



بررسی‌های ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و کانی‌سازی سولفیدی در رگه‌های کوارتز جنوب مشهد

نازنین گرمابی^۱، خسرو ابراهیمی^{۱*}، علیرضا مظلومی^۲، سید مسعود همام^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور تهران

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۱۹، نسخه نهایی: ۹۴/۱/۱۵)

چکیده: منطقه‌ی شلگرد در جنوب مشهد (شمال شرق ایران) و در منطقه‌ی ساختاری بینالود قرار دارد. منطقه دستخوش دگرگونی ناحیه‌ای شده است و سنگ‌های دگرگون (اسلیت و فیلیت) بخش بزرگی از گستره‌ی مورد بررسی را پوشانده‌اند. واحدهای اسلیت، فیلیت، ماسه سنگ، و آهک دگرگون شده با سن تریاس و گنگلومرا با سن ژوراسیک به موازات و در راستای گسل سنگ بست شاندریز رخنمون دارند. کانی‌سازی در منطقه به صورت رگه‌ای در راستای $N50^{\circ}W$ و $N65^{\circ}E$ با شیب $75^{\circ}SW$ است. کانه‌های اولیه شامل کوارتز، پیریت، کالکوپیریت، گالن، اورپیمنت و رالگار بوده و کانی‌های ثانویه از مالاکیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت، لیمونیت و کولیت تشکیل شده‌اند. نمونه برداری ژئوشیمیایی به روش رسوب آبراهه‌ای، بیهنجاری‌هایی از عناصر Ag, Cu, Pb, Zn, Fe را نشان می‌دهند. در نمونه‌های کانی سنگین، کانی‌هایی از قبیل اورپیمنت، رالگار، طلا، پیریت، کاسیتريت مشاهده می‌شوند. همچنین براساس نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی انجام شده روی نمونه‌های خرده سنگی از رگه‌ی سطحی و تونل قدیمی، میزان طلا 4.424 ppm ، نقره 42.8 ppm ، مس 4.4964% ، آهن 1.4340% ، سرب 0.6939% ، و روی 0.2825% بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی، گسل سنگ بست شاندریز، شلگرد، جنوب مشهد.

مقدمه

رگه‌های کوارتز همراه با مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن ثانویه دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد حفاری‌ها و فعالیت‌های معدن کاری قدیمی در محل رگه‌های کانی‌سازی نیز برای استخراج طلا، نقره و سرب حفر شده‌اند. از جمله بررسی‌های انجام شده قبلی در منطقه می‌توان به اولین گزارش وجود بی-هنجاری‌هایی از Pb, Ag, Zn در جنوب مشهد [۱]، نقشه‌ی زمین‌شناسی $1:100000$ طبقه [۲]، بررسی بقایای رسوبی و زمین‌ساختی پالئوتیتس در جنوب مشهد [۳]، نقشه‌ی زمین‌شناسی $1:250000$ مشهد [۴]، پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین در ورقه‌ی $1:100000$ طبقه [۵]، بی‌هنجاری ژئوشیمی در نواحی جنوب و غرب گستره‌ی بی‌هنجاری‌هایی از

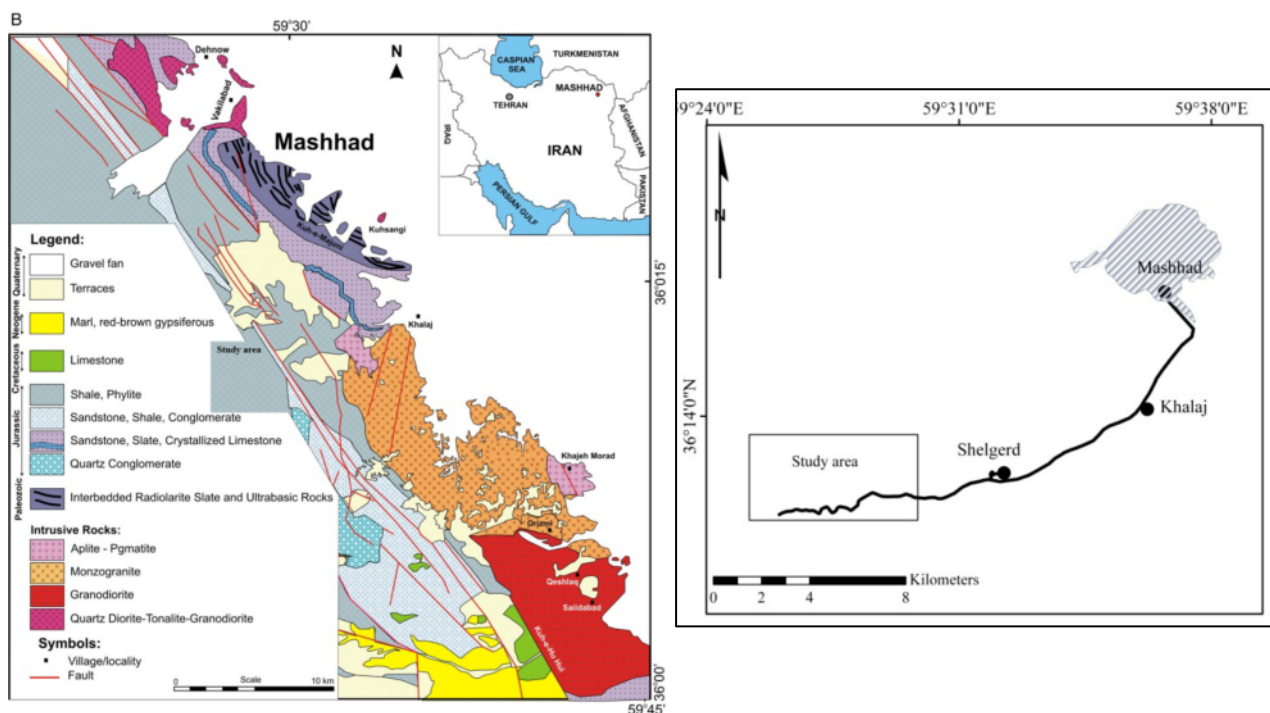
منطقه‌ی پی‌جویی شلگرد در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری جنوب غربی مشهد و در گستره‌ی طول شرقی $12^{\circ} 36'$ و عرض شمالی $26^{\circ} 59'$ قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در شمال شرق ایران و در ساختار بینالود قرار دارد. کانی‌سازی در دو رگه‌ی شمالی و جنوبی رخ داده است. در رگه‌ی شمالی با تشکیل دوگانه‌ی کانی اورپیمنت+رالگار+گالن+پیریت و در رگه‌ی جنوبی شامل مجموعه‌ی گالن+کالکوپیریت+پیریت است. کانی کوارتز به عنوان تنها کانی کانگ شناسایی شد و مجموعه مالاکیت+آزوریت+هماتیت+گوتیت+لیمونیت کانی‌های ثانویه حاصل از هوازدگی کانساند. در منطقه‌ی مورد بررسی آثاری از

تعداد ۷۹ نمونه رسوب رودخانه‌ای و ۱۶ نمونه کانی سنگین برداشت شدند. آماده‌سازی و بررسی نمونه‌ها در سازمان اکتشافات زمین‌شناسی شمال شرق ایران صورت گرفت و نمونه‌ها برای آنالیز به روش ICP-MS و Fireassay به شرکت زرآرما تهران ارسال شدند. پس از شناسایی نقاط دارای بیهنجاری و همخوانی نقاط بی‌هنجار با رگه‌های معدنی، تعداد ۱۱ نمونه‌ی خرده سنگی از رگه‌های کانی ساز برداشت شدند. آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های خرده سنگی نیز به روش ICP-MS و Fireassay در شرکت زرآرما تهران صورت گرفت، ۴ نمونه برای بررسی ژئوشیمی گالن از رگه‌های سطحی و تونل قدیمی، و ۳۵ با مقطع نازک با هدف بررسی‌های سنگ‌نگاری و دگرسانی و ۳۰ نمونه مقطع بلوک صیقلی به‌منظور بررسی‌های کانی‌نگاری و کانی‌سازی رگه‌های سطحی و تونل قدیمی تهیه و بررسی شدند، و در پایان با جمع بندی و تلفیق اطلاعات نقشه-ی زمین‌شناسی، نقشه‌ی دگرسانی و کانی‌سازی و ژئوشیمی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در منطقه به وسعت ۲۲ کیلومتر مربع تهیه شدند و در نتیجه شکل هندسی و کانی‌سازی تونل قدیمی به‌دست آمد.

طلا، جیوه، مولیبدن، رالگار و گروه سرب- روی و در شمال آن شیئلیت، کروم شناسایی شده‌اند [۵] اشاره کرد. این پژوهش با هدف بررسی پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی (به روش رسوب رودخانه، کانی سنگین و خرده سنگی) و پی‌جویی‌هایی برای شناسایی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی موجود و عناصر Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe ... در گستره‌ی پی‌جویی شلگرد با گستردگی تقریباً ۲۲ کیلومتر مربع صورت گرفت و رگه‌های با کانی‌ساز با توجه به بی‌هنجاری حاصل از نتایج ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای و کانی سنگین شناسایی شدند.

روش پژوهش

نخست نقشه‌ی زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی گستره، براساس بررسی‌های دورسنجی و پیمایش زمینی، تهیه شد. سپس پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای، کانی سنگین و خرده سنگی و تهیه‌ی نقشه‌های عناصر مختلف و تعیین نقاط دارای بی‌هنجاری با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در گستره مورد نظر انجام شد. در این پژوهش به منظور بررسی اثرهای ژئوشیمیایی و کانی‌سازی Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe و ...،



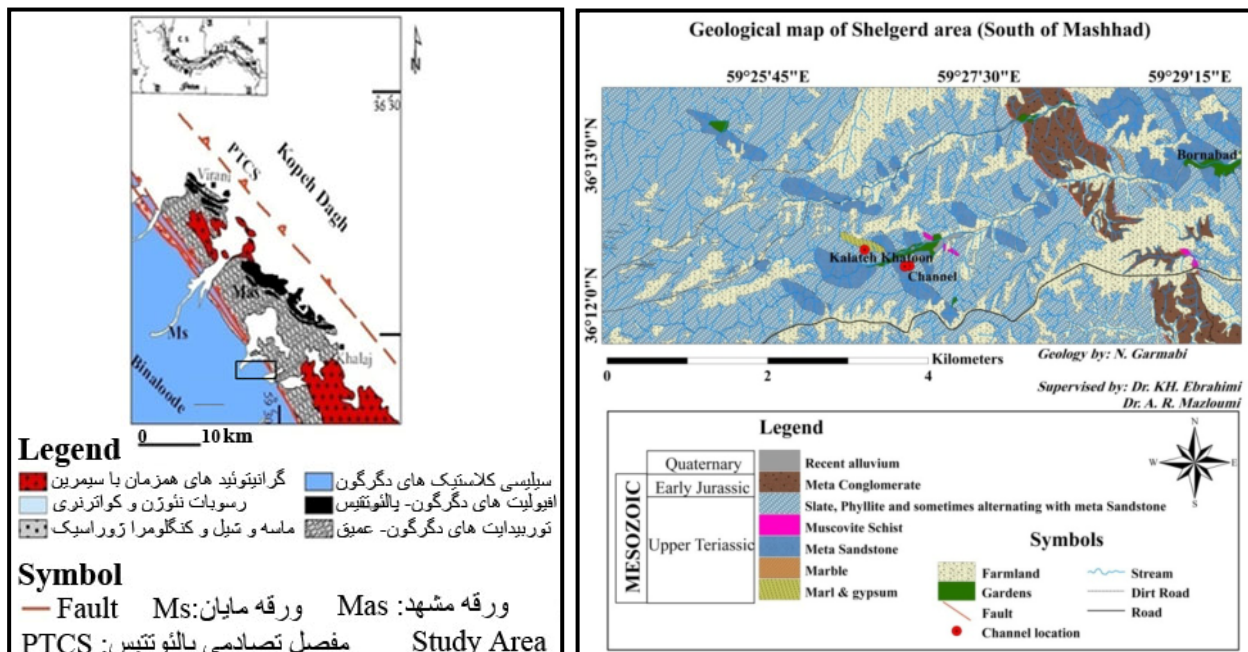
شکل ۱ مسیر ورود به منطقه‌ی پی‌جویی شلگرد [۶].

زمین‌شناسی

شلگرد در شمال شرق ایران و در منطقه‌ی ساختاری بینالود قرار گرفته است. به عقیده‌ی [۸،۷،۳] منطقه‌ی ساختاری بینالود بخش شرقی رشته کوه البرز را تشکیل می‌دهد؛ در حالی که [۹] این منطقه را به ایران مرکزی وابسته می‌داند. رخنمون عمومی در رشته کوه‌های بینالود دارای روند تقریبی شرقی- غربی است. [۱۰] بینالود را منطقه‌ای تدریجی بین ایران مرکزی و البرز در نظر گرفته است. ولی به عقیده پژوهندگان دیگر کوه‌های بینالود شامل افیولیت و دنباله‌ی متافیلیتی باقیمانده از اقیانوس پالئوتتیس است [۱۱،۳] کوه-های بینالود از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌ها و رسوب‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک هستند [۱۲] و به عنوان بخش شرقی البرز متأثر از کوه‌زایی‌های سیمیرین و آلپین به حساب می‌آید [۱۳]. در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طرقله و مشهد رخنمون‌های سنگی گستره‌ی مورد بررسی به سری میان [۳] با سن تریاس فوقانی- ژوراسیک زیرین و به مجموعه دگرگونی‌های مشهد نسبت داده شده‌اند. در این گستره سنگ‌ها دستخوش دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره‌ی شیست سبز شده‌اند.

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی در منطقه‌ی بررسی شده را می‌توان به سه گروه اصلی

تقسیم کرد که شامل: سنگ‌های دگرگون، سنگ‌های رسوبی دگرگون شده و رسوب‌های عهد حاضر می‌شوند (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحدها در منطقه عبارتند از اسلیت، فیلیت، شیست، ماسه سنگ دگرگون شده (متاسندستون)، آهک دگرگون شده با سن تریاس. واحدهای دگرگونی اسلیت با میان لایه‌های فیلیت، بخش بزرگی از منطقه را پوشانده‌اند و در اغلب نقاط میزبان رگه‌های کانی‌سازی هستند. ماسه سنگ دگرگون شده با رگچه و رگه‌های فراوان کوارتز دارای دگرسانی سیلیسی است، شیست‌های سرخ و خاکستری و تناوب مارن و ژپس، آهک دگرگون شده با گستردگی محدود نیز در منطقه دیده می‌شوند، واحدهای کنگلومرا دگرگون شده (متاکنگلومرا) در بخش شرقی گستره در راستای گسل سنگ بست- شاندیز ادامه دارند، منطقه‌ی مورد بررسی در حریم گسل سنگ بست- شاندیز قرار دارد. گسل اصلی سنگ بست شاندیز با پهنای متوسط ۳ کیلومتر، طول ۸۵ کیلومتر و روند شمال غربی- جنوب شرقی (N45W) است [۱۴] (شکل ۲). ترکیب کانی- شناختی این واحدها کوارتز، فلدسپات، سرسیت است. در سنگ‌های این واحد رگه‌های سیلیسی سفید رنگ دیده می‌شود که سببرای آن‌ها از چند سانتیمتر تا چندمتر متغیر است و در برخی از رگه‌ها کانی‌سازی نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۲ الف) نقشه زمین‌ساخت منطقه‌ی بینالود؛ [۸] ب) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه اکتشافی شلگرد.

کانی سازی

کانی سازی در منطقه‌ی پی جویی به صورت رگه‌های درون واحدهای دگرگون با درجه‌ی پایین بیشتر به صورت اسلیت و فیلیت دیده می‌شود. روند کلی این رگه‌های N65E و N50W دارای شیب 75°SW است. این رگه‌ها بیشتر در مرکز گستره-ی بررسی شده مشاهده می‌شوند (شکل ۳). کانی‌های سولفیدی در اثر اکسایش موجب تشکیل منطقه‌ی گوسان شده‌اند. کارهای قدیمی و آثار متعددی نیز در مرکز منطقه، در محل منطقه‌ی گوسان و در محل رگه‌های همراه با کانی‌سازی مشاهده می‌شوند. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی رگه‌های کوارتز موجود در منطقه‌ی پی جویی شلگرد را می‌توان به دو نسل تقسیم کرد. نسل اول: رگه‌هایی که هم راستا با شیستوزیته سنگ میزبان بوده‌اند. نسل دوم: رگه‌هایی که شیستوزیته سنگ میزبان را قطع کرده‌اند.

کانی‌سازی در منطقه شلگرد را می‌توان به دو مجموعه زیر رده‌بندی کرد. گروه اول کانی‌سازی در رگه‌ی جنوبی و وابسته به رگه و داخل تونل قدیمی است و گروه دوم در رگه‌ی سطحی (شمالی) است (شکل ۴). مجموعه‌ی کانی‌شناسی رگه‌ها به ترتیب به شرح زیر اند:

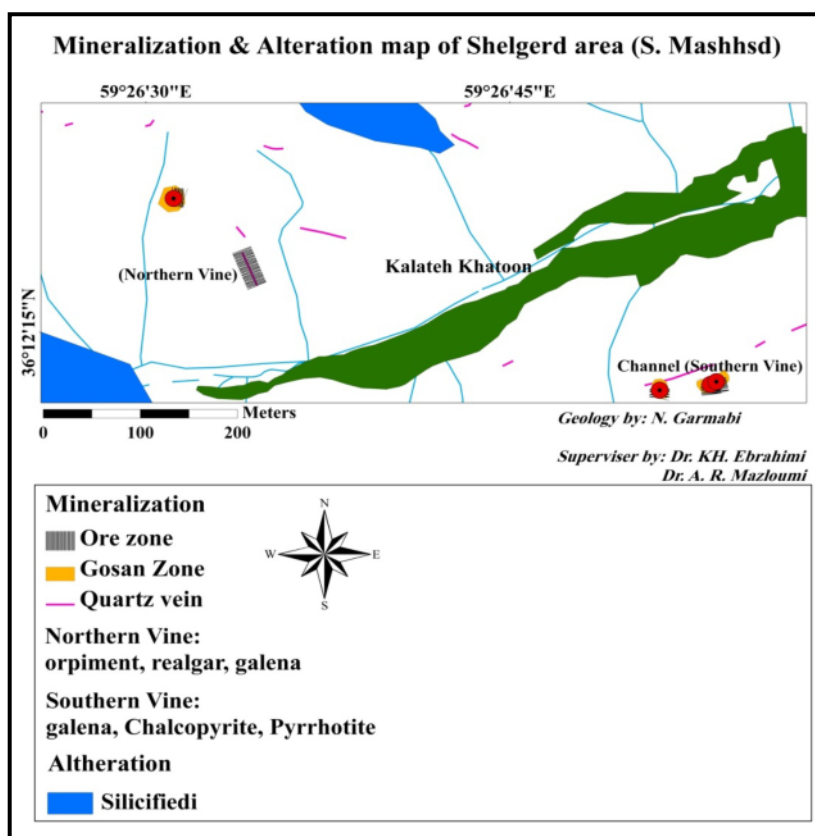
۱. کوارتز + گالن + کالکوپیریت + پیریت + مالاکیت + آزوریت + هماتیت + گوتیت + لیمونیت.

۲. کوارتز + اورپیمنت + رالگار + گالن + پیریت + هماتیت + گوتیت + لیمونیت.

تونل‌های قدیمی: در گستره‌ی بررسی‌ها چندین تونل قدیمی وجود دارند که احتمالاً برای استخراج طلا، نقره سرب حفر شده‌اند. تونل قدیمی در بخش جنوب گستره با متر و کمپاس برداشت شد. طول آن ۴۱ متر، عرض تونل از ۷۵ سانتیمتر تا ۲/۵۰ متر تغییر می‌کند و میانگین ارتفاع ۱ متر اندازه‌گیری شد (شکل ۵). در نهایت شکل هندسی تونل ترسیم شد که روی آن موقعیت برداشت نمونه‌ها مشخص شده است. تونل حفر شده در رگه‌ی شمالی مسدود و قابلیت نقشه برداری ندارد.

رخمون‌های سطحی: در بخش مرکزی و شمال گستره، چندین رگه با عرض متغییر ۲۰ سانتیمتر تا ۲ متر و مجموع طول ۶۰ متر اندازه‌گیری شد.

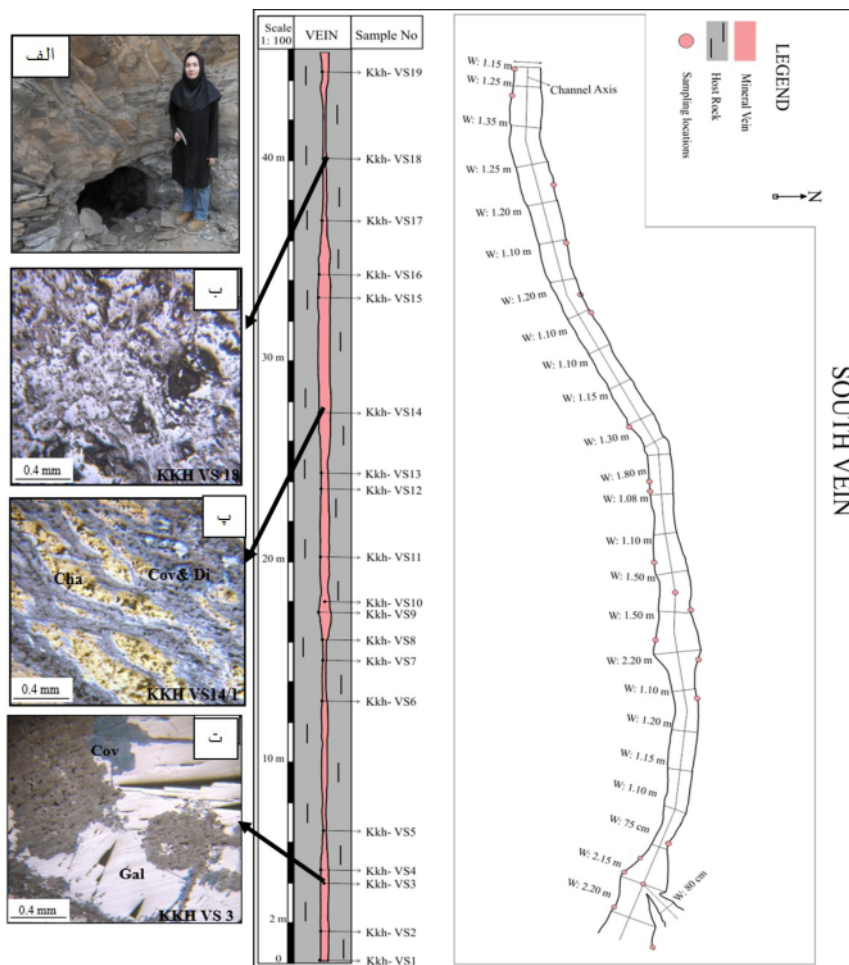
به طور کلی کانی‌سازی‌های اولیه عبارتند از کوارتز، گالن، کالکوپیریت، پیریت، اورپیمنت و رالگار. کانه‌هایی که در مرحله-ی ثانویه یا اکسایش شکل گرفته‌اند نیز شامل: مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۳ نقشه‌ی دگرسانی و کانی‌سازی گستره اکتشافی شلگرد.

Mineral	Primary Hypogene Stage		Secondary Oxidation Stage
	Stage 1	Stage 2	
Quartz	█	█	
Pyrite	---		
Chalcopyrite	█		
Galena	█		
Covellite			█
Cerussite			---
Hematite			█
Goethite			█
Malachite			---
Azurite			---
Realgar & orpiment		█	

شکل ۴ دنباله پاراژنزی در گستره اکتشافی شلگرد.



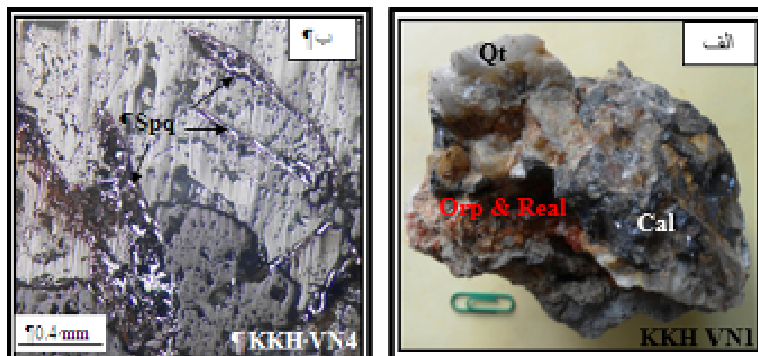
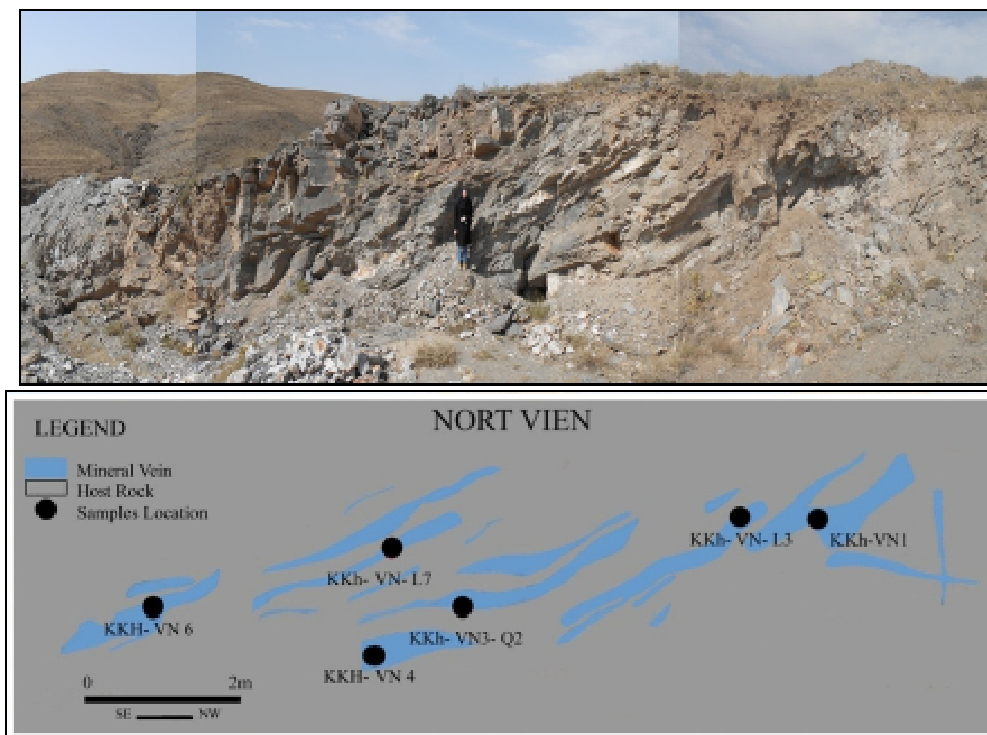
شکل ۵ نیمرخ طولی تونل حفر شده در رگه‌ی جنوبی (مختصات جغرافیای "۵۱° ۲۶' ۵۹" X, "۱۶' ۱۲' ۳۶" Y) و موقعیت نمونه‌های اخذ شده. الف: نما از دهانه‌ی ورودی تونل، ب: نمونه‌ی KKH-VS18 اکسیدهای آهن (هماتیت) در نور XPL. پ: نمونه‌ی 1/ KKH-VS14 رگچه کالکوپیریت در حال تبدیل به کوولیت در نور XPL. ت: نمونه‌ی KKH-VS3 گالن در حال تبدیل شدن به کوولیت و سروزیت (بافت جانشینی) در نور XPL.

بررسی‌های کانه نگاری بافتی

تونل قدیمی

کانه‌های بررسی شده در اکثر مقاطع صیقلی عبارتند از کالکوپیریت، گالن، پیریت، هماتیت، مگنتیت، کولیت، گوتیت و مالاکیت. گالن و کالکوپیریت را می‌توان به‌عنوان کانه‌های سولفیدی اصلی در تونل قدیمی معرفی کرد. حضور کانی مالاکیت در بعضی از نمونه‌های سطحی، حاصل فرایندهای هوازدگی کانی‌های اولیه مس (کالکوپیریت) هستند که به صورت پرکننده فضای خالی و پراکنده دیده می‌شوند. بررسی کانی‌نگاری رگچه‌هایی از کالکوپیریت با ضخامت حدود

یک سانتیمتر، کانی کوارتز-گالن را قطع کرده است و بلورهای کالکوپیریت در کرانه‌ها به کولیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ج). کولیت که یک کانه‌ی سولفید مس است که به‌صورت جانیشینی در حاشیه‌ی کانی گالن قرار گرفته است. **رگه‌ی سطحی:** کانه‌های اصلی در این رگه شامل اورپیمنت و رالگار هستند (شکل ۶ الف)، همچنین گالن به مقدار کمتر نسبت به تونل قدیمی دیده می‌شود کانی‌های ثانویه شامل هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌شوند، و نیز بافت سوزنی، تیغه-های در کانی هماتیت (اسپیکیولاریت) دیده شده‌اند (شکل ۶ ب).

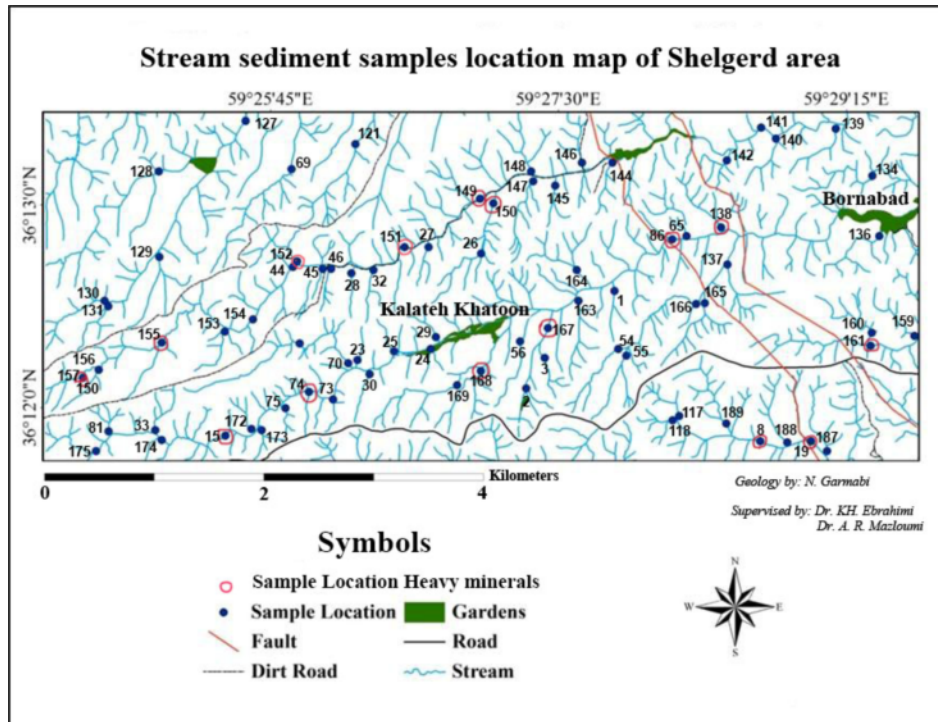


شکل ۶ رخنمون رگه‌ی شمالی؛ دید به سمت جنوب، موقعیت رگه شمالی (مختصات جغرافیای ۳۳ ۲۶ ۵۹ X، ۱۷ ۱۲ ۳۶ Y) و نمونه‌های مورد بررسی. الف: نمونه‌ی KKH-VN1 کانی‌های گالن، کوارتز، اورپیمنت و رالگار در نمونه‌ی دستی. ب: نمونه KKH-VN4 اکسیدهای آهن و کوارتز در مقطع بلوک صیقلی هماتیت (اسپیکیولاریت) با صورت سوزنی و تیغه‌ای.

ژئوشیمی

شدند. موقعیت نمونه‌ها (شکل ۷) و نتایج تجزیه‌ی آن‌ها در (جدول‌های ۱، ۲ و ۳) ارائه شده‌اند.

به منظور پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی؛ ۷۹ نمونه رسوب رودخانه-ای، ۱۶ نمونه کانی سنگین، و ۱۱ نمونه‌ی خرده سنگی برداشت



شکل ۷ موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی (رسوب رودخانه و کانی سنگین)، منطقه‌ی پی‌جویی شلگرد.

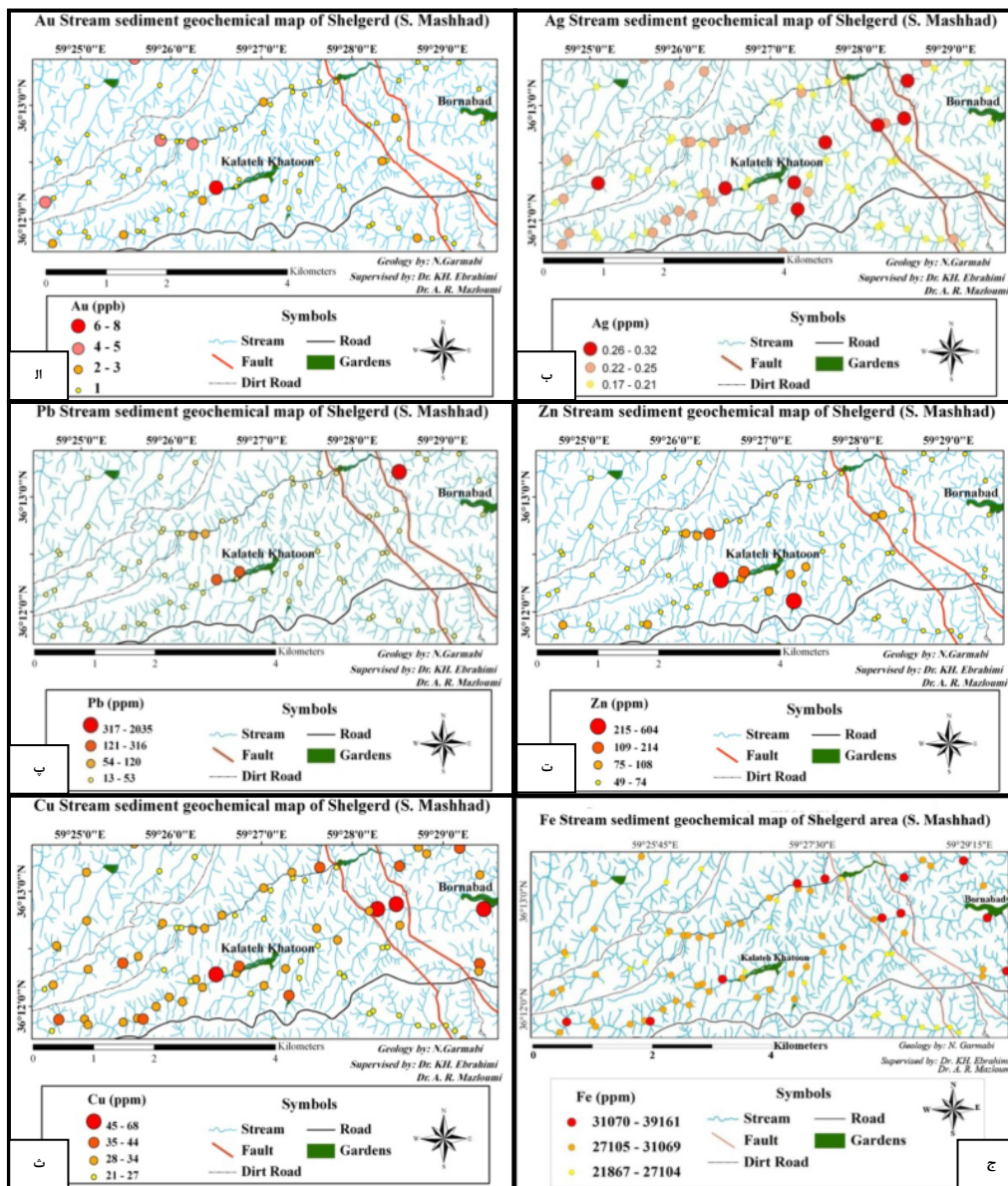
جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده سنگی به روش عیارسنجی آذری و ICP-MS، عنصر طلا برحسب ppb و عناصر دیگر بر حسب ppm

No Sample	Y	X	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
92-M1	۴۰۰۹۵۳۳٫۴	۷۱۹۶۸۸٫۱	۳۹۰۹	۹٫۸۰	۷۲۴۱	۸۲۹۹۹	۸۲۴	۱۹۲۸
92-M2	۴۰۰۹۵۴۴٫۴	۷۱۹۶۵۱٫۱	۱۸	۰٫۲۸	۱۶۰	۱۰۱۴۹۹	۲۳۷۷	۱۱۱
92-M3	۴۰۰۹۶۰۷٫۴	۷۱۹۴۴۸٫۱	۴۴۲۴	۰٫۳۸	۱۹۶۳	۵۱۱۶۰	۱۳۱۹	۱۲۲۳
92-M4	۴۰۰۹۶۴۷٫۴	۷۱۹۳۰۸٫۱	۱۲	۰٫۷۰	۹۸	۹۴۳۴	۷۸	۶۹۳۹
92-M5	۴۰۰۶۶۵۷٫۴	۷۱۹۴۶۴٫۱	۴	۰٫۳۰	۱۵	۴۶۸۳	۱۷۸۴	۹
92-M6	۴۰۰۹۵۰۵٫۴	۷۱۹۵۳۵٫۱	۷	۴۲٫۸۰	۴۴۹۶۴	۱۴۳۴۰٫۱	۲۸۲۵	۵
92-M7	۴۰۰۹۵۰۷٫۴	۷۱۹۵۳۸٫۱	۳۳۶	۱٫۴۰	۳۳۵	۱۴۴۳۹	۱۲۲	۷۶۹
4-M1	۴۰۱۱۱۵۵٫۰	۷۲۲۴۲۸٫۰	۱۹	۰٫۳۹	۴۰۹	۱۲۰۲۵۰	۳۳۶	۲۸۷
4-M2	۴۰۱۰۸۵۲٫۰	۷۲۲۳۶۹٫۰	۱۰	۱٫۹۰	۱۳۴۶	۱۲۶۱۰۸	۱۷۰	۹۶۱۰
142-M1	۴۰۰۸۴۵۵٫۰	۷۲۱۴۷۳٫۰	۱۴	۰٫۱۷	۲۵	۲۶۴۱۵	۴۴	۹
142-M2	۴۰۰۸۴۴۲٫۰	۷۲۱۴۸۷٫۰	۲۱	۰٫۷۰	۲۰۱	۳۷۸۰۰	۳۰	۱۴۲۳
KHH-VS	-	-	۲۳۰	۵۱٫۲۰	۸۲۴۰	۶۴۷۶۳	۷۲۰	۶۶۹۴۸

ژئوشیمی رسوب رودخانه و کانی سنگین

هر نمونه ژئوشیمیایی رسوب رودخانه متشکل از حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم جزء زیر ۸۰ مش الک شد و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و کدگذاری شدند. هر نمونه کانی سنگین از چند محل که احتمال تمرکز کانی سنگین در آن بیشتر بود جمع آوری شدند و در این مکان‌ها ذرات شن و ماسه بیشتر حضور داشتند. و وزن نمونه پس از الک کردن حدود ۷ لیتر از جزء زیر ۲۰ مش حاصل گردید. برای کاهش وزن نمونه‌ها، سهولت حمل و نقل و شستشو، هر نمونه در محل الک شد. نمونه‌های آبراهه- ای به آزمایشگاه شرکت زرآرما در تهران ارسال شدند تا پس از

آماده سازی برای ۳۵ عنصر به روش ICP- MS و عیارسنجی، تجزیه شوند. نمونه‌های کانی سنگین در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه‌ی نمونه‌ها، نقشه‌ی توزیع و الگوی پراکندگی طلا، نقره، سرب، روی و مس ترسیم شدند. خلاصه‌ی توزیع عناصر اصلی در منطقه به شرح زیر است. طلا (Au): مقدار طلا در نمونه‌ها بین ۰.۷۵-۸ ppb متغیر بود. بیشترین مقدار طلا در نمونه‌ی شماره ۲۵ اندازه‌گیری شده که از پایین دست آبراهه‌ی جنوبی گستره‌ی مورد بررسی برداشت شده بود (شکل ۸- الف).



شکل ۸ الگوی پراکندگی ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراهه‌های، الف) عنصر طلا، ب) عنصر نقره، پ) عنصر سرب، ت) عنصر روی، ث) عنصر مس، ج) عنصر آهن.

بیشترین مقدار مربوط به آبراهه جنوبی بوده است (شکل ۸-ب).
 مس (Cu): فراوانی مس در منطقه از ۶۸ تا ۲۱ ppm متغیر و
 بنابر الگوی پراکندگی Au و Ag وابسته به نمونه‌ی شماره ۲۵
 بوده است (شکل ۸-ج).

کانی‌های سنگین

۱۶ نمونه کانی سنگین برداشت شدند که با تلفیق گستره‌های
 بی‌هنجار و حذف گستره‌های کم ارزش؛ در نهایت ۹ نمونه کانی
 سنگین شناسایی شدند که دارای بیشترین بیهنجاری بوده‌اند.
 در این بررسی‌ها، کانی‌هایی از قبیل اورپیمنت، رالگار، طلا،
 پیریت، کاسیتريت و ... شناسایی و توصیف نمونه‌های کانی
 سنگین در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

نقره (Ag): مقدار نقره از ۰/۱۷-۰/۳۲ ppm را نشان می‌داد
 (شکل ۸-ب)، بیشترین مقدار نقره وابسته به نمونه شماره ۲۵
 و کمترین میزان از آبراهه جنوبی گستره‌ی با نمونه‌های شماره
 ۱۰۶-۱۷۰-۱۸۸ اندازه‌گیری شد.
 سرب (Pb): مقدار سرب گستره ۲۰۳۵-۱۳ ppm است؛
 بیشترین مقدار آن مربوط به نمونه شماره ۱۴۲ و کمترین آن
 مربوط به نمونه‌ی آبراهه‌ای ۱۳۳ و ۱۶۶ وابسته بوده است
 (شکل ۸-پ).
 روی (Zn): مقادیر روی بین ۶۰۴-۴۹ ppm متغیر بود
 بیشترین مقدار روی از نمونه‌ی شماره ۲ در آبراهه‌ی جنوبی
 گستره یاد شده به دست آمد (شکل ۸-ت).
 آهن (Fe): فراوانی آهن از ۲۱۸۶۷ ppm-۳۹۱۶۱ ppm متغیر بود،
 میزان آهن در نقاط مختلف بیهنجاری بالایی را نشان می‌داد،

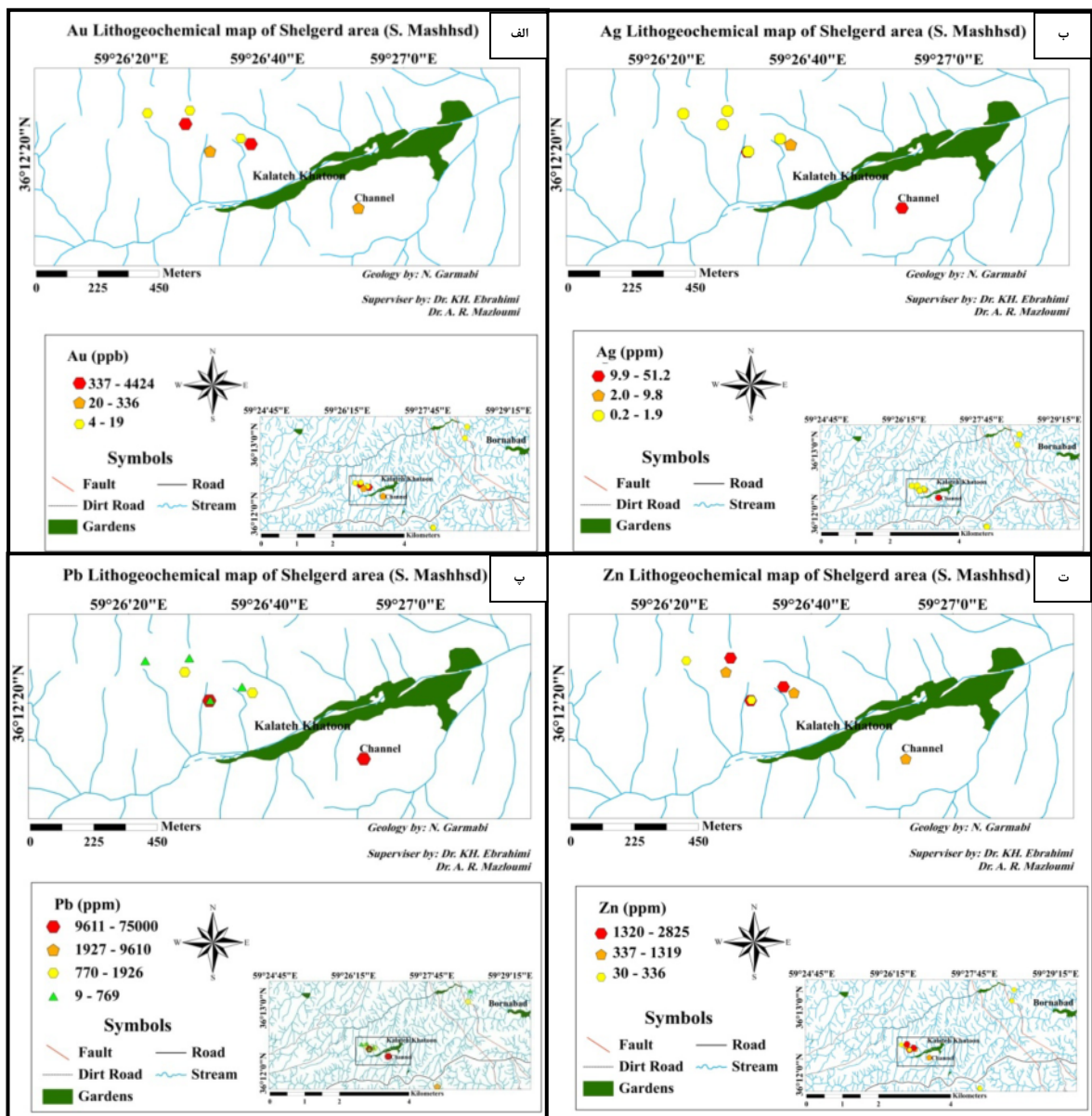
جدول ۴ نتایج بررسی‌های کانی‌های سنگین.

شماره نمونه	X	Y	کانی‌های سنگین (ppm)
MF-155-H	۷۱۷۳۴۰	۴۰۰۹۴۱۰	-
MF-157-H	۷۱۶۶۲۳	۴۰۰۹۰۹۰	-
MF-150-H	۷۲۰۳۶۱	۴۰۱۰۶۸۰	-
MF-149-H	۷۲۰۲۴۱	۴۰۱۰۷۲۰	زیرکن (۸۲۰/۱)، طلا (۰/۱۵)، شیغلیت (۳۳۳/۲)، الیژیست (۱۸۲/۸)
MF-127-H	۷۱۸۱۱۵	۴۰۱۱۴۳۰	-
MF-151-H	۷۱۹۵۵۳	۴۰۱۰۲۸۰	-
MF-138-H	۷۲۲۴۵۳	۴۰۱۰۴۶۰	لیمونیت (۷۵۰/۹۹)
MF-167-H	۷۲۰۸۵۹	۴۰۰۹۵۴۰	-
MF-86-H	۷۲۱۹۹۱	۴۰۱۰۳۵۰	رالگار (۰/۰۷۹)، اورپیمنت (۰/۲۹۷)
MF-135-H	۷۲۴۲۶۶	۴۰۱۰۸۳۰	-
MF-19-H	۷۲۳۲۵۶	۴۰۰۸۵۱۰	روتیل (۰/۷۹۱)، سلسیتیت (۷/۴۲۵)
MF-8-H	۷۲۲۷۹۳	۴۰۰۸۵۱۰	مگنتیت (۶۰۰/۶۲۱)، آپاتیت (۱۴۵/۱)، پیریت (۶۰۲/۰)، کربنات (۰/۸۰/۱۳۰)، نیگرین (۵۰۴/۰)، دیستن (۲۹۶/۱)، هماتیت (۱۲۰/۸۲۵)، گوتیت (۶۰۰/۲۳۷)، اکسید پیریت (۲۴۳)، پیریت و لیمونیت (۰/۶۰/۴۸)، پیروکسن (۶۸۰/۱۰۳)، آمفیبول (۱۲۰/۶۹)، اپیدوت (۴۴۰/۷۳)، گارنت (۲۱۰/۶)
MF-74-H	718681	۴۰۰۸۹۶۰	سینابر (۰/۹۷۲)، کلریت (۴/۳۷۵)
MF-161-H	723799	۴۰۰۹۳۸۰	اسفن (۲۰۹/۰)، باریت (۸۱۰/۰)
MF-15-H	717919	۴۰۰۸۵۶۰	-
MF-168-H	720249	۴۰۰۹۱۵۰	مالاکیت (۴۲۷/۰)، اسفالریت (۲۸۴/۰)، فلوریت (۱۱۳/۰)، مس (۳۲۹/۶)، کاسیتريت (۸۰۰/۳۶)

ژئوشیمی خرده سنگی

بر اساس شواهد صحرایی و نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌ی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و کانی سنگین، نقاط مستعد کانی‌سازی شناسایی شدند و پس از پیمایش صحرایی و شناسایی دقیق مکان‌های کانی‌سازی ۱۶ نمونه‌ی خرده سنگی با وزن حدود ۳ کیلوگرم از رگه‌ها و نقاط کانی‌سازی برداشت شدند. نمونه‌ها برای آماده‌سازی و تجزیه به روش ICP-MS و عیارسنجی به شرکت زرآما تهران ارسال شدند. نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی خرده سنگی به شرح زیر اند.

طلا (Au): مقدار طلا از ۴ تا ۴۴۲۴ ppb متغیر بود. بیشترین مقدار این عنصر در شمال منطقه و در رگه‌ی شمالی در غرب مزرعه کلاته خاتون وجود دارد (شکل ۹- الف).
 نقره (Ag): مقدار نقره از ۰/۲۸ تا ۵۱/۲ ppm متغیر بود. بیشترین مقدار این عنصر در جنوب منطقه و در رگه‌ی شمالی بخش غرب مزرعه‌ی کلاته خاتون مشاهده شد. بیشترین تمرکز این عنصر در رگه‌های کانی‌سازی داخل تونل قدیمی (منطقه‌ی گوسان) وجود داشت (شکل ۹- ب).



شکل ۹ نقشه ژئوشیمی خرده سنگی- دگرسان گستره‌ی پی‌جویی شلگرد، برای عناصر: الف) طلا، ب) نقره، پ) سرب، ت) روی.

سرب (Pb): مقدار سرب از ۹ تا ۷۵۰۰۰ ppm متغیر بود. بیشترین مقدار این عنصر در رگه‌ی جنوب مزرعه‌ی کلاته خاتون و به نمونه‌ی برداشت شده از داخل تونل قدیمی بوده است. عنصر سرب با نقره همبستگی مثبت داشتند. در این تونل کانی گالن به فراوانی دیده شد (شکل ۹-پ).

روی (Zn): مقدار روی از ۳۰ تا ۲۸۲۵ ppm متغیر بود. بیشترین مقدار این عنصر در رگه‌ی شمال مزرعه کلاته خاتون اندازه‌گیری شد. بالاترین مقادیر در دهانه‌ی تونل قدیمی در رگه‌ی های یاد شده اندازه‌گیری شدند (شکل ۹-ت).

مس (Cu): مقدار مس ۱۵ تا ۴۴۹۶۴ ppm متغیر بوده است. بیشترین مقدار آن در رگه‌ی جنوب مزرعه کلاته خاتون اندازه‌گیری و بیشترین تمرکز در تونل قدیمی، جنوب گستره‌ی مشاهده شدند.

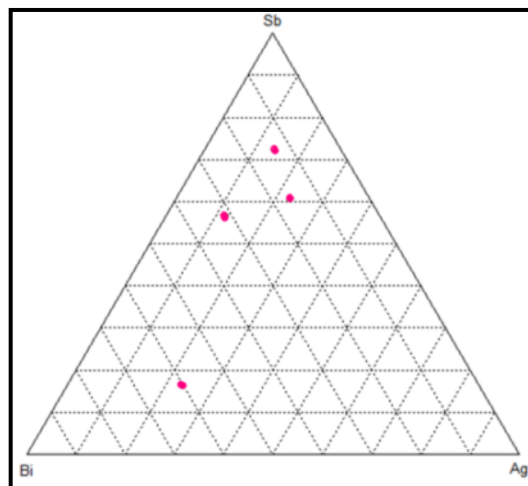
ژئوشیمی کانی گالن

کانی گالن قادر است علاوه بر سازهای اصلی خود (Pb, S) عناصر دیگری همچون نقره، آنتیموان، بیسموت، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به صورت جزئی در خود جای دهد [۱۵]. شکل دیگر تمرکز نقره در گالن به صورت حضور در کانی‌های نقره‌دار است [۱۶]. مقدار بیسموت و آنتیموان در گالن می‌تواند شاخص شرایط تشکیل کانسار باشد [۱۷]. نقره یکی از عناصری است که به راحتی قادر است در ساختار بلوری گالن جانشین شود. اما این جانشینی شدیداً به حضور

آنتیموان و بیسموت بستگی دارد [۱۸]. حضور و مقدار Sb و Bi نیز متأثر از دما بوده است به طوری که اگر گالن به صورت اولیه بود مقدار بیسموت بالا و آنتیموان پایین می‌بودند و در گالن‌های ثانویه بیسموت کم و آنتیموان بالا شکل می‌گرفت. همچنین از مقدار آنتیموان و بیسموت می‌توان به منظور تعیین دما، فشار تشکیل کانه، شیمی دیواره و محلول‌های کانه‌ساز استفاده کرد به طوری که اگر نسبت Sb/Bi کمتر از ۰/۰۶ بود گالن با دمای بالا و اگر بین ۶ تا ۱۳ بود، با دمای پایین تشکیل می‌شد [۱۹]. کانسارهای همراه با ماگماتیسیم از نقره، بیسموت، آهن و منگنز غنی شده‌اند، در حالی که کانسارهای رسوبی دگرگون شده آنتیموان و گالیم و ... غنی شدگی دارند و نشان می‌دهد که با افزایش دمای تشکیل کانه محتوای نقره در گالن افزایش می‌یابد و میزان نقره با دما دارای روند خطی است [۱۸]. براساس بررسی‌های یاد شده ۲ نمونه از رگه‌ی شمالی و ۲ نمونه از رگه جنوبی برداشت و به روش جذب اتمی برای عناصر Ag, Sb, Bi تجزیه شدند و روی نمودار آن‌ها ترسیم شدند نمونه‌ی شماره VS 3.1 مقدار بیسموت بیشتری را نسبت به ۳ نمونه دیگر نشان می‌دهد و نتایج تجزیه گویای مقادیر بالایی عناصر نقره و آنتیموان است (شکل ۱۰). با توجه به برداشت‌ها و تجزیه‌ی نمونه‌ها، دما در حد پایین تا متوسط و کانی‌سازی از نوع روزادی به دست آمد و با چند کانسار مقایسه شد (جدول ۵).

جدول ۵ نتایج تجزیه جذب اتمی کانی گالن گستره‌ی پی‌جویی شلگرد در مقایسه با کانسارهای مختلف (Song 1984) ۱: کانسار سرب و روی ارم بزرگ، ارم کوچک و آساران، ۲: Upper Mississippi Valley (گالن همزاد)، ۳: British Island (کانسار پلی متال ولکانو-هیدروترمال)، ۴: Lower- Middel Yangtze (کانسارهای رسوبی دگرگون شده)، ۵: Broken Hill (کانسار اسکارن-هیدروترمال)، ۶: Valley (کانسار هیدروترمال)، ۷: Wood River (کانسار سرب و نقره هیدروترمال)، گستره پی‌جویی شلگرد (رگه جنوبی: VN1, VN2 و رگه شمالی: VS3.1, VS9.1) (کانسار دما پایین تا متوسط).

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	VN1	VN2	VS3.1	VS9.1
Bi (ppm)	۰				۱۳۵	۷۵۰۰	۲۱	۱۳۷,۸	۹۲,۸	۷۸۳	۲۸۰,۲
Sb (ppm)	۴۰۰		۸		۱۰۱۰		۳۷۸۳	۵۱۳,۳	۵۰۴,۶	۲۱۰,۵	۵۰۷,۶
Ag (ppm)	۲۹۰۰	۳	۱۰	۵۷۷	۶۱۸	۸۶۰	۳۶۸۳	۱۹۵,۶	۱۰۰,۹	۳۰۲,۹	۱۰۷,۵



شکل ۱۰ پراکنده‌گی نمونه‌های جذب اتمی کانی گالن روی نمودار سه تایی Ag, Sb, Bi.

برداشت

گستره مورد بررسی در جنوب مشهد قرار دارد. این منطقه در شمال شرق ایران و در منطقه‌ی ساختاری بینالود قرار گرفته است. در گستره‌ی مورد بررسی، واحدهای سنگی شامل اسلیت، فیلیت، ماسه سنگ دگرگون شده، آهک دگرگون شده با سن تریاس و واحد گنگلومرا با سن ژوراسیک در راستای گسل سنگ بست شاندیز است. کانی‌سازی در منطقه به صورت رگه‌هایی در راستای N50W و N65E شیب 75°SW رخ داده است. دو رگه‌ی کانی‌سازی با کانی‌سازی متفاوت دوگانه مشاهده می‌شود. آثار حفریات قدیمی و برداشت ماده‌ی معدنی به صورت پراکنده در منطقه مشاهده می‌شود. برداشت‌های ژئوشیمیایی به روش رسوب آبراهه‌ای انجام شد و بی‌هنجاری‌هایی از عناصر Ag, Cu, Pb, Zn, Fe شناسایی شدند. در نمونه‌های کانی سنگین، کانی‌هایی از قبیل اورپیمنت، رالگار، طلا، پیریت، کاسیتیریت مشاهده شدند. براساس نتایج حاصل از ژئوشیمی رسوب رودخانه‌ای و کانی سنگین، نقاط دارای بیشترین بی‌هنجاری‌ها مشخص شدند. نقاط دارای بی‌هنجاری در گستره‌ی کانی‌سازی‌های رگه‌ای قرار دارند. خاستگاه این غنی‌شدگی رگه‌های معدنی بالادست رودخانه است. رگه‌های معدنی مورد بررسی قرار گرفتند و کانی‌سازی دوگانه در رگه‌ی شمالی اورپیمنت+ رالگار+ گالن+ پیریت و در رگه جنوبی شامل مجموعه‌ی گالن+ کالکوپیریت+ پیریت است. کانی کوارتز به عنوان تنها کانی کانگ شناسایی شد و مجموعه مالاکیت+ آزوریت+ همتایت+ گوتیت+ لیمونیت کانی‌های ثانویه حاصل از

هوازگی کنسارند. براساس نمونه‌های خرده سنگی برداشت شده از رگه‌ها مقدار طلا ppm 4/424، نقره ppm 42/8، مس 4/4964، آهن 1/4340، سرب 0/6939، روی 0/2825٪ بدست آمد. این کانی‌زایی با توجه به نمونه‌های برداشت شده ارزش اقتصادی ندارد، و لازم به یادآوری است که برای دستیابی به نتایج واقعی‌تر لازم است که برداشت نمونه‌ها بیشتر باشد که از موضوع این مقاله خارج است.

مراجع

- [۱] مومن زاده م، انواع کنسارهای سن ژنتیک و فازهای مهم متالوژنی سن ژنتیک ایران، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۰).
- [۲] پورلطیفی ا، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰۰ طبقه ۱، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۱).
- [3] Alavi M., "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo- Tethys remnants in northeastern Iran", Geological Society of America Bulletin, Vol.103 (1991) 983-992.
- [۴] افشار حرب ع، آقاناتی ع، مجیدی ن، شهرابی م، داود زاده م، نوایی ا، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ مشهد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران (۱۳۶۵).
- [۵] باستانی ح، فرجندی ف، گزارش عملیات اکتشافات ژئوشیمی و کانی سنگین در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ طبقه ۱، وزارت صنایع و معادن- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۶).

Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 205 (1997) 33-67.

[14] Shabanian E., Bellier O., Abbassi M.R., Siame L., Farbod Y., "Plio-Quaternary stress states in NE Iran: KopehDagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges", *Tectonophysics*, 480 (2010) 280-304.

[15] Ahrens G., 1953, "The use of ionization potential. II. Anion affinity and geochemistry, *Geochim*", *Et Cosmochim. Acta*, v.4 (2010) 1-29.

[16] Lueth V. W., Megaw P. K.M., Pinato N. E., Goodell P. C., "Systematic variation in galenasolid at Santa EulaiaChinhuhahua, Mexico", *Economic Geology*, V. 95 (2000) 1673-1687.

[17] Malakhov A. A., "Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation", *Geochemistry International* 7 (1968) 1055-1068.

[18] Qian Z., "Trace Elements in Galena and Sphalerite and Their Geochemical Significance in Distinguishing the Genetic Types of Pb-Zn Ore Deposits", *Geochemistry* Vol. 6. No. 2 (1968) 14.

[19] Song X., "Minor Elements and Ore Genesis Of the Fankou Lead- Zinc deposit, China", *Mineralium Deposita*, 19 (1984) 95- 104.

[6] Mirnejad, H., Lalonde, A.E., Obei, M., Hassanzadeh, J., "Geochemistry and petrogenesis of Mashhad granitoids: An insight into the geodynamic history of the Paleo-Tethys in northeast of Iran", *Lithos*, (2013), 105- 116.

[7] Alavi M., "The Virani Ophiolite complex and surrounding rocks. *Geologisch Rundschau*", Vol.68 no.1 (1979) 334-341.

[8] Alavi M., "Thrust tectonics of Binalud region, NE, Iran. *Tectonics*", Vol.11 no.2 (1992) 360- 370.

[۹] افتخارنژاد ج.، تفکیک بخش های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲ (۱۳۵۹) ص ۲۸-۱۹.

[۱۰] نبوی م. ح.، "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۵) ص ۱۰۹.

[11] Karimpour M.H., Stern C.R., Farmer G.L., "petrogenetic Zircon U-Pb geochronology, Sr-Nd isotope analyses, and petrogenetic study of the Dehnow diorite and Kuhsangi granodiorite (Paleo-Tethys), NE Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 37 (2010) 384-393.

[12] Majidi B., AlaviTehrani N., "Geological map of Mashhad". 1:250,000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, (1986).

[13] Davoudzadeh M., Lammerer B., Weber-Diefenbach K., "Paleogeography, stratigraphy, and tectonics of the Tertiary of Iran,