



ژئوشیمی، کانه زایی و ژنز کانسار آنتیموان چوپان واقع در خراسان جنوبی

علی نخبه‌الفقهای*، مهرداد بهزادی، احمد خاکزاد و ممد یزدی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

* عهده‌دار مکاتبات nokhbe_ali@yahoo.com

مکیده

کانسار چوپان در قسمت شمالی دشت لوت در ایران مرکزی قرار دارد. این ناحیه به لحاظ کانه‌زایی آنتیموان، سرب و روی، نقره، آرسنیک و طلا دارای اهمیت است. براساس مطالعات پترولوژیکی، عمده‌ی سنگ‌های آذرین منطقه را سنگ‌های آتشفشانی سری تولییتی با جنس داسیت و آندزیت تشکیل می‌دهند. فراوانی آندزیت‌ها در منطقه و نوع سری ماگمایی این سنگ‌ها و نمودارهای پتروژنیک، تشکیل احتمالی سنگ‌های این منطقه در یک زون فرورانش و همراه با آرایش پوسته‌ای را تأیید می‌کنند. مهم‌ترین جلوه‌ی کانی‌سازی در کانسار چوپان به صورت اکسیدی است و نقش فرآیند ثانویه یا سوپرژن بارز است، به طوری که کانی‌های سولفیدی آنتیموان به طور بارزی کاملاً تبدیل به کانی‌های اکسیدی گروه استیبیکونیت شده‌اند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی رگه‌های معدنی استیبیکونیت، استینیت، استتفلدیت و بیندهمیت می‌باشند که پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، آرسنوپیریت، سینابر، پیرولوژیت، پسیلوملان آن را همراهی می‌کنند. کانی‌زایی در کانسار چوپان به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای در راستای شمال خاوری- جنوب باختری وجود دارد. این شکستگی‌ها مهم‌ترین شاخص در حرکت سیالات و نهشت کانی‌زایی و دگرسانی هستند. سنگ میزبان اصلی رگه‌های این کانسار داسیت پورفیری است. دگرسانی سریستی در بیشتر مناطق، کانه‌زایی را همراهی می‌کند. علاوه بر آن دگرسانی آرژیلیتی، پروپیلیتی و کربناتی نیز در منطقه به چشم می‌خورد. در طی این پروژه تعداد ۷۷ نمونه به روش خرده سنگی از رگه‌ها، ترانشه‌ها و چاهک‌های منطقه برداشت و مورد تجزیه به روش جذب اتمی، برای عناصر آنتیموان، سرب و روی، نقره، آرسنیک، مولیبدن، کادمیم، جیوه، طلا و مس قرار گرفت. با پردازش آماری داده‌های ژئوشیمیایی مشخص گردید که مقدار آنتیموان در قسمت شمالی و جنوب شرقی منطقه به طور گسترده‌ای افزایش می‌یابد. میانگین آنتیموان در این رگه‌ها حدود ۴۰۰۰ پی پی ام می‌باشد. عنصر آنتیموان با سرب و نقره همبستگی بسیار خوبی نشان می‌دهد. طلا در حد بسیار کم و زیر مقادیر اندازه‌گیری است. بر اساس شواهد زمین‌شناسی، پترولوژیکی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و ترمومتری سیالات درگیر این کانسار می‌تواند به عنوان رده‌ی احتمالی جدیدی از کانسارهای اپی‌ترمال به نام آدولاریا-سریست، کم سولفید، نوع سوپرژن از نوع آنتیموان - نقره قلمداد شود.

واژه‌های کلیدی: اپی‌ترمال، گروه استیبیکونیت، آدولاریا-سریست، سوپرژن

Geochemistry, mineralogy and genesis of Antimony mineralization in Choopan area, South Khorasan

A. Nokhbatolfoghahai, M. Behzadi, A. Khakzad & M. Yazdi

Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, I. R. Iran

Abstract

Choopan antimony deposit is located in the North of Lout desert, Central Iran. This area contains volcanic rocks of Early Tertiary, which are important for Sb, Pb & Zn, Ag, As, Cu and Au. Gold is below detection limit in major of these rocks. The main rocks in this area are volcanic rocks that have composite of toleioithic type, with dacite and andesite rocks. The main minerals are stibiconite, stetefeldite, bindehimit, galena, sphalerite, pyrite, arsenopyrite, sinabar, pyrolusite and chalcopryrite. The country rock in veins is dacitic porphyry rocks. The mineralization is associated by pervasive alteration of sericitization, argillitization, silicification, carbonization and propylitization. The alterations and mineralization are accompanied by faults directions, which seem to be main sources for hydrothermal circulation in these rocks. During the study 77 samples were analyzed for Cu, Pb, Zn, Au, and Ag, As, Sb, Hg, Cd and MO by AAS. Data processing showed that the Sb anomaly was developed mainly over the north and southeast area. The average of Sb content is about 4000ppm. There are good correlation between Sb and Pb and Ag. Geological, petrological, mineralogical, geochemical and fluid inclusion studies showed that the Sb mineralization in the Choopan area is a new epithermal type Antimony namely Supergen Adularia - Sericite or Sulphid Antimony - silver type.

Key words: antimony mineralization, epithermal, Adularia - Sericite, Supergen

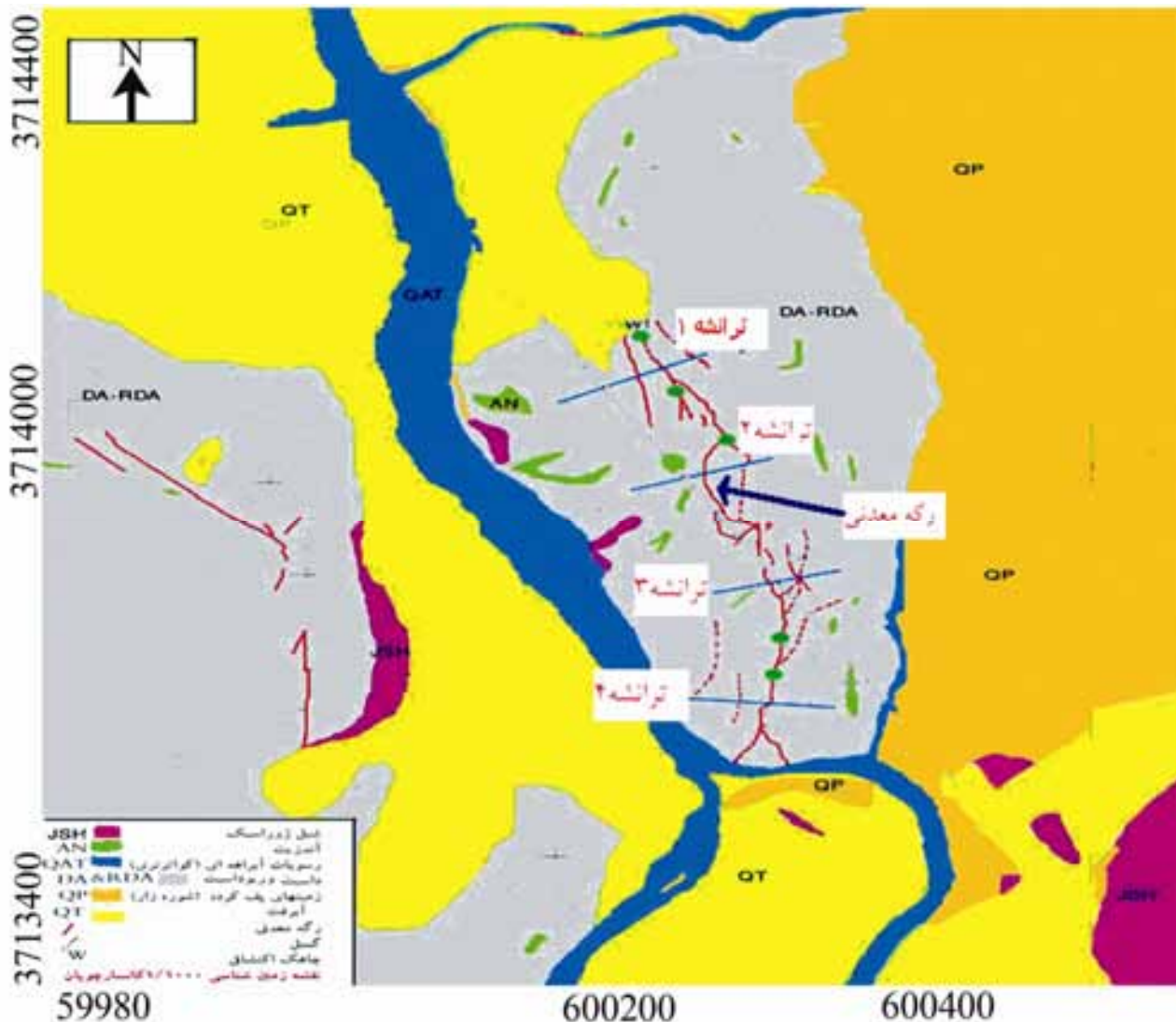
۱- مقدمه

است. رگه‌های معدنی در زون معدنی چوپان در کنترل گسل‌هایی با روند N15W می‌باشند که در داخل داسیت‌های پورفیری قرار دارند (تصویر ۱). این شکستگی‌ها مناسب‌ترین و مهم‌ترین گذرگاه برای عبور محلول‌های کانه‌دار از ژرفا به سمت بالا هستند. (برنا ۱۳۷۱). مقاله‌ی حاضر نتایج مطالعات زمین‌شناسی، پترولوژیکی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیائی، ترمومتری، سنجش از دور و سیالات درگیر در کانسار چوپان می‌باشد.

کانسار آتیموان چوپان در شمال غربی زون لوت، در ایران مرکزی در استان خراسان جنوبی در بین طول جغرافیایی " ۵۸° ۰۲' ۵۸ شرقی و عرض جغرافیایی " ۳۳° ۵۴' ۳۳ شمالی، در ۶۸ کیلومتری جنوب غرب شهرستان فردوس و در ۴۴ کیلومتری جنوب غرب آیسک و ۳۲ کیلومتری جنوب روستای بغداده و در همسایگی کانسار معروف و قدیمی آتیموان شوراب قرار دارد. محدوده‌ی کانسار مورد نظر در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰/۱ آیسک (نادری و اکرمی ۱۳۷۹) قرار دارد. مطالعات صحرائی و سنگ‌شناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهند که سنگ‌های محدوده‌ی معدنی چوپان را می‌توان به دو دسته سنگ‌های آذرین و رسوبی رده‌بندی کرد (Lotfi 1982). قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در کانسار چوپان رخمون دارند سازند شمشک با سن بازوسین پسین است که بیشتر شامل شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون

۲- روش مطالعه

ابتدا نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ به وسعت ۵۵ هکتار و نقشه‌ی زمین‌شناسی با همین مقیاس تهیه شد (بدخشان ۱۳۸۵) (تصویر ۱) به منظور بررسی ژنز و ویژگی‌های کانسار، تعداد ۱۲ ترانسه و پنج چاه استخراجی در سنگ میزبان داسیت-ریوداسیت پورفیری و



تصویر ۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰/۱ کانسار چوپان با تغییرات نهائی (از نسخه‌ی اولیه‌ی بدخشان ۱۳۸۶).

استیبیکونیت (Stibiconite) ($Sb_2O_6(OH)$) است (Roskill 1997)، که برای اولین بار در ایران مشاهده می‌شود (نخبه الفقهای ۱۳۸۷). دیگر کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، ارسنوپیریت، اسفالریت، سینابر، استیبینیت، پیرولولزیت، مگنتیت و اکسیدهای ثانویه آهن است (تصاویر ۳ و ۴). در این بررسی همچنین به همبستگی بسیار بالا و مقدار نسبتاً زیاد نقره تا چهار درصد در منطقه می‌توان اشاره کرد و از آنجا که به‌طور استثنایی هیچ‌گونه کانی‌سازی نقره مشاهده نشد، بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که احتمال قریب به یقین نقره به همراه کانی‌های گروه استیبیکونیت حضور دارد. سرب نیز از وضعیت مشابه نقره برخوردار بوده، چرا که معمولاً سرب به‌صورت کانی گالن یافت می‌شود. حضور کانی‌های اکسیدی - هیدروکسیدی در منطقه نشان‌دهنده‌ی جانشینی گسترده‌ی کانی‌های اکسیدی - هیدروکسیدی به‌جای کانی‌های سولفیدی می‌باشد (Rosua et al. 2002). همچنین حضور کانی رامسدلیت (MnO_2) (Ramsdellite)، که از گونه‌های نایاب کانی‌های اکسیدی منگنز و پلی‌مرف پیرولولزیت (MnO_2) است را می‌توان نام برد. کوارتز، دولومیت و کلیست نیز مهم‌ترین باطله‌ها هستند. مطالعه بر روی مغزه‌ها نشان‌دهنده‌ی عمق کانی‌سازی اکسیدی - هیدروکسیدی حداقل تا عمق ۳۰ متر می‌باشد. بافت غالب کانی‌سازی در محدوده‌ی مورد مطالعه بیشتر شامل بافت پرکننده‌ی فضاهای خالی است که نشان از دیرزاد بودن فرآیند کانه‌سازی دارد. در منطقه‌ی چوپان بافت جانشینی، مهم و گسترده نیست و نسبت به بافت پرکننده‌ی فضای خالی اهمیت چندانی ندارد. شواهد بافتی و نوع کانی‌سازی، گواهی بر کانی‌سازی نوع اپی ترمال سوپرژن است (Dill 2002) که علاوه بر حضور کانی‌ها به‌صورت هیدروکسیدی-سولفیدی، غنی‌شدگی آنتیموان نیز مشاهده می‌شود. پاراژنز کانی‌ها بر اساس مطالعات مقاطع صیقلی، سیالات درگیر، ژئوشیمی و صحرایی بر روی رگه‌ها، طبق جدول ۱ نشان داده می‌شود.

جدول ۱ - توالی پاراژنتیکی در کانسار چوپان

نام کانی	Later	Early
مگنتیت	-----	
کالکوپیریت، مالاکیت	-----	...
گالن - اسفالریت	-----	
طلا و کانی‌های نقره‌دار	-----	
رالگار، اریمنت، استیبینیت	-----	
پیرولولزیت، پسیلوملان	-----	...
استیبیکونیت	-----	
پیریت	-----	
کوارتز	-----	

رگه‌های معدنی، به روش خرده‌سنگی، ایجاد گردید (سازمان زمین شناسی کشور ۱۳۸۴). پس از نمونه‌برداری از سنگ‌های آذرین، ۱۲ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی تهیه شد (نخبه الفقهای ۱۳۸۵). ۲۴ نمونه از سنگ‌های آذرین غیرهوازده و تا حد امکان غیر دگرسان شده به روش طیف‌سنج جرمی با روش زوج پلاسما القایی (Inductively Coupled Plasma - Emission Absorption Spectrometry) برای بررسی‌های پترولوژیکی در شرکت توسعه‌ی علوم زمین و ۷۷ نمونه از رگه‌ها، ترانسه‌ها و چاهک‌ها به روش جذب اتمی (AAS: Atomic Absorption Spectrometry) در آزمایشگاه طرح‌های سراسری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای بررسی‌های ژئوشیمیایی تجزیه شدند. تعداد ۱۵ نمونه نیز جهت مطالعات کانی‌شناسی به روش پراش اشعه‌ی ایکس (XRD: X Ray diffractometry) در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور بررسی روند گسترش مناطق دگرسانی از نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌های تی ام (TM^{+7} Thematic MAPPER) و آستر (Aster) استفاده شد. تعداد ۹۲۰ نقطه‌ی مناسب حفاری به روش‌های پلاریزاسیون القایی (IP: Induced Polarization) و مقاومت‌سنجی (RS: Resistivity Surveys) از سوی گروه ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انتخاب و در نهایت در نقاط تعیین شده به‌وسیله‌ی نقشه‌های ژئوفیزیک و ژئوشیمی منطقه، حفاری صورت گرفت.

۳- کانی‌شناسی

رگه‌ی اصلی سیلیسی کانه‌دار رخنمون یافته در کانسار چوپان با طول ۶۰۰ متر و عرض ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر در امتداد گسلی با روند N15W قرار دارد. در کنار این رگه‌ی اصلی چهار رگه‌ی فرعی با روندهای شمال شرقی-جنوب غربی و شرقی - غربی وجود دارند. با توجه به مشاهدات صحرایی و مطالعه بر روی زمین و پردازش داده‌های ماهواره‌ای رگه‌ی اصلی در قسمت شمال رگه‌ی اصلی تا مسافت زیادی امتداد دارد که احتمالاً اکنون در زیر آبرفت مدفون است (تصویر ۱۳).

۱۵ نمونه از رگه‌ی اصلی و مغزه‌ها و همچنین سنگ‌های باطله به روش پراش اشعه‌ی ایکس مورد تجزیه قرار گرفتند. با تلفیق نتایج حاصل از مطالعه بر روی مقاطع صیقلی مشخص گردید که بر خلاف کانسارهای معروف آنتیموان ایران که از نوع کانه‌زایی سولفیدی می‌باشند و کانی اصلی آنتیموان‌دار در آن‌ها از نوع استیبینیت است، در این کانسار کانه‌زایی آنتیموان از نوع اکسیدی و کانی اصلی آنتیموان‌دار،

۴- پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین

همه‌ی سنگ‌های آذرینی که در منطقه‌ی چوپان رخنمون دارند، سنگ‌های ولکانیک و ساب ولکانیک هستند. رخنمون‌های کوچک و پراکنده‌ای از گرانیت نیز وجود دارند که از محدوده‌ی کانسار فاصله زیادی دارند. شواهد موجود نشان می‌دهد که کانه‌زایی در کانسار چوپان و مناطق اطراف در ارتباط مستقیم با فعالیت‌های ولکانیکی است (Leaman & Staude 2004).

بر اساس مطالعات پتروگرافی، سنگ‌های مورد نظر همگی دارای بافت پورفیری می‌باشند که دچار دگرسانی سریسیتی، کربناتی، آرژیلیتی و اوپاسیتی شده‌اند. کانی‌های درشت بلور شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکویت، کانی‌های اپاک و مقدار کمی آمفیبول هستند. زمینه نیز عمدتاً از کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده که اکثراً به کانی‌های ثانویه تجزیه شده‌اند. مهم‌ترین درشت بلور موجود در سنگ‌ها، پلاژیوکلاز است که اغلب منطقه‌بندی نوسانی (زونینگ) نشان می‌دهد و به صورت شکل‌دار است و غالباً به کانی‌های ثانویه مثل سریسیت، کانی‌های رسی و کانی‌های اپاک دگرسان شده‌اند (تصویر ۵). کوارتزها اکثراً دارای خوردگی خلیجی می‌باشند که نشانه‌ی عدم تعادل با مذاب است (تصویر ۶). بیوتیت‌ها نیز اکثراً نیمه‌شکل‌دار و به دگرسانی کلریتی دچار شده‌اند. در مقاطع نازک، اکثر سنگ‌ها داسیت پورفیری تشخیص داده شدند.

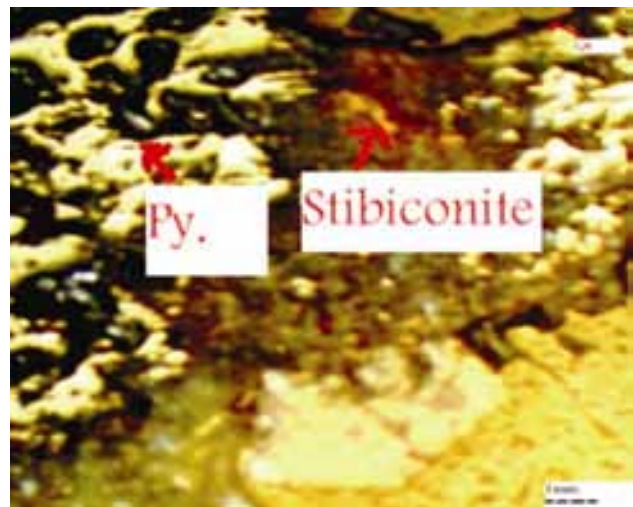
برای جدایش سنگ‌های ساب آلکان و آلکان از نمودار دوتایی شناسایی سری‌های ماگمایی ایروین و باراگار (Irvine & Baragar 1971) بهره گرفته شد. طبق این نمودار نمونه‌ها در محدوده‌ی ساب آلکان قرار می‌گیرند. برابر با نمودار طبقه‌بندی ژئوشیمیایی و نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌های آذرین منطقه داسیت و آندزیت هستند (تصویر ۷). از نمودار سه‌تایی شناسایی سری‌های ماگمایی ای اف ام (AFM) (Irvine & Baragar 1971) نیز برای تشخیص روندهای تفریق تولییتی و کالک آلکان در سری‌های ماگمایی ساب آلکان استفاده شد. طبق این نمودار نمونه‌ها در محدوده‌ی سنگ‌های تولییتی قرار می‌گیرند (تصویر ۸).

طبق نمودار پیرس و همکاران (Pearce et al. 1984) بیشتر نمونه‌های سنگ‌های آذرین کانسار چوپان در محدوده‌ی گرانیت‌های قوس آتشفشانی (VAG: Volcanic Arc Granitic) قرار می‌گیرند (تصویر ۹).

بر اساس نمودار استرانسیم به ایتیریم در برابر ایتیریم ($Sr/Y-Y$) بیشتر نمونه‌ها در محدوده‌ی کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند، در حالی که تعدادی از نمونه‌ها در محدوده‌ی سری آداکتی قرار می‌گیرند که این



تصویر ۲- نمایی از رگه اصلی در چاه w1



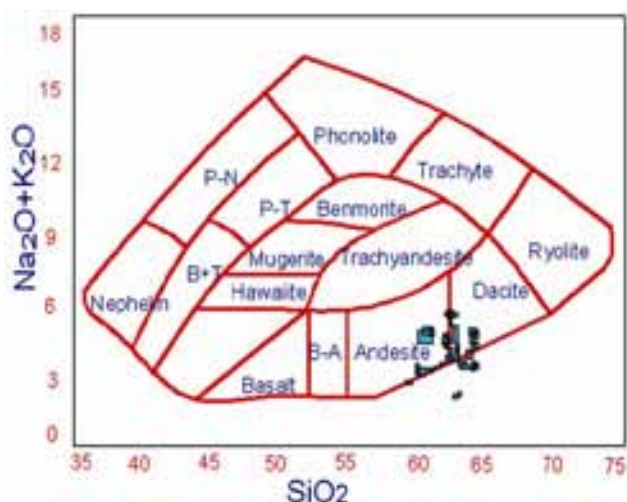
تصویر ۳ - نمونه‌ی S.CH.TR7-S2: کانی‌های ثانویه آنتیموان (اکسیدهای آنتیموان) از گروه استیبیکونیت به همراه پیریت. تراشه‌ی شماره‌ی ۷، نور انعکاسی، بدون فیلتر نورآبی، (XPL) 10×20



تصویر ۴- نمونه‌ی S.CH-W4-S3: بلورهای پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده و پرکننده‌ی فضای خالی، به همراه بلور لوزی‌شکل آرسنوپیریت (بالا، سمت چپ) و مالاکیت که در بین بلورهای استیبینیت جای گرفته است. چاهک شماره‌ی ۴ (نور انعکاسی، بدون فیلتر نورآبی، (XPL) 10×20



تصویر ۶- نمونه 9- CH- S: بافت پورفیریتیک، کوارتزهای خلیجی در زمینه کریپتوکریستالین دگرسان شده به اکسیدهای آهن، در ریوداسیت، بزرگنمایی ۴، XPL، ۱۰



تصویر ۷- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی و نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی (کریم زاده ثمرین ۱۳۸۱، ترجمه Rollinson 1993).

که اکثر کانی‌های اصلی مانند بیوتیت و پلاژیوکلاز به این نوع دگرسانی دچار شده بودند (تصویر ۱۱ و ۱۲). مشاهده مغزه‌ها نیز نشان از ادامه داشتن این دگرسانی در امتداد عمودی تا عمق قابل توجه دارد. در ضمن نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز حکایت از گستردگی این دگرسانی در یک منطقه وسیع دارد. این پردازش‌ها حاصل اعمال تکنیک‌های متداول بر روی تصاویر خام اخذ شده به وسیله سنجندهی آستر (Aster) با شماره‌ی گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۷ {AST_L1B#003_06292000071036_12052002132806.hdf} و سنجندهی تی ام (TM⁺: Thematic MAPPER) است که در

سری برای اولین بار در این منطقه از شرق کشور معرفی می‌شود (نخبه الفقهای ۱۳۸۷) (تصویر ۱۰ و جدول ۲).

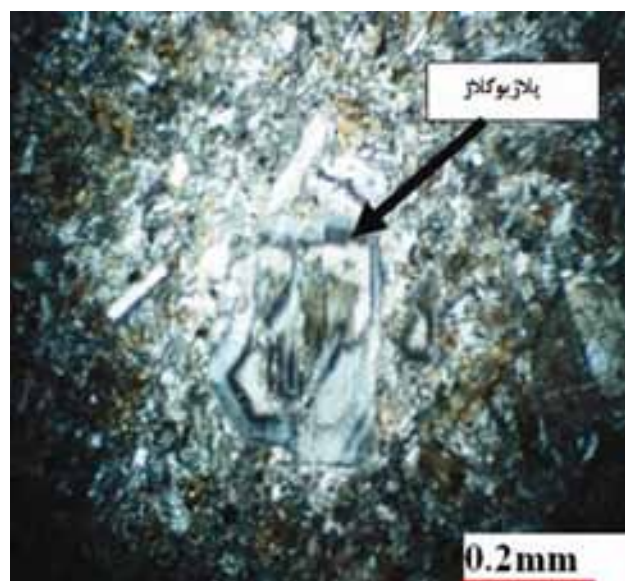
بررسی دیاگرام‌های عنکبوتی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها نسبت به گوشته و کندریت‌ها از عناصر کمیاب غنی شده و به احتمال زیاد دلیل این امر آرایش ماگما با پوسته قاره‌ای بوده است (کریم‌زاده ثمرین ۱۳۸۱).

پیک منفی عنصر نئوبیم و تیتانیم (Nb, Ti) در نمودارهای عنکبوتی رسم شده برای منطقه با شدت‌های متفاوت قابل مشاهده است، که نشان‌دهنده محیط فرورانش است (Rollinson 1993).

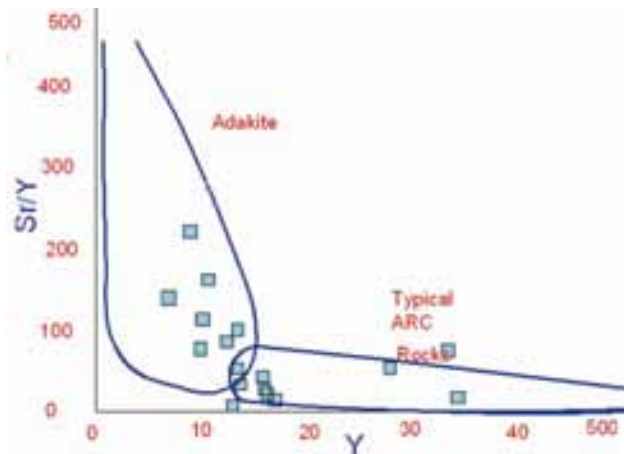
بر اساس مطالعات پتروژنتیک و بررسی روند نمودارهای عنکبوتی رسم شده برای سنگ‌های میزبان و میزان بالای غنی‌شدگی داسیت‌ها که متوسط مقدار آنتیموان، نقره و سرب در داسیت‌ها بر حسب پی پی ام به ترتیب ۱۱۴، ۳۱ و ۸۲۴ است که غنی‌شدگی زیادی نسبت به سنگ‌های استاندارد نشان می‌دهند، میزان کانه‌زایی و منشاء عناصر در منطقه‌ی چوپان سنگ‌های ریوداسیت و داسیت‌ها هستند.

۵- دگرسانی

بر اساس تجزیه‌ی پراش اشعه‌ی ایکس بر روی پنج نمونه از سنگ‌های دگرسان شده کانسار چوپان، مطالعات صحرایی، پردازش ماهواره‌ای و مقاطع نازک، دگرسانی در این منطقه گسترده بوده و شامل انواع سریسیتیک، آرزیلیک و پروپیلیتیک است. گسترده‌ترین و نزدیک‌ترین دگرسانی به رگه‌های معدنی دگرسانی سریسیتیک است. این نوع دگرسانی تقریباً در تمام مقاطع نازک کانسار شناسایی گردید، به طوری



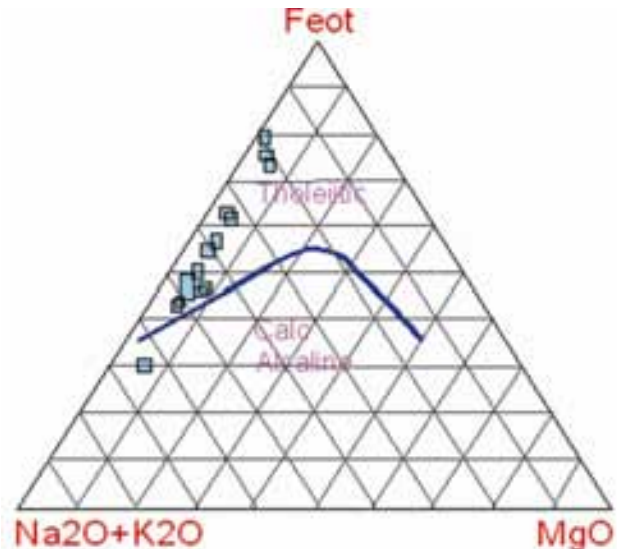
تصویر ۵- نمونه 5- CH- S: نمونه‌ای از منطقه‌بندی در درشت بلور پلاژیوکلاز در آندزیت، بزرگنمایی ۸، XPL، ۴



تصویر ۱۰- نمودار Sr/Y-Y که بر اساس آن سنگ‌های منطقه در محدوده‌ی کمان‌های آتشفشانی و سری آداکیتی قرار می‌گیرند.

تحلیل مولفه‌های اصلی (کریم‌پور و همکاران ۱۳۸۴)، شاخص بهینه‌ی OIF، فیلترگذاری تطبیقی (هاشمی تنگستانی و مظهری ۱۳۸۴، Ranjbar et al. 2004) و اعمال فیلترهای مناسب جهت بارزسازی روند شکستگی‌ها و رگه‌های احتمالی است (رسا و نظام‌پور ۱۳۸۵) (تصویر ۱۳).

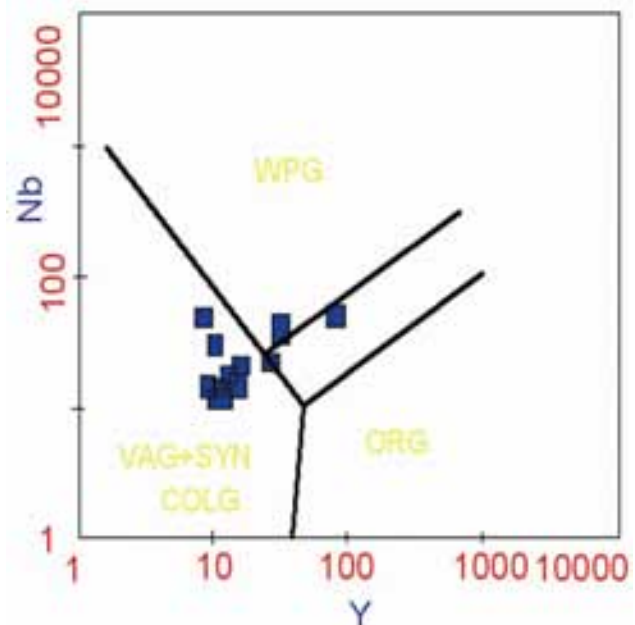
کانی‌های مهم این دگرسانی در کانسار چوپان شامل سریسیت، کوارتز، کائولن و پیریت است. رشد سریسیت نیازمند وجود محلول‌های سرشار آب و پتاسیم است و به نظر می‌رسد چنین شرایطی در منطقه فراهم بوده و شدت دگرسانی خود شاهده‌ی بر این ادعا است. با توجه به موقعیت این دگرسانی که رگه‌ی معدنی را همراهی می‌کند، می‌توان از آن برای پی‌جویی دیگر مناطق امید بخش بهره‌گرفت. دگرسانی آرژیلیکی در کانسار چوپان با فراوانی کائولینیت و ایلیت مشخص می‌شود که در تجزیه‌های پراش اشعه‌ی ایکس شناسایی شدند. حضور فراوان ایلیت در کانسار چوپان و از آن جایی که محدوده‌های پایداری حرارتی ایلیت از ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد است، می‌تواند به عنوان یک زمین‌دماسنج اثرات حرارتی پیش‌رونده مورد استفاده قرار گیرد. در درجه حرارت بیش از ۳۰۰ درجه، موسکویت از ایلیت ایجاد می‌شود. ایلیت در حضور سیالات اسیدی ضعیف غنی از دی‌اکسید کربن (CO₂) تشکیل می‌شود (زراسوندی ۱۳۸۶) و به نظر می‌رسد این شرایط نیز در منطقه حکم‌فرما بوده است. مهم‌ترین کانی‌های دگرسانی پروپیلیتیک در کانسار چوپان آلبیت، کلریت و کلسیت هستند که در تجزیه پراش اشعه‌ی ایکس شناسایی شدند و بیرونی‌ترین و کم‌ترین بخش دگرسانی را در کانسار چوپان می‌سازند. این نوع دگرسانی بیشتر حاصل دخالت و غلبه‌ی آب‌های جوی است و در نسبت پایین سنگ-آب پدید می‌آید. از دیگر دگرسانی‌های منطقه می‌توان به دگرسانی کربناتی با وفور کانی‌هایی مثل کلسیت، آنکریت و دولومیت اشاره کرد.



تصویر ۸- بر اساس این نمودار سنگ‌های منطقه در محدوده‌ی تولوئیتی قرار می‌گیرند (Irvine & Baragar 1971)

جدول ۲- مقایسه‌ی خصوصیات سری آداکیتی با سنگ‌های منطقه‌ی چوپان که نشان‌دهنده‌ی نوعی قرابت بین این دو است.

مغ	Sr/Y	Sr	Y	Al ₂ O ₃	خصوصیات سری آداکیتی
Mg<3%	Sr/Y>40	Sr>400 ppm	Y<18 ppm	Al ₂ O ₃ ≥15%	خصوصیات سری آداکیتی
Mg=3/5%	Sr/Y=40	Sr>700 ppm	Y<17 ppm	Al ₂ O ₃ ≥13%	خصوصیات سنگ‌های منطقه

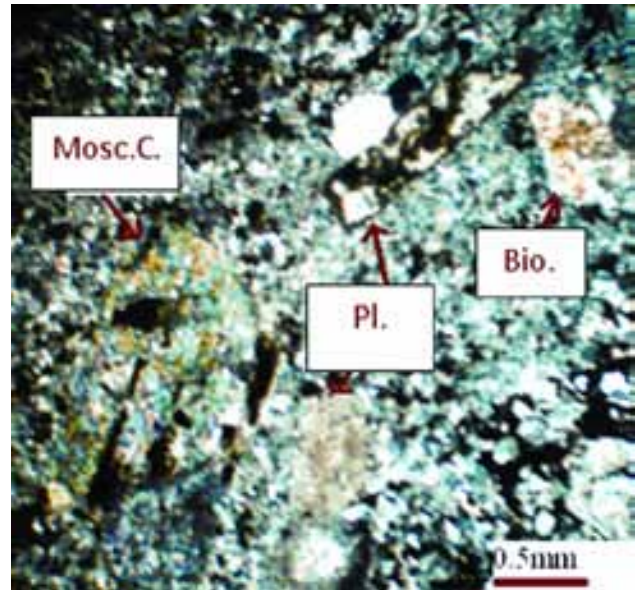


تصویر ۹- طبق نمودار متمایز کننده‌ی گرانیت‌ها بر اساس Nb-Y (Pearce et al. 1984) بیشتر نمونه‌های چوپان در محدوده‌ی گرانیت‌های قوس آتشفشانی قرار می‌گیرند.

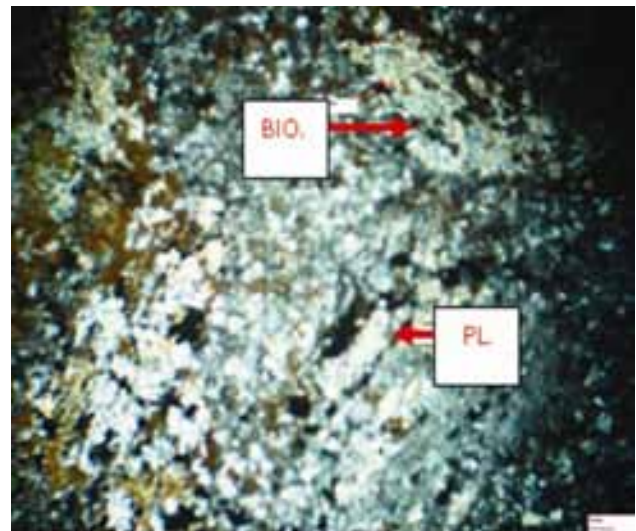
تاریخ ۲۰۰۲/۱۲/۰۵ اخذ شد (نخبه الفقهای ۱۳۸۷). تکنیک‌هایی که در این تحقیق به‌کار برده شد شامل تصاویر نسبتی، روش‌های تجزیه و

کادمیوم، طلا، مولیبدن، مس، آنتیموان، روی، سرب، جیوه، آرسنیک و نقره به روش جذب اتمی مورد تجزیه قرار گرفتند. چهار نمونه از مغزها نیز به آزمایشگاه شرکت زارما جهت تجزیه‌ی (ICP-MS: Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) فرستاده شدند. وزن نمونه‌ها بیش از ۱۰۰ گرم و قطر ذرات نمونه کمتر از ۸۰ مش است که ۲۰ گرم از هر نمونه پس از انحلال، مورد تجزیه قرار گرفتند.

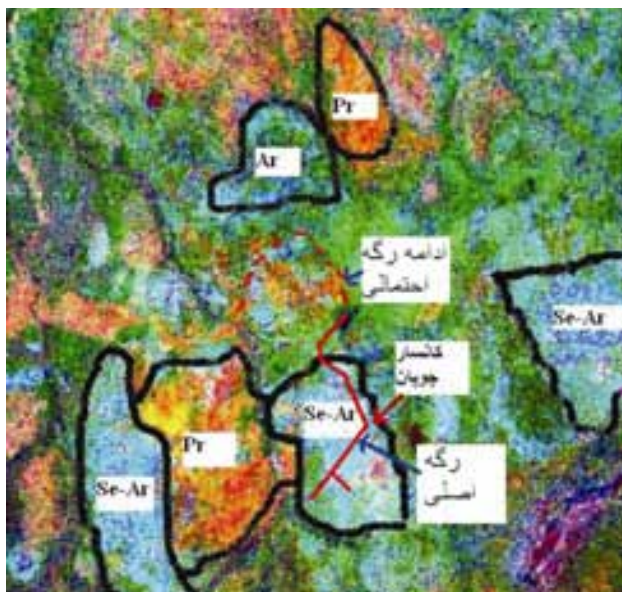
اکثر داده‌های عنصر کادمیوم دارای مقادیر سنسورد می‌باشند که این عنصر از داده پردازی حذف شد. در مورد عناصر جیوه و مولیبدن، داده‌های سنسورد کمتر از ۱۰ درصد است. بررسی‌های آماری با استفاده از نرم افزار اس پی اس اس (SPSS) روش اسپیرمن (Spearman method) انجام شد و داده‌ها به صورت لاگ نرمال مورد استفاده قرار گرفتند (حسینی پاک ۱۳۸۳). براساس نتایج به دست آمده، غلظت متوسط عناصر بر حسب پی پی ام برای آنتیموان ۴۰۲۰/۷، طلا ۰/۵۹، آرسنیک ۴۵۸، جیوه ۰/۶۱، نقره ۶۶/۱، روی ۶۶۴/۵، سرب ۱۱۵۴/۶، مس ۹۶/۷ و مولیبدن ۰/۹۸ می‌باشد. محاسبه‌ی همبستگی به روش



تصویر ۱۱- نمونه‌ی S- CH- P9: بلوردرشت مسکویت، همراه پلاژیوکلاز و بیوتیت در داسیت پورفیری، که در حال تجزیه شدن هستند. بزرگنمایی ۸، XPL



تصویر ۱۲- نمونه‌ی S.Ch.P3: همان‌طور که دیده می‌شود در این مقطع دگرسانی بسیار شدید می‌باشد به طوری که کانی‌های اوئیه کاملاً به سریسیت (سمت راست تصویر) و آرژیلیک (سمت چپ تصویر) دگرسان شده‌اند. داسیت پورفیری، بزرگنمایی ۱۰، XPL



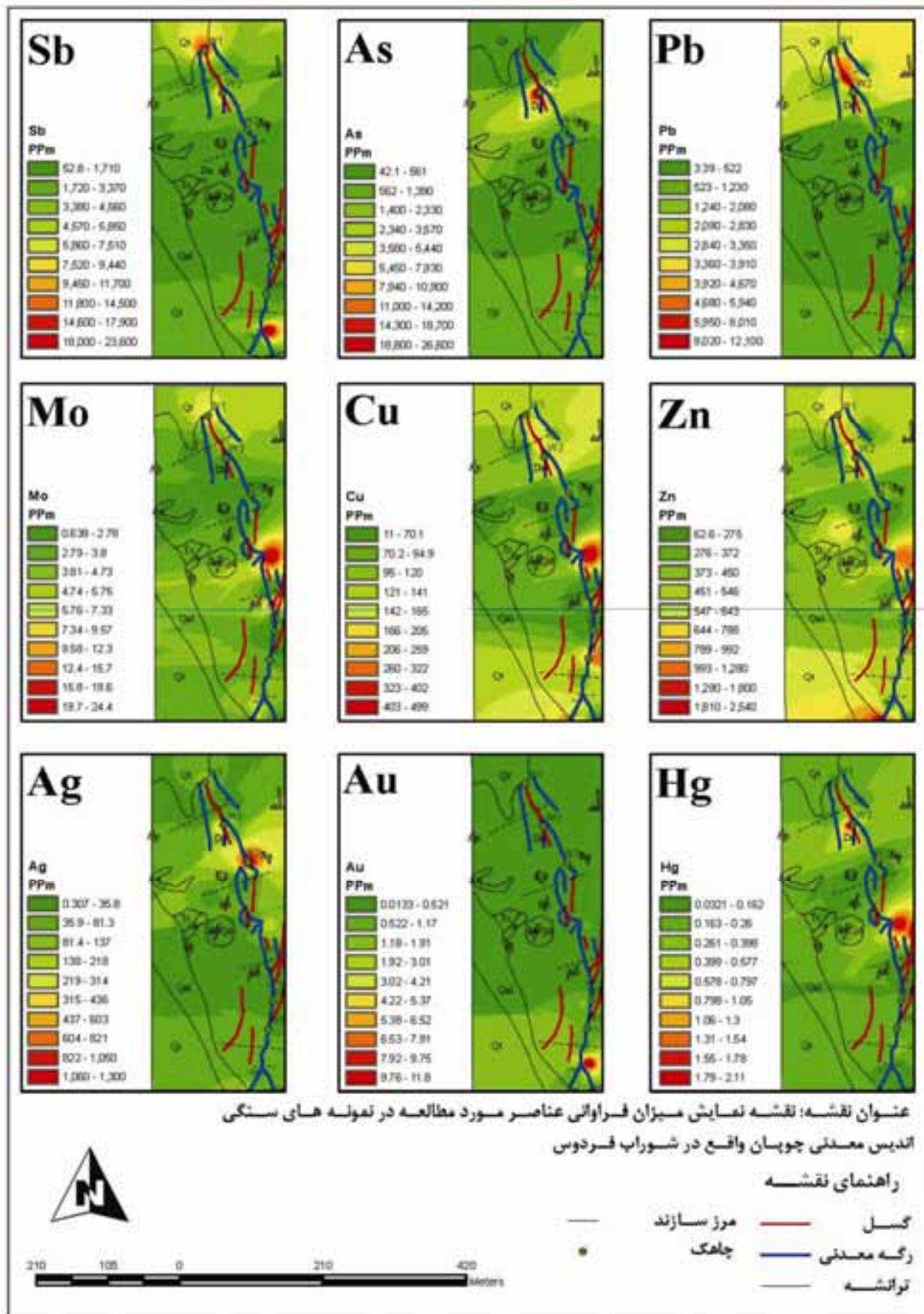
تصویر ۱۳- بارزسازی مناطق دگرسان شده با استفاده از تصاویر نسبتی ETM^{+7} که تنوع دگرسانی را در منطقه نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود همراه رگه‌ی اصلی، دگرسانی‌های سریسیتی و آرژیلیکی دیده می‌شوند. رگه‌ی اصلی تا مسافت زیادی ماورای کانسار چوپان ادامه دارد که در صحرا قابل مشاهده نیست. $Ar =$ آرژیلیک و $Ser =$ سریسیتی و $Pr =$ پروپیلیتی.

اسپیرمن این عناصر نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین سه عنصر آنتیموان، سرب، نقره برقرار است که بیشترین و کم‌ترین ضریب همبستگی مثبت به ترتیب بین عناصر آنتیموان و سرب (۷۵۲/۰) و مولیبدن و مسکویت (۲۳/۰-) است. در محدوده‌ی چوپان بالا بودن

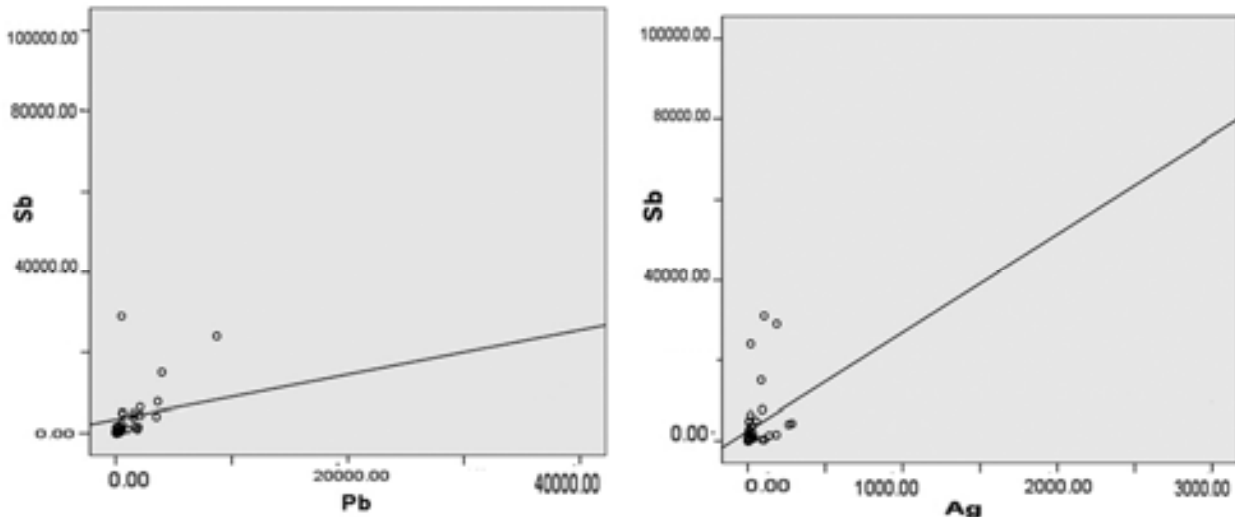
همچنین دگرسانی بر روی کانی‌های منطقه، به خصوص پیریت سبب تبدیل آن به اکسیدهای آهن مثل هماتیت و گوتیت شده است. دگرسانی سیلیسی نیز با کانی‌سازی همراه بوده و منطبق بر زون‌های گسلی می‌باشد.

۴- ژئوشیمی

از حدود ۱۲۰ نمونه‌ی برداشت شده‌ی ژئوشیمیایی به روش خرده سنگی، ۷۷ نمونه از ۱۲ ترانشه، پنج چاه استخراجی و محل رخنمون رگه‌ها، تحویل آزمایشگاه طرح اکتشاف سراسری گردید و عناصر



تصویر ۱۴- نقشه‌ی ژئوشیمی کانسار چوپان. نقاط قرمز نشان‌دهنده‌ی حداکثر آنومالی برای هر عنصر است.



تصویر ۱۵- نمودارهای خطی همبستگی آنتیموان با نقره و سرب کانسار چوپان

جهت حرکت سیالات کانه‌دار از جنوب به شمال نقشه بوده است (صیدی جوقان ۱۳۸۱). فرضیه‌ی دوم این است که با توجه به کمبود عناصر رو کانساری نقره، آرسنیک و آنتیموان (Sb, As, Ag) در قسمت جنوبی نقشه، فرسایش در این نقطه باعث شستشوی عناصر فوق کانساری شده است (نخبه الفقهای ۱۳۸۷). بر اساس نمودارهای خطی همبستگی (تصویر ۱۵) و جدول ضرایب همبستگی عناصر در کانسار چوپان، می‌توان گروه‌های عنصری را در کانسار چوپان شناسایی کرد:

- ۱- گروه مس- روی با ضریب همبستگی ۰/۷۰۳ که بالاترین ضریب همبستگی است.
- ۲- گروه آنتیموان، نقره و سرب با ضریب همبستگی ۰/۷۰۹
- ۳- گروه طلا و آرسنیک با ضریب همبستگی ۰/۶۱۵
- ۴- بنابراین کانسار چوپان را می‌توان کانسار از نوع آنتیموان - نقره نامید.

۷- نتیجه‌گیری

منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر کانی‌سازی به‌ویژه برای عنصر آنتیموان، بسیار مستعد تشخیص داده می‌شود. بالا بودن میزان آنتیموان و عناصر ارزشمندی چون نقره، توپوگرافی ملایم و سهل‌الوصول بودن، تعداد زیاد رگه‌ها و ابعاد بالای رگه‌ها همگی دلایلی برای مهم بودن منطقه از نظر معدنی می‌باشد. با استفاده از داده‌های عناصر اصلی، سنگ‌های آذرین آتشفشانی منطقه‌ی چوپان اسیدی و حدّ واسط شامل داسیت، آندزیت و گونه‌های حدّ واسط این سنگ‌ها است. این سنگ‌ها جزء مجموعه‌ی تولیتی بوده و بر اساس نمودارهای تکتونیکی مربوط به زون‌های فرورانش حاشیه‌ی قاره‌ها هستند. بررسی دی‌اگرام‌های عنکبوتی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها نسبت به گوشته و کندریت‌ها از

مقدار عنصری چون آنتیموان و نقره نشان از بالا بودن عناصر فوق در سنگ مادر آن‌ها به‌ویژه داسیت‌های پورفیری می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه‌ها و نقشه‌ی ژئوشیمی کانسار چوپان (تصویر ۱۴)، بیشترین میزان آنتیموان در قسمت شمال نقشه در امتداد چاه W1، جنوب شرق نقشه در امتداد چاه W5، با مقدار متوسط ۲۰۰۰۰ پی پی ام می‌باشد. از مقایسه‌ی نقشه‌ها چنین بر می‌آید که سه عنصر مولیبدن، مس و روی بیشترین میزان و هم‌پوشانی را در قسمت شرق نقشه در بین ترانشه‌ی دو و سه و نزدیک به ترانشه‌ی دو، به ترتیب به میزان ۲۲،۵۴۱ و ۲۱۷۵ پی پی ام دارند که با توجه به همراه بودن این سه کانی و میزان ضریب همبستگی دور از انتظار نیست. میزان جیوه بسیار پایین است و با سه عنصر فوق هم‌پوشانی دارد و بیشترین میزان آن در بین ترانشه‌ی دو و سه و نزدیک به ترانشه‌ی دو و همچنین چاه W2 به میزان ۲ پی پی ام است. بیشترین میزان آرسنیک ۲۲۰۰۰ پی پی ام می‌باشد و در چاه W2 با جیوه هم‌پوشانی دارد. بیشترین میزان سرب در ترانشه‌ی شماره‌ی سه و برابر ۱۰۰۶ پی پی ام است که با آرسنیک و جیوه هم‌پوشانی خوبی دارد. بالاترین میزان نقره در چاه W3 و برابر ۲۳۶۰ پی پی ام است. میزان طلا در مجموع پایین است و بیشترین مقدار طلا به میزان ۱۱ پی پی ام در ترانشه‌های ۶ و ۷ واقع است. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی دگرسانی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای و محاسبه‌ی سطح فرسایش با استفاده از عناصر فوق کانساری - تحت کانساری (عناصری که در روند کانی‌زایی در بخش فوقانی کانسار قرار داشته و بعد از طلا نهشته می‌شوند - عناصری که قبل یا همزمان با طلا نهشته می‌شوند) با نسبت معرف آنتیموان + نقره + آرسنیک به مس + روی + سرب (Sb+As+Ag/Pb+Zn+Cu) و غنی‌شدگی عناصر فوق کانساری در شمال نقشه‌ی ژئوشیمی، احتمالاً

بدخشان، س.، ۱۳۸۶، "اکتشافات معدنی در منطقه‌ی شوراب، شند محمود، سه قلعه و چوپان"، شرکت توسعه‌ی علوم زمین، طرح سازمان زمین‌شناسی کشور.

حسینی پاک، ع. ا.، ۱۳۸۳، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ ص.

رسا، ا. و نظام‌پور، م. ه.، ۱۳۸۵، "استفاده از روش سنجش از دور جهت تعیین نواحی مستعد کانه‌زایی در اطراف توده‌ی پورفیری کال کافی با تاکید بر تاثیر ساختارهای خطی، انارک، ایران"، فصلنامه‌ی علوم زمین، بهار ۱۳۸۵، شماره‌ی ۱۴، ۵۹-۶۹.

زراسوندی، ع. ر.، ۱۳۸۶، "اطلس دگرسانی"، ترجمه، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۱۹ ص.

صیدی جوقان، م.، ۱۳۸۱، "کانی‌زایی آرسنیک - آنتیموان - طلا در کوهسرخ کاشمر"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۶۰ ص.

کریم‌پور، م.، ملک‌زاده، آ. و حیدریان، م. ر.، ۱۳۸۴، "اکتشاف مواد معدنی (مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی)"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۳۶ ص. کریم‌زاده ثمرین، ع. ر.، ۱۳۸۱، "کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی (ارزیابی - کاربرد - نمایش)، ترجمه"، انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۵۷ ص.

نادری، م. و اکرمی، ف.، ۱۳۷۹، "طرح سراسری تهیه‌ی نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کشور، آیسک"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شعبه‌ی شمال شرق کشور، مشهد.

نخبه الفقهای، ع.، ۱۳۸۷، "ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنز اندیس معدنی آنتیموان - طلای چوپان واقع در شوراب فردوس"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۲۸ ص.

هاشمی تنگستانی، م. و مظهری، ن.، ۱۳۸۴، "پردازش طیفی پیشرفته داده‌های VNIR و SWIR سنجده استر در نقشه‌برداری زون‌های دگرسانی ذخایر مس پورفیری"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

Dill, H. G., 2002, "Evolution of mineralization in modern fold belts: a comparison of the Sb mineralization the central Andes (Bolivia) and the Western Carpathians (Slovakia)", *Mineralium Deposita*, Vol. 33: 359-378.

Irvine, T. N. & Baragar, W. R. B., 1971, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.

Leaman, P. & Staude, J. M., 2004, "Metallogenic evolution of Turkey and Iran", *BHP Billiton Open file report*, 24p.

عناصر کمیاب غنی شده‌اند و به احتمال زیاد دلیل این امر آرایش ماگما با پوسته‌ی قاره‌ای بوده است. این ادعا با مقایسه‌ی داده‌های سنگ‌های چوپان با میانگین پوسته‌ی قاره‌ای تأیید می‌شود. از سوی دیگر از روی نمودارهای تکنونیکي ماگماها مربوط به کمان‌های قاره‌ای می‌باشند.

کم ژرفا بودن کانسار، درجه‌ی حرارت پایین (۱۴۰-۲۲۰) شوری کم (۴-۱۲ درصد) نقش مؤثر آب‌های جوی در تشکیل این کانسار، ارتباط آشکار آن با درز و شکاف‌ها و گسل‌ها از مهم‌ترین دلایلی است که در اپی‌ترمال خواندن کانسار چوپان می‌توان به آن‌ها استناد کرد. اما به سبب ویژگی‌های خاصی هم‌چون نوع کانی‌سازی که در این کانسار از نوع غالب اکسید - هیدروکسید آنتیموان است، همچنین نوع و میزان عناصر همراه (همبستگی بسیار بالای آن با نقره و سرب و قرارگیری آن در قالب کانی استفلدیت و بیندهیمیت) منحصر به فرد بوده و از آنجایی که به لحاظ دگرسانی، ژئوشیمی، پاراژنز کانی‌ها و همچنین قرارگیری در سری آداکیتی با کانسارهای موجود در کشور و اغلب کانسارهای دنیا قابل قیاس نیست، لذا احتمالاً این کانسار نوع جدیدی از کانی‌سازی ذخایر اپی‌ترمال است که می‌تواند به‌عنوان رده‌ی آدلورایا - سرسیست کم سولفید، نوع سوپرژن آنتیموان - نقره قلمداد شود. از نکات قابل توجه دیگر حضور آنتیموان به‌صورت استیبیکونیت به‌جای استینیت و بالا رفتن درصد آنتیموان در کانی و آسانی فرآوری می‌باشد که صرفه‌ی اقتصادی این معدن را بالا می‌برد.

۸- تشکر و قدردانی

انجام این پژوهش با حمایت دانشگاه شهید بهشتی و مؤسسه‌ی تهیه و تحقیقات مواد معدنی ایران و شرکت توسعه علوم زمین میسر شد. از زحمات کارشناسان و پرسنل مرکز تهیه و تحقیقات مواد معدنی ایران و شرکت توسعه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی به‌ویژه آقایان مهندس اقبالی، بدخشان، گلزار، کوهستانی، پادیار مسئول آزمایشگاه میکروترمومتری سازمان زمین‌شناسی تشکر می‌شود. از جناب آقای علوم زمین و جناب مهندس بیاتی‌نیا و سجادی در انجام مطالعات سنجش از دور و جی‌آی‌اس سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

برنا، ب.، ۱۳۷۱، "گزارش بخشی از عملیات اکتشافی تفصیلی بر روی کانسار آنتیموان شوراب و گزارش پی‌جویی مقدماتی کانسار آنتیموان طلادار شند محمود و سه قلعه از ناحیه‌ی فردوس"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲۴ ص.

بدخشان، س.، ۱۳۸۶، "اکتشافات معدنی در منطقه‌ی شوراب، شند محمود،

Lotfi, M., 1982, "Geological And geochemical investigation on the volcanogenic Cu, Pb- Zn, Sb ore mineralization in the Shurab-Galechal and northwest of Khur (Lut, East Iran)", *Dissertation Zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften der Univ. Hamburg, 152p.*

Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *J. Petrol., Vol. 25: 956–983.*

Ranjbar, H., Honarmand, M. & Moezifar, Z., 2004, "Application of the crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using TM⁺ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt", *J. Asian Earth Sci., Vol. 24: 237–243.*

Roskill, 1997, "The economics of Antimony", (*Reports on Metals & Minerals*): Amazon.co.uk: Books. Publisher: Roskill Information Services Ltd; 8th Ed.

Rosua, F. J. C., Ruano, S. M. & Hach-Ali, P. F., 2002, "The three generation of gold in the Palai-Islica epithermal deposit, Southeastern Spain", *Canadian Mineralogist, Vol. 40: 1465-1481.*