‌ها در منطقه مورد بررسی در شکل (۷) نشان داده شده است.

شود. پس از کوارتز، کلسیت فراوان‌ترین کانی غیرفلزی در منطقه را تشکیل می‌دهد. این کانی به‌صورت رگه‌ای در زون کانی‌سازی جنوب منطقه (شکل ۶ ج) و به‌صورت پراکنده در متن سنگ‌های منطقه و به‌میزان کمتر به‌صورت رگچه‌ای مشاهده می‌شود. در کانسارهای پورفیری اقتصادی پیچیده و بزرگ، رگه‌های کانی‌سازی شده و شکستگی‌ها تراکم بالایی



شکل ۶ نمایی از انواع و نحوه‌ی کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی: (الف) کانی‌سازی پیریت در سنگ بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت (ب) نمایی از کانی‌سازی مگنتیت و کالکوپیریت در سنگ هورنبلند آندزیت (نور انعکاسی) (پ) کانی‌سازی کالکوپیریت در سنگ بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری در زون دگرسانی پتاسیک (ت) اکسایش کانی‌های سولفیدی و تشکیل هماتیت در سنگ هورنبلند آندزیت پورفیری (ث) کانی‌سازی اکسید آهن (هماتیت) به‌صورت پرکننده‌ی درز و شکاف‌ها. (ج) نمایی از رگه کلسیتی در زون کانی‌سازی جنوب منطقه-دید به سمت جنوب (Cp=Chalcopyrite, Mag=Magnetite)

کانی‌ها	هیدروترمال	هوازنگی
پیریت	—	—
بورنیت	—	—
کالکوپیریت	—	—
کوارتز	—	—
کلسیت	—	—
کلریت	—	—
سرسیت	—	—
کانولینیت	—	—
هماتیت	—	—
گرتیت	—	—
لیمونیت	—	—

شکل ۷ توالی پاراژنتیک کانی‌های اولیه و ثانویه در منطقه‌ی مورد بررسی (راست به چپ).

## بررسی‌های ژئوشیمیایی

در عملیات صحرایی به‌منظور فراهم کردن تجزیه شیمیایی و دریافت آگاهی درستی از پراکندگی عناصر خاص در هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه و اولیه، نمونه‌برداری به دو روش نمونه-برداری رسوب‌های رودخانه‌ای و نمونه‌برداری سنگی انجام شد. نمونه‌های برداشت‌شده پس از فرایندهای خردایش، نرمایش و آماده‌سازی به روش طیف‌سنجی جذب اتمی در دانشگاه فردوسی مشهد آنالیز شدند. این آنالیز برای عناصر مس، سرب، روی، نقره و منگنز صورت گرفت.

**رسوب‌های آبراهه‌ای:** در منطقه‌ی مورد بررسی، با در نظر گرفتن رخنمون توده‌های نفوذی، نقشه‌ی دگرسانی، کانی‌سازی و شبکه‌بندی آبراهه‌ای تصاویر گوگل (مقیاس ۱:۱۰۰۰) نقاط مناسب برای برداشت رسوب‌های رودخانه‌ای انتخاب شدند. این نقاط از آبراهه‌های نسبتاً عریض منطقه که می‌توانست معرف واحدهای سنگی بالادست باشد، با رعایت پراکندگی در کل منطقه، انتخاب شد. برداشت یک نمونه رسوب آبراهه‌ای در محل‌هایی دور از حاشیه‌ی آبراهه، که امکان ریزش از رخنمون‌های بالادست وجود نداشته باشد، برداشت شد. عمق برداشت نمونه‌ها از ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بوده است. نمونه‌های جمع‌آوری شده غربال شدند و رسوب‌های ریزتر از ۸۰ مش (۲/۵ فی معادل ۰/۱۷۷ mm) برای آنالیز AAS جدا شدند. وزن هر نمونه پس از غربال شدن حدود ۲ کیلوگرم و تعداد نمونه‌ها ۱۰ عدد بودند که در محل شماره‌گذاری و با GPS تعیین موقعیت شدند. نمونه‌هایی که در کیسه‌های نایلنی نگهداری شده بودند، در آزمایشگاه کاملاً خشک شده و به وسیله‌ی یک الک لرزان الک شدند. کسر ۸۰ مش این رسوب‌های پس از فرآیند نرمایش تا کسر ۲۰۰ مش، برای تجزیه‌ی شیمیایی عناصر Cu, Zn, Pb, Ag, Mn به آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده‌ی علوم پایه

دانشگاه فردوسی مشهد، برای آنالیز به روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) فرستاده شدند. نتایج تجزیه در جدول (۷) گزارش شدند. در شکل (۸ الف) نقشه‌ی موقعیت نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای برداشت شده دیده می‌شوند.

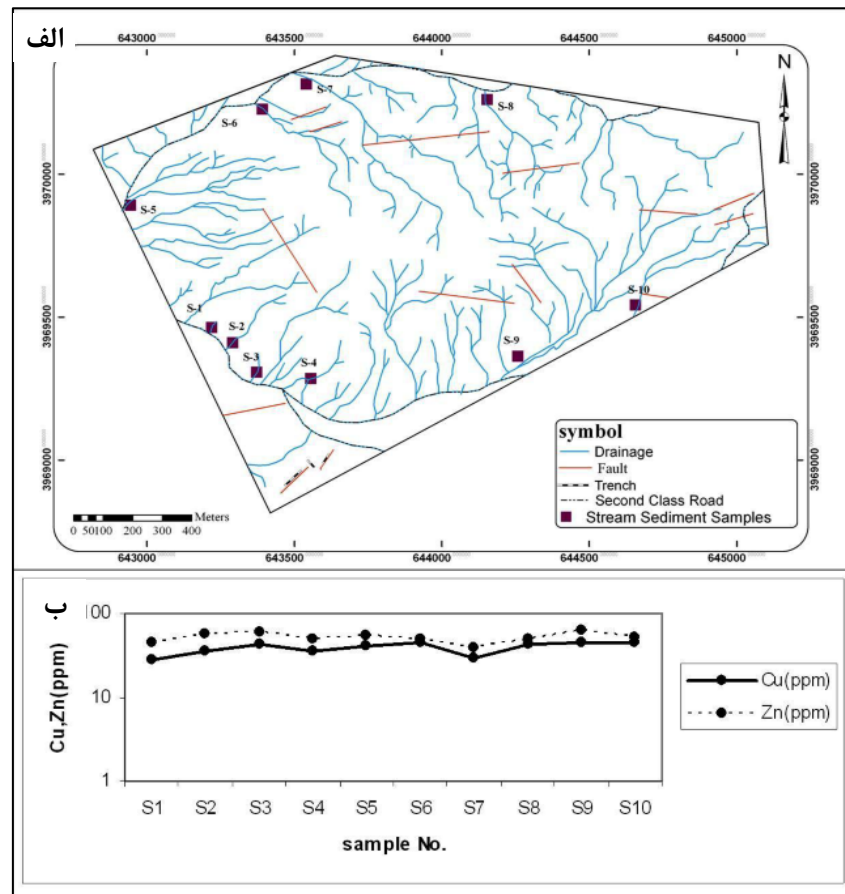
با توجه به نقشه‌های توزیع عناصر و نقاط دارای بی‌هنجاری در عناصر Cu, Zn, Pb, Mn, Ag می‌توان گفت که عنصر مس در بخش شمالی و جنوب شرقی منطقه‌ی بی‌هنجاری نشان می‌دهد. بی‌هنجاری از عنصر روی در بخش جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود. به‌طور کلی عناصر مس و روی در محل‌هایی که آبراهه‌ها از رخنمون‌های هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، مونزوسینیت و هورنبلند دیوریت پورفیری عبور می‌کنند، بی‌هنجاری بالاتری را نسبت به نقاط دیگر نشان می‌دهند. به بیان دیگر در ایجاد بی‌هنجاری‌های مس و روی در رسوب‌های رودخانه‌ای منطقه، توده‌های نفوذی نقش داشته‌اند. عنصر سرب در غرب و جنوب منطقه بی‌هنجاری بالاتری را نشان می‌دهد که در غرب به دگرسانی کربناتی + پروپیلیتیک و در جنوب به دگرسانی پروپیلیتیک وابسته‌اند.

با توجه به مقادیر زمینه‌ی نقره در سنگ‌های حدواسط، در ایجاد بی‌هنجاری‌های این عنصر در منطقه نیز می‌توان دگرسانی پروپیلیتیک + آرژیلیک، سریسیت + آرژیلیک و کربناتی + پروپیلیتیک را مؤثر دانست.

در مورد عنصر منگنز می‌توان گفت که مقدار این عنصر در منطقه با توجه به حد زمینه، هنجاری محسوب نمی‌شود. همچنین با توجه به نمودار شکل (۸ ب) همبستگی مثبت بالایی بین دو عنصر مس و روی در نمونه‌های رسوب رودخانه-ای منطقه دیده می‌شود. همبستگی عناصر می‌تواند در شناخت شرایط حاکم در زمان ته‌نشینی عناصر و نیز در تفسیر بی‌هنجاری‌های موجود مفید باشد.

جدول ۷ نتایج تجزیه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای (مقادیر بر حسب ppm).

Sample No.	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)
S1	۲۸,۲	۴۳,۸	۴۰,۴	۵۴۵,۶	۱,۸
S2	۳۴,۸	۵۶,۵	۴۱,۹	۶۸۱,۵	۱,۸
S3	۴۳,۱	۵۸,۳	۳۶,۶	۶۹۸,۱	۱,۵
S4	۳۵,۶	۴۸,۹	۳۳,۸	۷۱۱,۵	۱,۴
S5	۴۱	۵۴,۱	۴۲,۱	۶۹۷,۴	۱,۸
S6	۴۴,۹	۴۹	۳۷,۳	۶۹۱	۷,۷
S7	۲۹,۲	۳۸,۶	۳۳,۹	۴۷۱,۶	۳
S8	۴۲,۳	۴۹,۳	۳۵,۶	۶۴۶,۵	۶,۸
S9	۴۳,۳	۶۳,۵	۲۶,۸	۷۵۷,۵	۱,۹
S10	۴۴,۵	۵۰,۵	۲۵,۹	۷۸۱,۲	۱,۹



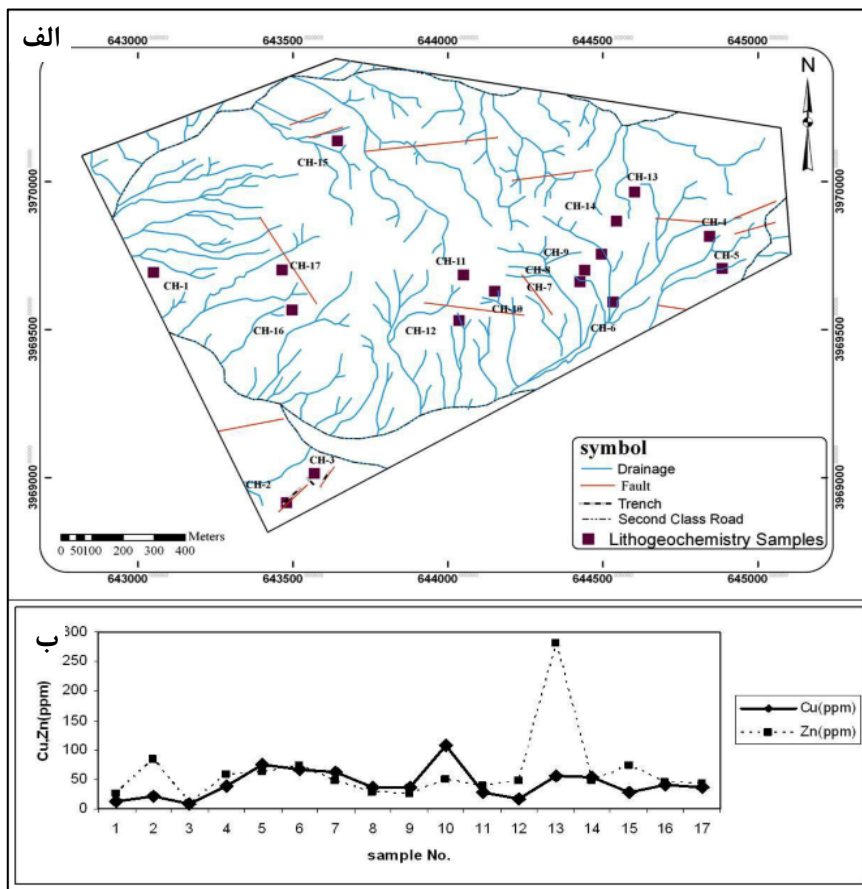
شکل ۸. الف) موقعیت و شماره‌ی نمونه‌های رسوب آبراه‌های برداشت شده در منطقه ب) رابطه مستقیم Cu- Zn در نمونه‌های رسوب آبراه‌های.

برداشت شده نشان داده شد. بالاترین مقادیر دو عنصر مس و روی در منطقه‌ی مورد بررسی بیشتر به بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی منطقه وابسته‌اند که دگرسانی‌های کربناتی+ سیلیسی، کربناتی + پرپلیتیک و پروپلیتیک + آرژیلیک سبب ایجاد این بی‌هنجاری‌ها بوده‌اند. همچنین با توجه به نمودار شکل (۹ ب) بین عناصر مس و روی در نمونه‌های سنگی منطقه، همبستگی مثبتی مشاهده می‌شود. در منطقه مورد بررسی بیشترین میزان سرب به نمونه‌ی سنگی Ch-2 به میزان  $93/4$  ppm وابسته است. آنچه می‌توان گفت این است که این نمونه از محل رگه‌ی سیلیسی به شدت لیمونیتی شده برداشت شده است. در نمونه‌های برداشت شده‌ی دیگر منطقه بی-هنجاری سرب پایین است. با توجه به مقادیر زمینی عنصر منگنز در سنگ‌های حدواسط و اسیدی، این عنصر بی‌هنجاری خاصی را در منطقه نشان نمی‌دهد. در شکل (۱۰) توزیع ژئوشیمیایی عناصر مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی روی نقشه دگرسانی نشان داده شده‌اند.

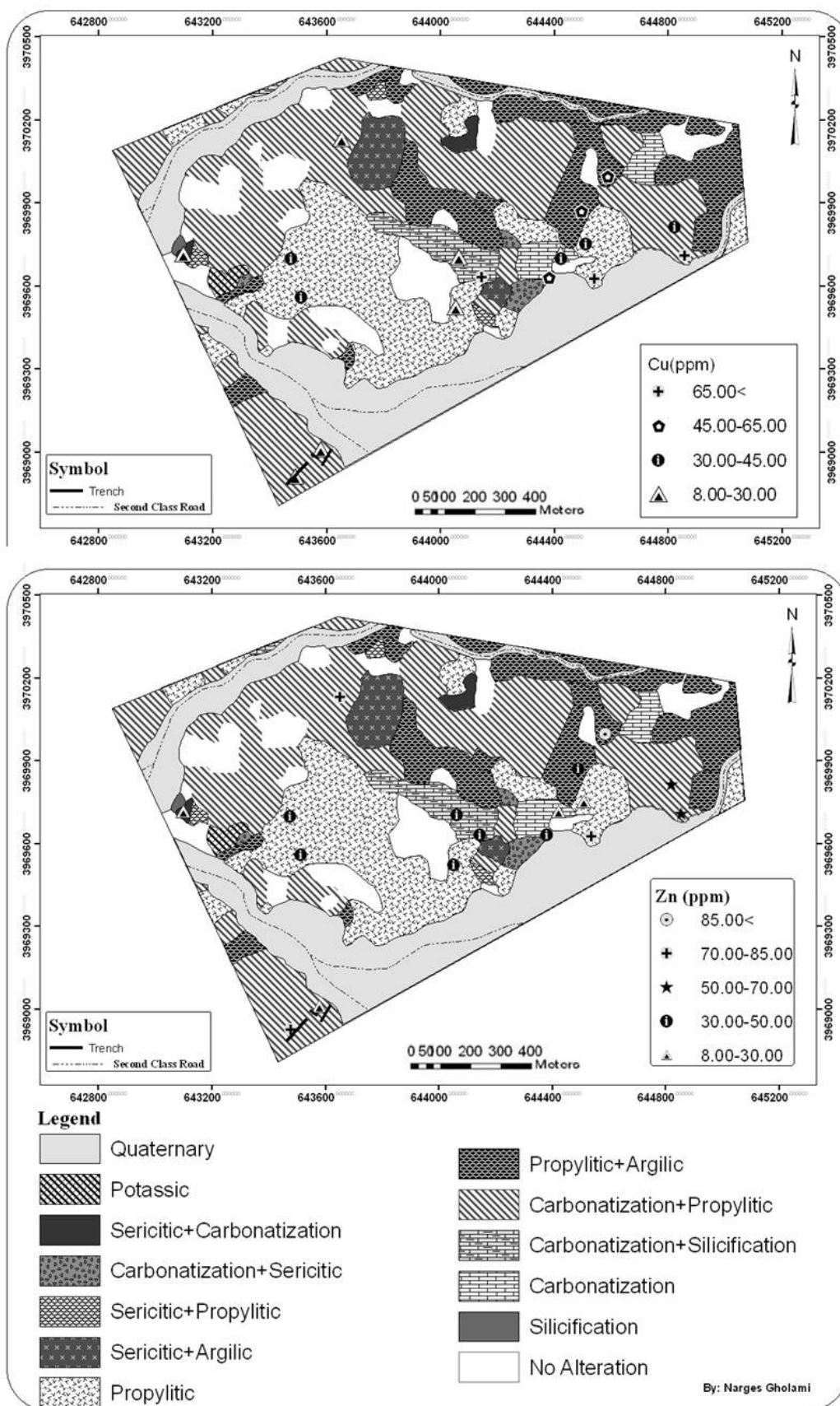
**نمونه‌های سنگی:** این نمونه‌ها به منظور پی‌جویی ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی و از منطقه‌های کانی‌سازی و دگرسان برداشت شدند. در مجموع ۱۷ نمونه سنگی که معرف منطقه‌ی مورد بررسی بودند برداشت شدند. در این روش برای نمونه-برداری از هر نقطه نخست یک دایره به شعاع ۱۰ تا ۱۵ متر در نقطه‌ی مورد نظر در سطح زمین انتخاب و در صورتی که محل نقطه کاملاً از بیرون‌زدگی سنگ‌های منطقه تشکیل شده باشد، به صورت تکه‌ای (chip sampling) هر تکه به وزن حدود ۵۰ گرم از تمامی سطح این دایره نمونه‌برداری شدند که نمونه مورد نظر، نمونه‌ی سنگی (rock sampling) نامیده می‌شود. نمونه-های برداشت شده در محل شماره‌گذاری و با GPS، تعیین موقعیت شدند و پس از طی مراحل آماده‌سازی، خردایش و نمایش تا کسر ۲۰۰ مش برای عناصر Cu, Pb, Zn, Ag, Mn به روش AAS در آزمایشگاه شیمی تجزیه‌ی دانشگاه فردوسی مشهد تجزیه شدند. نتایج تجزیه در جدول (۸) گزارش شدند. در شکل (۹ الف) نقشه‌ی موقعیت نمونه‌های خرده‌سنگی

جدول ۸ نتایج تجزیه نمونه‌های سنگی منطقه (مقادیر بر حسب ppm).

Sample No.	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Mn (ppm)	Ag (ppm)
Ch-1	۱۲,۲	۲۵,۳	۴۰,۶	۳۹۳,۹	۳,۱
Ch-2	۲۱,۵	۸۳,۵	۹۳,۴	۱۰۳۱,۷	۲,۸
Ch-3	۸,۳	۸,۱	۵۸	۶۶۰,۴	۴,۳
Ch-4	۳۹	۵۷,۵	۲۹,۱	۵۲۷,۱	۳,۱
Ch-5	۷۵,۶	۶۲,۳	۲۰,۵	۷۶۳	۳,۹
Ch-6	۶۷	۷۳,۵	۲۳,۳	۱۰۰۶,۹	۳,۲
Ch-7	۶۳,۵	۴۶,۹	۲۳,۸	۹۷۶,۲	۲,۹
Ch-8	۳۵,۸	۲۹,۱	۴۱,۲	۱۴۰۷,۵	۴,۹
Ch-9	۳۶,۵	۲۶,۶	۳۶	۱۶۲۸,۴	۵,۳
Ch-10	۱۰۸,۴	۴۹,۳	۳۶	۱۷۶۹,۹	۳,۸
Ch-11	۲۹,۱	۳۷,۹	۴۰,۳	۱۵۲۷,۲	۵,۱
Ch-12	۱۸,۱	۴۸,۲	۴۶,۹	۲۱۷۸,۵	۴,۸
Ch-13	۵۶,۷	۲۸۱,۴	۵۴,۸	۱۰۱۴,۶	۲,۵
Ch-14	۵۴,۱	۴۸,۱	۲۸	۶۶۷	۴
Ch-15	۲۸,۳	۷۳,۴	۳۷,۵	۳۹۸,۲	۲,۶
Ch-16	۴۰,۷	۴۵,۲	۲۹,۹	۱۰۱۱	۳
Ch-17	۳۶,۳	۴۴	۲۹,۴	۵۸۴,۲	۲,۶



شکل ۹ الف) موقعیت و شماره‌ی نمونه‌های سنگی برداشت شده در منطقه. ب) رابطه‌ی نسبتاً مستقیم Cu-Zn در نمونه‌های سنگی.



شکل ۱۰ توزیع ژئوشیمیایی عناصر مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی روی نقشه دگرسانی.

## برداشت

براساس بررسی‌های سنگ‌شناسی دقیق، سنگ‌های آتشفشانی داسیت، تراکیت، هورنبلند آندزیت، توف و بازالت در منطقه شناسایی شدند. ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی در گستره‌ی اسیدی و حدواسط قرار می‌گیرند. این واحدها بیشتر شامل مونزونیت و دیوریت است. با توجه به گستره‌ی پذیرفتاری مغناطیسی در واحدهای منطقه، این واحدها را می‌توان به سری گرانیتوئیدهای نوع I وابسته دانست.

براساس نتایج حاصل از بررسی‌های XRF، واحدهای نفوذی منطقه در گستره‌ی واحدهای سنگی حدواسط آهنکی-قلیایی قرار می‌گیرند که نشان دهنده‌ی زون فرورانش حاشیه‌ی قاره است.

تأثیر سیستم گسلی فعال و حجم بالای محلول‌ها در منطقه، واحدهای سنگ‌شناسی موجود را به شدت دگرسان کرده است. دگرسانی‌های رخ داده شامل دگرسانی‌های پتاسیک، سربسیتیکی، پروپلیتیکی، سیلیسی، کربناتی و ترکیبی از این موارد بوده و در سرتاسر گستره، از گسترش قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. در منطقه‌ی مورد بررسی کانی‌سازی به صورت فلزی و غیر فلزی (کلسیت و کوارتز) صورت گرفته است. کانی‌سازی فلزی اولیه از جمله پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت (?) بوده و همراه با آن کانی‌های ثانویه از قبیل اکسیدهای آهن به فراوانی بخصوص در بخش‌های سطحی دیده می‌شوند. با توجه به پاراژنز کانی‌های موجود و فراوانی کانی‌های سولفیدی بخصوص پیریت در منطقه، می‌توان گفت که ترکیب محلول گرمابی سولفیدی و اکسایشی بوده است. بررسی‌های ژئوشیمی صورت گرفته روی رسوب‌های آبراهه‌ای و نمونه‌های سنگی مؤید بی‌هنجاری عناصر مس و روی در بخش میانی و شرقی منطقه است.

وجود سیستم دگرسانی مناسب، (وجود زون پتاسیک به عنوان مهم‌ترین زون دگرسانی شناسایی شده)، توده‌های نیمه عمیق مونزونیتی، شواهد کانی‌سازی مس، وجود بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی برای این عنصر و الگوی کلی زمین‌شناختی در منطقه مؤید پتانسیل پی‌جویی برای سیستم مس پورفیری در منطقه ارغش است.

## مراجع

- [۱] نادری ن، " نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).
- [۲] میرا و، "اکتشافات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی اقتصادی رگه‌های طلای هیدروترمال منطقه ارغش (نیشابور)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران، (۱۳۷۸) ص ۱۸۱.
- [۳] بیات ع، "تعیین ژنرومدلسازی ترمودینامیکی کانسار طلای ارغش با مطالعه سیالات درگیر". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، در دست اجرا، (۱۳۸۷).
- [4] Ishihara S., "The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks": Mining geology, Japan, 27, 1977, p.43-300.
- [5] Chappel B.w., White A.J.R., Braynt C.J., Wyborn D., Williams I.S., *Recourse Geology*, V. 48, No. 4,(1988) p. 225-235.
- [۶] کریم‌پور م.ح، ملک‌زاده آ، حیدریان م.ر، "اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی"، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۴) صص ۱۸۸-۳۱۶.
- [7] Creasey S.C. "Some phase relations in hydrothermally altered rock of porphyry copper deposits": *Econ. Geol.*, 54, (1959) 351-373.
- [8] Carson D.J.T., Jambor J.L., "Mineralogy, zonal relationships and economic significance of hydrothermal alteration at porphyry copper deposits", Babine Lake area, British Columbia: Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, v. 76,( 1974) p. 24.
- [9] Barnes H., "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", Holt, Rinehart and Winston, (1967) p.670.
- [10] Philips W. M., Revell Griffen, Dana T., "Optical Mineralogy, *Freman and Company*", (1981) p. 688.
- [11] Ossandon G., Freraut R., Gustafson L.B., Lindsay D.D., Zentilli M., "Geology of the Chuquicamata mine: a progress report". *Economic Geology* 96: (2001) 249-270.
- [12] Eshaghpour M., "Borehole Geology and Alteration Mineralogy of Well NWS-4, Mt.Sabalan

- Geology, v.70,no.3, (1975) p. 568-576.
- [19] Carten R.B., Geraghty E.P., Walker B.M., "Cyclic development of igneous features and their relationship to high-temperature hydrothermal features in the Henderson porphyry molybdenum deposit", Colorado: Economic Geology, v. 83, (1988) p. 266-296.
- [20] Heidrick T.L., Titley S.R., "Fracture and dike patterns in Laramide plutons and their structural and tectonic implication: American Southwest", in Titley, S.R., ed., Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America: University of Arizona Press, Tucson, Arizona, (1982) p. 73-91.
- [21] Linnen R.L., Williams-Jones A.E., "Tectonic control of quartz vein orientations at the Trout Lake stockwork molybdenum deposit, southeastern British Columbia: Implications for metallogeny in the Kootenay Arc", Economic Geology, v. 82, (1987) p.1283-1293.
- [22] Rehrig W.A., Heidrick T.L., "Regional fracturing in Laramide stocks of Arizona and its relationship to porphyry copper mineralization", Economic Geology, v. 67, (1972) p. 198-213.
- Geothermal Field, NW-Iran*", Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turke (2005).
- [13] Carson D.J.T., Jambor J.L., "The occurrence and significance of phyllic overprinting at porphyry copper-molybdenum deposits (abstract)", Canadian Institute of Mining and Metallurgy, v. 72,( 1979) p. 78.
- [14] Eckstrand O.R., "The crystal chemistry of chlorite: unpublished Ph.D. thesis", Harvard university (1963).
- [15] Bowen R., Gunatilaka A., "Copper: it's geology and economics", Applied sciences published Ltd, London,( 1977) pp. 12-158.
- [۱۶] کوثری س.، "گزارش عملیات اکتشافی در کانسار طلای ارغش- کانسار طلای شماره ۲- جنوب غرب نیشابور (فاز دوم)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معنی کشور، (۱۳۸۲).
- [17] Hunt J.P., "Porphyry copper deposits; in Hutchinson", R.W., and Grauch, R.I., eds., Historical Perspectives of Genetic Concepts and Case Histories of Famous Discoveries: Economic Geology Monograph 8, (1991) p. 192-206.
- [18] Waterman G. C., Hamilton R. L., "The Sar Cheshmeh porphyry copper deposit", Economic