



## مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی به منظور اکتشاف سرب و روی در منطقه چومالو، شمال غرب زنجان

آرش ربیعی صادق آبادی<sup>۱</sup>، علیرضا عرب‌امیری<sup>۲\*</sup>، ابوالقاسم کامکار روحانی<sup>۲</sup> و سوسن ابراهیمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار؛ دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار؛ دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۶؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

\* نویسنده مسئول مکاتبات: [alirezaarabamiri@yahoo.com](mailto:alirezaarabamiri@yahoo.com)

### واژگان کلیدی

### چکیده

منطقه چومالو در شمال غرب زنجان، در پهنه فلززایی طارم- هشتجین واقع است. سنگ میزبان‌های کانی‌سازی سنگ‌های آتشفشانی انوسن و توده نفوذی مونزونیتی الیگوسن می‌باشند؛ که متحمل دگرسانی‌های گرمایی پروپیلیتیک- کربناته، سیلیسی و سیلیسی- آرژلیک شده‌اند. فعالیت‌های گرمایی حاصل از تزریق توده نفوذی سبب ایجاد دو نوع کانی‌سازی در منطقه شده است؛ کانی‌سازی اول به صورت یک زون سیلیسی- برشی با روند N70E، و نوع دوم به صورت دسته رگه با روند تقریبی شمال غرب- جنوب شرق، در شمال کانی‌سازی اول می‌باشد. کانی‌سازی به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، توده‌ای، پراکنده و جانشینی بوده و از روند گسل‌ها تبعیت می‌کند. ماده معدنی شامل سرب، روی و فلوتور به همراه مس، طلا و نقره می‌باشد؛ که به صورت کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، سروزیت، کلسیت و فلوریت تشکیل شده است. بر اساس نتایج مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در این تحقیق، خصوصیات کانی‌سازی منطقه چومالو از نوع کانسارهای سرب و روی هیدروترمال می‌باشد. برداشت داده‌های قطبش‌القای (IP) و مقاومت‌ویژه ابتدا در قالب آرایش مستطیلی به منظور تعیین محدوده‌های بی‌هنجار و سپس با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی به منظور اکتشاف محدوده‌های جانبی و عمقی این بی-هنجاری‌ها، طراحی و انجام شد. سپس مدل‌سازی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به روش وارون‌سازی هموار دوبعدی انجام شد. همچنین برای نمایش بهتر نتایج، تمام مقاطع دوبعدی با یکدیگر ترکیب شدند و یک مدل سه‌بعدی ارائه شد. در نتیجه، یک بی‌هنجاری با راستای تقریبی شرقی- غربی در جنوب محدوده منطبق بر زون سیلیسی- برشی و چند بی‌هنجاری با راستای تقریبی شمالی- جنوبی در شمال محدوده در ارتباط با شکستگی‌های نهشته‌های بازالتی گسترش یافته‌اند؛ که می‌توان آنها را مرتبط با کانی‌سازی فلزی در منطقه دانست. نواحی بی‌هنجار با مقادیر بارپذیری بالا و مقاومت‌ویژه متوسط رو به پایین مشخص شده‌اند. مقادیر بسیار بالای بارپذیری برای برخی از بی‌هنجاری‌های شمالی احتمالاً به علت وجود پیریت پراکنده در عمق باشد. در نهایت ۶ نقطه برای حفاری پیشنهاد شد.

دگرسانی گرمایی  
کانی‌سازی رگه‌ای  
قطبش‌القای (IP)  
مقاومت‌ویژه الکتریکی  
آرایش دوقطبی- دوقطبی  
زنجان

۱- مقدمه

است؛ که می‌توان به کانی‌سازی در منطقه هشتجین- آق‌کند و شمال خاور زنجان (حاج علیلو، ۱۳۷۸)، کانسار اپی ترمال مس- طلای گلوچه (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹) و کانسار اپی ترمال سرب و روی (مس) باریک آب (بازرگانی گیلانی و پرچگانی، ۱۳۸۹) اشاره کرد. مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک نیز در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشتجین، ناهنجاری ژئوشیمیایی با درجه B را برای محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (سازمان صنایع و معادن استان اردبیل، ۱۳۸۲).

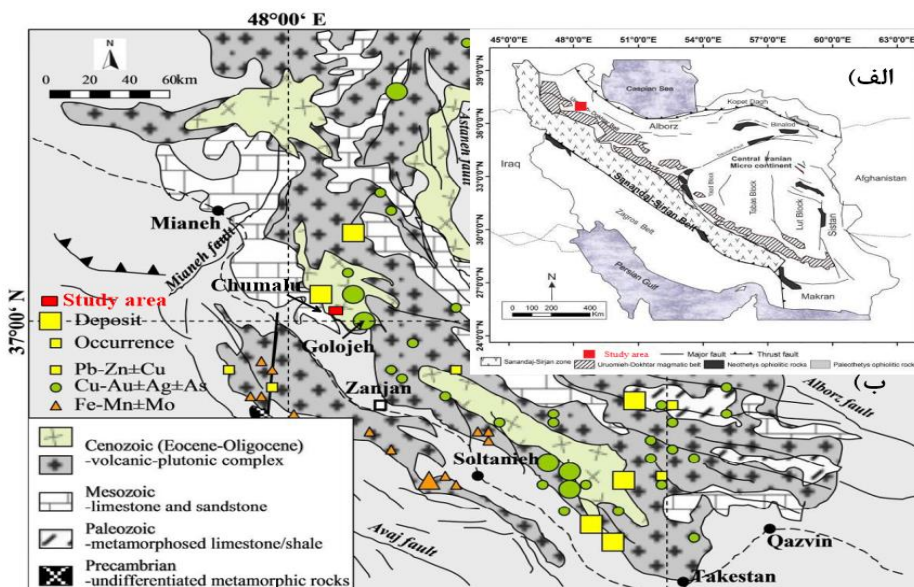
همچنین روش‌های ژئوفیزیکی IP و مقاومت‌ویژه در تعیین محل، گسترش و عمق کانی‌سازی‌های فلزی و سولفیدی در کانسارهای مختلفی مانند کانسار سرب، روی، نقره و مس مانت ایسا در کوئینزلند استرالیا (Rutley et al., 2001)، سرب و روی زی‌چنگ در چین (Guo et al., 2000) و اکتشاف فلزات پایه در ویکتوریا در استرالیا (Willocks and Moore, 1999) استفاده شده است. با توجه به اهمیت منطقه چومالو از دید اکتشاف ذخایر فلزی و توانایی روش‌های ژئوفیزیکی IP و مقاومت‌ویژه در مطالعات اکتشافی مرتبط با این‌گونه ذخایر، استفاده از این روش‌ها به همراه مطالعات زمین‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است.

این پژوهش برآن است تا ضمن برداشت و تجزیه و تحلیل داده‌های خام صحرایی با استفاده از مدل‌سازی وارون هموار داده‌های IP و مقاومت‌ویژه، نتایج مطالعات ژئوفیزیکی را بر اساس نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی منطقه (سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی) تفسیر نموده و در نهایت با مقایسه و ترکیب نتایج مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی، محدوده‌های بی‌هنجار، عمق و ضخامت توده‌های معدنی محتمل و همچنین وضعیت پیوستگی توده‌ها تعیین و محل‌های مناسب برای انجام حفاری‌های اکتشافی پیشنهاد گردند.

محدوده اکتشافی چومالو در حوضه چند فلزی طارم- هشتجین قرار دارد (Alavi, 1991)؛ که این پهنه پتانسیل بالقوه ذخایر فلزی و منابع معدنی را داراست. با توجه به پنهان بودن اغلب ذخایر معدنی و در راستای اکتشاف آنها، انتخاب و بکارگیری روش‌های اکتشافی مناسب و کم خطا ضروری است.

روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسبی هستند که تقریباً در تمامی مراحل عملیات اکتشاف از این روش‌ها که عمدتاً ارزان، قابل اعتماد و در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های بزرگ سرمایه‌گذاری می‌شوند، بهره‌گرفته می‌شود (Telford et al., 1990). همچنین کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی به همراه مطالعات زمین‌شناسی به منظور کاهش کمبودهای هر کدام از این روش‌ها، افزایش کارایی و تفسیر دقیق‌تر نتایج، می‌تواند احتمال کشف و امکان دستیابی به مناطق امیدبخش را افزایش دهد.

رخدادهای معدنی سرب و روی دار چومالو در ۷۰ کیلومتری شمال غرب زنجان واقع شده است. این منطقه در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشتجین قرار گرفته و منطقه‌ای به وسعت ۱۱ کیلومتر مربع را در بازه طول شرقی ۳۵° ۴۸' ۱۱" تا ۳۵° ۱۳' ۴۸" و عرض شمالی ۲۲° ۲۲' ۳۷" تا ۲۲° ۲۲' ۳۷" شامل می‌شود (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه از لحاظ تقسیمات ساختاری جزء ایران مرکزی (Stöcklin, 1968) و یا بخشی از البرز باختری (نبوی، ۱۳۵۵) محسوب می‌شود. بر اساس فعالیت‌های اکتشافی اخیر و مطالعات صورت گرفته توسط محققان، رخدادهای گوناگونی از کانه‌زایی فلزات پایه (سرب، روی، مس و طلا) در ناحیه گزارش شده



شکل ۱: الف) نقشه ساده شده تقسیم‌بندی ساختاری ایران (Stöcklin, 1968, Alavi, 1991)؛ ب) نمای کلی از زمین‌شناسی پهنه طارم- هشتجین همراه با پراکندگی نشانه‌ها و ذخایر معدنی و موقعیت منطقه اکتشافی چومالو بر روی آن (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳)

**نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.**

مقاومت‌ویژه با استفاده از دستگاه فرستنده جریان GDD مدل Tx III و دستگاه گیرنده جریان GDD مدل GRx8 ساخت کشور کانادا انجام شده است.

در ادامه، مدل‌سازی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به روش وارون‌سازی هموار دوبعدی با استفاده از دو نرم‌افزار RES2DINV و ZondRes2D انجام می‌شود؛ و تفاسیر مربوط به هر پروفیل بر اساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی ارائه می‌گردد. همچنین برای نمایش بهتر نتایج مدل‌سازی در سه بعد، تمام مقاطع دوبعدی با استفاده از نرم‌افزار Rockworks ترکیب می‌شوند و یک مدل سه‌بعدی ارائه خواهد شد. در نهایت با مقایسه و ترکیب نتایج مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی، محدوده‌های احتمالی کانی‌سازی سرب و روی مشخص می‌گردند و محل‌های مناسب برای حفاری پیشنهاد خواهند شد.

**۴- زمین‌شناسی منطقه‌ای کانسار**

زمین‌شناسی محدوده معدنی چومالو شامل واحدهای آتشفشانی ائوسن، توده‌های نفوذی الیگوسن و نهشته‌های آبرفتی کواترنری می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن توسط توده‌های نفوذی الیگوسن قطع شده‌اند؛ که روند تقریبی شمال‌غرب- جنوب‌شرق را نشان می‌دهد (شکل ۲). در پهنه طارم- هشتجین، روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی همسان با دیگر مناطق البرز غربی، راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی را دارا هستند (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳).

بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه چومالو (آقازاده و براتی، ۱۳۹۵)، سنگ‌های آتشفشانی الیوین بازالت خاکستری تیره ائوسن (E<sup>oba</sup>)، که در نواحی مرکزی محدوده اکتشافی قرار دارند؛ تحت نفوذ توده‌های نفوذی الیگوسن قرار گرفته‌اند. این واحد میزبان رگه‌های کانهدار بوده و در اثر چرخش سیالات در سیستم‌های شکستگی و همچنین نفوذ توده‌های موجود در منطقه، دچار دگرسانی پروپلیتیک و در بخش‌هایی سیلیسی و گاهاً کربناتی شده است. به‌علاوه توده نفوذی مونزونیتی تا کوارتز مونزونیتی الیگوسن (Mz)، که در مرکز منطقه واقع شده است؛ نزدیک‌ترین رخنمون به رگه‌های کانهدار می‌باشد (شکل ۲). این توده دارای روند شرقی- غربی بوده و قسمت‌هایی از آن زمین‌های کشاورزی است.

دو واحد آتشفشانی و نفوذی مذکور، سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی در منطقه می‌باشند. واحد الیوین بازالت با بافت پورفیری در یک خمیره شیشه‌ای- میکرولیتی تشکیل شده است (شکل ۳-A)؛ که میکروولیت متشکل از کریستال‌های ریز پلاژیوکلاز، پیروکسن و کانی‌های تیره می‌باشد. بلورهای الیوین به‌صورت وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار ۱۰ درصد سنگ را تشکیل داده است؛ که ابعاد آن گاه تا ۰/۳ میلی‌متر هم می‌رسد و غالباً به کلریت و اپیدوت تجزیه شده است.

**۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای محدوده مطالعاتی**

محدوده اکتشافی چومالو در بخش میانی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشتجین قرار دارد (فریدی، ۱۳۷۹)، و از لحاظ زمین‌شناسی در حوضه چندفلزی طارم- هشتجین و در کمان ماگمایی سنوزوئیک البرز- آذربایجان واقع شده است (Alavi, 1991). ماگماتیسم البرز در ائوسن- الیگوسن منجر به تشکیل مجموعه عظیمی از سنگ‌های آذرین نفوذی، نیمه‌نفوذی و آذرآوری از قبیل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ریولیتی، توف و نفوذی‌های نیمه‌عمیق شده که اغلب میزبان کانه‌زایی‌های گوناگونی در منطقه می‌باشند. رخداد توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی با ماهیت کالک- آلکالن تا آلکالن الیگوسن (حاج علیلو، ۱۳۷۸) به‌همراه رخداد‌های متنوع عناصر فلزی و غیر فلزی (مس، طلا، آهن، سرب و روی به‌همراه آلونیت، تراورتن و گچ) و وجود دگرسانی‌های وسیع نظیر سیلیسی، فیلیک، آرزلیک حدواسط و پیشرفته، آلونیتی و پروپلیتیک (هادی‌زاده، ۱۳۸۳) موجب شده تا حوضه فلزایی طارم- هشتجین از دیدگاه کانه‌زایی و زمین‌شناسی اقتصادی همواره جزئی از مناطق مستعد برای ردیابی رخداد‌های مختلف معدنی باشد (قربانی، ۱۳۸۶).

**۳- روش تحقیق**


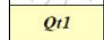
پژوهش پیش رو بر مبنای مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی استوار است. بر این اساس، پس از انجام پیمایش صحرایی و کنترل واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی چومالو بر مبنای نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از محدوده توسط آقازاده و براتی (۱۳۹۵)، نمونه- برداری از نهشته‌های آتشفشانی، توده نفوذی، پهنه‌های دگرسان و کانی- سازی‌های سطحی و زیر سطحی انجام شد؛ و به‌منظور انجام مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و تعیین ژنز ماده معدنی تعداد ۸ مقطع نازک و ۹ مقطع صیقلی از نمونه‌ها تهیه شد و مطالعه گردید.

همچنین با توجه به مطالعات اولیه زمین‌شناسی و شواهد کانی- سازی در منطقه، عملیات صحرایی برداشت داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به‌منظور شناسایی نواحی بی‌هنجار و بررسی عمقی آن‌ها صورت گرفت. این برداشت‌ها ابتدا در قالب ۴ شبکه با آرایش مستطیلی، به‌منظور تعیین تغییرات جانبی و گسترش سطحی محدوده‌های بی‌هنجار با طول خط جریان ۸۰۰ متر، فواصل الکترودی ۲۰ متر و فاصله خطوط برداشت ۵۰ متر انجام شد. سپس ۶ پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی بر روی محدوده‌های بی‌هنجار، به‌منظور بررسی عمقی کانی‌سازی با فواصل الکترودی ۲۰ متر و فاکتور عددی (n) ۱ تا ۸ برداشت شد. داده‌های مربوط به توپوگرافی نیز در امتداد هر پروفیل ثبت شده‌اند. در مجموع ۱۶۳۹ ایستگاه برای هر روش IP و مقاومت‌ویژه برداشت گردید؛ که از این تعداد ۵۵۳ ایستگاه با آرایش مستطیلی و ۱۰۸۶ ایستگاه با آرایش دوقطبی- دوقطبی اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری مقادیر IP و

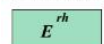
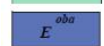
**Geological & Topographical Map of Chumalu Area (NW of Zanjan)**

**LEGEND**



**Cenozoic - Quaternary**

-  Regolith & agricultural land
-  Qt1: Gravel fan, young terraces & agricultural land

**Cenozoic - Eocene**

-  E<sup>rh</sup>: Grey to green rhyolite- rhyodacite in some part ignembrite
-  E<sup>oba</sup>: Propylitic olivine bearing basalt

**Intrusive Rock - Oligocene**

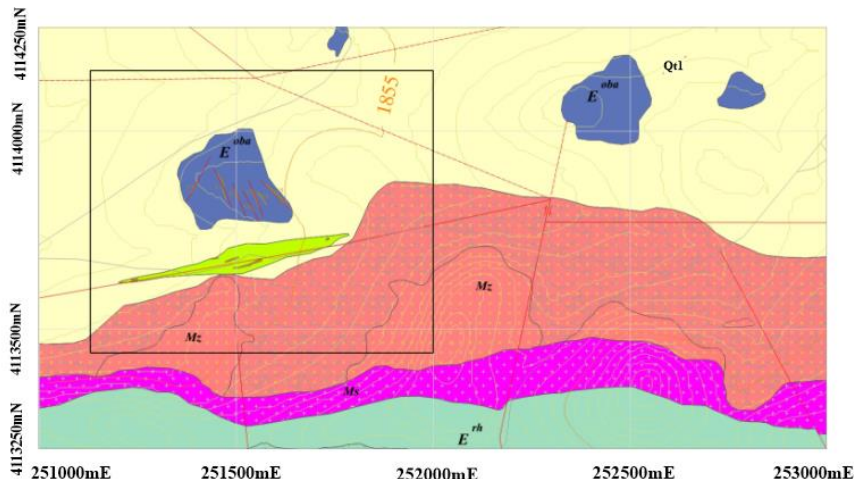
-  Ms: Quartz monzo syenite to syeno granite porphyry
-  Mz: Monzonite to quartz monzonite

**Mineralization**

-  Polymetallic Silica Zone Pb-Zn
-  Polymetallic Silica-carbonate Pb-Zn veins

**Symboles**

-  Strikeslip Fault
-  Undifferentiated Fault
-  Probably Fault
-  Major Contourline
-  Minor Contourline
-  Second Class Road
-  Study area



شکل ۲: بخشی از نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی محدوده چومالو (برگرفته از آقازاده و براتی، ۱۳۹۵).

**۵- دگرسانی سنگ میزبان**

دگرسانی گرمایی در منطقه چومالو از گسترش وسیعی برخوردار بوده و محدود به رخنمون‌های معدنی نیست. بر اساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی سه نوع دگرسانی در ابعاد محلی و ناحیه‌ای در محدوده چومالو قابل تشخیص است؛ که واحدهای آتشفشانی و ماگمایی منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. شدت دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی و ماگمایی میزبان کانی‌سازی متفاوت بوده و از مرکز زون‌های کانه‌ساز به سمت حاشیه کاهش می‌یابد. مهم‌ترین دگرسانی‌های شناسایی شده در منطقه شامل دگرسانی سیلیسی، سیلیسی- آرژیلیک و پروپیلیتیک- کربناتی می‌باشند. قابل ذکر است که با توجه به پوشش زمین‌های کشاورزی در کل منطقه، تفکیک این دگرسانی‌ها و مشاهده آنها در سطح به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد.

دگرسانی پروپیلیتیک که با نفوذ توده مونزونیتی در منطقه، با شدت‌های مختلف در سنگ میزبان بازالتی و به مقدار کمتر در بخش‌هایی از توده نفوذی به صورت ناحیه‌ای تشکیل شده است. این دگرسانی با وجود کانی‌های کلریت، سریسیت، اپیدوت، کوارتز و کربنات قابل تشخیص است (شکل ۳- C). پلاژیوکلاز به طور قابل ملاحظه‌ای به سریسیت، و هورنبلند به کلریت و اپیدوت تبدیل شده است. همچنین رگچه‌های کلریتی-

بلورهای پیروکسن (اوژیت) به صورت وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار با فراوانی تا ۵ درصد تشکیل شده و اغلب به کلریت، اپیدوت و سریسیت تجزیه شده است. پلاژیوکلاز نیز با فراوانی ۱۰ تا ۲۰ درصد حضور دارد و غالباً به رس، سریسیت، کلریت و اپیدوت تجزیه گردیده است. مجموع کانی‌های ثانویه به همراه رگچه‌های کلریتی و کربناتی در سنگ میزبان، نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک- کربناتی است.

واحد کوارتز مونزونیت از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز و ارتوز تشکیل شده است (شکل ۳- B). پلاژیوکلاز با ماکل پلی- سینتتیک با ابعاد متوسط تشکیل شده، که به سریسیت تجزیه شده است. بیوتیت قهوه‌ای رنگ که تجزیه شدگی کمتری را نشان می‌دهد و هورنبلند که آثار تجزیه شدگی به کلریت و اپیدوت را نشان می‌دهد، از دیگر کانی‌های تشکیل دهنده سنگ می‌باشند. کوارتز با فراوانی تا ۱۰ درصد در سنگ مشاهده می‌شود و کانی‌های تیره با فراوانی ۳ تا ۵ درصد به صورت وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار به صورت پراکنده در سنگ میزبان تشکیل شده‌اند. کانی‌های ثانویه حاصل از تجزیه شدگی پلاژیوکلاز و هورنبلند حاکی از دگرسانی پروپیلیتیک می‌باشد.

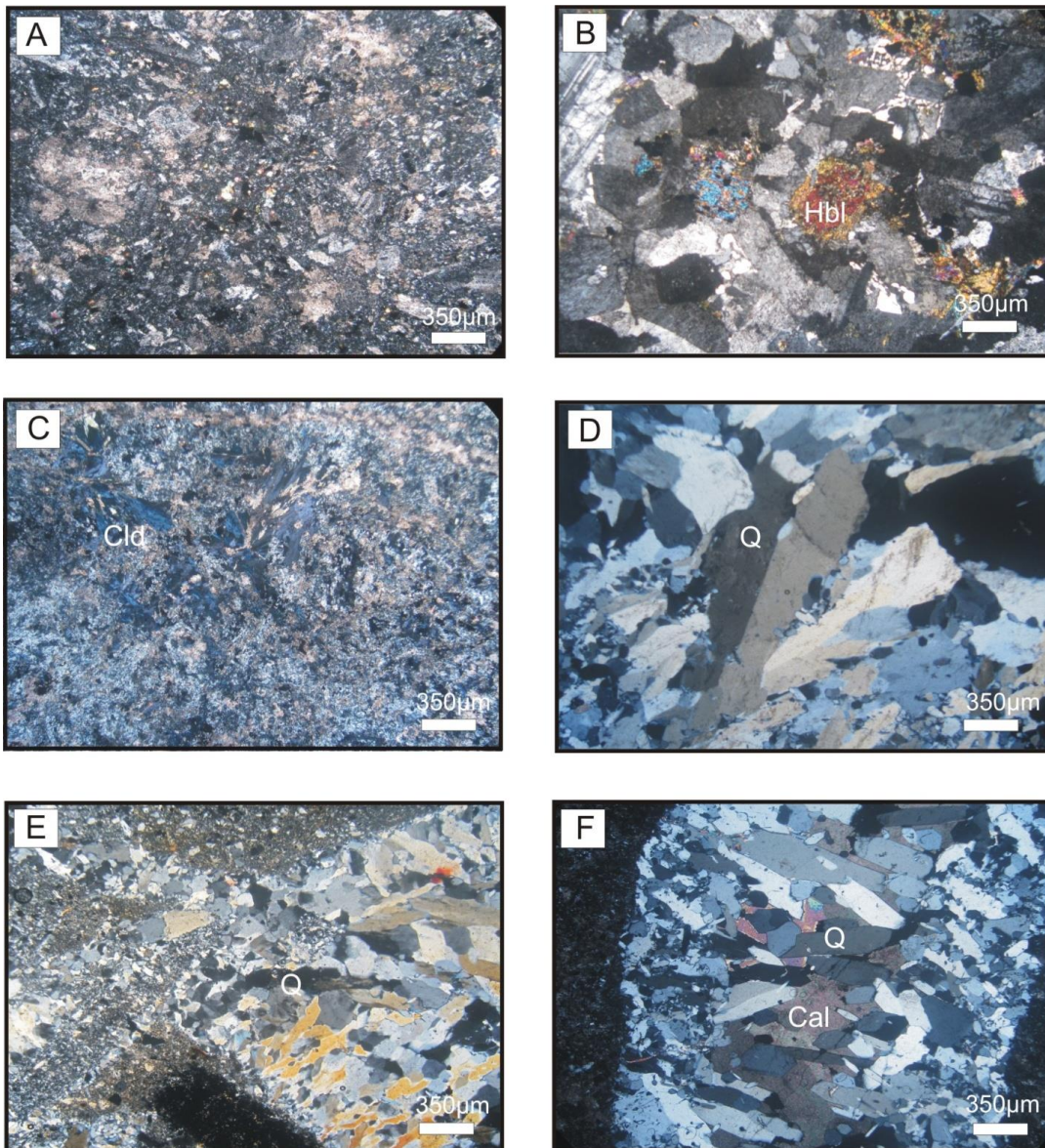


نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.

دگرسانی سیلیسی-آرژلیک که مرتبط با کانی‌سازی در محدوده می‌باشد، عمدتاً در سنگ میزبان بازالتی در نزدیکی رگه‌های کانی‌سازی و همچنین در زون سیلیسی-برشی کانه‌دار (گالن، اسفالریت، کالکوپریت) قابل مشاهده است (شکل ۳-F). شدت این دگرسانی در سنگ میزبان بازالتی و در نزدیکی رگه‌ها به گونه‌ای است که بافت سنگ و کانی‌ها بطور کامل از بین رفته است. کوارتز مهم‌ترین کانی این زون، به‌صورت رگچه‌ای و با ضخامت متغیر ۱ تا ۵ میلی‌متر سنگ را پر کرده است.

اپیدوتی و سریستی و رگچه‌های کربناته در داخل سنگ میزبان مشاهده می‌شوند.

دگرسانی سیلیسی و در بعضی نواحی زون سیلیسی-برشی در قسمت‌های مرکزی محدوده تشکیل شده است؛ که با کانه‌زایی مرتبط می‌باشد (شکل ۳-D و E). شاخصه این دگرسانی رگچه‌های سیلیسی با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر همراه با قطعات برشی است؛ که داخل برش‌ها عمدتاً از کوارتز و قطعات ولکانیکی تشکیل شده است.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی از سنگ میزبان کانی‌سازی و دگرسانی‌های موجود در منطقه چومالو؛ (A) واحد الیوین بازالت با بلورهای کوچک الیوین، پلاژیوکلاز و پیروکسن که به اپیدوت، سریست و کلریت تبدیل شده است؛ (B) واحد کوارتز مونزونیت، بلورهای پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و هورنبلند که به کلریت تجزیه شده است؛ (C) دگرسانی پروپیلیتیک در واحد الیوین بازالت به‌طوری که بافت سنگ از بین رفته و کانی‌های اولیه سنگ به کلریت، اپیدوت، سریست و کربنات تبدیل شده‌اند؛ (D) دگرسانی سیلیسی که بلورهای درشت و ریز کوارتز را نشان می‌دهد؛ (E) دگرسانی سیلیسی-برشی که قطعات برش را همراه با بلورهای کوارتز نشان می‌دهد؛ (F) دگرسانی سیلیسی-آرژلیک، رگه سیلیسی با بلورهای شانه‌ای کوارتز که فضای داخل آن با کربنات پر شده و در زمینه رسی (قسمت‌های تیره رنگ حاشیه تصویر) واقع شده است. (کلریت: Clt، کلسیت: Cal، کوارتز: Q، هورنبلند: Hbl). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

## ۶- کانی‌سازی در محدوده معدنی چومالو

بر اساس مطالعه انجام شده، کانی‌سازی در محدوده معدنی چومالو به صورت رگه‌ای و هیدروترمال، در امتداد زون‌های گسلی و شکستگی‌ها و در دو روند مختلف صورت گرفته است. پاراژنز عمده عنصری را سرب و روی و فلئور به همراه مس، طلا و نقره تشکیل می‌دهند؛ که میزان مولیبدن و آنتیموان نیز در برخی نمونه‌ها بالاست. نتایج آنالیز شیمیایی نشان می‌دهد؛ مقادیر میانگین  $Cu = 0.14\%$ ,  $Zn = 2\%$ ,  $Pb = 2.4\%$  و نقره و طلا  $Ag = 45 \text{ ppm}$  و  $Au = 484 \text{ ppb}$  می‌باشد (آقازاده و براتی، ۱۳۹۵).

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی نشان از تشکیل کانی‌سازی در دو مرحله هیپوژن و سوپرژن دارد (شکل ۴). ماده معدنی به صورت گالن و مقادیر کمتری اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت همراه با کانی‌های باطله مانند کلسیت، کوارتز و فلوریت تشکیل شده است (شکل ۵-A, B, C)؛ که تحت شرایط سوپرژن به مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۵-D). کوارتز، کلسیت و فلورین به صورت رگه‌های، پرکننده فضای خالی و شانه‌ای تشکیل شده‌اند؛ که نشان دهنده محیط هیدروترمال می‌باشد (شکل ۵-E).

Mineral	Hypogene Stage		Supergene Stage
	Early	Late	
Chlorite	---	-----	
Sericite	-----		
Epidote	---	-----	
Quartz	-----		
Calcite	---	-----	
Flourite	---	-----	
Pyrite	-----		
Chalcopyrite	-----		
Gelana		-----	
Sphalerite		-----	
Cerussite			-----
Covellite			-----
Malachite			-----
Azorite			-----
Geothite			-----

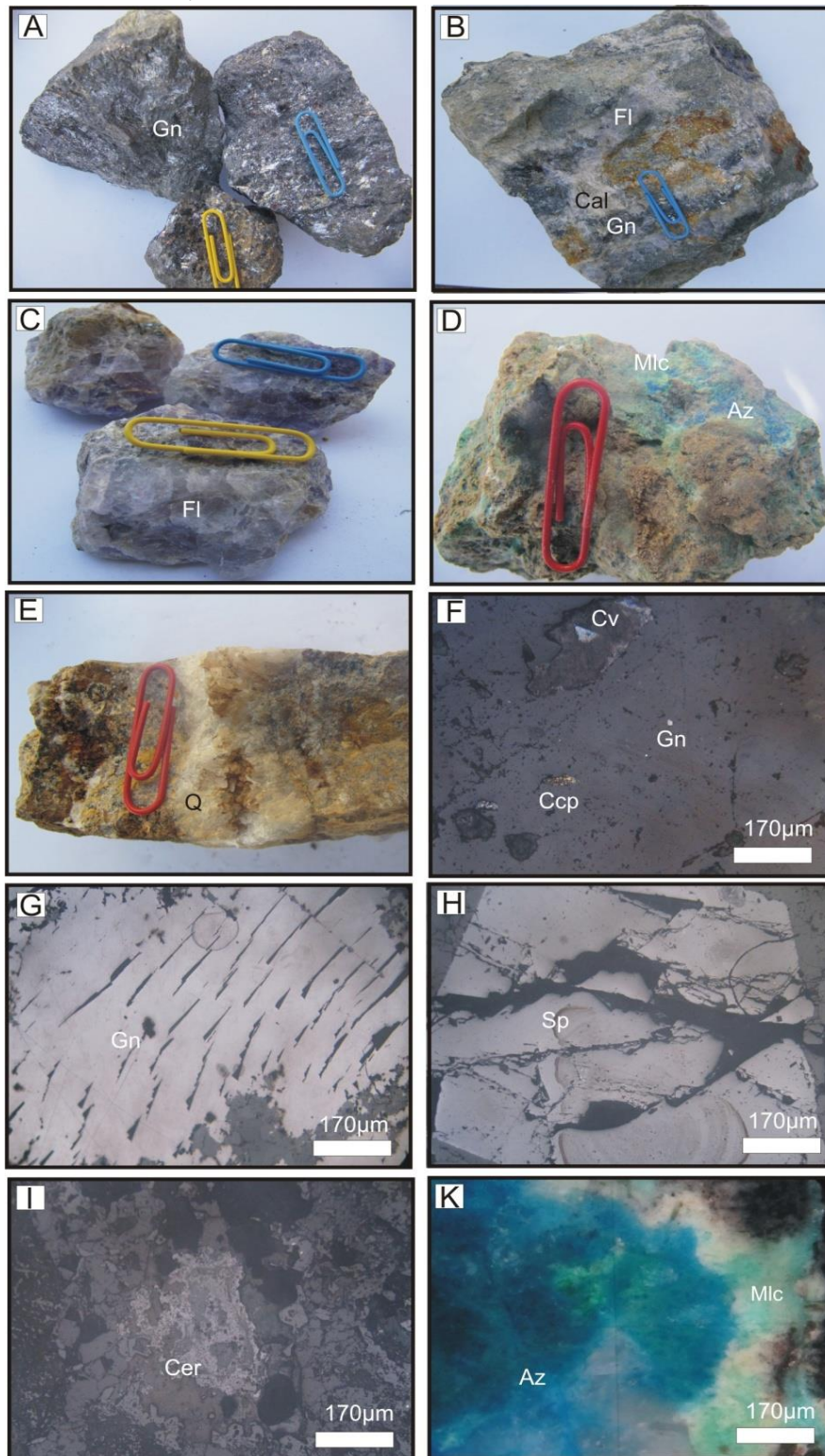
شکل ۴: توالی پاراژنتیک مراحل کانی‌سازی در محدوده چومالو.

کانی‌سازی در مرحله هیپوژن شامل کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت می‌باشد. کالکوپیریت به صورت دانه‌های نیمه‌وجه‌دار با ابعاد کمتر از ۱۰۰ میکرون با فراوانی کمتر از ۱ درصد به صورت پراکنده در متن سنگ تشکیل شده است؛ که در مواردی از حاشیه به کولیت در حال تجزیه شدن می‌باشد (شکل ۵-F). پیریت نیز با ابعاد بسیار کوچک (کمتر از ۵۰ میکرون) با فراوانی کمتر از ۱ درصد و به صورت بی‌وجه در متن سنگ پراکنده است. گالن کانی اصلی و مهم کانی‌سازی در منطقه می‌باشد؛ که به صورت وجه‌دار تا نیمه‌وجه‌دار با ابعاد تا ۵ میلی‌متر و فراوانی ۱۰ درصد تشکیل شده است (شکل ۵-G). این کانی به صورت توده‌ای، دانه‌ای، رگه‌ای و پرکننده فضای خالی، همراه با کلسیت و فلوریت تشکیل شده است. اسفالریت به ابعاد تا ۰/۵ میلی‌متر به صورت دانه‌ای در مجاورت گالن تشکیل شده است؛ که فراوانی آن ۳ درصد می‌باشد (شکل ۵-H).

در مرحله سوپرژن در بعضی قسمت‌ها گالن به سروزیت تجزیه شده، که حاصل جان‌شینی ثانویه می‌باشد (شکل ۵-I). همچنین در این مرحله کالکوپیریت به مالاکیت و آزوریت تجزیه شده است (شکل ۵-K). کانی‌سازی اول به صورت یک زون سیلیسی-برشی همراه با دگرسانی سیلیسی، سیلیسی-آرژلیک و پروپیلیتیک است؛ که شامل کانه‌زایی سرب و روی به همراه مس، نقره و طلا می‌باشد. این زون با ضخامت متغیر ۱ تا ۲۰ متر و با روند N70E، به طور پیوسته طولی بالغ بر ۶۰۰ متر را داراست. این رگه منطبق بر یک سیستم گسلی اصلی در منطقه با همین روند می‌باشد (شکل ۶).

کانی‌سازی دوم تقریباً عمود بر روند کانی‌سازی اول و در شمال آن، شامل چند دسته رگه با فواصل نزدیک از هم که همراه با دگرسانی سیلیسی-آرژلیک، پروپیلیتیک و پروپیلیتیک-کربناته بوده و شامل کانه‌زایی سرب و روی به همراه مس، مولیبدن و طلا می‌باشد. این رگه‌ها با روند تقریبی شمال‌غرب-جنوب‌شرق در شکستگی‌های موجود در این قسمت تشکیل شده‌اند. این شکستگی‌ها در واقع گسل‌های منشعب از سیستم گسلی اصلی در منطقه هستند؛ که کوچکتر از گسل اصلی بوده و باعث ایجاد رگه‌هایی با طول و عرض کمتر شده‌اند (شکل ۶). این رگه‌ها با طول متغیر ۲۰ تا ۶۰ متر، دارای ضخامت کانی‌سازی از ۱۰ سانتی‌متر تا ۱ متر می‌باشند. توسعه این سیستم رگه‌ها به سمت غرب به واسطه عملکرد گسلی با روند شرقی-غربی تا شمال‌غرب-جنوب‌شرق محدود شده است، هرچند که به سمت شرق این سیستم رگه‌ها ادامه دارند.





شکل ۵: تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از ماده معدنی؛ (A) کانی‌سازی گالن موجود در رگه‌های غنی از سرب؛ (B) رگچه‌های کانی‌سازی سرب به همراه کلسیت و فلوریت در سنگ میزبان آتشفشانی؛ (C) کریستال‌های درشت فلوریت همراه با مقادیر کمی از ماده معدنی؛ (D) کانی‌سازی بخش سوپرژن که شامل مالاکیت، آزوریت و هیدروکسید آهن می‌باشد؛ (E) رگچه پر شده با کریستال‌های شانه‌ای کوارتز؛ (F) دانه‌های بسیار کوچک کالکوپیریت که در مواردی به کوولیت تبدیل شده است؛ (G) بلورهای درشت گالن که به صورت توده‌ای تشکیل شده‌اند؛ (H) بلور وجه‌دار اسفالریت؛ (I) کانی گالن که به سروریت تبدیل شده است؛ (K) بلورهای درشت مالاکیت و آزوریت در زون سوپرژن. (گالن: Gn، کلسیت: Cal، کوارتز: Q، اسفالریت: Sp، مالاکیت: Mal، سروریت: Cer، آزوریت: Az، فلورین: Fl، کوولیت: Cv، کالکوپیریت: Ccp). حروف اختصاری نشانگر کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

۷- مطالعات ژئوفیزیکی

الکترودی ۲۰ متر و فاکتور عددی (n) ۱ تا ۸ صورت گرفت. با توجه به شرایط زمین‌شناسی و نوع کانی‌سازی در منطقه، آرایش دوقطبی-دوقطبی به علت قدرت تفکیک جانبی و قائم خوب (Goldie, 2007) و همچنین کاهش اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین سیم‌های پتانسیل و جریان (Reynolds, 1997)، برای برداشت داده‌ها در امتداد پروفیل-های ژئوفیزیکی انتخاب شد.

خطوط مبنا (Base Line) در این برداشت به موازات تشکیلات زمین‌شناسی و به طول‌های ۷۵۰ متر و ۴۰۰ متر به ترتیب برای شبکه-های شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در نظر گرفته شده است؛ و پروفیل-ها عمود بر خطوط مبنا به طول‌های ۴۶۰ تا ۸۰۰ متر، با فواصل ۷۵ و ۱۰۰ متر از یکدیگر به ترتیب برای پروفیل‌های شمالی-جنوبی و شرقی-غربی انتخاب گردیده‌اند (شکل ۶). لازم به ذکر است که طول پروفیل‌ها بسته به بی‌هنجاری‌های دیده شده ضمن برداشت تغییر کرده است.

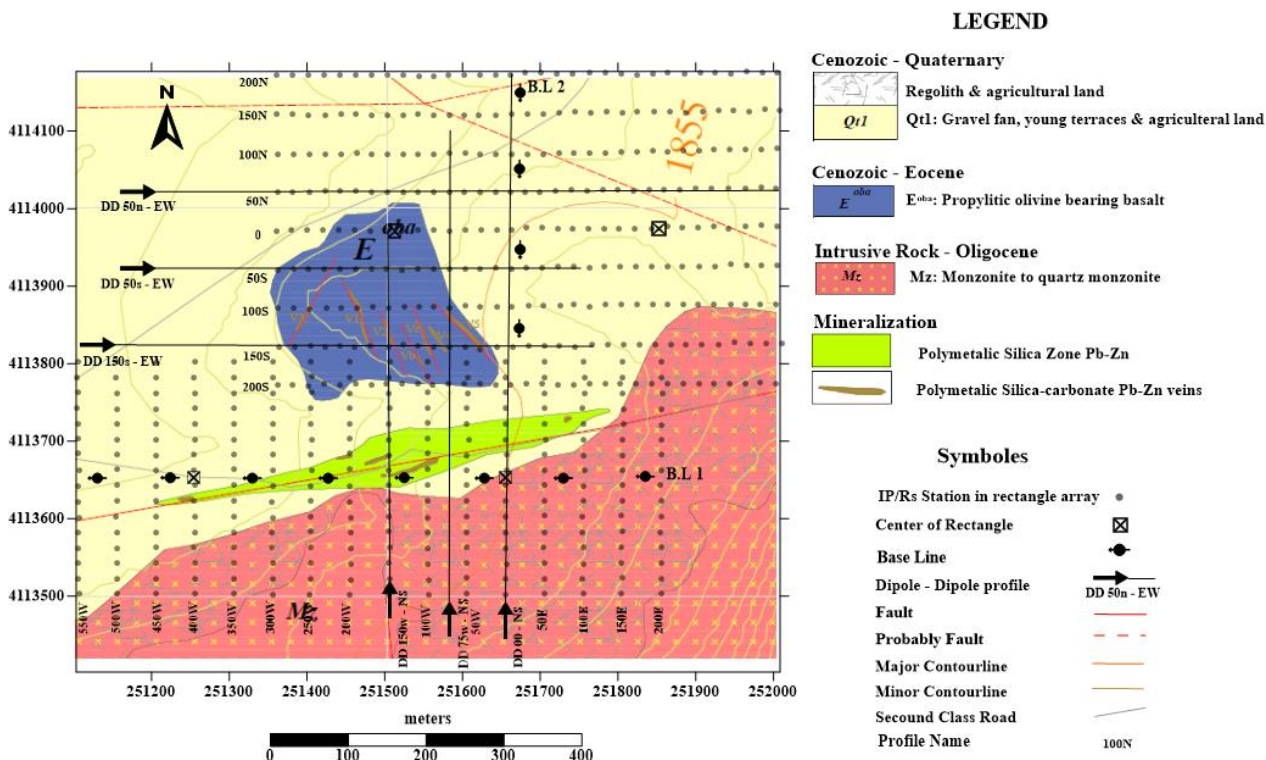
۷-۱- پی‌جویی سرب و روی در محدوده معدنی چومالو با استفاده از آرایش مستطیلی

برداشت داده‌های IP و مقاومت‌ویژه به منظور تعیین تغییرات جانبی و گسترش سطحی محدوده‌های بی‌هنجار، با استفاده از آرایش مستطیلی انجام شد. نتایج حاصل از برداشت داده‌ها به صورت نقشه‌های هم‌میزان بارپذیری و مقاومت‌ویژه ظاهری رسم شده است (شکل ۷ و ۸).

با توجه به شناسایی و بهره‌برداری اغلب کانسارهای سطحی، در حال حاضر بیشتر فعالیت‌های اکتشافی بر روی کانسارهای پنهان و پوشیده متمرکز شده است؛ که برای این منظور از روش‌های غیر مستقیم مانند ژئوفیزیک استفاده می‌گردد. قطبش‌القایی (IP) و مقاومت‌ویژه الکتریکی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی هستند؛ که در مرحله اکتشافات نیمه‌تفضیلی و تفصیلی جهت شناسایی محل کانی‌سازی سولفیدی و فلزی زیرسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش IP برای اکتشاف کانی‌های فلزی سولفیدی پورفیری بسیار مناسب می‌باشد و کاربرد وسیعی در اکتشاف فلزات پایه دارد؛ که عمق نفوذ آن به‌طور تقریبی از ۵۰ تا ۲۰۰ متری می‌باشد (Telford et al., 1990). از آنجا که مقاومت‌ویژه نیز از ویژگی‌های ذاتی سنگ‌ها و تشکیلات مختلف به‌شمار رفته و در شناخت وضعیت ساختاری و زمین‌شناسی منطقه مورد نیاز می‌باشد، به‌عنوان روش مکمل IP در اکتشاف ذخایر فلزی به‌کار گرفته می‌شود.

در محدوده معدنی چومالو به‌منظور به‌دست آوردن نتایج قابل قبول از محدوده‌های بی‌هنجار، عمق و ضخامت توده‌های معدنی محتمل و همچنین وضعیت پیوستگی توده‌ها، برداشت داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در قالب ۴ شبکه با آرایش مستطیلی (دو شبکه شمالی-جنوبی و دو شبکه شرقی-غربی) با طول خط جریان ۸۰۰ متر، فواصل الکترودی ۲۰ متر و فاصله خطوط برداشت ۵۰ متر، و ۶ پروفیل با آرایش دوقطبی-دوقطبی (۳ پروفیل شمالی-جنوبی و ۳ پروفیل شرقی-غربی) با فواصل

Geological & Topographical Map of Study Area



شکل ۶: نقشه زمین‌شناسی محدوده مرکزی منطقه چومالو به همراه موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی.



نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.

تغییرات مقاومت‌ویژه بین ۸۵ اهم‌متر تا ۱۲۹۰ اهم‌متر است؛ که بیشترین مقادیر مربوط به نواحی جنوبی منطقه و بر روی توده نفوذی کوارتز مونزونیتی می‌باشد (شکل ۸).

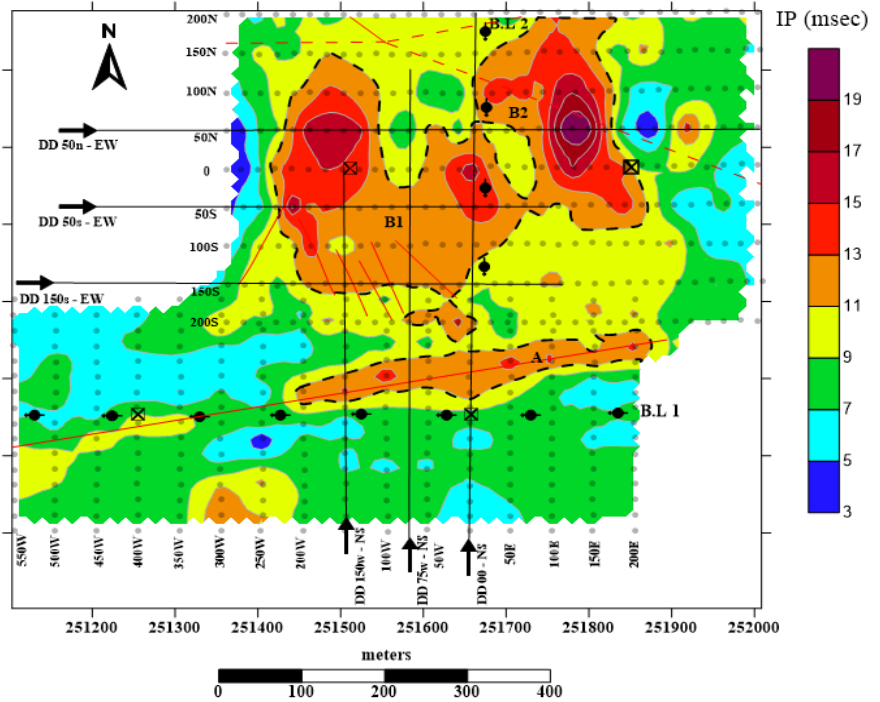
در نقشه هم‌میزان بارپذیری، حداکثر شدت بارپذیری اندازه‌گیری شده در منطقه ۲۲ میلی‌ثانیه است و حداقل شدت اندازه‌گیری شده برابر ۳ میلی‌ثانیه و بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان و فاقد کانه‌زایی قرار دارد (شکل ۷). همچنین بر اساس نقشه هم‌میزان مقاومت‌ویژه ظاهری،

**Chumalu Lead & Zinc Deposit**  
CHARGEABILITY CONTOUR PLAN MAP

GROUND GEOPHYSICAL SURVEY  
IP RECTANGLE ARRAY AB=800m , MN=20m  
TX= GDD-TX III RX= GDD-GRx-8

**LEGEND**

- Anomalous Zone
- IP measurement by rectangle array
- Center of Rectangle
- Base Line
- Dipole - Dipole profile DD 50n - EW
- Fault
- Probably Fault
- Profile Name 100N



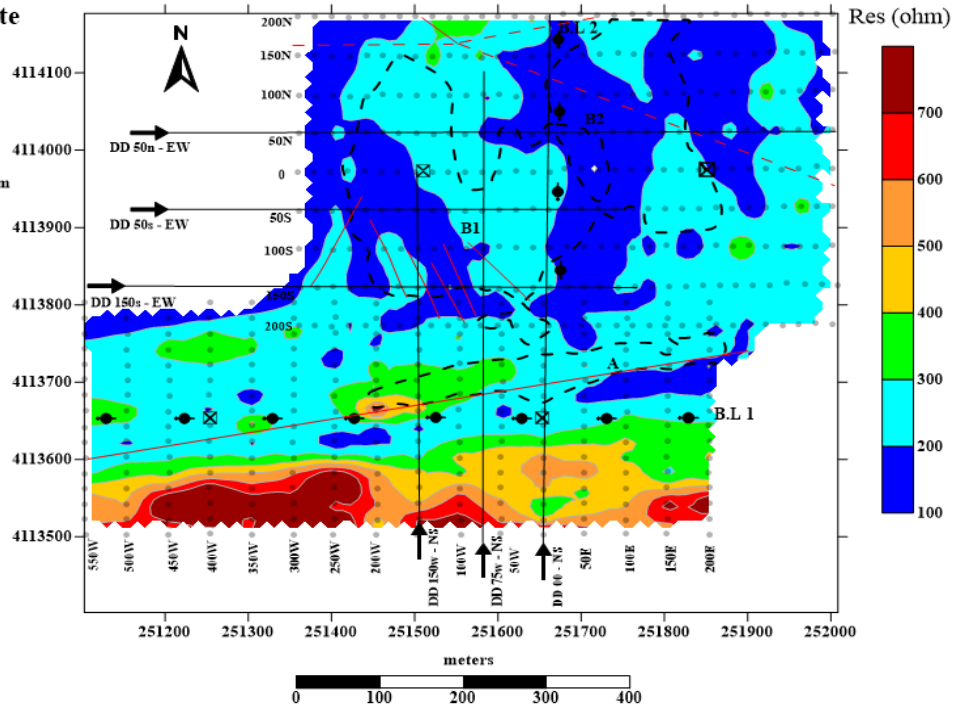
شکل ۷: نقشه هم‌میزان بارپذیری در محدوده معدنی چومالو.

**Chumalu Lead & Zinc Deposit**  
RESISTIVITY CONTOUR PLAN MAP

GROUND GEOPHYSICAL SURVEY  
Rs RECTANGLE ARRAY AB=800m , MN=20m  
TX= GDD-TX III RX= GDD-GRx-8

**LEGEND**

- Anomalous Zone
- Rs measurement by rectangle array
- Center of Rectangle
- Base Line
- Dipole - Dipole profile DD 50n - EW
- Fault
- Probably Fault
- Profile Name 100N



شکل ۸: نقشه هم‌میزان مقاومت‌ویژه ظاهری در محدوده معدنی چومالو.

۷-۲- اکتشاف سرب و روی در محدوده معدنی چومالو با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی

به منظور بررسی عمقی کانی‌سازی در منطقه، برداشت داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در امتداد ۶ پروفیل بر روی محدوده‌های بی‌هنجار، با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی صورت گرفت. به همین منظور، تجزیه و تحلیل داده‌های خام صحرائی با استفاده از وارون‌سازی هموار داده‌های برداشت شده به کمک نرم‌افزارهای RES2DINV و ZondRes2D انجام شد و تفاسیر مربوط به هر پروفیل بر اساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی صورت گرفت. در اینجا به علت اختصار به ارائه تفاسیر دو پروفیل DD 00-NS و DD 50n-EW بسنده می‌شود.

۷-۲-۱- پروفیل DD 00-NS

الف) مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV

شکل (۹- الف و ب) تغییرات مقاومت‌ویژه و بارپذیری را در امتداد پروفیل DD 00-NS به طول ۷۶۰ متر، با راستای شمالی- جنوبی و همراه با داده‌های توپوگرافی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل‌سازی داده‌های IP دو زون A و B به عنوان نواحی بی‌هنجار مشخص شده‌اند (شکل ۹- ب).

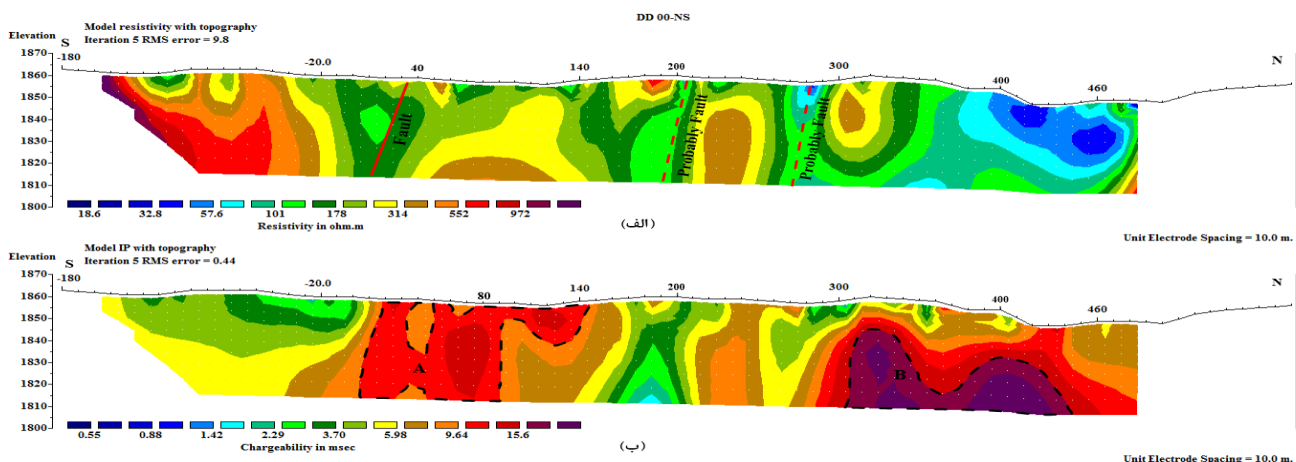
گسترش جانبی بی‌هنجاری A با بارپذیری بیش از ۱۰ میلی‌ثانیه، از ایستگاه ۵ تا ۱۴۵ شمالی است؛ که از سطح زمین تا عمق بیش از ۴۶ متر ادامه دارد. وجود قطعات کانی‌سازی در دیواره و کف ترانشه در محل ایستگاه ۸۰ شمالی حضور این بی‌هنجاری در سطح را تأیید می‌کند. بیشترین مقدار بارپذیری در مرکز این زون در عمق حدود ۲۰ متری در زیر ایستگاه ۷۰ شمالی به ۱۵ میلی‌ثانیه می‌رسد.

در مدل مقاومت‌ویژه (شکل ۹- الف) این زون منطبق بر مناطقی با مقاومت‌ویژه متوسط بوده که می‌تواند ناشی از ماهیت زون سیلیسی- برشی واقع در این قسمت و وجود دگرسانی سیلیسی باشد؛ احتمالاً در این

با توجه به نقشه هم‌میزان بارپذیری می‌توان بی‌هنجاری‌های منطقه را به دو زون B و A تقسیم کرد (شکل ۷). زون B که در شمال منطقه قرار دارد و دارای روند شمالی- جنوبی است، خود به دو بخش B2 با بیشترین مقدار بارپذیری بین پروفیل‌های 200N تا 100S شرقی- غربی و B1 بین پروفیل‌های 150N تا 150S شرقی- غربی تقسیم می‌شود. بر اساس انطباق نقشه زمین‌شناسی و نقشه هم‌میزان بارپذیری، قسمت‌های غربی زون B بر نهشته‌های الیوین بازالتی منطبق است؛ که این نهشته‌ها میزبان رگه‌های کانه‌دار بوده و شواهد و آثار کانی‌سازی و معدن‌کاری در این قسمت مشاهده می‌شود. با توجه به قرارگیری کامل قسمت‌های شرقی زون B بر روی آبرفت (شکل ۷)، به احتمال قوی نهشته‌های اولیوین بازالت در این منطقه به وسیله رسوبات عهد حاضر پوشیده شده‌اند و بی‌هنجاری زون B را در زیر آبرفت ایجاد می‌کنند.

زون A در جنوب زون B و در مرکز منطقه بین پروفیل‌های 200E تا 200W شمالی- جنوبی، با یک روند شرقی- غربی تا شمال‌شرق- جنوب‌غرب قرار گرفته است (شکل ۷). از نظر شدت بارپذیری این زون نسبت به زون B اهمیت کمتری دارد و گستردگی آن نیز از زون B کمتر است. این زون انطباق خوبی با زون سیلیسی- برشی داشته و منطبق بر سیستم گسلی اصلی در منطقه با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب است.

در نقشه هم‌میزان مقاومت‌ویژه ظاهری، بی‌هنجاری B دارای مقاومت‌ویژه متوسط رو به پایین و بی‌هنجاری A دارای مقاومت‌ویژه متوسط است (شکل ۵). در نهایت پس از بررسی نقشه‌های هم‌میزان بارپذیری و مقاومت‌ویژه ظاهری و تعیین محدوده‌های بی‌هنجار، برای بررسی عمقی بی‌هنجاری‌ها، ۶ پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی (۳ پروفیل شمالی- جنوبی و ۳ پروفیل شرقی- غربی) با فواصل الکترودی ۲۰ متر بر روی بی‌هنجاری‌های منطقه برداشت شد؛ که در ادامه به بررسی نتایج آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۹: نتایج مدل‌سازی داده‌های الف) مقاومت‌ویژه و ب) بارپذیری با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV در امتداد پروفیل DD 00-NS.

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.

گسترده‌گی، عمق و مکان جای‌گیری انطباق مناسبی با مدل شکل (۹-ب) نشان می‌دهند. بیشترین مقدار بارپذیری برای زون A در مرکز آن در زیر ایستگاه ۷۰ شمالی، به ۸ میلی‌ثانیه می‌رسد؛ و این زون در مدل مقاومت-ویژه (شکل ۱۰-الف) منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه متوسط بوده؛ که در بیشترین مقدار به حدود ۴۰۰ اهم‌متر می‌رسد. همچنین بیشترین مقدار بارپذیری برای زون B مربوط به اعماق بیش از ۵۰ متری در زیر ایستگاه ۴۰۰ شمالی به ۱۴ میلی‌ثانیه می‌رسد. این زون در مدل مقاومت-ویژه (شکل ۱۰-الف) منطبق بر مناطق با مقاومت‌ویژه متوسط رو به پایین است؛ که در کمترین مقدار به حدود ۵۰ اهم‌متر می‌رسد. مدل مقاومت‌ویژه برای این پروفیل انطباق خوبی با مدل شکل (۹-الف) دارد.

۷-۲-۲- پروفیل DD 50n-EW

الف) مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV

شکل (۱۱-الف و ب) تغییرات مقاومت‌ویژه و بارپذیری را در امتداد پروفیل DD 50n-EW به طول ۸۰۰ متر، با راستای شرقی-غربی و همراه با داده‌های توپوگرافی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل‌سازی داده‌های IP چهار زون B1، B2-a، B2-b و C با بارپذیری بیش از ۲۰ میلی‌ثانیه به‌عنوان نواحی بی‌هنجار مشخص شده‌اند (شکل ۱۱-ب).

گسترش جانبی بی‌هنجاری B1 از ایستگاه ۱۲۰ غربی تا ۳۵ شرقی است؛ که از عمق حدود ۱۰ متر در زیر ایستگاه ۳۰ غربی تا عمق بیش از ۴۶ متر ادامه دارد. بیشترین مقدار بارپذیری برای این زون مربوط به عمق حدود ۱۷ متری در زیر ایستگاه ۲۵ غربی است؛ که به ۳۳ میلی‌ثانیه می‌رسد. بی‌هنجاری B2-a با گسترش جانبی از ایستگاه ۱۵۵ تا ۱۹۰ شرقی، که از عمق حدود ۲۲ متر در زیر ایستگاه ۱۷۰ شرقی آغاز می‌شود و تا عمق بیش از ۴۶ متر ادامه دارد (شکل ۱۱-ب). بیشترین مقدار بارپذیری برای این زون در زیر ایستگاه ۱۶۵ شرقی و در عمق حدود ۴۵ متری از سطح زمین به ۴۰ میلی‌ثانیه می‌رسد. این بی‌هنجاری منطبق بر بی‌هنجاری B در انتهای پروفیل DD 00-NS است؛ که در این پروفیل، گسترش جانبی آن در راستای شرقی-غربی در مقطع مدل بارپذیری شناسایی شده است.

زون عیار ماده معدنی به اندازه‌ای نبوده که پاسخ مقاومت‌ویژه را تحت تاثیر قرار دهد و کانی‌سازی بیشتر به حالت سولفید پراکنده صورت گرفته است. با توجه به شکل (۹-الف) بیشترین مقادیر مرتبط با توده نفوذی کوارتز مونوزینیتی است؛ که بی‌هنجاری بالای مقاومت‌ویژه را در سمت راست این مدل ایجاد کرده است. همچنین با توجه به انطباق نقشه زمین‌شناسی محدوده و نقشه هم‌میزان بارپذیری و قرارگیری بی‌هنجاری A در کنار گسل (شکل ۷)، این گسل در سمت چپ مدل مقاومت‌ویژه به‌خوبی مشاهده می‌شود.

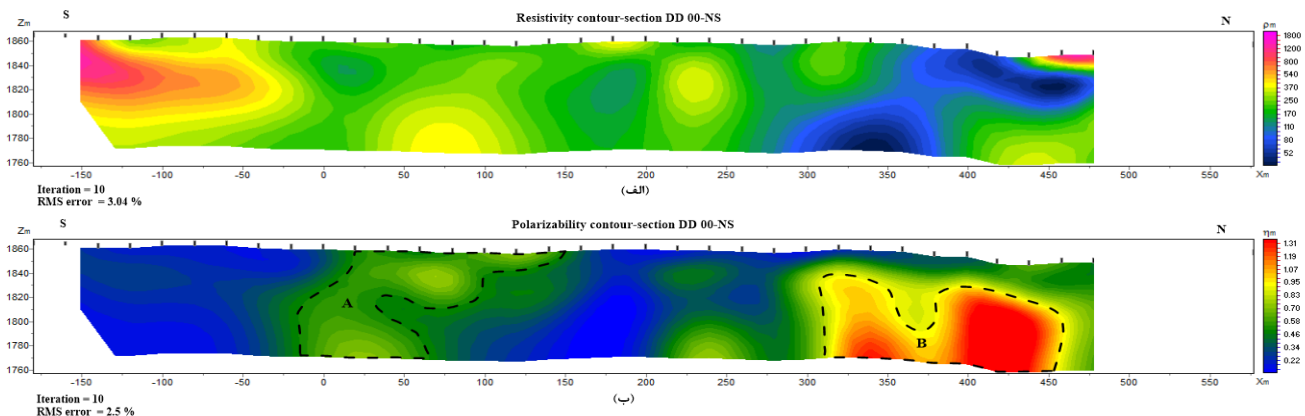
گسترش جانبی بی‌هنجاری B با بارپذیری بیش از ۱۵ میلی‌ثانیه، از ایستگاه ۳۱۰ تا ۴۴۵ شمالی می‌باشد؛ که از عمق حدود ۱۲ متر در زیر ایستگاه ۳۲۰ شمالی آغاز می‌شود و تا اعماق بیش از ۴۶ متر ادامه دارد (شکل ۹-ب). بیشترین مقدار بارپذیری در زیر ایستگاه ۴۰۰ شمالی و در عمق حدود ۴۵ متری از سطح زمین به ۲۸ میلی‌ثانیه می‌رسد.

در مدل مقاومت‌ویژه (شکل ۹-الف) این بی‌هنجاری دارای مقاومت‌ویژه متوسط رو به پایین بوده که می‌تواند ناشی از کانی‌سازی فلزی در شکستگی‌های نهشته‌های اولیوین بازالتی باشد؛ همچنین احتمال وجود کانی‌سازی فلزی با عیار بالاتر، به‌صورت رگه‌ای و حضور سولفیدهای توده‌ای در این قسمت بیشتر است. همچنین کاهش مقاومت-ویژه در نواحی نزدیک به سطح برای این قسمت، می‌تواند به‌علت وجود دگرسانی‌های سطحی باشد.

قابل ذکر است که هر دو زون با توجه به دارا بودن شدت بالای بارپذیری و نزدیکی به سطح زمین، به‌خوبی با برداشت آرایش مستطیلی آشکارسازی شده‌اند (شکل ۷). همچنین با توجه به قرارگیری هر دو زون A و B در کنار گسل (شکل ۹-الف) و باز بودن هر دو بی‌هنجاری در جهت افزایش عمق، احتمال گسترش این زون‌ها در اعماق بیش از ۴۶ متر نیز وجود دارد.

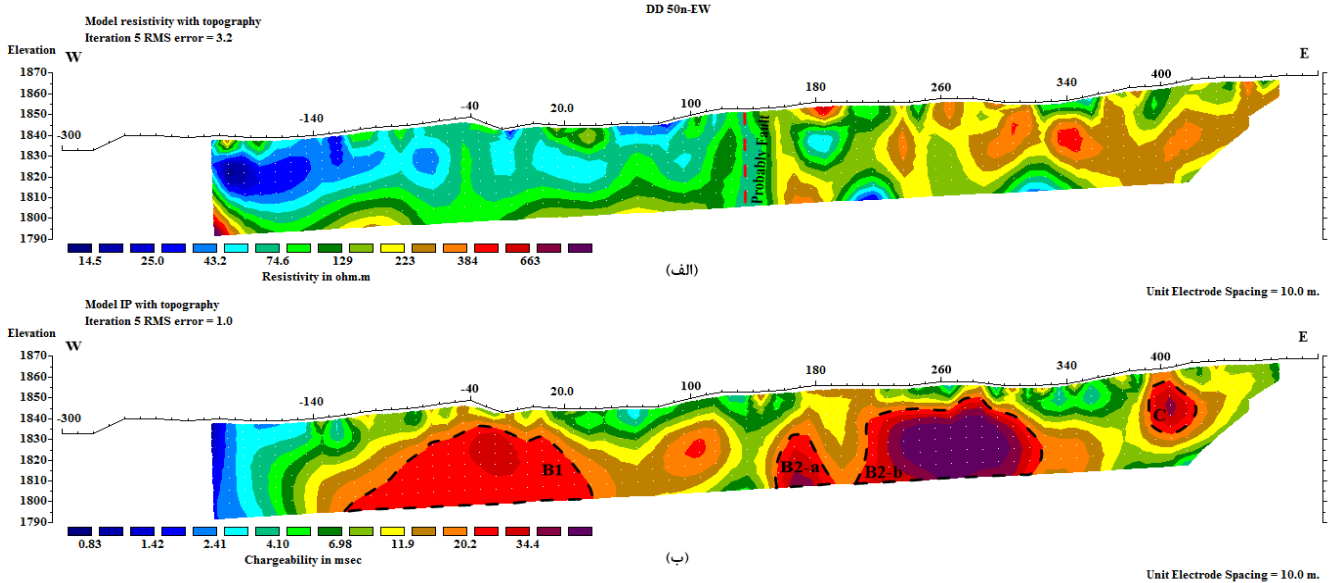
ب) مدل‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ZondRes2D

در شکل (۱۰-ب) زون‌های مشخص شده‌ی A و B به عنوان مناطق احتمالی کانی‌زایی در نظر گرفته شده‌اند؛ که این زون‌ها از لحاظ



شکل ۱۰: نتایج مدل‌سازی داده‌های الف) مقاومت‌ویژه ب) بارپذیری با استفاده از نرم‌افزار ZondRes2D در امتداد پروفیل DD 00-NS.





شکل ۱: نتایج مدل سازی داده های الف) مقاومت ویژه ب) بارپذیری با استفاده از نرم افزار RES2DINV در امتداد پروفیل DD 50n-EW

### ب) مدل سازی داده ها با استفاده از نرم افزار ZondRes2D

در شکل (۱۲-ب) زون های مشخص شده B1, B2-a, B2-b و C به عنوان مناطق احتمالی کانی زایی در نظر گرفته شده اند؛ که این زون ها از لحاظ گستردگی، عمق و مکان جای گیری انطباق نسبتاً مناسبی با مدل شکل (۱۱-ب) نشان می دهند.

بیشترین مقدار بارپذیری برای زون B1 مربوط به عمق حدود ۲۲ متری در زیر ایستگاه ۲۵ غربی می باشد؛ که به ۲۰ میلی ثانیه می رسد. البته مقادیر بالاتری از بارپذیری در اعماق بیشتر برای بی هنجاری B1 در این مدل مشاهده می شود، که در مدل نرم افزار RES2DINV مشاهده نمی شود و می تواند ناشی از خطای مدل سازی در نرم افزار ZondRes2D باشد. بی هنجاری B1 در مدل مقاومت ویژه (شکل ۱۲-الف) منطبق بر مناطق با مقاومت ویژه متوسط رو به پایین بوده که در کمترین مقدار به حدود ۵۰ اهم متر هم می رسد.

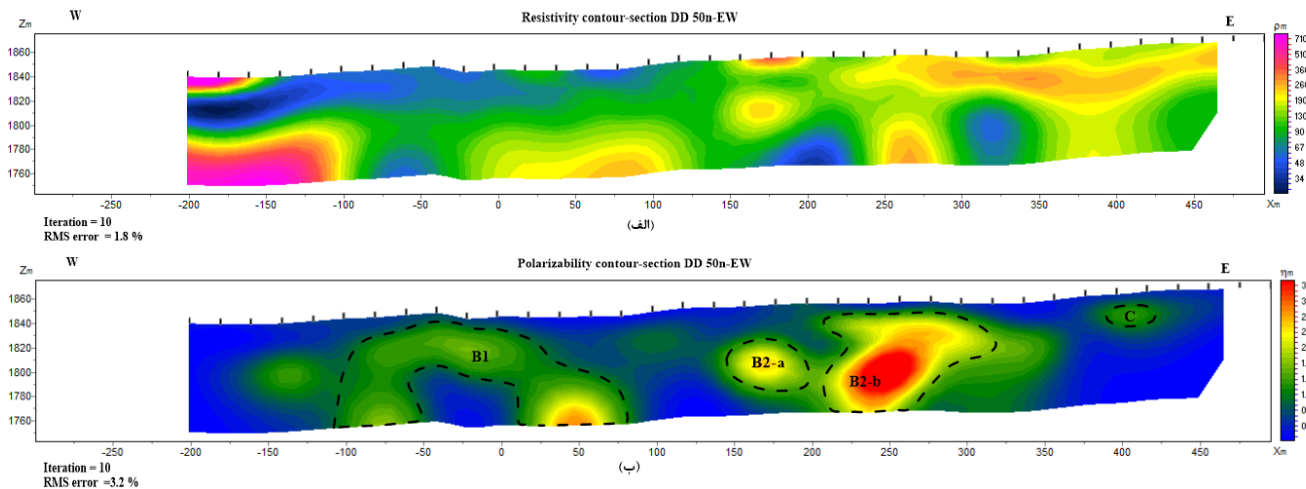
بیشترین مقدار بارپذیری برای زون B2-a در زیر ایستگاه ۱۷۰ شرقی و عمق حدود ۵۵ متری به ۲۳ میلی ثانیه و برای زون B2-b در اعماق بیش از ۶۰ متری در زیر ایستگاه ۲۶۰ شرقی، به حدود ۳۴ میلی-ثانیه می رسد. همچنین بیشترین مقدار بارپذیری برای زون C مربوط به عمق حدود ۲۰ متری در زیر ایستگاه ۴۰۵ شرقی می باشد؛ که به ۱۸ میلی ثانیه می رسد. در مدل مقاومت ویژه (شکل ۱۲-الف) هر سه زون B2-a, B2-b و C منطبق بر مناطق با مقاومت ویژه متوسط بوده که در بیشترین مقدار به حدود ۳۰۰ اهم متر می رسد. مدل مقاومت ویژه برای این پروفیل انطباق خوبی با مدل شکل (۱۱-الف) دارد.

گسترش جانبی بی هنجاری B2-b از ایستگاه ۲۱۰ تا ۳۲۰ شرقی است؛ که از عمق حدود ۸ متر در زیر ایستگاه ۲۸۰ شرقی تا عمق بیش از ۴۶ متر ادامه دارد. بیشترین مقدار بارپذیری برای این زون در عمق حدود ۳۳ متری در زیر ایستگاه ۲۶۰ شرقی به ۶۶ میلی ثانیه می رسد. بی-هنجاری C با گسترش جانبی از ایستگاه ۳۹۰ تا ۴۲۰ شرقی، که از عمق حدود ۶ متر در زیر ایستگاه ۴۰۵ شرقی آغاز می شود و تا عمق حدود ۳۰ متر ادامه دارد. بیشترین مقدار بارپذیری برای این زون مربوط به عمق حدود ۱۷ متری در زیر ایستگاه ۴۰۵ شرقی است؛ که به ۳۸ میلی ثانیه می رسد.

در مدل مقاومت ویژه (شکل ۱۱-الف)، بی هنجاری B1 دارای مقاومت ویژه متوسط رو به پایین می باشد؛ که می تواند ناشی از گسل-خوردگی و خوردشدگی بالای سنگ میزبان بازالتی، تشکیل رگه های کانی سازی فلزی در درز و شکاف های موجود و حضور سولفیدهای توده ای در این قسمت باشد. همچنین سه زون B2-a, B2-b و C منطبق بر مناطقی با مقاومت ویژه متوسط بوده که می تواند متعلق به کانی سازی فلزی در نهشته های اولیوین بازالتی کمتر خوردشده و پوشیده شده توسط رسوبات عهد حاضر باشد.

احتمال می رود که مقادیر بالای بارپذیری در نواحی مرکزی بی-هنجاری B2-b مرتبط با کانه زایی به صورت پیریت پراکنده در این قسمت باشد. با توجه به قرارگیری زون های B1, B2-a و B2-b در نزدیکی گسل (شکل ۱۱-الف) و باز بودن این بی هنجاری ها در جهت افزایش عمق، احتمال گسترش این زون ها در اعماق بیش از ۴۶ متر نیز وجود دارد. قابل ذکر است که زون های بی هنجاری با توجه به دارا بودن شدت بالای بارپذیری و نزدیکی به سطح زمین، به خوبی با برداشت آرایش مستطیلی آشکارسازی شده اند (شکل ۷).

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.



شکل ۱۲: نتایج مدل‌سازی داده‌های الف (مقاومت‌ویژه ب) بارپذیری با استفاده از نرم‌افزار ZondRes2D در امتداد پروفیل DD 50n-EW

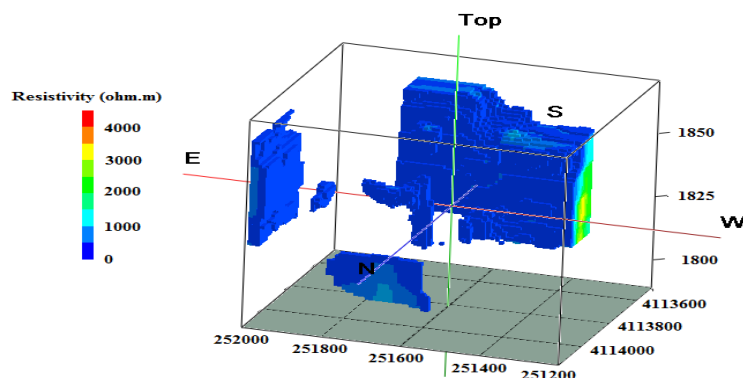
بارپذیری (شکل ۱۴)، زون‌های بی‌هنجار مشاهده شده در پروفیل DD 00-NS (شکل ۹-ب) و نیز زون‌های بی‌هنجار پروفیل DD 50n-EW (شکل ۱۱-ب) به ترتیب در جهت غرب و جنوب ادامه پیدا کرده‌اند. بر این اساس یک بی‌هنجاری با راستای تقریبی شرقی-غربی در جنوب محدوده منطبق بر زون سیلیسی-برشی، و چند بی‌هنجاری با راستای تقریبی شمالی-جنوبی در شمال محدوده و در ارتباط با شکستگی‌های نهشته‌های الیوین‌بازالتی گسترش یافته‌اند؛ که می‌توان آن‌ها را مرتبط با کانی‌سازی فلزی سرب و روی در منطقه دانست (شکل ۱۴).

در مقاوم مقایسه، مقادیر بالاتر بارپذیری و مقادیر نسبتاً کمتر مقاومت‌ویژه برای بی‌هنجاری‌های شمالی نسبت به بی‌هنجاری جنوبی، می‌تواند مؤید کانی‌سازی فلزی با عبار بالاتر، به صورت رگه‌ای و حضور سولفیدهای توده‌ای در این قسمت باشد؛ هرچند که احتمال می‌رود مقادیر بسیار بالای بارپذیری برای برخی از بی‌هنجاری‌های شمالی به علت حضور پیریت پراکنده در عمق باشد؛ که برای اطمینان از این موضوع نیاز به اطلاعات تکمیلی از جمله حفاری است. همچنین احتمال می‌رود که در ارتباط با بی‌هنجاری جنوبی، کانی‌سازی با عیار کمتر و بیشتر با حضور سولفیدهای پراکنده صورت گرفته باشد.

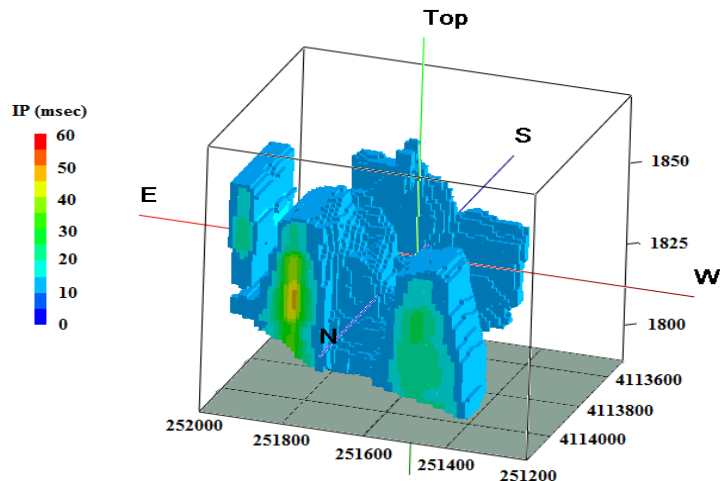
### ۳-۷- نمایش سه‌بعدی نتایج مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی

با توجه به این که معمولاً توزیع مقاومت‌ویژه در زمین به صورت سه‌بعدی می‌باشد، لذا برای دستیابی به یک دید کلی از نواحی بی‌هنجار در منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی و نمایش سه‌بعدی داده‌ها بسیار مفید است. بدین منظور از نرم‌افزار Rockworks برای تلفیق نتایج مدل‌سازی‌های دوبعدی در سه بعد، نمایش کانی‌سازی‌های احتمالی و همچنین تجسم بهتر توزیع فضایی مقادیر بارپذیری و مقاومت‌ویژه الکتریکی استفاده شده است. در این نمایش سه‌بعدی، نتایج وارون‌سازی دوبعدی تمامی پروفیل‌ها در فضای سه‌بعدی درون‌یابی می‌شوند؛ و سپس با تعیین یک حد آستانه مناسب، بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی در این فضا نمایش داده می‌شوند. در این نمایش‌ها، مقادیر مجهول در فواصل بین پروفیل‌ها با روش ریاضی عکس فاصله ناهمسانگرد وزنی (Inverse Distance Weighted Anisotropic Method) درون‌یابی شده‌اند.

شکل‌های (۱۳) و (۱۴) به ترتیب مقادیر مقاومت‌ویژه بیش از ۳۵۰ اهم‌متر و بارپذیری بیش از ۱۰ میلی‌ثانیه را به صورت سه‌بعدی نمایش می‌دهند. بر این اساس نواحی بی‌هنجار بارپذیری، منطبق بر مناطقی با مقاومت‌ویژه نسبتاً متوسط رو به پایین هستند. با توجه به مدل سه‌بعدی



شکل ۱۳: مدل سه‌بعدی مقاومت‌ویژه در محدوده معدنی چومالو برای مقادیر بیش از ۳۵۰ اهم‌متر.



شکل ۱۴: مدل سه‌بعدی بارپذیری در محدوده معدنی چومالو برای مقادیر بیش از ۱۰ میلی ثانیه.

مقادیر متوسط مقاومت‌ویژه برای بی‌هنجاری جنوبی، احتمالاً ناشی از ماهیت زون سیلیسی-برشی و وجود دگرسانی سیلیسی در این قسمت باشد. همچنین مقادیر متوسط رو به پایین مقاومت‌ویژه برای بی‌هنجاری-های شمالی، می‌تواند به‌علت گسل خوردگی و افزایش خوردشدگی در تشکیلات بازالتی باشد. در حالت کلی، مقادیر بالاتر بارپذیری و مقادیر نسبتاً کمتر مقاومت‌ویژه برای بی‌هنجاری‌های شمالی در مقایسه با بی-هنجاری جنوبی، احتمالاً به‌علت کانی‌سازی فلزی با عیار بالاتر و به‌صورت رگه‌ای و حضور سولفیدهای توده‌ای در نهشته‌های بازالتی است؛ و برای زون سیلیسی-برشی، احتمالاً کانی‌سازی با عیار کمتر، و بیشتر با حضور سولفیدهای پراکنده صورت گرفته است. البته برای برخی از بی‌هنجاری-های شمالی مقادیر بسیار بالای بارپذیری می‌تواند به‌علت حضور پیریت پراکنده در عمق باشد.

برداشت‌های ژئوفیزیکی IP و مقاومت‌ویژه، به‌خوبی گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی منطقه را نمایان کرده‌اند؛ که چندین گسل پنهان و مرتبط با رخداد کانی‌سازی نیز طی این برداشت‌ها شناسایی شد. علاوه بر این، نتایج مطالعات ژئوفیزیکی نشان از ادامه روند سیستم کانی‌سازی دوم (دسته رگه‌های شمالی) به سمت شرق و شمال شرق محدود دارد؛ که شواهد زمین‌شناسی نیز این نتیجه را تأیید کرده است.

با توجه به نوع کانی‌سازی در منطقه و ارتباط آن با ساختارهای گسلی، تهیه نقشه تکتونیکی منطقه به‌منظور شناسایی دقیق گسل‌ها و شکستگی‌ها پیشنهاد می‌گردد. همچنین نظر به اینکه اکثر نواحی بی-هنجار در جهت افزایش عمق (بیش از ۴۶ متر) همچنان ادامه دارند؛ لذا برداشت‌های داده‌های ژئوفیزیکی IP و مقاومت‌ویژه برای اعماق بیشتر، تصویر دقیق‌تری از گسترش عمقی این بی‌هنجاری در اختیار خواهد گذاشت. در پایان، بر اساس تمامی شواهد حاصل از مطالعات صحرایی و انطباق نتایج ژئوفیزیکی با ترکیب سنگی و دگرسانی‌های منطقه، و به-منظور بررسی پهنه‌های مستعد کانی‌سازی و اطمینان از صحت نتایج، نقاط حفاری بهینه منطبق بر پهنه‌های دگرسانی سیلیسی و سیلیسی-

## ۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر پایه مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌شناسی و ساختاری و مطالعات میکروسکوپی، کانه‌زایی سرب و روی در محدوده چومالو در سنگ میزبان آتشفشانی البوین بازالت و بخشی از توده نفوذی مونزونیتی، در ارتباط با نفوذ توده مونزونیتی و طی فرآیندهای گرمایی رخ داده است. حضور بافت‌های شانه‌ای در کوارتز، پرکننده فضای خالی در کلسیت و فلوریت، و برش‌های سیلیسی نشان دهنده حضور محلول‌های گرمایی است؛ که ضمن چرخش در زون‌های گسلی و شکستگی‌ها، باعث ایجاد دو سیستم کانی‌سازی در منطقه و تشکیل دگرسانی‌های گرمایی از جمله پروپیلیتیک، پروپیلیتیک-کربناته، سیلیسی و سیلیسی-آرژلیک شده‌اند. این کانی‌سازی‌ها که دارای کنترل گسلی می‌باشند؛ به‌صورت رگه و رگچه‌های کوارتز و کوارتز-کلسیت، توده‌ای و برش گرمایی با سیمان کوارتز تشکیل شده‌اند. این نوع برش، حاصل چیرگی فشار بخار سیال گرمایی (فشار هیدروستاتیک) بر فشار لیتوستاتیک است؛ که با شکستن و خرد شدن سنگ‌های مسیر مهاجرت سیال‌های گرمایی در ژرفای کم رخ می‌دهد (Browne, 1978). کانی‌سازی با کوارتز و پیریت آغاز شده است؛ که با مقادیر متفاوتی از گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و فلوریت همراهی می‌شوند. خصوصیات کانی‌سازی چومالو با توجه به ساختار رگه‌ای آن، بافت‌های تشکیل دهنده کانی‌سازی، دگرسانی‌های موجود و نوع ماده معدنی، از نوع کانسارهای سرب و روی هیدروترمال می‌باشد.

بر مبنای مطالعات ژئوفیزیکی و تفسیر نتایج به‌کمک اطلاعات زمین‌شناسی، بی‌هنجاری‌هایی منطبق بر مناطق با مقادیر بارپذیری بالا و مقاومت‌ویژه متوسط رو به پایین، و عمدتاً مرتبط با ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها، به‌عنوان کانی‌سازی‌های احتمالی سرب و روی معرفی گردیدند. بر این اساس یک بی‌هنجاری در جنوب محدود و با راستای تقریبی شرقی-غربی و چند بی‌هنجاری در شمال محدود و با راستای تقریبی شمالی-جنوبی شناسایی شدند. بیشترین مقادیر مقاومت‌ویژه در محدوده مورد مطالعه، مرتبط با توده نفوذی کوارتز مونزونیتی است؛ و



نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹۸.

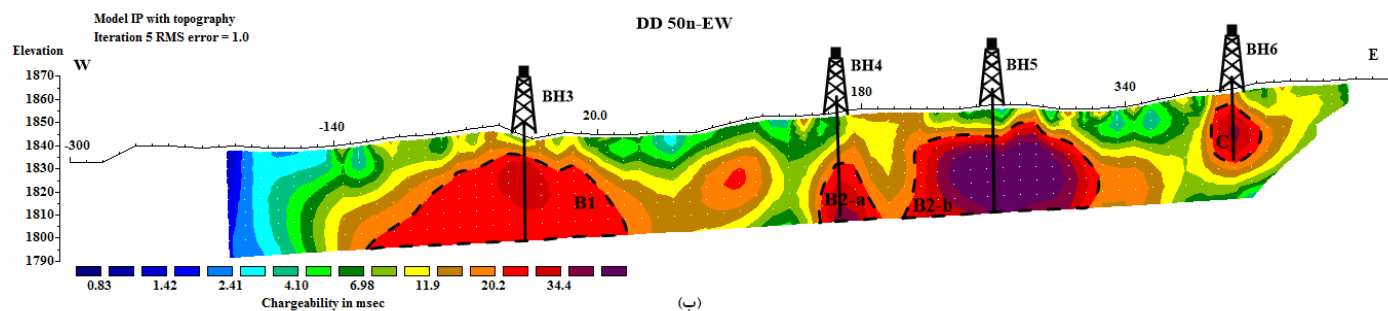
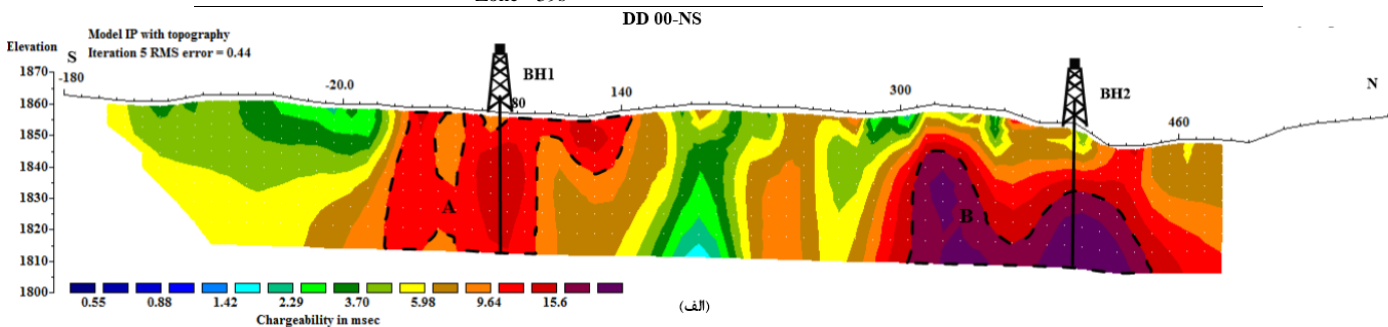
ژئوفیزیکی، موجب کاهش عدم قطعیت در پیشنهاد نقاط بهینه حفاری، و همچنین افزایش احتمال کشف مناطق امیدبخش کانی‌سازی در منطقه می‌شود. در پایان به منظور اعتبارسنجی بهتر مطالعات ژئوفیزیکی، لازم است تمامی نتایج با اطلاعات حاصل از گمانه‌های پیشنهادی (جدول ۱) نیز تطبیق داده شوند.

آزلیک به دلیل پتانسیل بالای کانی‌سازی در این محدوده پیشنهاد می‌شوند (جدول ۱) (شکل ۱۵- الف و ب).

در نهایت بر اساس مطالعه‌ی انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نوع کانی‌سازی چندفازی و ارتباط آن با ساختارهای گسلی و شکستگی در محدوده، انطباق مطالعات ژئوفیزیکی با اطلاعات زمین‌شناسی و کمک گرفتن از این اطلاعات در تفسیر نتایج مطالعات

جدول ۱: مختصات نقاط حفاری پیشنهادی برای گمانه اکتشافی و دیگر مشخصات حفاری‌ها

پروفیل برداشت	گمانه پیشنهادی	شیب گمانه (درجه)	عمق حفاری (m)	طول و عرض جغرافیایی (UTM)	فاصله تقریبی محل حفاری از مبدأ پروفیل
DD 00-NS	BH1	۹۰	۴۶	X= 251654 Y= 4113723 Zone= 39s	+۷۰
DD 00-NS	BH2	۹۰	۴۶	X= 251651 Y= 4114052 Zone= 39s	+۴۰۰
DD 50n-EW	BH3	۹۰	۴۶	X= 251485 Y= 4114022 Zone= 39s	-۲۵
DD 50n-EW	BH4	۹۰	۴۶	X= 251675 Y= 4114022 Zone= 39s	+۱۶۵
DD 50n-EW	BH5	۹۰	۴۶	X= 251768 Y= 4114024 Zone= 39s	+۲۶۰
DD 50n-EW	BH6	۹۰	۳۰	X= 251916 Y= 4114026 Zone= 39s	+۴۰۵



شکل ۱۵: مقاطع حاصل از مدل‌سازی وارون داده‌های IP برای پروفیل الف) DD 00-NS ب) DD 50n-EW به همراه گمانه‌های پیشنهادی بر روی هر پروفیل.

برداشت‌های ژئوفیزیکی را فراهم نموده‌اند؛ کمال امتنان را دارند.

۱۰- منابع

آقازاده، م. و براتی، ب.، ۱۳۹۵، گزارش نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی

۹- سپاس‌گزاری

نگارندگان از آقای مهندس حسن ریاحی مدیر عامل محترم شرکت زمین‌شناسی مهندسی و علوم زمین امید که امکانات استفاده از تجهیزات و حضور در

- ۱:۵۰۰۰ محدودۀ معدنی جومالو.
- طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۴۷ص.
- Alavi. M., 1991, Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000, Geological Survey of Iran.
- Browne, P. R. L., 1978, Hydrothermal alteration in active geothermal field, Ann. Rev. Earth planet. Sci. v. 6, p. 229- 250.
- Goldie M., 2007, A comparison between conventional and distributed acquisition induced polarization surveys for gold exploration in Nevada, The Leading Edge, 2, 26, pp. 180.
- Guo. W., Dentith. M., Zhao. Y., 2000, Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc Orefield Gansu Province, China, Exploration Geophysics, Vol: 31, No: 2, p: 243-247.
- Mikhail, Z. S., 1994, "The geoelectrical methods in geophysical exploration", Elsevier, 9, pp873.
- Reynolds J. M., 1997, "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics", pp. 418-459.
- Rutley, A., Oldenburg, D.W. and Shekhtman, R., 2001, 2-D and 3-D IP/resistivity inversion for the interpretation of Isa-style targets, Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics, 32(4): 156-159.
- Stöcklin, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran; a review, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, p. 52.
- Telford, W. Geldart L. & Sheriff R., 1990, "An Introduction to Applied Geophysics", Cambridge University Press. New York, pp 283-292 & 522-577.
- Whitney. D. L., Evans. B. W., 2010, "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist, V. 95, p. 185-187.
- Willocks. A. j., Moore. D. H., 1999, Geology and geophysical exploration of base metals in Victoria, geology survey of Victoria Report 119, Australian Society of Exploration Geophysics special. Publication, No: 11, p: 1-22.
- بازرگانی گیلانی، ک. و پرچکانی، م.، ۱۳۸۹، ویژگی‌های فلززایی (متالوژنیکی) کانسار سرب و روی (مس) باریک آب با سنگ میزبان توف اسیدی، رشته‌کوه‌های طارم، جنوب خاور زنجان، شمال باختر ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۸، صص. ۹۷ تا ۱۰۴.
- حاج علیلو، ب.، ۱۳۷۸، متالوژنی ترشیری در البرز باختری- آذربایجان (میان- سیه رود) با نگرشی خاص بر منطقه هشتجین، رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی.
- فریدی، م.، ۱۳۷۹، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه هشتجین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶، زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آریز زمین، ۵۱۵ص.
- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ هشتجین، ۱۳۸۲، سازمان صنایع و معادن استان اردبیل.
- مهرابی، ب.، چقانه، ن.، طالع فاضل، ا.، ۱۳۹۳، بررسی کانی‌سازی اپی ترمال سولفیداسیون متوسط آنومالی ۴ کانسار گلوچه (شمال زنجان)، بر اساس خصوصیات کانه‌نگاری، دگرسانی و ژئوشیمی سیال کانه‌ساز، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۶، شماره ۱، صص. ۲۲-۱.
- مهرابی، ب.، طالع فاضل، ا.، قاسمی سیانی، م. و اقبالی، م.، ۱۳۸۹، بررسی نحوه کانی‌سازی و تشکیل کانسار رگه ای مس- طلا گلوچه (شمال زنجان) بر اساس شواهد کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و پنجم، شماره ۴ (۱۹۹-۱۸۵).
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- هادی‌زاده، ح.، ۱۳۸۳، اکتشافات ژئوشیمیایی از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی در محدوده برگه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برندق (از ورقه



## Geological and geophysical studies for exploration of lead and zinc in Chumalu area, northwest of Zanjan

Arash Rabiei-Sadeghabadi<sup>1</sup>; Alireza Arab-Amiri<sup>2\*</sup>; Abolghasem Kamkar-Rouhani<sup>2</sup>; Susan Ebrahimi<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2. Associate Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
3. Assistant Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Received: 7 July 2017; Accepted: 10 January 2018

Corresponding author: alirezaarabamiri@yahoo.com

### Keywords

Hydrothermal alteration  
Vein mineralization  
Induced polarization (IP)  
Electrical resistivity  
Dipole- dipole array  
Zanjan

### Extended Abstract

#### Summary

The host rock in Chumalu area includes the Eocene volcanic rocks and the Oligocene monzonite intrusive mass that have undergone propylitic-carbonate, silica, and silica-argillic hydrothermal alterations. The hydrothermal activities resulting from the injection of intrusive mass have produced two types of mineralization in the region: the first mineralization type is a silica-shear zone having N70E trend, and the second type is in the form of a bunch of veins with an approximate trend of northwest to southeast, located in the north of the first mineralization type. The mineralization is of the form of vein, veinlet,

massive, scattered and replaced, and follows the trend of the faults. The ore contains lead, zinc and fluorine, along with copper, gold and silver, which are formed of chalcopyrite, pyrite, galena, sphalerite, cerussite, calcite and fluorite minerals. Based on the results of the geological studies conducted in this study, the mineralization characteristics of Chumalu area are of the type of lead and zinc hydrothermal deposits. Induced polarization (IP) and resistivity data acquisition were first designed and carried out using rectangular array to determine the anomalous zones, and then, using dipole- dipole array to determine the lateral and depth limits of these anomalies. Then, modeling of IP and resistivity data was done using smooth inversion method. For better representation of the results, all two-dimensional (2D) sections were combined and as a result, a three-dimensional (3D) model was presented. Consequently, an anomaly with an approximate east-west orientation in the south of the area has been extended on the silica-shear zone, and some anomalies with an approximate north-south orientation in the north of the area, in relation to the fractures of the basaltic deposits, which can be linked with metallic mineralization in the area. Anomalous areas with high chargeability and medium to low resistivity values have been determined. High chargeability values for some anomalies in the north of the area are probably due to the presence of scattered pyrites in depth. Finally, 6 points were proposed for drilling.

### Introduction

Application of IP and resistivity geophysical methods and their integration with geological studies is of great importance in the exploration of sulfide metal deposits. The Chumalu area is located 70 km northwest of Zanjan in the Taron-Hashtjin metallogenic zone, which has possible potential for metal reserves and mineral resources. The purpose of this research is to collect and process raw IP and resistivity data using the smooth inverse modeling, interpretation of the results based on geological studies and finally determining the anomalous limits, depth and thickness of probable mineral masses in the area and at the end, suitable locations for drilling are suggested.

### Methodology and Approaches

This research is based on field and laboratory studies. In order to conduct geological studies, alteration, mineralization and determination of the genesis of the mineralization, 8 thin sections and 9 polished sections of surface and subsurface samples from the mineralization ore and host rock were prepared and studied. Moreover, field operations of IP and resistivity data acquisition were first made in the form of 4 networks using rectangular array in order to determine the anomalous limits with a current line of 800 meters long, electrode spacing of 20 meters, and the distance between the lines 50 meters. Then, 6 lines using dipole-dipole array were surveyed in order to explore the lateral and depth limits of these anomalies with electrode spacing of 20 meters. Then, modeling of IP and resistivity data was made by 2D smooth inversion method using RES2DINV and ZondRes2D software packages. Furthermore, all 2D sections were combined



using RockWorks software and a 3D model was presented. Ultimately, possible mineralization limits were identified and suitable sites for drilling were proposed.

**Results and Conclusions**

Based on the geological studies, lead and zinc mineralization in olivine basalt volcanic host rock and part of the monzonitic intrusive mass in Chumalu area occurs during hydrothermal processes and in the form of veins along fault structures. Chumalu mineralization is of hydrothermal lead and zinc type. Based on geophysical and geological studies, anomalies have been introduced that have high chargeability and medium to low resistivity, as probable mineralization. Finally, 6 locations were proposed for drilling.

---