

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و پتانسیل‌سنجی کانسار لخشک،

پهنه زمین‌درز سیستان بر مبنای مطالعات ژئوفیزیکی (IP/RS)

- نسیم حیدریان دهکردی^۱، شجاع‌الدین نیرومند^(۲)، شهرام ادیب^۳، حسینعلی تاج‌الدین^۴ و سعید میرزایی^۵
۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران و استادیار، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی
 ۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران
 ۳. کارشناس ارشد اکتشاف، بخش طرح‌های اکتشافی، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، تهران
 ۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 ۵. استاد، گروه زمین‌شناسی نفت، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

چکیده

کانسار لخشک در ۲۸ کیلومتری شمال‌غرب زاهدان و در پهنه زمین‌درز سیستان واقع است. عمده‌ترین واحدهای سنگی در گستره مورد مطالعه، مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی دگرشکل با سن ائوسن هستند که در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. کانی‌شناسی کانسنگ ساده و شامل کانی‌های استینیت، پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و الکتروم می‌باشد. میزان اصلی کانه‌زایی در این گستره، واحدهای شیستی به‌ویژه کالک‌شیست با سن ائوسن است که با مجموعه‌ای از دگرسانی‌های کوارتز-سریسیت-مسکویت و سولفید همراه می‌باشند. براساس مطالعات ژئوفیزیکی به روش قطبش القایی و مقاومت ویژه (IP/RS) در پهنه برشی لخشک و تلفیق نتایج به‌دست‌آمده با اطلاعات زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی، واحدهای کالک‌شیستی، کمربندهای گسله و پهنه‌های دگرسان شده پتانسیل بالایی را برای کانه‌زایی طلا-آنتیموان نشان می‌دهند. بنابراین، با توجه به حدود تغییرات مقاومت ویژه و شارژپذیری در مقاطع، می‌توان گفت شدت شارژپذیری در نیمرخ‌های برداشتی، توانسته در مورد شناسایی کانه‌زایی و تعیین نواحی امیدبخش در این گستره مناسب باشد. کانسار لخشک بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناختی و کانه‌زایی از جمله ماهیت سنگ میزبان، شکل کانه‌زایی، دگرشکلی و دگرسانی‌های همراه، بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای تپ کوهزایی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پهنه برشی لخشک، دگرسانی، کالک شیست، کانه‌زایی طلا-آنتیموان، مطالعات ژئوفیزیکی.

مقدمه

از عمده‌ترین روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی می‌توان به روش‌های لرزه‌نگاری، مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و روش‌های الکتریکی، مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی اشاره کرد. از میان روش‌های بیان شده، برای تعیین اختلاف مواد مختلف زیر زمین بر مبنای تفاوت خاصیت فیزیکی، جنس، درصد خلل و فرج و میزان سیال موجود در آنها، روش‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی مناسب‌ترین روش‌ها می‌باشند. بر این اساس، در بیشتر نقاط معدنی دنیا و همچنین در ایران، برای شناسایی بیشتر کانسارهای فلزی

* نویسنده مرتبط: niroomand@ut.ac.ir

به‌منظور تعیین مکان‌های مستعد کانه‌زایی در گستره مورد مطالعه می‌باشد.

روش مطالعه

این پژوهش شامل مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی است. مطالعات صحرایی شامل مطالعه واحدهای سنگی، دگرسانی‌ها، ساخت و بافت کانی‌سازی و برداشت نمونه‌های سنگی مناسب است. در این مرحله، بالغ بر ۱۵۰ نمونه سنگی از رخنمون‌ها و ترانشه‌ها برداشت و به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شد. در مرحله آزمایشگاهی، پس از بررسی‌های مقدماتی، از میان نمونه‌های برداشت‌شده، تعداد ۷۰ مقطع نازک و ۶۰ مقطع نازک-صیقلی به‌منظور مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت مطالعه شدند. در ادامه، به‌منظور تعیین نقاط امیدبخش و پتانسیل‌سنجی، پس از بازدید اولیه از پهنه و طراحی نیمرخ‌ها (معدن جویان آذر زمین، ۱۳۹۴)، کار پیاده‌سازی نقاط در زمین و آماده‌سازی آنها برای برداشت انجام گرفت. پیاده‌سازی نقاط با استفاده از دستگاه GPS Garmin XL انجام شد. در حالت کلی، برای نقاطی که جریان به آنها وصل می‌شود، در حدود نیم متر حفر شده و فویل آلومینیومی در داخل زمین جای‌گذاری شد (معدن جویان آذر زمین، ۱۳۹۴). همچنین برای انتقال بهتر جریان و رسانندگی بیشتر، کلیه چاله‌های حفر شده با محلول آب و نمک به میزان حدود پنج تا ۱۰ لیتر پر شده‌اند. تجهیزات برداشت شامل یک دستگاه رسیور IP و مقاومت ویژه Scintrex ساخت کشور کانادا، ترنس‌میت ۸۰۰ ولتی، ژنراتور سه کیلو واتی، قرقره‌های سیم و الکترودهای برداشت می‌باشد. الکترودهای برداشت به‌صورت ظرف‌های پلاستیکی است که انتهای آنها به‌منظور داشتن خاصیت تراوایی از نوع سفال می‌باشد. درون الکترودها از محلول کات کبود (سولفات مس آبدار) پر شده و سیم توپر مسی در داخل آن قرار گرفته و سپس از طریق سیم‌های برداشت به گیرنده متصل هستند. در ادامه، تعداد ۱۸ نیمرخ در جهت شمالی-جنوبی (عمود بر روند کانه‌زایی)، با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی طراحی و

از دو روش بیان شده استفاده می‌شود. ژئوفیزیک اکتشافی، روشی غیرمستقیم است و سبب کاهش هزینه‌های اکتشافی می‌شود. در این اکتشافات، همواره دنبال یک ناهنجاری یا انحراف از مشخصات یکنواخت زمین‌شناسی می‌باشیم. تغییر ناگهانی در جنس مواد، برخورد با گسل، پهنه خرد شده و کمربندهای کانه‌دار، می‌تواند ناهنجاری‌هایی را نسبت به شرایط طبیعی نشان دهد (Figueiredo et al., 2014; Hashemi, 2010). بر این اساس، می‌توان بازدیدهای صحرایی بعدی، برداشت‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی دقیق‌تر زمینی را در مقیاس بزرگ برای گستره مورد مطالعه برنامه‌ریزی کرد. با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی، ضمن انتخاب محل دقیق ذخیره پنهان، می‌توان شکل، گسترش و عمق آن را نیز تعیین کرد. در ادامه، با تلفیق اطلاعات ژئوفیزیکی با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی نیز می‌توان محل‌های مناسب و مستعد را برای حفاری تعیین و در صورت موفقیت، مقدار ذخیره کانسار را تخمین زد (رسا و حیدریان دهکردی، ۱۳۹۰). کانسار لخشک، در جنوب‌شرق ایران و در فاصله ۲۸ کیلومتری شمال غرب زاهدان واقع است. این کانسار از نظر تقسیم‌های ساختاری در پهنه زمین‌درز سیستان قرار دارد (Tirrule et al., 1983). تا قبل از این تحقیق، مطالعاتی در خصوص تعیین سن و ژنز گرانیتهای زاهدان (Camp and Griffis, 1982)، کمپلکس‌های برازفایشی (Tirrule et al., 1983)، زمین‌شناسی و کانی‌شناسی آنتیموان لخشک (مظلوم و همکاران، ۱۳۹۶)، سنگ‌شناسی و پترولوژی توده‌های نفوذی زاهدان (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سرحدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ بومری، ۱۳۹۳؛ سروانی و کنعانیان، ۱۳۹۰؛ کنعانیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ صادقیان و ولی‌زاده، ۱۳۸۶) انجام شده است. با این‌که مطالعات انجام شده، تاکنون مطالعات ژئوفیزیکی مبنی بر پتانسیل‌سنجی و تعیین نواحی امیدبخش کانسار بیان شده از نظر کانه‌زایی طلا و نقش کمربندهای گسله و پهنه برشی در کنترل کانه‌زایی انجام نشده است. هدف از این پژوهش استفاده از روش‌های IP/RS و تلفیق نتایج حاصله با اطلاعات زمین‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی

بین بلوک‌های لوت و سیستان و تکتونیک کششی بعد از تصادم را برای شکل‌گیری پهنه زمین درز سیستان در نظر گرفتند. براین اساس، به‌دنبال فرورانش بلوک لوت به زیر بلوک سیستان، در زمان ماستریشتین، سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پالئوسن-ائوسن در پهنه زمین درز سیستان شکل یافت. پهنه اشاره شده از دو مجموعه گوه برافزایشی رتوک (در شرق) و نه (در غرب) تشکیل شده است که توسط سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی حوضه پیش‌کمان سفیدابه از یکدیگر جدا شده‌اند (شکل ۱). کمپلکس رتوک یک مجموعه‌ای از رسوبات فلیش کرتاسه فوقانی و ملائزهای افیولیتی کرتاسه را دربر دارد (Fotoohi Rad et al., 2005). در بخش شرقی کمپلکس رتوک، سنگ‌های پی‌سنگ بلوک افغان رخمون دارند که شامل آهک‌های کرتاسه زیرین می‌باشند و به‌صورت ناپیوسته بر روی سنگ‌های پروتروزوئیک قرار گرفته‌اند (Tirrul et al., 1983).

کمپلکس نه، ترکیبی از مجموعه افیولیتی بوده و سن آن از سنونین تا ائوسن پیشین می‌باشد. بر روی کمپلکس رتوک و نه به‌صورت ناپیوستگی، حوضه پیش‌کمان سفیدابه قرار دارد که شامل رسوبات تخریبی دگرگون نشده از ماستریشتین پیشین تا ائوسن می‌باشد (Tirrul et al., 1983).

زمین‌شناسی گستره

کانسار لخشک در هفت کیلومتری غرب روستای لخشک واقع است. این گستره بخشی از چهارگوش ۱:۲۵۰/۰۰۰ زاهدان است. گستره مورد مطالعه متشکل از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده در حد رخساره شیبست سبز است. این بخش توسط تعدادی توده نفوذی با ترکیب اسیدی تا حدواسط و عمدتاً به شکل دایک قطع شده‌اند. واحدهای شیبستی گستره بیشتر از نوع کالک‌شیبت و کوارتز شیبست با سن ائوسن و دایک‌ها از نوع داسیت و ریولیت با سن الیگوسن می‌باشند. در این پژوهش، به‌منظور پتانسیل‌سنجی و تعیین نقاط امیدبخش کانه‌زایی، از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده شده است. برای بررسی

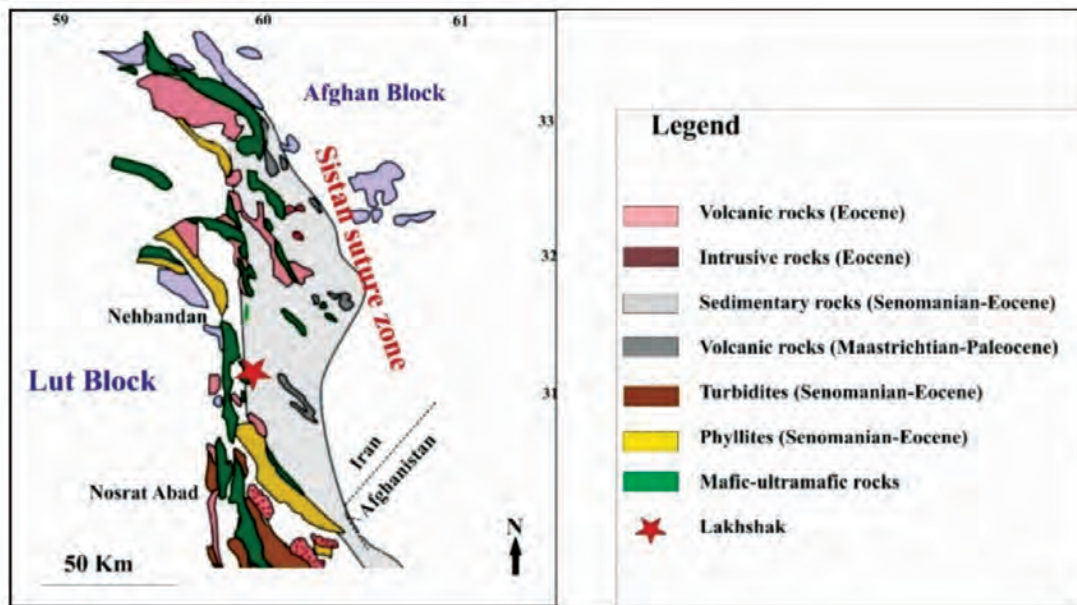
برداشت شدند. هر یک از این نیمرخ‌ها به‌گونه‌ای طراحی شدند که در راستای آنها دو نیمرخ مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش‌پذیری القایی برداشت شد. برای رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار Res2dinv استفاده شد. برای هر نیمرخ یک نقشه شارژپذیری و یک نقشه مقاومت ویژه رسم شد. پس از تهیه نقشه‌ها، از عملگرهای فازی برای تطبیق آنها استفاده شد. در نهایت نقشه تلفیق نهایی اکتشافی به‌منظور انتخاب نقاط حفاری تهیه شد. با توجه به وجود ضرایب وزنی مختلف برای تلفیق نقشه‌ها، چندین مدل نقشه نهایی اکتشافی به‌دست‌آمده است، تا نتیجه مطمئن‌تر و قابل اعتمادتری از ترکیب تفسیر داده‌های مختلف ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی به‌دست آید. در پایان، براساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیکی و به‌منظور تکمیل آن، بر روی رگه-رگچه‌های حاوی کانه‌زایی آنتیموان-طلا و نواحی امیدبخش، تعداد ۲۴ ترانسه حفر شد.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

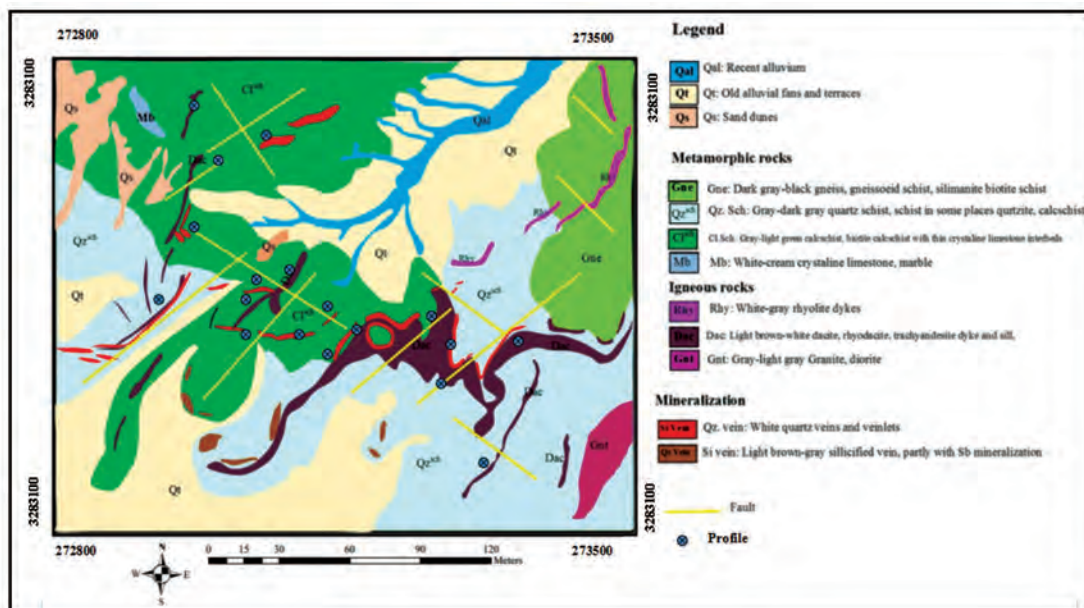
(Tirrul et al., 1983) و Camp and Griffis (1982)، پهنه فلیش شرق ایران را که محصور بین دو بلوک لوت و افغان می‌باشد را پهنه زمین‌درز سیستان نامیده‌اند. این پهنه به‌دنبال فرورانش و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد میان دو بلوک قاره‌ای لوت و افغان شکل یافته است. این پهنه در پایانه شرقی ایران میانی، در حد فاصل دو گسل نهبندان (در غرب) و هریرود (در شرق)، در گستره‌ای به وسعت ۸۰۰ کیلومتر درازا و ۲۰۰ کیلومتر پهنا قرار دارد (Tirrul et al., 1983; Camp and Griffis, 1982). ویژگی شاخص این پهنه، جوان‌تر بودن واحدهای زمین‌شناسی در مقایسه با دیگر پهنه‌های ساختاری ایران می‌باشد؛ به‌طوری‌که در این پهنه سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه رخمون ندارند (Camp and Griffis, 1982). (Fotoohi Rad et al., 2005) درخصوص شکل‌گیری و تکوین حوضه فلیش شرق ایران نظریات متفاوتی وجود دارد. (Camp and Griffis, 1982) پنج مرحله کافتی‌شدن بین‌قاره‌ای، بازشدگی و گسترش اقیانوسی، فعالیت ماگمایی نوع قوس حاشیه قاره‌ای، تصادم قاره‌ای

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی و پتانسیل سنجی کانسار لخشک ...

عمق کانه‌زایی، از روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه استفاده شده است. بر این اساس، تعداد ۱۸ نیمرخ برداشت شد که بیشتر آنها در جهت شمالی-جنوبی (عمود بر روند کانه‌زایی)، طراحی و اجرا شده‌اند. در شکل ۲، واحدهای سنگی و موقعیت نیمرخ‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی پهنه نشان داده شده است.



شکل ۱. تقسیم‌بندی پهنه زمین‌درز سیستان. موقعیت قرارگیری دو کمپلکس برافزایشی رتوک و نه که توسط نهشته‌های حوضه سفیدابه از هم جدا شده‌اند (Tirrul et al., 1983)



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت نیمرخ‌های برداشت شده در گستره مورد مطالعه، (معدن جویان آذر زمین، ۱۳۹۴)

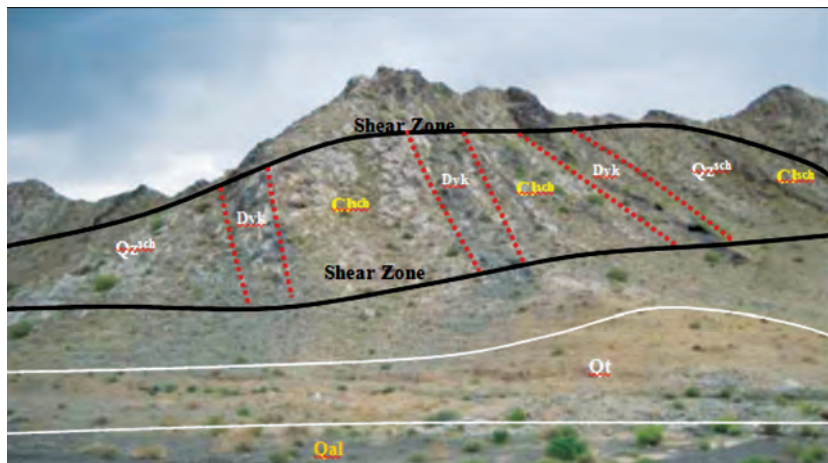
آثار رگه-رگچه‌های کوارتزی حاوی کانه‌زایی آنتیموان-طلا در این واحد و یا مرز تماس آن با توده‌های نفوذی گرانودیوریتی با سن الیگوسن قابل مشاهده است. کانی‌های اصلی این واحد شامل کوارتز، سریسیت، کلریت، آمفیبول، بیوتیت، کلسیت و کانی‌های تیره می‌باشند. آمفیبول در این سنگ‌ها نیز عمدتاً از نوع بلورهای کشیده اکتینولیت است (شکل ۴-ب). کانی‌های میکابی نیز شامل بیوتیت به همراه اندکی سریسیت می‌باشند. فلدسپات از نوع پلاژیوکلاز سدیک با ماکل پلی‌سنتتیک دیده می‌شود. کوارتز در این واحد از نظر حجمی، سازنده اصلی بوده و خاموشی موجی، تبلور مجدد دینامیکی و ساب‌گرین‌شدگی از جمله تغییرات دگرشکلی در آن است.

واحدهای سنگی

این واحدها توسط یک پهنه برشی با راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب بریده شده‌اند (شکل ۳). به طور خلاصه، زمین‌شناسی واحدهای سنگی در گستره کانسار لخشک به شرح زیر می‌باشند:

واحد کالک‌شیسیت (Cl^{sch})

اصلی‌ترین واحد سنگی با گسترش زیاد در گستره لخشک، واحد کالک‌شیسیت می‌باشد (شکل ۴-الف). این واحد میزبان اصلی کانسنگ‌های آنتیموان و طلا در کانسار لخشک است. فرآیندهای دگرگونی و دگرریختی در این واحد در حد رخساره شیسیت سبز پیشرفت کرده است.



شکل ۳. دورنمای کلی از واحدهای سنگی گستره لخشک (دید به سمت شمال شرق)، نمایی از پهنه برشی (گستره میان دو خط سیاه) و پهنه‌های دگرسان و کانه‌دار (پهنه برشی)*، کالک‌شیسیت (Cl^{sch})، کوارتز شیسیت (Qzsch)، دایک داسیتی و رپولیتی (Dyk)، رسوبات آبرفتی قدیمی (Qal)، رسوبات آبرفتی جدید (Qt)، نشانه‌های اختصاری واحدها از مقاله Whitney and Evans, 2010 اقتباس شده است

*Shear Zone

واحد کوارتز شیسیت (Qzsch)

نوارهای تیره متشکل از میکا و سریسیت که با فابریک‌های C/S همراه هستند، دیده می‌شود (شکل ۴-ت). فلدسپات نیز به صورت پورفیروکلاست در مقاطع میکروسکوپی این واحد قابل مشاهده است.

واحد گرانیتی (Gnt)

واحد گرانیتی در جنوب‌شرق گستره رخنمون دارد. این واحد منسوب به گرانیت‌های زاهدان بوده و متعلق به

واحد کوارتز شیسیت، بیشتر در جنوب و غرب گستره مورد مطالعه رخنمون دارد (شکل ۴-پ). در این واحد آثار تورق و شیسیتوزیت به خوبی مشاهده می‌شود. کوارتز و سریسیت تشکیل‌دهندگان اصلی این واحد هستند. در این واحد می‌توان گسترش برگوارگی میلونیتی ناشی از جهت‌یافتگی ترجیحی کانی‌های روشن به شدت دگرشکل شده (اولترامیلونیت) را مشاهده کرد. در مقاطع این واحد تناوبی از نوارهای روشن متشکل از کوارتز و فلدسپات و

می‌شوند شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت می‌باشند. فنوکریست‌های کوارتز و پلاژیوکلاز فراوان‌تر و نمایان‌تر هستند (شکل ۴-ح). بافت سنگ پورفیری و بلورهای بیوتیت در برخی از نمونه‌ها شکل‌دار می‌باشند. در برخی نمونه‌ها بیوتیت به کلریت تبدیل شده‌اند. دایک‌های ریولیتی (Rhy) بیشتر در جنوب شرق و مرکز گستره رخنمون دارند (شکل ۴-خ). ضخامت این دایک‌ها همواره کمتر از ۱/۵ متر می‌باشد. این دایک‌ها دارای رنگ سبز تیره بوده و در کالک‌شیت‌های پهنه تزریق شده‌اند. این دایک‌ها دارای بافت پورفیری است و از بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت تشکیل شده‌اند (شکل ۴-د). در مقاطع این دایک، بلورهای کوارتز با اندازه متوسط و بی‌شکل دیده می‌شوند.

بحث

دگرسانی

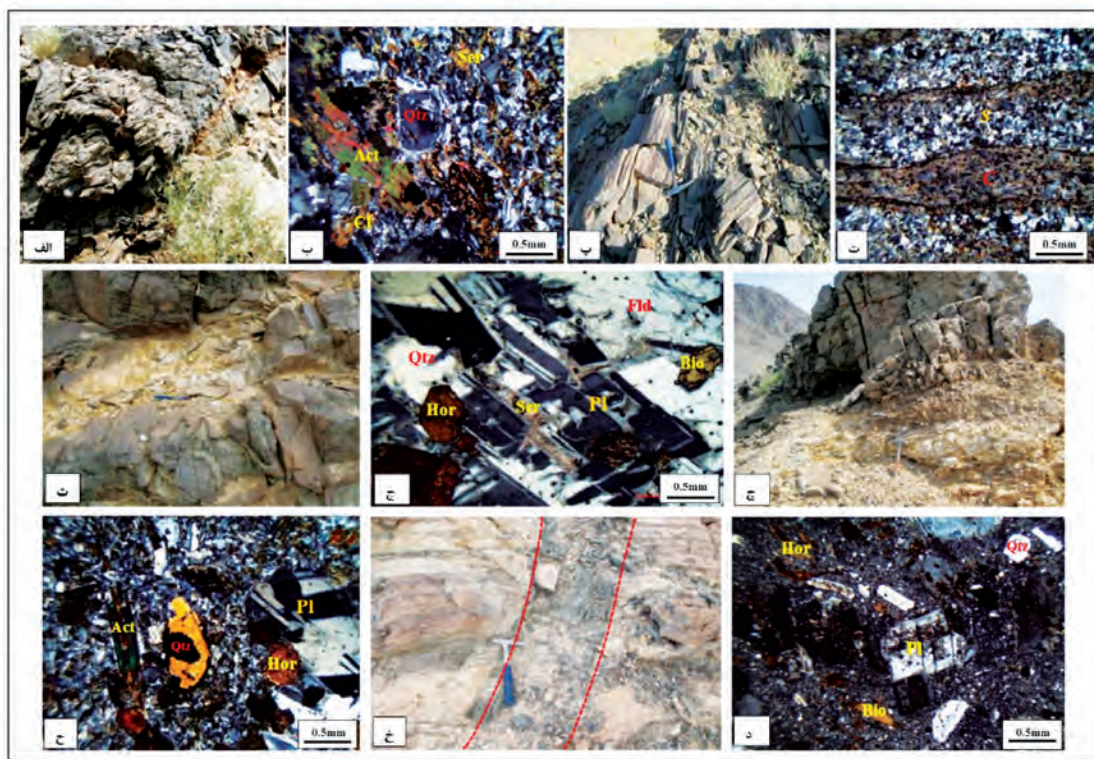
به‌طور کلی، موقعیت بسیاری از کانسارها با ساختار موجود در سنگ‌ها که شامل درزه‌ها، گسل‌ها، پهنه‌های برشی و یا چین‌ها می‌باشند، کنترل می‌شود (Groves and Bierlein, 2007; Groves et al., 2005. Goldfarb et al., 1979; Cox et al., 2005). در گستره لخشک، یک پهنه برشی رخ داده است و آثار و شواهد عملکرد گسل‌ها به فراوانی و در مقیاس‌های مختلف مشاهده می‌شوند. در پهنه مورد مطالعه، همخوانی خوبی بین کانه‌زایی، گستره‌ی دگرسان شده و بیشترین فراوانی گسل‌ها قابل مشاهده است. عملکرد این گسل‌ها بیشتر در شیت‌ها بوده و روند گسل‌های اصلی گستره که پهنه کانه‌زایی و دگرسان شده را در بر گرفته است، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است. در این گسل‌ها، رگه‌های کوارتزی و کمربندهای دگرسان شده دارای کانه‌زایی آنتیموان-طلا مشاهده می‌شوند. کانسار مورد مطالعه، از نظر زمین‌شناسی، کانه‌زایی، ماهیت سنگ میزبان، نوع دگرسانی‌ها، ساخت، بافت، پاراژنز، جایگاه تکتونیکی، ماهیت و نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری، بیشترین شباهت را با کانسارهای طلای تپ کوه‌زایی دارا است. از سوی دیگر، با توجه به موقعیت ژئودینامیکی پهنه‌زمین‌درز سیستان، قرار گرفتن در حاشیه فعال قاره‌ای،

اثوسن می‌باشد (شکل ۴-ث). در مقاطع میکروسکوپی این واحد، پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی است که بیشتر به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و ماکل مکانیکی و خمش ماکلی را نشان می‌دهد. کوارتز با بلورهای نیمه شکل‌دار و خاموشی موجی، به همراه بیوتیت و هورنبلند است. سریسیت فراوان‌ترین کانی ثانویه در این مقطع می‌باشد (شکل ۴-ج). در گستره مورد مطالعه، بخش‌هایی از واحد گرانیته به دلیل تحمل دگرشکلی بالا، میلیونیتی شده و در آن بلورهای کوارتز در اثر تحمل فشارهای دینامیکی، علاوه بر خاموشی موجی، ساب‌گرین‌شدگی نیز نشان می‌دهند. پورفیروکلاست‌های موجود در مقطع، بیشتر فلدسپات می‌باشند. برخی از ریز شکستگی‌های ایجاد شده در طی دگرشکلی شکنا توسط پیریت‌های درشت بلور تا متوسط و به‌طور کامل خود شکل پر شده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی رگه-رگچه‌های کوارتزی توسط رگه-رگچه‌های اکسید آهن قطع شدگی نشان می‌دهند.

دایک‌ها

دایک‌های گستره، دارای روند شمالی-جنوبی می‌باشند و درون واحدهای دگرگون شده گستره (کالک‌شیت و کوارتزشیت) تزریق شده‌اند. این دایک‌ها تحت تأثیر عوامل تکتونیکی بعدی قرار گرفته و خردشدگی نشان می‌دهند. دایک‌های گستره لخشک از نظر سنگ‌نگاری به دو گروه داسیتی و ریولیتی تقسیم می‌شوند. دایک‌های داسیتی (Dac) مهم‌ترین و فراوان‌ترین دایک‌های گستره می‌باشند که ضخامت آنها بین یک تا ۱۲ متر است. این دایک‌ها در شرق پهنه قابل مشاهده می‌باشند. دایک داسیتی رنگ رخنمون روشن‌تری در مقایسه با دایک ریولیتی دارد.

مشاهدات و مطالعات سطحی و هم‌چنین لاگ زمین‌شناسی گمانه‌های اکتشافی، بیانگر آن است که در مرز تماس دایک با ترکیب داسیت، آثاری از رگه-رگچه‌های کوارتزی دارای کانه‌زایی آنتیموان-طلا حضور دارند (شکل ۴-ج). رگه-رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار، بیشتر در کمر پائین دایک داسیتی تشکیل شده و دارای کانی‌زایی آنتیموان و طلا هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده دایک‌ها، که به‌صورت پورفیروکلاست در مقاطع میکروسکوپی مشاهده



شکل ۴. الف) نمای از رخنمون واحد کالک شیسست، در داخل پهنه برشی دگرسان و کانه‌دار، (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر میکروسکوپی از اکتینولیت، کوارتز، کلریت، بیوتیت، سریسیت و پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک (نور پلاریزه متقاطع)، پ) نمای از رخنمون واحد کوارتز شیسست در داخل پهنه برشی دگرسان و کانه‌دار، (دید به سمت شمال شرق)، ت) تصویر میکروسکوپی از واحد کوارتز شیسست، در این مقطع فابریک C/S به همراه تناوبی از نوارهای روشن کوارتز و فلدسپات و نوارهای تیره میکا-سریسیت دیده می‌شود، (نور پلاریزه متقاطع)، ث) نمای از توده گرانیته در جنوب شرق گستره (دید به سمت شرق)، ج) تصویر میکروسکوپی از توده گرانیته، در این مقطع ماکل مکانیکی و خمش ماکلی در پلاژیوکلازها و خاموشی موجی در کوارتزها قابل مشاهده است، (نور پلاریزه متقاطع)، چ) رخنمونی از دایک داسیتی و رگه-رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار که در کمر پایین دایک داسیتی تشکیل شده‌اند و دارای کانه‌زایی آنتی‌موان-طلا است، (دید به سمت شرق)، ح) تصویر میکروسکوپی از دایک داسیتی با بافت پورفیری، در این مقطع کوارتز با بافت خلیجی، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند قابل مشاهده است، (نور پلاریزه متقاطع)، خ) رخنمونی از دایک ریولیتی که در کالک شیسست‌های گستره تزریق شده است، د) تصویر میکروسکوپی از دایک ریولیتی که دارای بافت پورفیری بوده و از بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت تشکیل شده است، (نور پلاریزه متقاطع). (دید به سمت شمال شرق). اکتینولیت (Act)، کوارتز (Qtz)، کلریت (Cl)، بیوتیت (Bio)، پلاژیوکلاز (Pl)، هورنبلند (Hor) و سریسیت (Ser)، نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از مقاله Whitney and Evans, 2010 اقتباس شده است

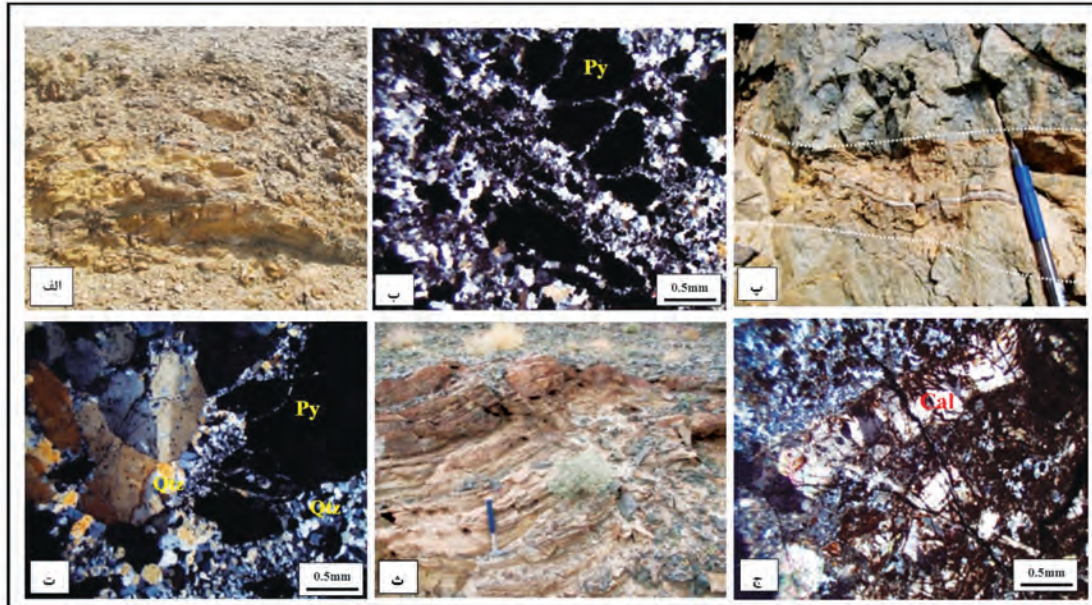
فرآیندهای ماگمایی و دگرگونی فراهم کند. در کانسارهای طلای کوهزایی، دگرسانی به شدت توسط عواملی از جمله: ۱- رژیم تکتونیکی تشکیل کانسار، ۲- نسبت‌های سیال به سنگ و مدت زمان واکنش آنها، ۳- ترکیب لیتولوژی‌های میزبان، ۴- ترکیب سیال هیدروترمالی شامل pH، Eh، فعالیت H_2O ، CO_2 ، H_2O ، S ، K ، Na ، H و شوری، ۵- حرارت، ۶- فشار حاکم بر رخداد دگرسانی هیدروترمالی و کانه‌زایی طلا و ۷- شرایط تعادل یا عدم تعادل، کنترل می‌شود. (Kerrich and Caldera, 1998) براساس بررسی‌های انجام شده درگستره مورد مطالعه، دگرسانی‌های موجود

وجود رسوبات منشوری برافزایشی و میزبانی کانه‌زایی طلا در شیسست‌ها، محیطی مناسب و مستعد برای تشکیل ذخایر طلای کوهزایی می‌باشد (حیدریان دهکردی و همکاران، ۱۳۹۸). کانسنگ طلا‌دار در کانسار لخشک مشابه با بیشتر کانسارهای طلای کوهزایی در یک پهنه برشی به شدت دگرشکل (میلونیت-اولترامیلونیتی) و دگرسان شده تشکیل شده است (Niroomand et al., 2011). دگرسانی‌های گرمایی همراه با کانی‌سازی شامل کوارتز، سریسیت و سولفیدی است. دگرسانی هیدروترمال، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با فرآیندهای دگرشکلی ناحیه‌ای،

در گستره لخشک می‌باشد (شکل ۵-پ) که به‌صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی و سیلیسی شدن سنگ میزبان قابل مشاهده است (شکل ۵-ت). به‌طور کلی، دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی بیشترین گسترش را در بخش‌های داخلی پهنه برشی داشته و منطبق بر پهنه‌های کانهدار می‌باشند. این مسأله قابل توجه است از این نظر که بر اساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی در گستره، مناطق دارای آنومالی، با دگرسانی‌های سیلیسی و سولفیدی بخش‌های داخلی پهنه‌های برشی هم‌خوانی دارند. کلریت، از جمله کانی‌هائی است که در واحدهای سنگی پهنه برشی گستره گسترش داشته و جزء کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ‌های دگرسان شده محسوب می‌شود. کلریت هم می‌تواند در طی دگرسانی کلریتی شدن (کلریت ثانویه) حاصل شود و هم در سنگ دیواره وجود داشته و جزء کانی‌هایی باشد که در شرایط دگرگونی ناحیه‌ای حاکم بر پهنه ایجاد شده است. بنابراین کلریت‌های موجود در سنگ‌های پهنه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول کلریت‌های حاصل از دگرگونی ناحیه‌ای در رخساره شیبست سبز می‌باشند و بیشتر در راستای برگوارگی جهت‌یافتگی نشان داده و شکل‌های رشته‌ای و ماهی شکل نشان می‌دهند. این نوع کلریت، محصول دگرسانی نمی‌باشد. گروه دوم کلریت‌های حاصل از دگرسانی هیدروترمال می‌باشند و در پهنه برشی قابل مشاهده‌اند. این کلریت‌ها، محصول تأثیر سیالات هیدروترمال بر سنگ در برگیرنده و تجزیه کانی‌های آن می‌باشند. این کلریت‌ها در بخش بیرونی و میانی کمر بند دگرسانی پهنه‌های برشی منطقه، گسترش بیشتری دارند. کلریت‌های این بخش، درون درزه-شکستگی‌ها، فضا‌های خالی بین دانه‌ای و رگه‌ها را پر کرده‌اند. کربناتی شدن یکی از دگرسانی‌های شاخص در کانسارهای تیپ کوهزایی می‌باشد (شکل ۵-ث) که محصول نهایی آن کلسیت، دولومیت و آنکریت است (شکل ۵-ج). در برخی نمونه‌های گستره، کربنات به‌صورت بلورهای دانه‌درشت به‌موازات برگوارگی و در برخی موارد در هم‌رشدی کوارتز و کربنات مشاهده می‌شود. برخی نیز به‌صورت رگه-رگچه‌های کربناتی می‌باشند که بلورهای اولیه را قطع نموده‌اند. براساس

در پهنه‌های دگرشکل شده و در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگونه و به‌طور کامل دگرشکل شده، رخ داده است. واحدهای دگرگون شده در پهنه برشی لخشک از شدت و نوع دگرسانی متفاوتی برخوردار می‌باشند. مهم‌ترین دگرسانی‌های گستره شامل دگرسانی سیلیسی، سولفیدی، آرژیلی، سرپیسیت-کوارتز، کربناتی و کلریتی می‌باشند. بر اساس مطالعات انجام شده، موقعیت و شدت دگرسانی‌ها و همچنین کانه‌زایی، توسط دگرشکلی در گستره کنترل شده است (حیدریان دهکردی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین با توجه به گسترش و ماهیت دگرسانی‌های سنگ دیواره در گستره و کنترل آن توسط عواملی مانند پهنه‌های برشی و نوع لیتولوژی، بررسی فرایند دگرسانی، انواع آن و ارتباط آن با دگرشکلی‌های موجود در پهنه به‌منظور فهم ارتباط آنها با کانه‌زایی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دگرسانی سرپیسیت-کوارتز در همراهی با رگه‌های سیلیسی طلا‌دار مشاهده می‌شود. در این دگرسانی سرپیسیت‌ها به‌صورت نوارهای طویل و تیغ‌ها، پورفیروکلاست‌های کوارتز و فلدسپات را دور زده و در راستای برگوارگی میلونیتی جهت یافته‌اند. در این نوع دگرسانی، مقدار طلا نسبت به رگه‌های سیلیسی به‌شدت کاهش یافته است. این کاهش عیار نشان می‌دهند که سیال گرمایی کانه‌دار بیشتر طلا را در رگه-رگچه‌های کوارتزی و کمتر در سنگ میزبان دگرسان شده نهشته ساخته است. دگرسانی سولفیدی، یکی از مهم‌ترین دگرسانی‌های گستره است (شکل ۵-الف) و به‌صورت کانی‌های سولفیدی (بیشتر پیریت) در کانسنگ‌های سیلیسی طلا دار مشاهده شده است (شکل ۵-ب). بیشتر سولفیدها در رخنمون‌های سطحی به‌طور بخشی تا کامل اکسایش یافته و به ترکیبات هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. مهم‌ترین محصولات این دگرسانی شامل پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و پیروتیت می‌باشند. پیریت، بیشترین کانی سولفیدی بوده که سایر سولفیدها آن را در پهنه‌های دگرسانی همراهی می‌کنند (شکل ۵-ب) و به دلیل میدان پایداری بالای پیریت در مقایسه با سایر سولفیدها است (Zhu et al., 2011). دگرسانی سیلیسی، اصلی‌ترین دگرسانی میزبان طلا در کانسنگ‌های طلا دار

تلفیق مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی، حجم و عیار کانی‌سازی طلا در کانسار طلای لخشک به واسطه شدت و نوع دگرشکلی و دگرسانی‌های گرمایی کنترل می‌شود. به نحوی که کانسنگ‌های پرعیار طلا در رگه‌های کوارتزی و کمربندهای به شدت دگرشکل و دگرسان شده در پهنه برشی رخ داده است.



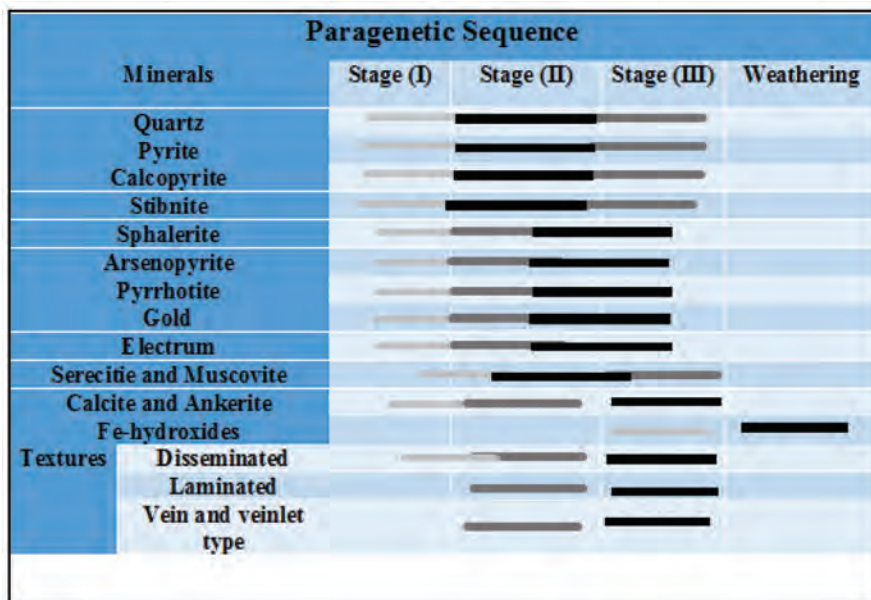
شکل ۵. الف) دورنمایی از دگرسانی سولفیدی (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های سولفیدی (بیشتر پیریت) در کانسنگ سیلیسی طلا دار (نور پلاریزه متقاطع)، پ) دورنمایی از دگرسانی سیلیسی و رگه کوارتزی کانه‌دار (دید به سمت شمال شرق)، ت) تصویر میکروسکوپی از سیلیسی شدن سنگ میزبان (نور پلاریزه متقاطع)، ث) دورنمایی از دگرسانی کربناتی در گستره (دید به سمت شمال شرق)، ج) تصویر میکروسکوپی از کربناتی شدن (نور پلاریزه متقاطع)، (کوارتز (Qtz)، پیریت (Py) و کلسیت (Cal)، نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از مقاله Whitney and Evans, 2010 اقتباس شده است)

ساخت، بافت و پارائنز کانه‌ها

شده‌اند. رگه‌های کوارتزی هم‌زمان تا کمی بعد از تشکیل، در درجه‌های مختلف متحمل دگرشکلی شده‌اند. آثار این مرحله از دگرشکلی به صورت چین‌خوردگی و گسلش نمایان است.

بر اساس مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری نمونه‌های کانسنگی (طلادار)، کانی‌های فلزی موجود در کانسار لخشک ساده بوده و شامل کانی‌های استینیت، پیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن و طلا می‌باشد. توالی پارائنتیکی بر اساس مطالعات کانه‌نگاری و پتروگرافی و نیز روابط بافتی میان کانه‌ها و کانی‌های موجود در کانسار لخشک در شکل ۶ ارائه شده است.

بر اساس تلفیق مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی، حجم و عیار کانه‌زایی طلا در کانسار طلای لخشک به واسطه شدت و نوع دگرشکلی و دگرسانی‌های گرمایی کنترل می‌شود. به نحوی که کانسنگ‌های پرعیار طلا در رگه‌های سیلیسی و کمربندهای به شدت دگرشکل و دگرسان شده در پهنه برشی رخ داده است و همواره با رگه-رگچه‌های کوارتزی و مقادیر قابل توجهی از کانی‌های کوارتز، سربسیت و کانه‌های سولفیدی همراه می‌باشند. بافت و ساخت اصلی در کانسنگ‌های طلا دار در گستره کانسار لخشک رگه-رگچه‌ای است. در مقیاس رخنمون، کانه‌زایی طلا در ارتباط با رگه و رگچه‌های کوارتزی است که بیشتر به صورت هم‌راستا با برگوارگی میلونیتی و گاه قطع‌کننده آنها تشکیل



شکل ۶. توالی پاراژنتیکی کانی‌ها و بافت‌های آنها در کانسار لخشک

کانی‌ها

در اندازه‌های کوچک‌تر از یک میلی‌متر (بیشتر کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون)، بی‌شکل تا خود شکل است و به صورت بخشی تا کامل توسط ترکیبات هیدروکسیدهای آهن جانشین شده است. با توجه به روابط بافتی، پیریت‌ها با کانی‌های کوارتز-سریسیت و سایر کانه‌های سولفیدی و طلا هم‌رشد بوده‌اند. پیریت‌ها در برخی مقاطع بافت خوشه‌انگوری و تجمعی را نشان داده‌اند (شکل ۷-الف). در برخی مقاطع نیز پیریت‌ها از حاشیه و مرکز در حال تبدیل به هیدروکسیدهای آهن (گوتیت) می‌باشند و در برخی مقاطع فقط آثار هیدروکسیدهای آهن قابل مشاهده است. استیبینیت، فراوان‌ترین کانه سولفیدی در کانسار لخشک است و در نمونه‌های دستی با رنگ خاکستری و جلای فلزی قابل مشاهده است. در گستره مورد مطالعه، استیبینیت بیشتر در رگه‌های کانی‌زایی به همراه کوارتز قابل مشاهده است و در مقاطع به صورت بلورهای بی‌شکل توده‌ای، سوزنی و کشیده نمایان است (شکل ۷-ب). به‌طور کلی، طلا به صورت الکتروم می‌تواند در مقادیر پایین، در شبکه بلوری کانی‌های سولفیدی بویژه پیریت، آرسنوپیریت و کالکوپیریت، تمرکز یابد (Goldfarb et al., 2005).

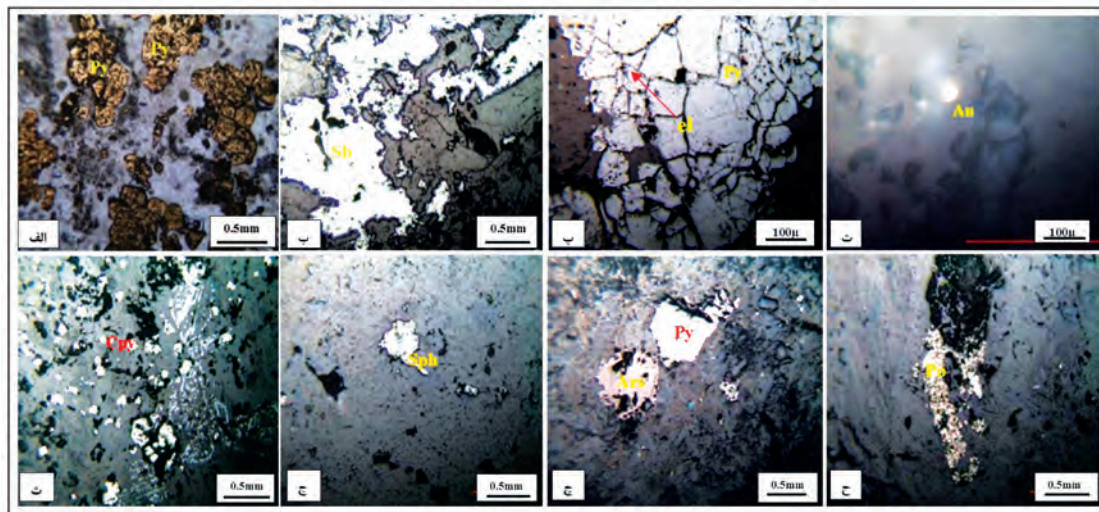
در گستره مورد مطالعه، کوارتز مهم‌ترین کانی دگرسانی همراه با کانی‌سازی می‌باشد، که بیشتر به صورت رگه-رگه‌های کوارتزی رخداد دارد. کوارتز در مقاطع به فرم‌های شکل دار، نیمه‌شکل و بی‌شکل قابل مشاهده است. برخی از کوارتزها در راستای برگوارگی جهت‌یافتگی نشان می‌دهند، برخی دارای خاموشی موجی بوده و برخی نیز ساب‌گرین‌شدگی و تبلور دوباره را نشان می‌دهند. از دیگر کانی‌های دگرسانی در همراهی با کانی‌سازی می‌توان به مسکویت، سریسیت، اپیدوت، کانی‌های رسی (آلونیت، کائولینیت، ابلیت و مونت موریلونیت) و کربنات (کلسیت، دولومیت و آنکرتیت) اشاره کرد.

کانه‌های سولفیدی

کانه‌های سولفیدی در کانسنگ‌های لخشک شامل؛ پیریت، استیبینیت، کالکوپیریت، پیروتیت و آرسنوپیریت است. این کانه‌ها در برخی مقاطع به فرم دانه‌پراکنده و در برخی موارد نیز به صورت جهت‌یافته در سنگ میزبان دگرشکل قابل مشاهده‌اند. پیریت یکی از فراوان‌ترین کانه‌های سولفیدی در کانسار لخشک است که کمتر از یک درصد حجم کانسنگ را تشکیل داده است. این کانی

در همراهی با پیریت قابل مشاهده است (شکل ۷-ث). اسفالریت نیز به فرم نیمه-شکل‌دار در برخی از مقاطع با اندازه کمتر از ۱۰۰ میکرون مشاهده شد (شکل ۷-ج). آرسنوپیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه-شکل‌دار و با اندازه‌های کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون نمایان است (شکل ۷-چ). پیروتیت نیز به صورت بلورهای نیمه-شکل تا بی‌شکل و در اندازه‌های کوچک‌تر از ۲۰۰ میکرون مشاهده شده است (شکل ۷-ح).

همچنین میزان تمرکز طلا در نهشته‌های طلا بیشتر ارتباط مستقیمی با مقادیر پیریت در آن کانسار دارد. در مقاطع کانسار مورد مطالعه، طلا به صورت الکتروم در داخل شبکه بلوری پیریت‌ها (شکل ۷-پ) و با ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میکرون و به صورت آزاد، در رگه کوارتزی متقاطع با برگوارگی مشاهده گردید (شکل ۷-ت). بیشینه مقدار طلا در کانسنگ‌های طلا دار کانسار لخشک نیز ۳۸۳۳ PPb اندازه‌گیری شد. کالکوپیریت به صورت نیمه‌شکل تا بی‌شکل و با فراوانی کم



شکل ۷. الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت در کانسنگ‌های طلا دار لخشک با فرم خوشه‌انگوری و تجمعی، ب) تصویر میکروسکوپی از استیبینیت به صورت پراکنده، پ) تصویر میکروسکوپی از ذره الکتروم با ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میکرون در حاشیه پیریت، ت) تصویر میکروسکوپی طلای آزاد با ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میکرون در رگه کوارتزی متقاطع با برگوارگی، ث) تصویر میکروسکوپی از کالکوپیریت، ج) تصویر میکروسکوپی از اسفالریت، چ) تصویر میکروسکوپی از آرسنوپیریت، ح) تصویر میکروسکوپی از پیروتیت در نمونه‌های مطالعه شده در کانسار لخشک (نور انعکاسی)، پیریت (Py)، استیبینیت (Sb)، الکتروم (el)، طلا (Au)، کوارتز (Qtz)، کالکوپیریت (Cpy)، اسفالریت (Sph)، آرسنوپیریت (Ars) و پیروتیت (Po)، نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از مقاله Whitney and Evans, 2010 اقتباس شده است

برداشت‌های ژئوفیزیکی (IP-RS)

برداشت به صورت بهینه‌ای انتخاب شد. به طور معمول، مناسب‌ترین امتداد یک نیمرخ برداشت نیمرخ است که با امتداد هدف مورد نظر زاویه ۹۰ درجه بسازد. در گستره مورد مطالعه نیمرخ‌ها به صورت عمود بر رگه‌ها و روندهای کانی‌شناسی و زمین‌شناسی طراحی و اجرا شده‌اند. در ادامه، داده‌های برداشت شده به کامپیوتر انتقال داده شده و پس از پردازش آماری، تصحیح خطاها و حذف داده‌های پرت، نقشه‌ها رسم شدند. برای رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار Res2dinv استفاده شده است. برای هر نیمرخ یک نقشه

در این پژوهش، هر یک از نیمرخ‌ها به گونه‌ای طراحی شدند که در راستای آنها دو نیمرخ مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش‌پذیری القایی برداشت شود. در تمامی عملیات ژئوفیزیک اکتشافی که به منظور تعیین توده کانه‌زایی و گسترش آن و تعیین نقاط امیدبخش صورت می‌پذیرد، از برداشت‌های شبکه‌ای استفاده می‌شود. در این گونه برداشت‌ها، تعیین محل دقیق خطوط برداشت و ایستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار مهم است. بر این اساس، به منظور دستیابی به جزئیات مورد نظر، تعداد و فاصله نقاط

روند این نیمرخ شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است. روند نیمرخ ۱۶ شمال‌غربی-جنوب‌شرقی می‌باشد. نیمرخ ۱۷ در ۵۰ متری شرق نیمرخ ۱۶ قرار گرفته است. پ نیمرخ شماره ۱۸، آخرین نیمرخ برداشت شده در گستره است که در ۸۰ متری شرق نیمرخ ۱۷ قرار دارد. روند این نیمرخ شمال شرقی-جنوب‌غربی است.

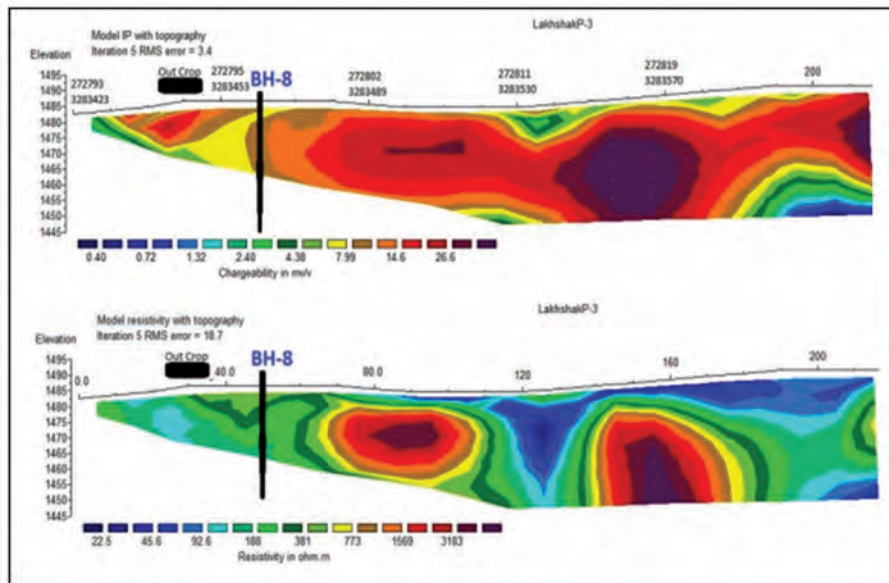
تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

در این پژوهش برای رسم نقشه مقاومت ویژه نیمرخ، از نرم‌افزار Res2dinv استفاده شده است. بخش‌هایی که کمترین میزان بارپذیری را دارند با رنگ آبی کم‌رنگ تا آبی پررنگ علامت‌گذاری شده‌اند. مقادیر بالای بارپذیری با رنگ زرد و نارنجی نشان داده شده است. بیشترین مقدار بارپذیری نیز با رنگ بنفش مشخص شده است. در پهنه لخشک هم‌خوانی خوبی بین کانه‌زایی، گستره‌ی دگرسان شده و بیشترین فراوانی گسل‌ها مشاهده می‌شود. عملکرد این گسل‌ها بیشتر در شیست‌ها بوده و روند گسل‌های اصلی گستره که پهنه کانه‌زایی و دگرسان شده را در بر گرفته است، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است. با توجه به مشاهده‌های صحرائی و مطالعات آزمایشگاهی، در این گسل‌ها، رگه‌های کوارتزی و کمربندهای دگرسان شده دارای کانه‌زایی آنتیموان-طلا مشاهده می‌شوند. از سوی دیگر، با توجه به شواهد موجود، بخش‌های پرعیار کانسنگ، که به‌صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی برونزد دارند، مربوط به بخش‌های به‌شدت دگرشکل و دگرسان شده از پهنه برشی می‌باشند که دارای فابریک‌های میلونیتی-اولترامیلونیتی بوده است. بخش‌های پرعیار کانسنگ و میزبان اصلی کانه‌زایی طلا، لخشک در در داخل پهنه‌های برشی و کمربندهای گسلی، که در واحدهای شیستی (عمدتاً کالک‌شیست) میزبان شده‌اند، به‌صورت رخداد رگه و رگچه‌های کوارتز-استیبینیت-طلا تشکیل شده است. به‌عبارت دیگر، بخش‌های پرعیار کانسنگ مربوط به بخش‌های شدیداً دگرشکل و دگرسان شده از پهنه برشی با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌باشند و با مجموعه‌ای از دگرسانی‌های کوارتز، سرپسیت-مسکویت و سولفید همراه هستند. بر این اساس، شواهد و نتایج بیان

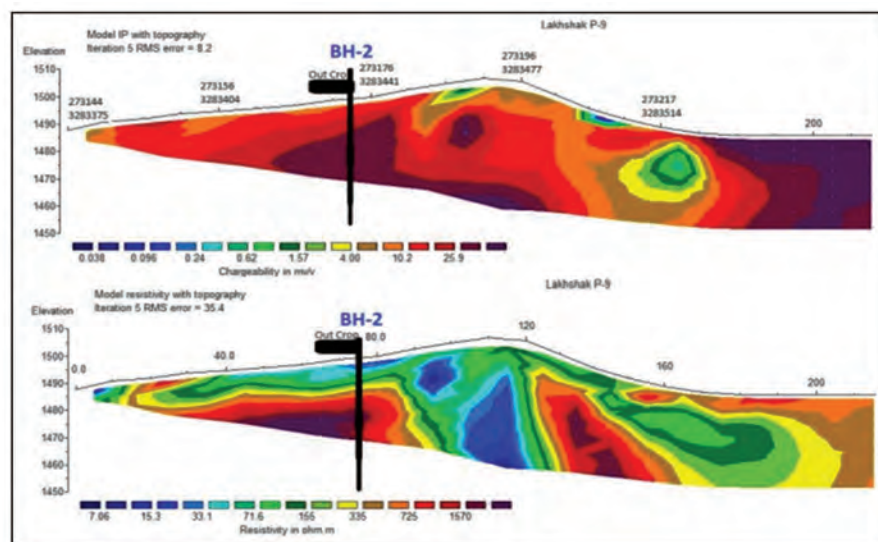
شارژپذیری و یک نقشه مقاومت ویژه رسم شد. پس از تهیه نقشه‌ها، از عملگرهای فازی برای تطبیق آنها استفاده شد. در نهایت نقشه تلفیق نهایی اکتشافی به‌منظور انتخاب نقاط حفاری تهیه شد. با توجه به وجود ضرایب وزنی مختلف برای تلفیق نقشه‌ها، چندین مدل نقشه نهایی اکتشافی به‌دست‌آمده است، تا نتیجه مطمئن‌تر و قابل‌اعتمادتری از ترکیب تفسیر داده‌های مختلف ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی به دست آید. نیمرخ ۱، شمالی‌ترین نیمرخ گستره می‌باشد. فاصله نقاط برداشت در این نیمرخ ۱۰ متر و عمق نفوذ حدود ۵۲ متر می‌باشد. طول نیمرخ نیز در حدود ۱۹۰ متر است. نیمرخ ۲، در فاصله حدود ۳۰۰ متری غرب نیمرخ ۱ قرار گرفته است. روند این نیمرخ شمال‌غربی-جنوب‌شرقی می‌باشد. نیمرخ ۳، در ۱۰۰ متری جنوب نیمرخ ۲ قرار دارد. روند این نیمرخ کم‌وبیش شمالی-جنوبی بوده است. نیمرخ ۴، در ۸۰ متری شرق نیمرخ ۳ قرار دارد. فاصله نقاط برداشت در این نیمرخ ۱۰ متر، طول کلی نیمرخ ۱۹۰ متر و عمق نفوذ حدود ۵۲ متر می‌باشد. روند این نیمرخ نیز شمالی-جنوبی است. نیمرخ ۵، در ۴۰ متری شرق نیمرخ ۴ قرار گرفته است. روند این نیمرخ شرقی-غربی می‌باشد. نیمرخ ۶، کم‌وبیش هم‌امتداد با نیمرخ‌های ۳ و ۴ می‌باشد. روند این نیمرخ شمالی-جنوبی است. نیمرخ ۷، کم‌وبیش در ۱۰۰ متری شرق نیمرخ ۶ قرار دارد. روند این نیمرخ شمال‌شرقی-جنوب‌غربی است. نیمرخ ۸ در ۱۰۰ متری شرق نیمرخ ۷ و ۱۰۰ متری غرب نیمرخ ۹ قرار دارد. روند این نیمرخ شمالی-جنوبی است. نیمرخ ۹ در ۱۰۰ متری شرق نیمرخ ۸ قرار دارد. روند این نیمرخ شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد. نیمرخ ۱۰ در فاصله ۱۰۰ متری شرق نیمرخ ۹ قرار گرفته است. روند این نیمرخ شمال شرقی-جنوب‌غربی است. نیمرخ ۱۱ در قسمت مرکزی گستره مورد مطالعه قرار دارد. روند این نیمرخ شمالی-جنوبی است. نیمرخ ۱۲ در فاصله ۸۰ متری شرق نیمرخ ۱۱ قرار گرفته است. روند این نیمرخ شمال‌غربی-جنوب شرقی بوده است. روند نیمرخ ۱۳ شرقی-غربی می‌باشد. نیمرخ ۱۴ در ۸۰ متری جنوب نیمرخ ۱۳ قرار دارد. روند این نیمرخ شمالی-جنوبی می‌باشد. نیمرخ ۱۵ کم‌وبیش عمود بر دو نیمرخ ۱۳ و ۱۴ می‌باشد.

و پلاریزاسیون القایی و مشاهدات زمین‌شناسی، نیمرخ‌های ۳، ۴، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۱۷، نسبت به سایر نیمرخ‌های برداشت شده، مناطق امیدبخش‌تری می‌باشند. در شکل‌های ۸ و ۹، نقشه مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی نیمرخ‌های ۳ و ۹ ارائه شده است. در نقشه بارپذیری نیمرخ‌ها، محور سمت چپ نشان‌دهنده عمق نفوذ در داخل زمین بر حسب متر و محور افقی نشان‌دهنده فاصله از اولین نقطه برداشت بر حسب متر می‌باشد.

شده با نتایج مطالعات ژئوفیزیکی هم‌خوانی مناسبی نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به حدود تغییرات مقاومت ویژه و شارژپذیری در مقاطع، می‌توان گفت که شدت شارژپذیری در نیمرخ‌های برداشتی از میزبان‌های شیستی و گستره‌های با درجه بالای دگرسانی سولفیدی-سیلیسی و پهنه‌های برشی و گسلی، شدت بالاتری داشته و ژئوفیزیک به روش قطبش القایی و مقاومت ویژه توانسته در مورد کانه‌زایی در این گستره مناسب باشد. بر اساس همبستگی داده‌های مقاومت ظاهری



شکل ۸. نقشه مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی نیمرخ شماره ۳



شکل ۹. نقشه مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی نیمرخ شماره ۹

نتیجه‌گیری

براساس مطالعات ژئوفیزیکی در گستره لخشک، کانه‌زایی به‌صورت رخداد رگه-رگچه‌های کوارتز-استیبنیت-طلا در داخل پهنه‌های برشی و کمربندهای گسلی، که در واحدهای شیستی (بیشتر کالک‌شیست) میزبان شده‌اند، نمایان است. بخش‌های پرعیار کانسنگ مربوط به بخش‌های به‌شدت دگرشکل و دگرسان شده از پهنه برشی می‌باشند که با مجموعه‌ای از دگرسانی سیلیسی-سولفیدی همراه هستند. ناهنجاری‌های به‌دست آمده از برداشت‌های ژئوفیزیکی در گستره، انطباق خوبی با مطالعات زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه‌زایی دارند. بر این اساس می‌توان گفت که ژئوفیزیک به روش قطبش القایی و مقاومت ویژه برای شناسایی کانی‌سازی و تعیین نواحی امیدبخش در گستره لخشک مناسب بوده است. براساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی، شدت شارژپذیری در تعدادی از نیمرخ‌ها شدت بالاتری داشته است و ژئوفیزیک به روش قطبش القایی و مقاومت ویژه توانسته در مورد کانه‌زایی در این گستره مناسب باشد. بر این اساس، نیمرخ‌های ۳، ۴، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۱۷ نسبت به سایر نیمرخ‌های برداشت شده، مناطق امید بخش‌تری می‌باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران بخاطر پشتیبانی و حمایت‌های مالی برای انجام مطالعات ژئوفیزیکی تشکر نمایند.

منابع

- بومری، م.، ۱۳۹۳. پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های نفوذی در منطقه آنتیموان دار شورچاه، جنوب شرق زاهدان. مجله پترولوژی، ۵، ۱۸، ۳۲-۱۵.
- حیدریان دهکردی، ن.، نیرومند، ش. و تاج‌الدین، ح.، ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی کانسار آنتیموان-طلای لخشک با استفاده از روش کریجینگ. سی و هشتمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رسا، ا. و حیدریان دهکردی، ن.، ۱۳۹۰.
- Camp, V.E. and Griffis, R.J., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 15, 221-239.
- Cox, L., MacKenzie, D.J., Craw, D., Norris, R.J. and Frew, R., 2006. Structure and geochemistry of the Rise and Shine shear zone mesothermal gold system, Otago Schist, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and*
- خصوصیات و خاستگاه کانه‌زایی طلا در واحد آتشفشانی ائوسن کانی‌سازی چشمه خونی، انارک. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵، ۱۷، ۷۳-۸۵.
- رضائی کهخائی، م.، علی موسی، ز. و قاسمی، ح.، ۱۳۹۶. تعیین شرایط فیزیکی تبلور در توده گرانودیوریتی لخشک و دایک‌های درون آن. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۵، ۲، ۳۱۱-۳۲۸.
- سراوانی، م. و کنعانیان، ع.، ۱۳۹۰. بررسی شیمی توده نفوذی کوه زرگلی (شمال غرب زاهدان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۸۵.
- سرحدی، ن.، علی یاری، ف. و راستاد، ا.، ۱۳۹۶. سنگ‌شناسی و ژئوشیمی دایک‌های مزوکرات و ملانوکرات در پیکره گرانودیوریتی لخشک، شمال غرب زاهدان. نشریه علوم زمین، ۲۶، ۱۴۹-۱۶۲.
- صادقیان، م. و ولی‌زاده، م.، ۱۳۸۶. ساز و کار جایگیری توده گرانیتوئیدی زاهدان در پرتو روش AMS. مجله علوم‌زمین، ۶۶، ۱۳۴-۱۵۹.
- کنعانیان، ع.، رضایی کهخایی، م. و اسماعیلی، د.، ۱۳۸۶. سنگ‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی توده گرانودیوریتی لخشک، شمال غرب زاهدان، ایران. نشریه علوم زمین، ۶۵، ۱۲۶-۱۴۳.
- مظلوم، غ.، فردوست، ف. و کهرازهی، م.، ۱۳۹۶. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و وزن کانسار آنتیموان لخشک، شمال غرب زاهدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۸۴.
- معدن جویان آذر زمین.، ۱۳۹۴. گزارش انجام عملیات ژئوفیزیکی کانسار آنتیموان لخشک. ۷۰.
- نیرومند، ش.، تاج‌الدین، ح. و حقیری قزوینی، س.، ۱۳۹۹. زمین‌شناسی و کانه‌زایی طلا در محدوده غرب کسنزان.

Geophysics, 49, 429-442.

- Figueiredo, A.M., Puc-rio, T., Silva, F.B., Silva, P.M., Milidiú, R.L. and Gattass, M., 2014. A seismic facies analysis approach to map 3D seismic horizons. *Ore Geology*, 10, 1501-1505.

- Fotoohi Rad, GR., Droop, GTR., Amini, S. and Moazzen, M., 2005. Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: a comparison of P-T histories from a subduction mélange. *Lithos*, 84, 1-24.

- Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, DI., Hart, C.J.R. and Gosselin, P., 2005. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology*, 100, 407-450.

- Groves, DI., Condie, KC. and Goldfarb, R.J., 2005. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. *Economic Geology*, 100, 203-224.

- Groves, DI. and Bierlein FP., 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems.

Geological Society, London, 164, 19-30.

- Hashemi, H., 2010. Logical considerations in applying pattern recognition techniques on seismic data: Precise ruling, realistic solutions. *CSEG Recorder*, 8, 47-50.

- Kerrich, DM. and Caldera, K., 1998. Metamorphic CO₂ degassing from orogenic belts. *Chemical Geology*, 145, 213-232.

- Niroomand, S., Moore, F. and Goldfarb, R., 2011. The Kharapeh orogenic gold deposit: geological, structural, and geochemical controls on epizonal ore formation in West Azarbaijan province, northwestern Iran. *Mineral Deposita*, 46, 409-428, <https://doi.10.1007/s00126-011-0335-x>.

- Tirrul, R., Bell I.R., Griffis R.J. and Camp V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 134-150.

- Zhu, Y., Fang, A. and Juanjuan, T., 2011. Geochemistry of hydrothermal gold deposits. *Geoscience Frontiers*, 2, 367-374.