

تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و مطالعات ژئوفیزیکی IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی منطقه رودگز، جنوب‌شرق گناباد، استان خراسان رضوی

حسین حاجی‌میرزاجان*، محمدحسن کریم‌پور، آزاده ملک‌زاده شفاوردی، محمدرضا حیدریان شهری، سیدجواد هامونی

گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

دریافت مقاله: 1391/7/2، پذیرش: 1391/10/24

چکیده

منطقه اکتشافی رودگز، یک سیستم پلی‌متال مس، قلع، سرب، روی و طلائی رگه‌ای است که در جنوب‌شرق گناباد و شمال‌شرق بلوک لوت قرار دارد. توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ترشیری با ترکیب مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری نوع اکسیدان در سنگهای دگرگونی به سن ژوراسیک میانی نفوذ نموده‌اند. اغلب توده‌های نفوذی تحت تأثیر آلتراسیون‌های کربناتی، آرژیلیک، سریستی و سیلیسی-تورمالینی قرار گرفته‌اند. کانی‌سازی در منطقه، کنترل گسلی داشته و به‌صورت رگه‌ای با روند عمدتاً NW-SE و شیب 85 تا 90 درجه وجود دارد. کانیهای اولیه شامل کوارتز، تورمالین، کالکوپریت، پیریت و کانیهای ثانویه مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی، ناهنجاریهای بالای (تا 10000 ppm) از عناصر مس، قلع، سرب و آرسنیک، روی (تا 5527 ppm) و طلا (تا 325 ppb) را نشان می‌دهد. زون گوسان وسیع در منطقه وجود دارد که در ارتباط با اکسید شدن کانیهای سولفیدی است. برداشتهای IP/RS به‌منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی سولفیدی در عمق بر روی ناهنجاریهای ژئوشیمی انجام شد. به‌طور کلی، در محل زون‌های گوسان، رگه‌ها، کنده‌کارهای قدیمی و در محل ناهنجاریهای ژئوشیمی، شارژابیلیته افزایش می‌یابد. مقاومت ویژه بر روی واحد کوارتزیت و همچنین در مکانهایی که رگه کانی‌سازی با کوارتز همراه است، ناهنجاری بالا تا 425 اهم‌متر دارد. به‌دلیل ناهنجاری بالای ژئوشیمیایی عنصر قلع و ارتباط آن با توده‌های نفوذی احیایی، برداشتهای مغناطیس‌سنجی زمینی به‌منظور شناسایی موقعیت توده‌های سری مگنتیت (اکسیدان) و ایلمنیت (احیایی) در عمق انجام شد. تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در نقشه TMI به میزان 335/1 گاما است. بالاترین ناهنجاری مغناطیسی در نقشه RTP در شمال منطقه برداشت قرار دارد که مرتبط با توده‌های سری مگنتیت (هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری) بوده و در عمق به‌سمت جنوب گسترش دارد. کمترین ناهنجاری مغناطیسی در مرکز محدوده (شرق روستای رودگز) قرار دارد که با محل بیشترین مقادیر ناهنجاری شارژابیلیته و ژئوشیمی منطبق است. براساس ناهنجاری ژئوشیمی و شارژابیلیته، دو گمانه در محل حفاری و 24 نمونه ژئوشیمیایی از مغزه‌ها برداشت گردید که بیشترین ناهنجاریها همراه با آلتراسیون سیلیسی-کلریتی و مناطق با گسترش اکسیدهای آهن ثانویه است.

واژه‌های کلیدی: رودگز، بلوک لوت، کانی‌سازی رگه‌ای، شارژابیلیته، مقاومت ویژه، مغناطیس‌سنجی زمینی، چاه‌نگاری.

مقدمه

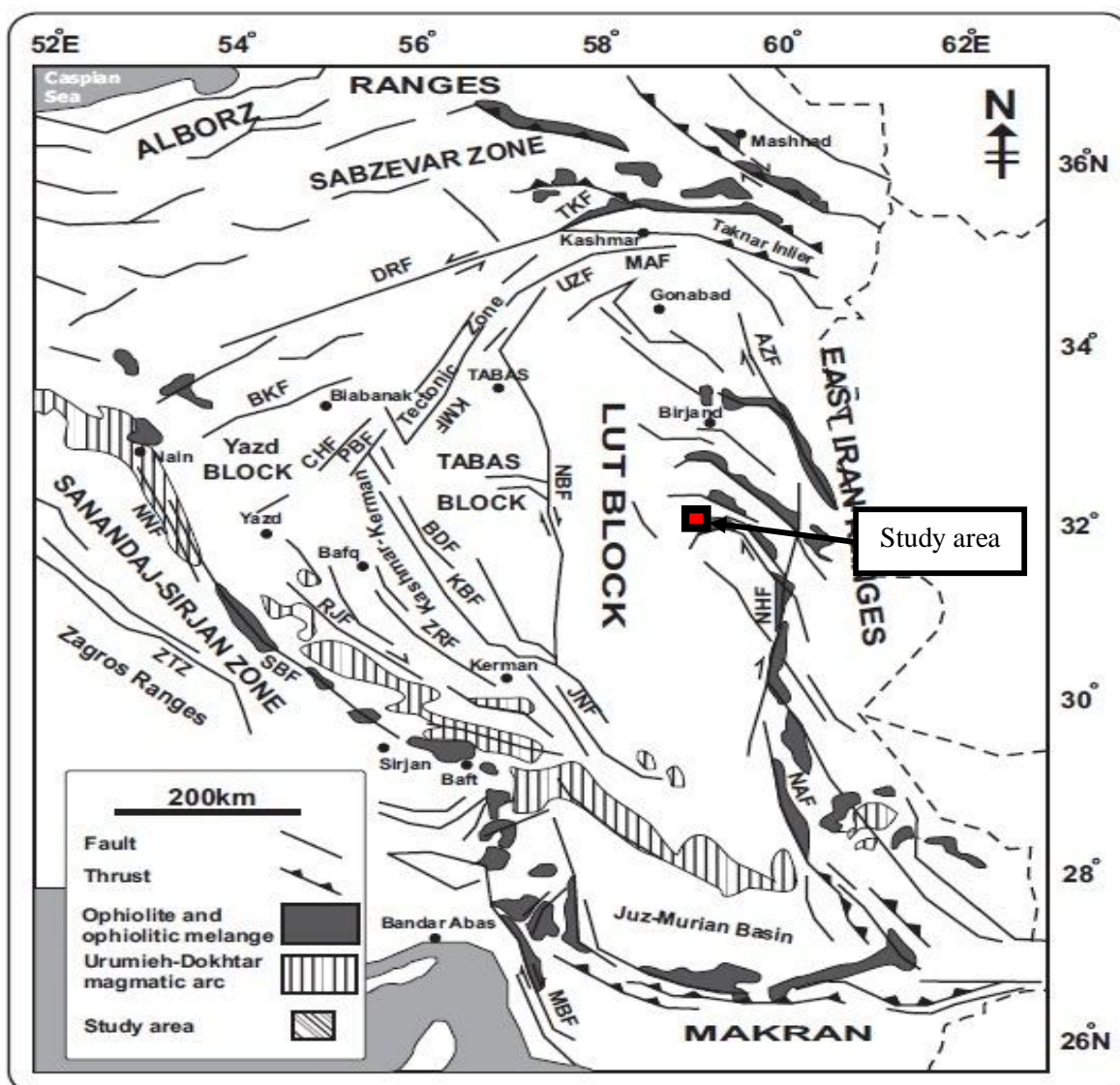
نظر ساختاری در شمال‌شرق بلوک لوت قرار دارد (شکل 1). بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود رگه‌های کانی‌سازی متعدد، زون گوسان وسیع و همچنین ناهنجاری ژئوشیمیایی عناصر قلع، مس و سرب (همگی تا 1 درصد)، روی (تا 0/55 درصد) و طلا (تا 325 ppb) به عنوان مهمترین بخش منطقه تشخیص داده شد [7]. بالاترین ناهنجاریهای

منطقه اکتشافی رودگز یک سیستم پلی‌متال (قلع، مس، سرب، روی و طلائی) رگه‌ای در شرق ایران و 25 کیلومتری جنوب‌شرق گناباد است که در محدوده طولهای جغرافیایی 58°51'33" تا 58°54'31" شرقی و عرضهای جغرافیایی 34°10'11" تا 34°11'64" شمالی قرار دارد. این کانسار از

کانسار طلای توسکر در تانزانیا [8]، المپیک‌دم در استرالیا [9]، ماسیوسولفید بنامبرا در استرالیا [10]، سرب و روی زی‌چنگ در چین [11]، مس رسوبی آدلاید جنوب استرالیا [12]، منطقه کالکارو در شمال غرب معدن بروکن هیل و جنوب استرالیا [13] و مس هیل [14] استفاده شده است. به‌منظور تعیین موقعیت توده‌های اکسیدان (غیر مرتبط با کانی‌سازی) و احیایی (مرتبط با کانی‌سازی) و تفکیک آنها از مغناطیس‌سنجی در منطقه استفاده شد.

ژئوشیمیایی به‌طور ویژه در محل‌کنده‌کاریها و فعالیت‌های معدن‌کاری قدیمی قابل مشاهده است.

در این مقاله از دو روش ژئوفیزیکی IP/RS و مغناطیس‌سنجی برای تعیین محل و گسترش عمقی رگه‌های سولفیدی و توده‌های احیایی (مرتبط با کانی‌سازی قلع) بر روی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی به‌منظور تعیین محل دقیق نقاط حفاری استفاده شد. روش IP/RS در تعیین محل، گسترش و عمق کانی‌سازی سولفیدی در کانسارهای مختلفی، مانند



شکل 1. نقشه تقسیمات ساختاری مرکز و شرق ایران و موقعیت منطقه مطالعاتی (برگرفته از: [1]، [2]، [3]، [4]، [5] با تغییرات [6])

1- حضور زون گوسان وسیع در محل کانی‌سازیهای رگه‌ای، نشان‌دهنده کانی‌سازی سولفیدی در منطقه است که می‌تواند شارژآبلیته بالایی در برداشت IP ایجاد کند.

روشهای ژئوفیزیکی IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی مفیدترین روشها برای اکتشاف بخشهای پنهان کانی‌سازی در این منطقه است، به دلیل:

زمین‌شناسی

بلوک لوت که منطقه اکتشافی رودگز در شمال شرق آن قرار دارد، بخشی از خردقاره ایران مرکزی است [15]. محدوده اکتشافی رودگز از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در مرکز نقشه 1:100000 گناباد قرار دارد [16]. براساس روابط صحرایی و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته واحدهای لیتولوژی موجود در منطقه را می‌توان به شرح زیر تقسیم کرد: 1- واحدهای دگرگونی منطقه شامل کوارتزیت، اسلیت-کوارتزیت و اسلیت-شیست ژوراسیک میانی 2- توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با بافت پورفیری و سن ترشیاری (شکل 2).

واحدهای دگرگونی بخش اعظم منطقه را پوشانده‌اند و در اغلب نقاط میزبان رگه‌های کانی‌سازی هستند. شیل و ماسه‌سنگهای ژوراسیک در منطقه حداقل در دو مقطع زمانی تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند. دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخساره شیست‌سبز موجب تشکیل اسلیت و کوارتزیت شده است. در مرحله بعد اسلیت و کوارتزیت تحت تأثیر توده‌های نفوذی و بر اساس موقعیت نسبت به توده به انواع شیست و اسلیت لکه‌ای دگرگون شده‌اند [17].

توده‌های نفوذی به سن ترشیاری در واحدهای دگرگونی که میزبان رگه‌های کانی‌سازی منطقه هستند، نفوذ کرده‌اند. ترکیب این توده‌های نیمه‌عمیق از مونزودیوریت پورفیری تا مونزونیت پورفیری متغیر است و عمدتاً در مرکز، شمال‌غرب، شمال‌شرق، شرق و شمال منطقه دیده می‌شوند. توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق منطقه شامل، هورنبلندمونزونیت پورفیری، هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری، هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و هورنبلند مونزودیوریت پورفیری می‌باشند (شکل 2).

بافت غالب این توده‌ها پورفیری با زمینه دانه‌ریز است. حدود 25 تا 30 درصد فنوکریست شامل پلاژیوکلاز (نوع آندزین) و فلدسپات پتاسیم و بعضاً کوارتز، هورنبلند و بیوتیت است. کانیهای ثانویه نیز شامل کربنات، کانیهای رسی، سرسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن ثانویه است. به علت تمرکز کانی‌سازی سطحی، کنده‌کاربهای قدیمی و ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در مرکز منطقه، این محدوده جهت عملیات IP/RS و مغناطیس‌سنجی زمینی انتخاب شد (شکل 3).

2- واحد کوارتزیت و اسلیت-شیست‌ها در برداشتهای RS ناهنجاری بالایی نشان می‌دهند که می‌توانند جهت تفکیک موقعیت توده‌های نفوذی و سنگهای دگرگونی به‌کار روند. همچنین باطله مهم در رگه‌های کانی‌سازی کوارتز است که باعث ناهنجاری RS و تعیین محل رگه‌ها می‌شود.

3- رگه‌های پلی‌متال قلع‌دار همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی به‌لحاظ منشأ مرتبط با توده‌های احیایی عمقی می‌باشند. به همین دلیل از برداشت مغناطیس‌زمینی برای تعیین موقعیت توده‌های نفوذی اکسیدان و تفکیک موقعیت آنها از توده‌های احیایی مرتبط با کانی‌سازی در عمق استفاده شد.

روش مطالعه

1- مطالعه 85 مقطع‌نازک و 20 بلوک‌صیقلی به‌منظور مطالعات پتروگرافی، آلتراسیون و کانی‌سازی سطحی و زیرسطحی

2- تهیه نقشه زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی با مقیاس 1:1000 در منطقه ای به وسعت 4 کیلومتر مربع

3- تهیه نمودار چاه‌نگاری زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی دو چاه با مقیاس 1:100 با عمق مجموع 104 متر

4- عملیات اندازه‌گیری IP/RS به روش Dipole-Dipole در 10 پروفیل

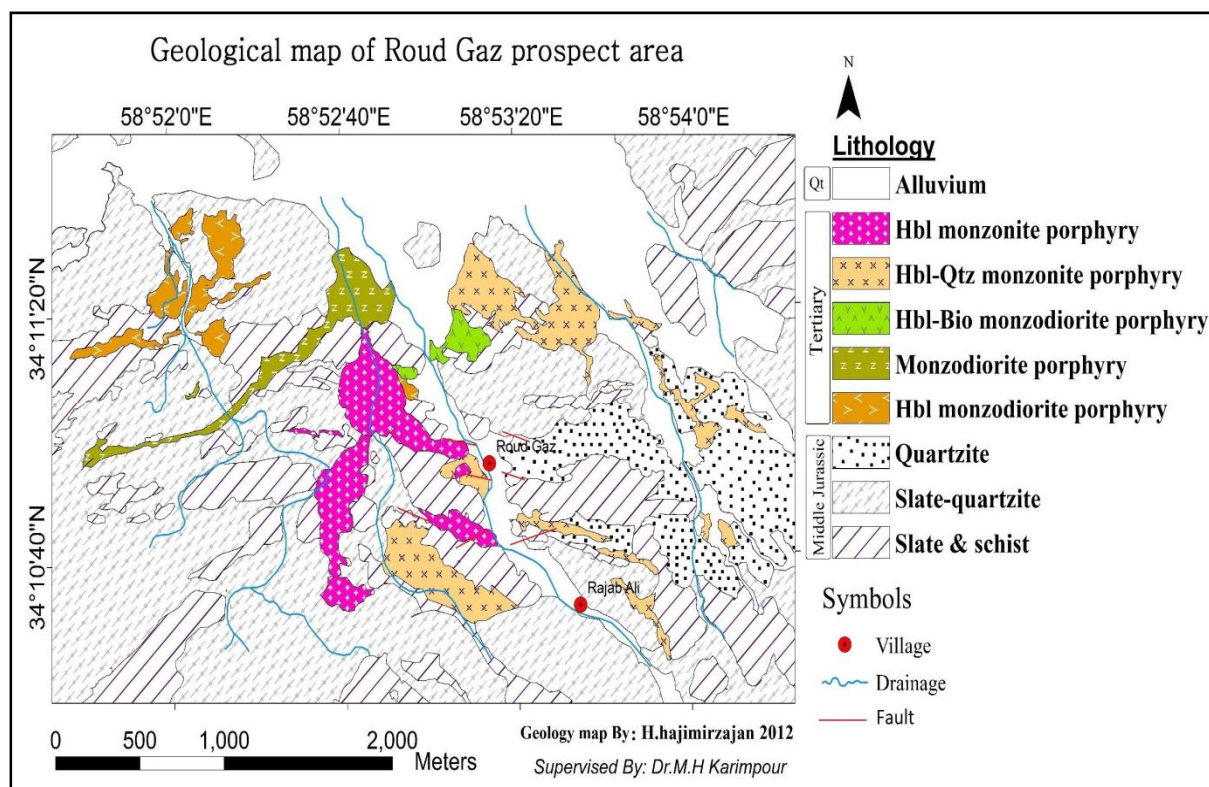
5- اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی در 800 نقطه و در 11 پروفیل

6- اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی بیش از 100 نمونه از واحدهای سنگی منطقه

7- تفسیر شبه‌مقاطع IP/RS و مغناطیس‌سنجی با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی

8- تهیه نقشه‌های RTP، TMI، فراسو، گرادیان عمودی، سیگنال تحلیلی به کمک نرم‌افزار ERmaper 7.0

9- تجزیه 24 نمونه خرده‌سنگی برای عناصر Au, Cu, Pb, Zn, Sn, As ... به روش ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا به‌منظور اکتشافات ژئوشیمیایی. روش آماده‌سازی ذوب قلیایی با کد 4B بوده است. در این روش 0/1 گرم از نمونه در لیتیوم متابورات/اترابورات ذوب‌شده و در اسیدسیتریک هضم می‌شود.



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی منطقه رودگز به همراه موقعیت محدوده برداشت عملیات ژئوفیزیکی

حد رخساره شیست سبز است و رگه‌های کوارتز همراه با آنها در طی این دگرگونی ناحیه‌ای شکل گرفته‌اند. نسل دوم، رگه‌های کوارتز همراه با اکسید آهن است که همراه با کانی‌سازی بوده و با توجه به عدم رخنمون سطحی منشأ آن می‌توان نتیجه گرفت که توسط محلولهای ماگمایی از عمق در سنگهای منطقه نفوذ کرده است.

کانی‌سازی در منطقه رودگز از لحاظ زمان تشکیل به دو مرحله هیپوژن (اولیه) شامل کوارتز، تورمالین، کالکوپیریت و پیریت و زون اکسیدان (ثانویه) شامل هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت قابل تقسیم است (شکل 4). بین 70 تا 75 درصد کانیهای اولیه در سطح اکسیده شده و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند و زون گوسان وسیعی را به وجود آورده‌اند. پیریت به صورت ذرات شکل دار و با اندازه بین 0/2 تا 0/5 میلی‌متر و با مقدار کمتر از 2 درصد دیده می‌شود. کالکوپیریت‌ها نیز اندازه آنها بین 0/2 تا 1 میلی‌متر بوده و با مقدار بین 1-2 درصد مشاهده می‌گردد. کوارتز و تورمالین مهمترین باطله همراه با سولفیدها هستند، به طوری که $>85\%$ رگه‌ها کوارتز و حدود 5-7 درصد تورمالین است. کانی‌سازی ثانویه نیز شامل مالاکیت، آزوریت، گوتیت و

کانی‌سازی - ژئوشیمی

کانی‌سازی در منطقه کنترل گسلی دارد و اغلب به صورت رگه‌ای در زون‌های گسلی موجود در واحدهای دگرگون شده ژوراسیک میانی دیده می‌شود. روند کلی این رگه‌ها عمدتاً NW-SE و دارای شیب 85 تا 90 می‌باشند. ضخامت رگه‌های کانی‌سازی از 30 سانتی‌متر تا بعضاً 2 متر متغیر است که در محل تونل‌های قدیمی به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. کانیهای سولفیدی در سطح وسیعی از منطقه اکسیده شده و سبب تشکیل زون گوسان شده است. کارهای قدیمی و آثار شدادی متعددی نیز در مرکز منطقه، در محل زون‌های گوسان و در محل رگه‌ها همراه با سرپاره مشاهده می‌شود (شکل 3). این رگه‌ها در سنگهای دگرگونی منطقه مانند اسلیت و کوارتزیت‌ها و به میزان کمتر در توده‌های نیمه‌عمیق دیده می‌شوند.

براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، رگه‌های کوارتز موجود در منطقه رودگز را می‌توان به دو نسل تفکیک کرد: نسل اول رگه‌های کوارتز شیری رنگی است که فاقد کانی‌سازی بوده و همراه با اسلیت‌ها دیده می‌شوند. این اسلیت‌ها در منطقه نشان‌دهنده رخداد دگرگونی ناحیه‌ای در

رودگز از نوع رگه‌ای پلی‌متال است [7]. بیشترین محل تمرکز ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در مرکز منطقه و به‌ویژه در اطراف روستای رودگز است که ارتباط این رگه‌ها با توده‌های سری ایلمنیت (احیایی) مشخص می‌باشد.

اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی (طبق [18])، کلیه توده‌های بیرون‌زده در منطقه (توده‌های نفوذی مونوزودیوریتی تا مونزونیتی) نشان می‌دهد که این توده‌ها مرتبط با توده‌های سری اکسیدان بوده و با توجه به ارتباط کانی‌سازی قلع با توده‌های سری ایلمنیت (احیایی یا S) این توده‌ها نمی‌توانند منشأ محلول کانه‌دار حاوی قلع بالای منطقه باشند. به‌علاوه مقادیر حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی عناصر قلع، مس، سرب و روی در این توده‌ها بسیار پایین‌تر از موارد ذکر شده است. همچنین با توجه به اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی، توده‌های سری ایلمنیت در سطح رخنمون ندارد و فقط واحدهای دگرگونی غیرمرتبط با کانی‌سازی پذیرفتاری پایین نشان می‌دهند (جدول 1).

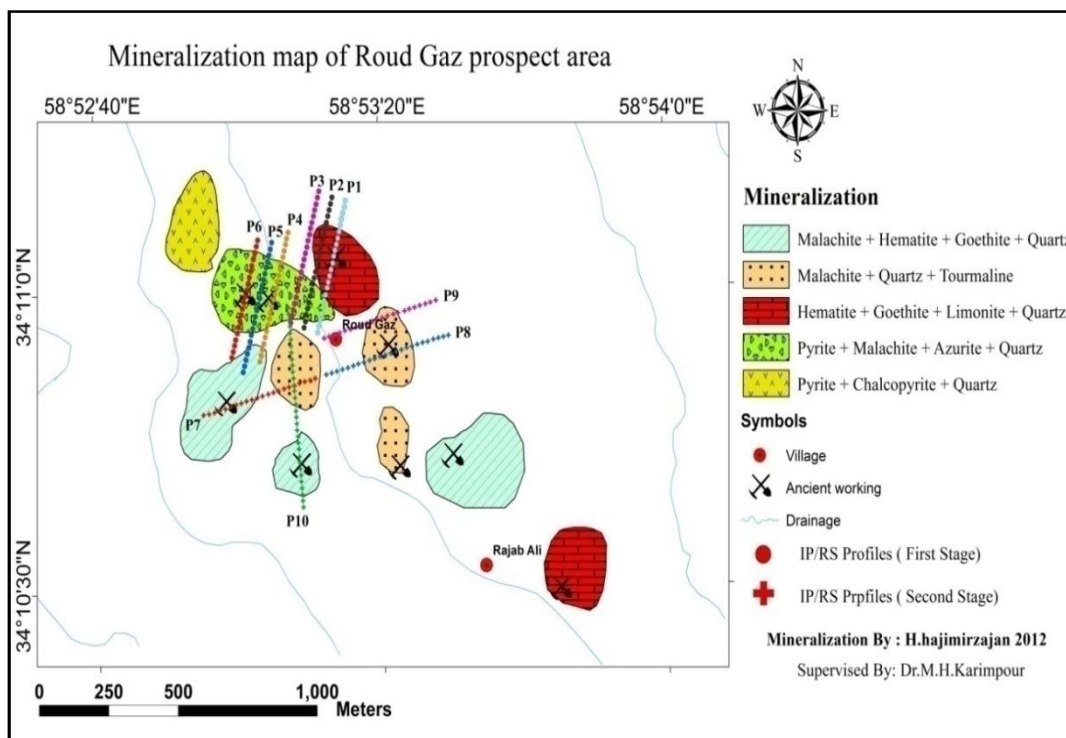
لذا رگه‌های پلی‌متال قلع‌دار همراه با آلتراسیون سیلیسی-تورمالینی بایستی با توده‌های احیایی در عمق مرتبط باشند.

هماتیت است. مالاکیت کانی اصلی مس در منطقه است. مقدار مالاکیت در نمونه‌ها بین 15 تا 20 درصد می‌باشد. آزوریت نیز با درصد بسیار کمتر حضور دارد. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در رخنمونهای سطحی و محل کارهای قدیمه به فراوانی دیده می‌شوند. وجود زون گوسان وسیع در حریم گسلها و مقادیر فراوان سرباره در محل تونل‌های قدیمی و ترانشه‌ها نشان‌دهنده حضور کانی‌سازی سولفیدی وسیع در منطقه است.

کانی‌سازی در منطقه شامل 5 نوع رگه و رگه‌چه است:

- 1- مالاکیت - همتایت - گوتیت - کوارتز 2- مالاکیت - کوارتز - تورمالین 3- همتایت - گوتیت - لیمونیت - کوارتز 4- پیریت - مالاکیت - آزوریت - کوارتز 5- پیریت - کالکوپیریت - کوارتز (شکل 3). آلتراسیون اصلی همراه با رگه‌های کانی‌سازی در منطقه سیلیسی ± تورمالینی است.

نمونه‌برداری ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی، ناهنجاریهای بالای از عناصر مس، قلع، سرب و آرسنیک (همگی تا بیش از 10000 گرم در تن)، روی (حداکثر تا 5527 گرم در تن) و طلا (تا حداکثر 325 میلی‌گرم در تن) را در رگه‌های کانی‌سازی نشان می‌دهد، بنابراین کانی‌سازی منطقه اکتشافی



شکل 3. نقشه کانی‌سازی به همراه موقعیت پروفیل‌های برداشت IP/RS در منطقه

Minerals	Hypogene	Oxidized zone
Pyrite	_____	
Chalcopyrite	_____	
Quartz	_____	
Tourmaline	_____	
Malachite		_____
Azurite		-----
Hematite		_____
Geothite		_____

شکل 4. توالی پاراژنز مربوط به کانپهای اولیه و ثانویه در منطقه اکتشافی رودگز

جدول 1. نام و پذیرفتاری مغناطیسی واحدهای سنگی موجود در منطقه

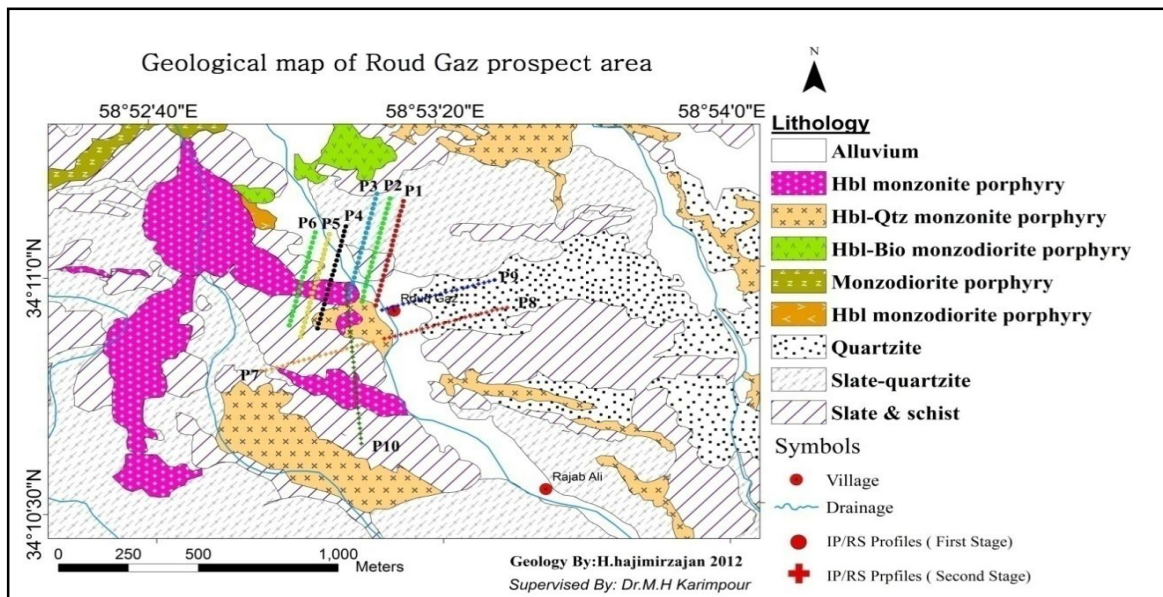
نام واحد سنگی	آلتراسیون	پذیرفتاری مغناطیسی (* 10 ⁻⁵ SI)
هورنبلند مونزونیت پورفیری	کربناتی ضعیف تا متوسط و QSP	86
هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری	کربناتی و سیلیسی متوسط و آرژیلیک قوی	70
هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری	کربناتی ضعیف تا متوسط و آرژیلیک متوسط	930
مونزودیوریت پورفیری	کربناتی ضعیف تا متوسط	200
هورنبلند مونزودیوریت پورفیری	کربناتی ضعیف تا متوسط	850
واحدهای دگرگونی	سیلیسی - تورمالینی در رگه‌های کانی‌سازی	0

برداشتهای IP/RS

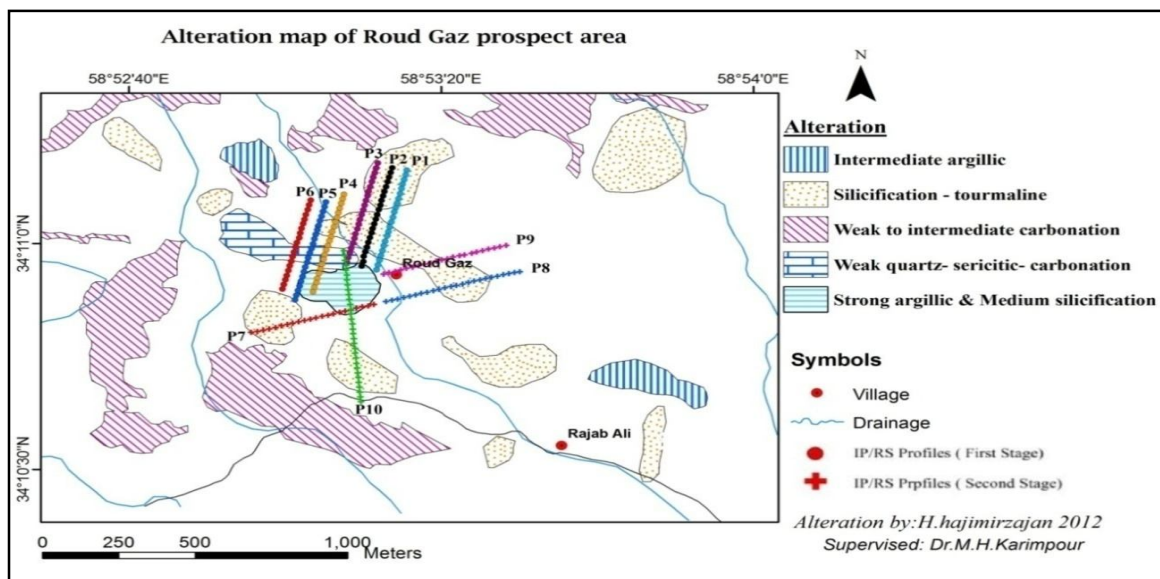
برداشت IP/RS با استفاده از آرایش دایپل - دایپل توسط دستگاه GDD مدل GRx2 ساخت کشور کانادا، در دو مرحله انجام شد: مرحله اول، برداشت 6 پروفیل (P1 تا P6)، جهت حرکت در این مرحله از شمال به جنوب و طول پروفیل‌ها از 380 تا 420 متر متغیر است. فاصله بین پروفیل‌ها 50 متر از یکدیگر و فاصله الکترودی 20 متر است. در این مرحله پروفیل‌ها در مرکز منطقه و در محدوده شمال - شمال غربی رودگز بر اساس مشاهده کانی‌سازی سطحی و کارهای قدیمه با راستای شمال شرق - جنوب غرب طراحی و برداشت انجام شد (شکل 5).

در مجموع در 523 نقطه برداشت انجام شد. در مرحله دوم با استفاده از اطلاعات حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی و برداشتهای مرحله اول، پروفیل‌ها در جهت‌های مختلف و با

طولهای متفاوت در مناطق ناهنجاری ژئوشیمی و شارژاییلیته به‌منظور تعیین دقیق نقاط حفاری برداشت شد (P7 تا P10). در این مرحله روند سه پروفیل اول تقریباً شرقی - غربی و پروفیل چهارم شمالی - جنوبی است (شکل 5). در این مرحله جمعاً در 516 نقطه برداشت انجام شد. طول پروفیل‌ها بسته به ناهنجاری از 420 تا 620 متر متغیر است. فاصله بین الکترودی در این پروفیل‌ها 20 متر می‌باشد (شکل 5). پروفیل‌های شبه‌مقاطع توسط نرم‌افزار RES2DINV تهیه شد. در برداشتهای IP/RS سعی شد علاوه بر انطباق پروفیل‌ها با زون‌های گوسان، کنده‌کارپهای قدیمی و محل کانی‌سازیهای سطحی (شکل 3)، با توجه به همراهی رگه‌های پلی‌متال قلع‌دار با آلتراسیون سیلیسی - تورمالینی و ارتباط آنها با توده‌های احیایی در عمق، موقعیت پروفیل‌ها منطبق بر این آلتراسیون نیز طراحی شود (شکل 6).



شکل 5. نقشه زمین‌شناسی به همراه موقعیت پروفیل‌های IP/RS



شکل 6. نقشه آلتراسیون به همراه موقعیت پروفیل‌های IP/RS

(شکل 7) که با توجه به نقشه زمین‌شناسی با واحد کوارتزیت که عملاً مقاومت بالایی دارد، منطبق است (شکل 5). با انطباق شبه‌مقاطع شارژابیلیته و مقاومت ویژه مشخص شد که در محدوده 140 تا 160 متری و از سطح تا عمق 20 متری هم مقاومت ویژه و هم شارژابیلیته ناهنجاری بالایی نشان می‌دهد (شکل 7). که می‌تواند به علت واقع شدن کانی‌سازی سولفیدی یا اکسیدی در کوارتزیت باشد. در پروفیل P2 شارژابیلیته از فاصله 130 تا 160 متر و در عمق 35 متری مقدار بالایی در حدود 120 msec نشان

در پروفیل P1، ناهنجاری شارژابیلیته به میزان 125 msec از فاصله 140 تا 165 متر و در عمق 20 متری مشاهده می‌شود که تا 20 متر به طرف عمق گسترش دارد. این ناهنجاری به صورت ضعیف در فاصله 160 متری به سطح می‌رسد که می‌تواند به دلیل وجود کانیهای سولفیدی یا اکسیدی در این محل باشد (شکل 7). این محل با توجه به (شکل 3) منطبق بر یک کنده‌کاری قدیمی و رگه کانی‌سازی است که رخنمون سطحی نیز دارد. مقاومت ویژه ظاهری از فاصله 90 تا 170 متری و از سطح تا عمق 25 متری به 425 ohm.m می‌رسد

نیست. مقاومت ویژه از فاصله 60 تا 110 متری ناهنجاری (420ohm.m) نشان می‌دهد (شکل 9) و با توجه به مشاهدات صحرایی منطبق بر دو رگه کوارتز فاقد کانی‌سازی است. در پروفیل P6، فقط در انتهای آن در فاصله 220 متری شارژابیلیته به 100msec افزایش می‌یابد که به دلیل محدود بودن طول پروفیل قابل پی‌گیری نیست (شکل 11). در همین فاصله مقاومت ویژه نیز افزایش می‌یابد که قابل انطباق با شارژابیلیته بالاست. مقاومت ویژه مثل پروفیل P5 در فاصله 60 تا 110 متری تا 400ohm.m می‌رسد (شکل 11).

در دو پروفیل P5 و P6 افزایش شارژابیلیته در انتهای پروفیل مرتبط با دو ناهنجاری ژئوشیمیایی است که به دلیل محدود بودن طول پروفیل‌ها قابل پی‌گیری نیست (شکل‌های 10 و 11). در این محل زون گوسان وسیع نیز مشاهده می‌شود که خود دلیلی بر وجود کانی‌سازی سولفیدی است. مقاومت ویژه بالای این دو پروفیل در فاصله 60 تا 120 متری منطبق بر محل دو کنده‌کاری قدیمی می‌باشد (شکل 3). در این محل کانی‌سازی همراه رگه‌های کوارتز است.

در پروفیل P7، در فاصله 60 تا 100 متری از ابتدای پروفیل و در عمق 40 متری بالاترین شارژابیلیته (120 msec) مشاهده می‌شود که به طرف عمق ادامه دارد (شکل 12). این محل منطبق بر زون گوسان است که در آن‌جا یک کنده‌کاری قدیمی و رگه کوارتز - سولفید قابل مشاهده است. ناهنجاری مقاومت ویژه به مقدار حداکثر 425 ohm.m و با گسترش 50 متر از سطح تا عمق 60 متری مشاهده می‌شود (شکل 12). که منطبق بر واحد اسلیت - شپست و یک رگه کوارتز است (شکل 5).

در پروفیل P8، دو ناهنجاری بزرگ شارژابیلیته به ترتیب با مقادیر 125 و 120 msec مشاهده می‌شود. اولین ناهنجاری در فاصله 180 تا 200 متری و در عمق 15 تا 50 متری وجود دارد. این ناهنجاری منطبق بر بزرگترین ناهنجاری ژئوشیمیایی قلع منطقه می‌باشد. در این محل به دلیل کنده‌کاریهای قدیمی قسمتی از کانی‌سازی به صورت رگه کوارتز - سولفید اکسید شده قابل مشاهده است. در فاصله 250 تا 300 متری دومین ناهنجاری با گسترش سطحی، مشاهده می‌شود که منطبق بر زون گوسان وسیع بوده و تأییدی بر ناهنجاری بالای شارژابیلیته است (شکل 13). در فاصله 100 تا 260 متری مقاومت ویژه ناهنجاری بالایی

می‌دهد که به طرف عمق ادامه دارد. این ناهنجاری ادامه ناهنجاری پروفیل 1 است که به سمت شمال غرب عمیق‌تر می‌شود (شکل 8). مقاومت ویژه ظاهری در این پروفیل در فاصله 75 تا 210 متری در چهار محل مقدار 425 ohm.m نشان می‌دهد که با توجه به نقشه زمین‌شناسی مرتبط با واحد کوارتزیت می‌باشد (شکل 5). ناهنجاری شارژابیلیته بالا با ناهنجاری مقاومت ویژه هم‌پوشانی ندارد و می‌تواند به علت تغییر مقدار کوارتز در کوارتزیت و یا تغییر در میزان تخلخل باشد. در پروفیل P3 مقدار شارژابیلیته در فاصله 100 تا 120 متری و در عمق 50 متری خیلی ضعیف در حدود 60 msec ناهنجاری دارد (شکل 9).

مقاومت ویژه ظاهری در فاصله 145 تا 200 متری و از سطح تا عمق 25 متری بیشترین مقدار (425 ohm.m) را نشان می‌دهد. با مقایسه با نقشه زمین‌شناسی، انطباق خوبی بین این ناهنجاری و کوارتزیت با مقاومت ویژه بالا مشاهده می‌شود (شکل 5).

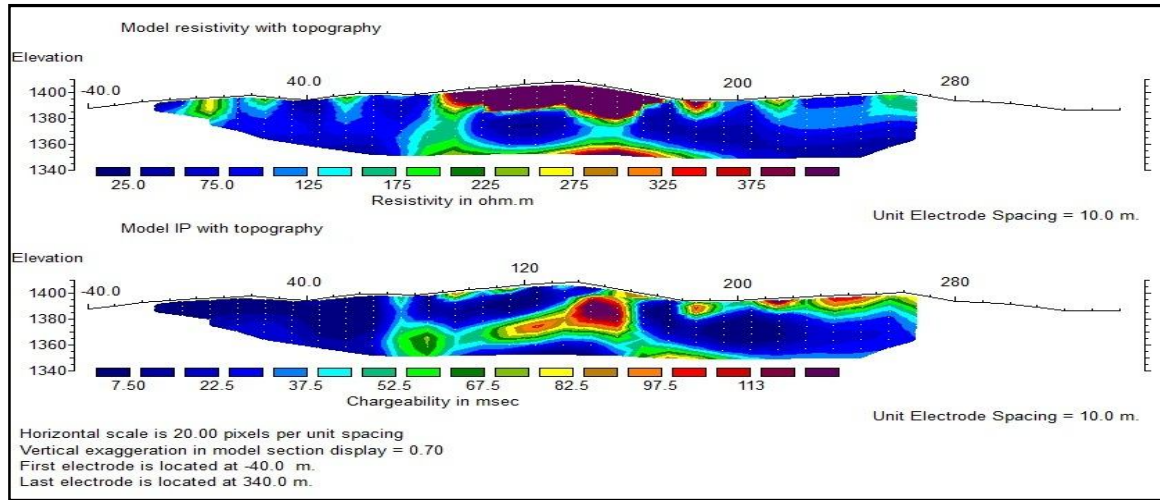
با مقایسه سه پروفیل P1، P2 و P3 پیش‌بینی می‌شود که مکان ناهنجاری شارژابیلیته از پروفیل P1 تا P3، از فاصله 160 به 100 متری کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده وجود یک رگه کانی‌سازی با روند شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. همچنین عمق ناهنجاری نیز از پروفیل P1 تا P3، با شیب به سمت شمال غرب به‌طور منظمی از سطح در پروفیل P1 (محل کنده‌کاری قدیمی) تا عمق 50 متری در پروفیل P3 عمیق می‌شود (شکل‌های 7 تا 9).

در پروفیل P4، هم مقدار شارژابیلیته و هم مقدار مقاومت ویژه به شدت تضعیف شده است (به ترتیب 40msec و 300ohm.m). بیشترین مقدار مقاومت ویژه در فاصله 30 متری از ابتدای پروفیل است که بر طبق نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی منطبق بر واحد کوارتزیت، شپست و رگه کوارتز می‌باشد. مقدار شارژابیلیته این پروفیل عموماً پایین است که بیانگر عدم کانی‌سازی اکسیدی یا سولفیدی در این پروفیل است.

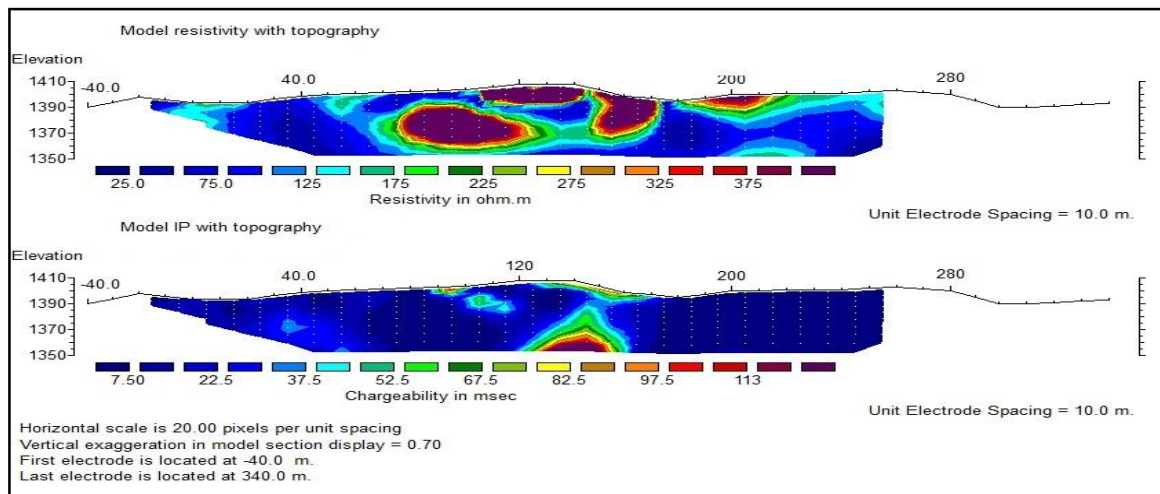
در پروفیل P5، مقدار شارژابیلیته در انتهای پروفیل و در فاصله 270 تا 300 متری با گسترش 35 متر به مقدار msec 125 می‌رسد که مربوط به عمق 30 متری است (شکل 10). این ناهنجاری در جهت عمق و افزایش فاصله همچنان ادامه دارد که به دلیل محدود بودن طول پروفیل قابل پی‌گیری

است که قسمتی از ناهنجاری RS می‌تواند به این دلیل باشد (شکل 13).

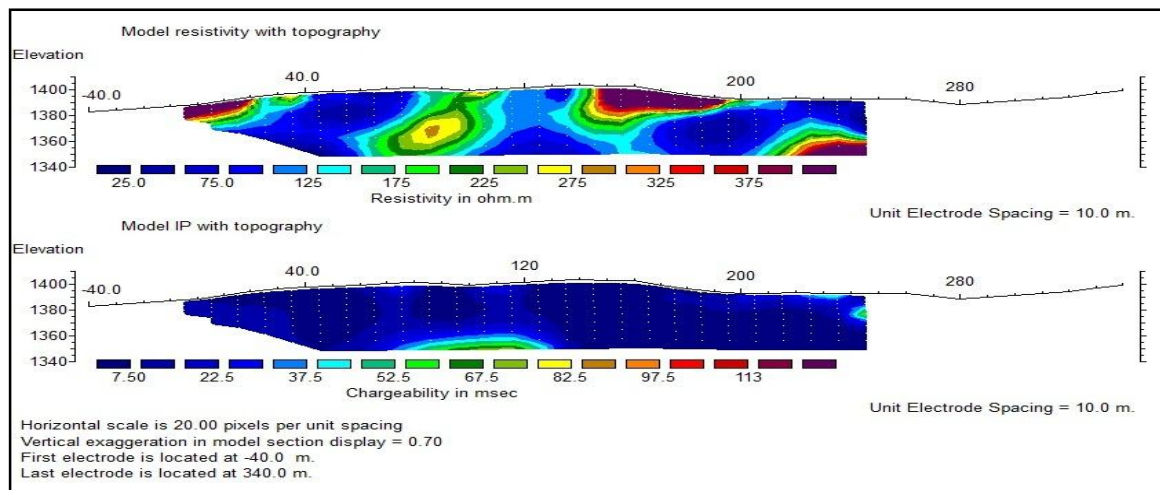
(425 ohm.m) دارد که طبق نقشه زمین‌شناسی مربوط به واحد کوارتزیت است. رگه کانی‌سازی خود نیز دارای کوارتز



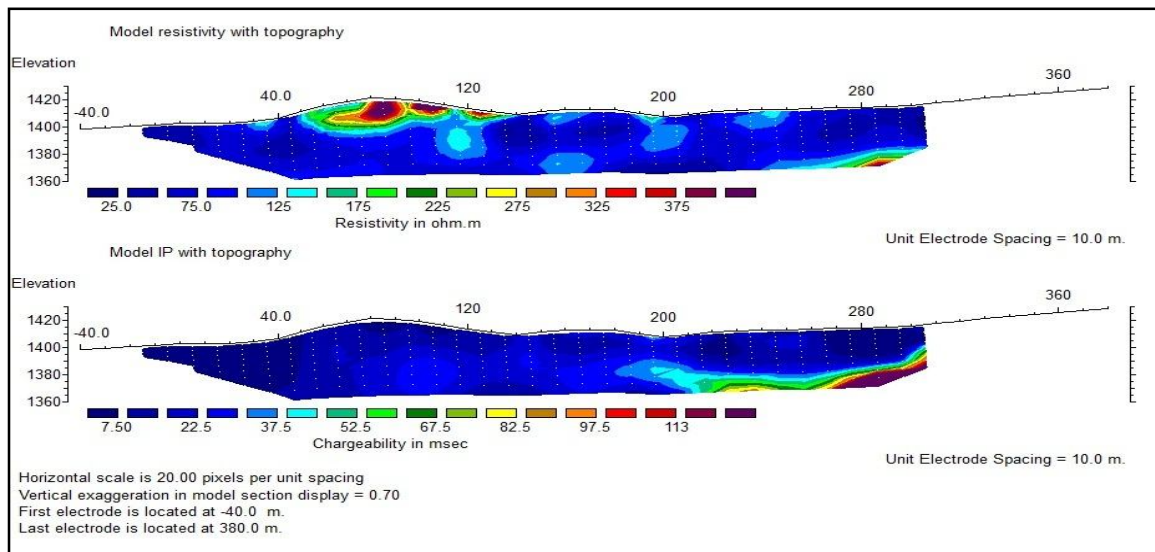
شکل 7. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P1



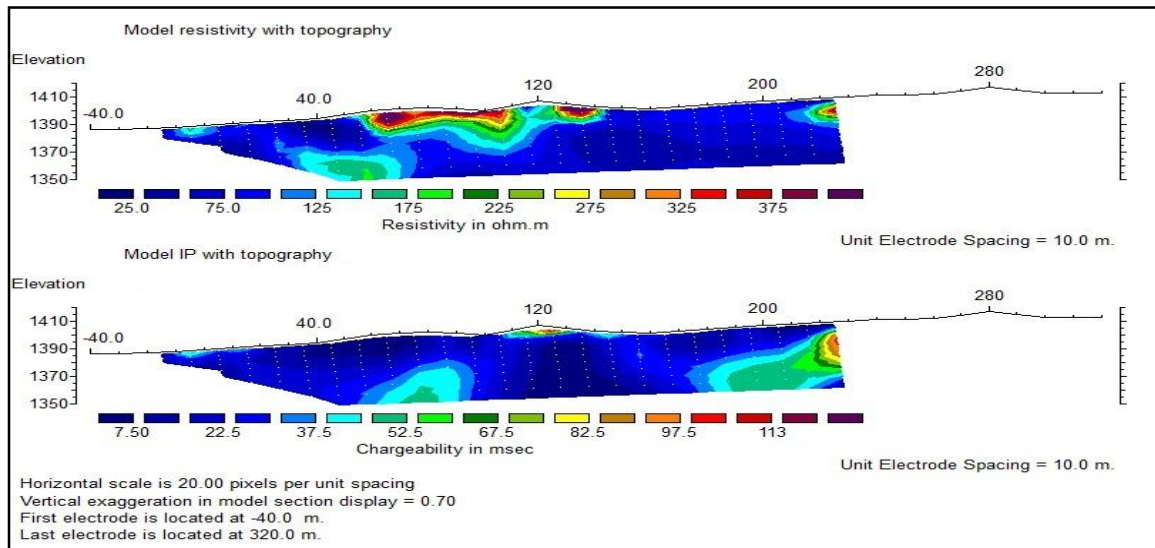
شکل 8. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P2



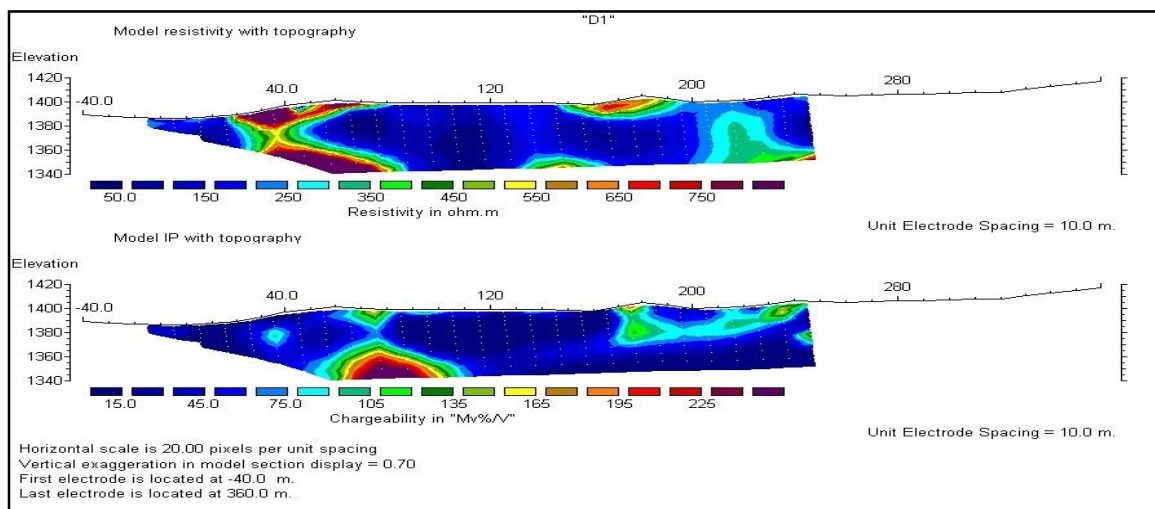
شکل 9. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P3



شکل 10. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P5



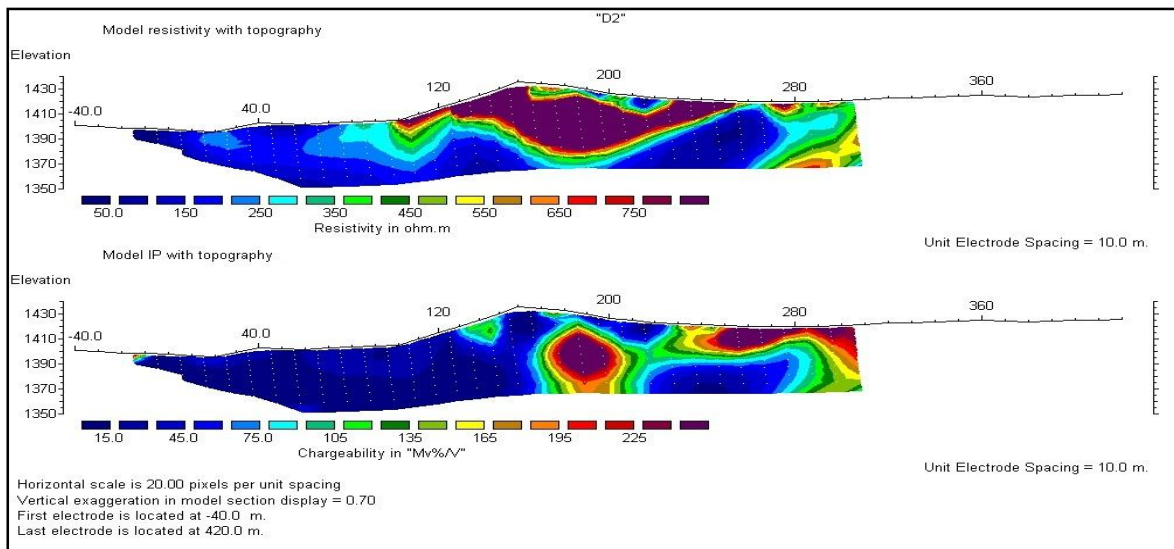
شکل 11. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P6



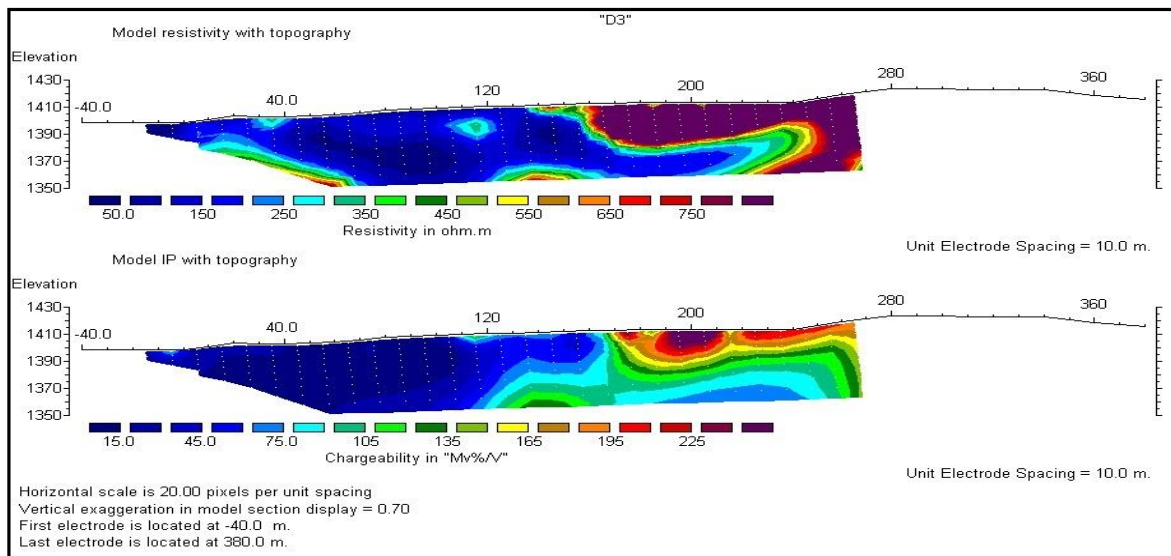
شکل 12. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P7

است. در این محل به دلیل همراهی کانی‌سازی با رگه‌های کوارتز مقاومت ویژه و شارژابیلیته افزایش می‌یابند. دومین ناهنجاری در فاصله 380 تا 440 متری، که در این مکان ترانشه‌ای به طول 10 و عرض 1 متر همراه با زون گوسان مشاهده می‌شود (شکل 3). احتمالاً کوارتزیت و رگه‌های کوارتزدار باعث ناهنجاری مقاومت ویژه شده است. در سومین ناهنجاری از فاصله 440 متری و در عمق 20 متری مقاومت ویژه و شارژابیلیته افزایش می‌یابد که به دلیل محدود بودن طول پروفیل گسترش عمقی و جانبی آن قابل پی‌گیری نیست.

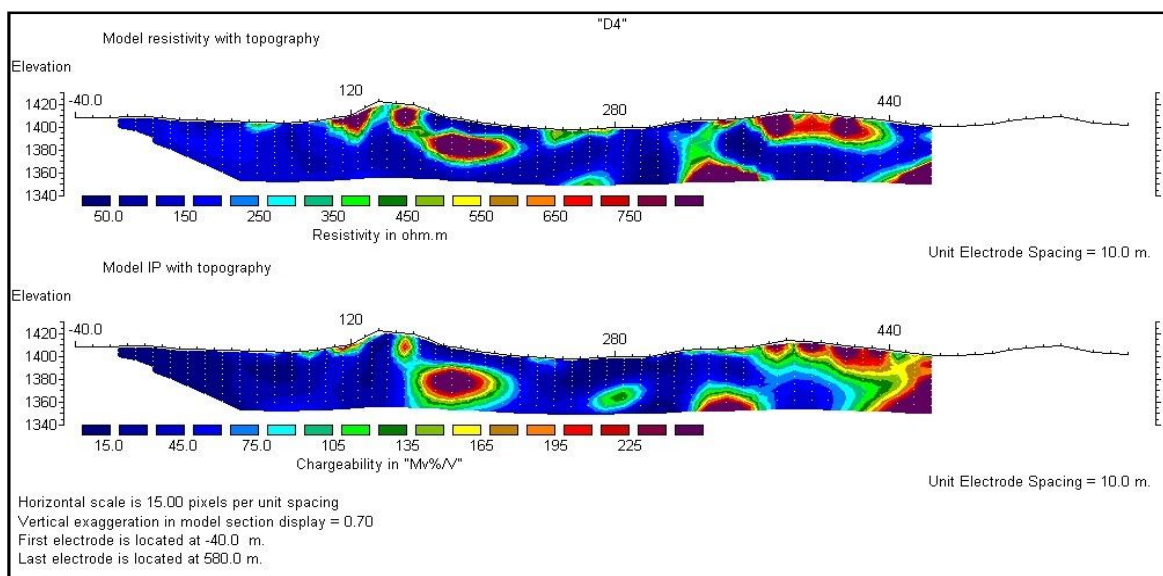
در پروفیل P9، در فاصله 160 تا 260 متری مقاومت ویژه ناهنجاری به مقدار 425 ohm.m دارد که گسترش آن قطع نشده و در ادامه واحد کوارتزیت و رگه کوارتز پروفیل P8 با روند شمالی - جنوبی می‌باشد. شارژابیلیته در فاصله 180 تا 200 متری است و از سطح تا عمق 20 متری به 122 msec می‌رسد که بیانگر کانی‌سازی در این محل می‌باشد (شکل 14). در پروفیل P10، ناهنجاریهای شارژابیلیته و مقاومت ویژه تقریباً منطبق بر هم می‌باشند (شکل 15). در این پروفیل در سه محل شارژابیلیته ناهنجاری دارد. اولی در فاصله 170 تا 210 متری از شروع پروفیل و در عمق 20 تا 40 متری، که منطبق بر ناهنجاری ژئوشیمیایی عنصر قلع تا 0/5 درصد



شکل 13. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P8



شکل 14. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P9



شکل 15. شبه‌مقطع IP/RS در پروفیل P10

انحراف براساس سایت مرکز اطلاعات ژئوفیزیک NOAA [20]. به ترتیب 52/4 و 3/3 با در نظر گرفتن زمان برداشت و طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌دست آمد. اندازه‌گیریهای شدت کل برای تغییرات وابسته زمانی نیز تصحیح شده و مقادیر شدت میدان بدون کسر میدان اصلی محاسبه شد. محصول نهایی پردازش داده‌ها، نقشه‌های مغناطیسی مختلف بوده که هر کدام اطلاعات خاصی را در ارتباط با ناهنجاری مغناطیسی نشان می‌دهند.

نقشه‌های مغناطیسی برای نمایش بعضی پدیده‌های ناهنجاری استفاده شده و معمولاً یک نقشه به‌تنهایی همه اطلاعات را در مورد مجموعه داده‌های مغناطیسی نمی‌دهد، بلکه هر یک از آنها در تشخیص طرح‌های ناهنجاری مغناطیسی مزایای خاص خود را دارند و تفسیر آنها نیز متفاوت است [21]. نقشه رنگی شدت کل میدان یک تجسم کلی از داده‌های مغناطیسی فراهم کرده و برای تفسیر کلی استفاده می‌شود [22]. با توجه به نقشه شدت کل میدان (TMI) مشخص شد که محدوده تغییرات شدت کل میدان از 48084/8 تا 48419/9 به میزان 335/1 گاما متغیر می‌باشد. تغییرات شدت کل میدان در منطقه بسیار کم است که منعکس‌کننده عدم کانی‌سازی مگنتیت در منطقه است. ناهنجاری مغناطیسی با دامنه کم (335 گاما)، مربوط به گسترش توده‌های سری مگنتیت است که پذیرفتاری مغناطیسی بالایی (تا 930×10^{-5} SI) نسبت به دیگر واحدهای زمین‌شناسی منطقه دارند.

برداشت‌های مغناطیس‌سنجی زمینی

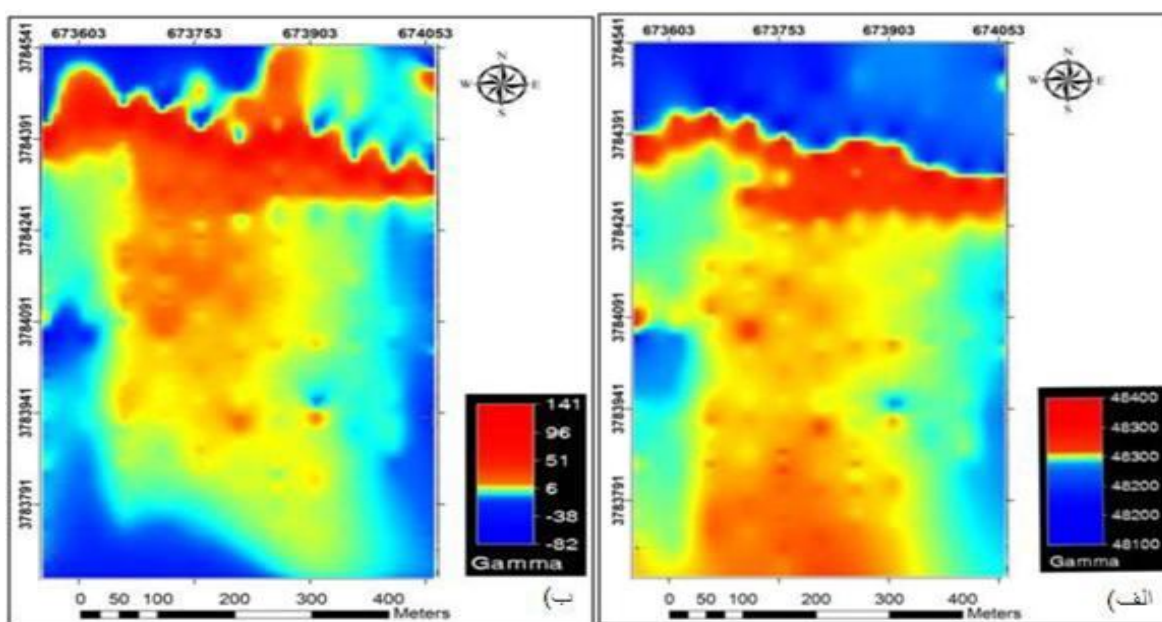
برداشت مغناطیس‌سنجی زمینی در 11 پروفیل و 800 نقطه به طول میانگین هر پروفیل 750 متر و به فاصله 50 متر از یکدیگر و با فاصله نقاط 10 متر با راستای شمالی - جنوبی با دستگاه Geometrics مدل G856 ساخت امریکا و متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. جهت انجام تصحیحات روزانه میدان مغناطیسی، برداشت به روش Loop انجام گردید. به این صورت که هر 2 ساعت یک‌بار برای هر پروفیل به نقطه مبنا برگشته و قرائت تکراری انجام می‌شد. میزان تغییرات شدت میدان (تغییرات روزانه) محاسبه و در تصحیح روزانه اعمال می‌گردید. پس از انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و آنالیزهای ژئوشیمیایی محل انجام برداشت‌های مغناطیس‌سنجی مشخص شد.

با توجه به ناهنجاری بالای ژئوشیمیایی عنصر قلع (تا ppm 10000) و ارتباط این کانی‌سازی با توده‌های نفوذی احیایی عمقی (نوع S)، از مغناطیس‌سنجی زمینی به‌منظور تعیین موقعیت توده‌های پنهان سری مگنتیت (اکسیدان) و تفکیک آنها از توده‌های سری ایلمنیت (احیایی، مرتبط با کانی‌سازی) در منطقه استفاده شد.

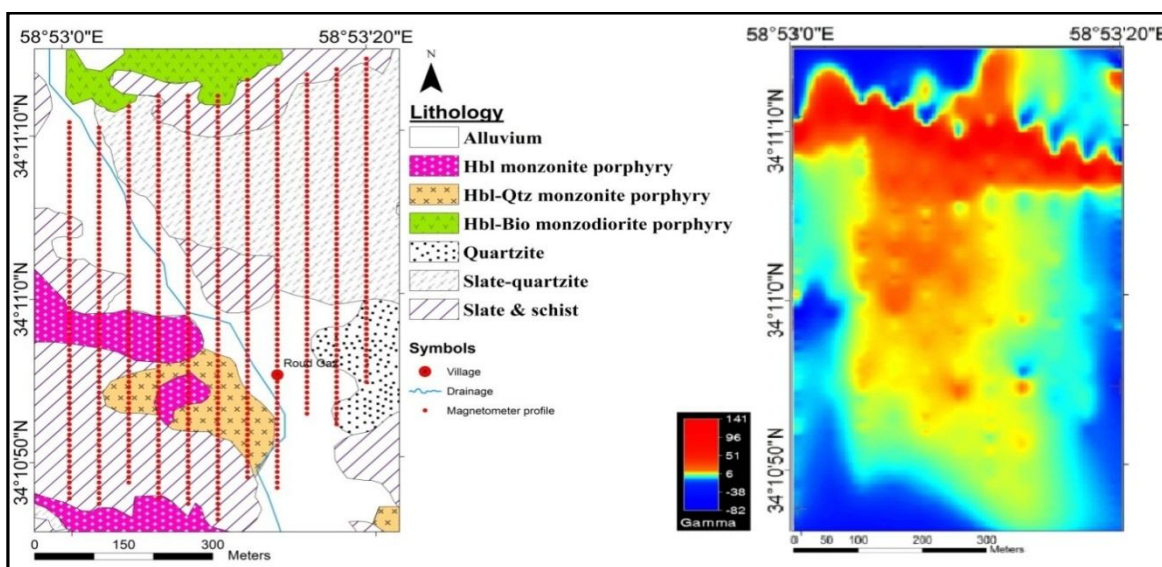
در منطقه مورد مطالعه میدان مغناطیسی اصلی زمین با استفاده از برنامه IGRF مقدار 48000 گاما در نظر گرفته شده است [19]. بنابراین مقادیر بالاتر یا پایین‌تر از این مقدار ناهنجاری محسوب می‌شوند. همچنین مقدار زاویه میل و

RTP بر روی داده‌های مغناطیسی اعمال می‌شود [23]. تفسیر اصلی از مجموعه داده‌های مغناطیسی بر روی داده‌های انتقال داده شده به قطب صورت می‌گیرد [24]. در نقشه RTP (شکل 16-ب)، ناهنجاریهای مغناطیسی نسبت به نقشه TMI (شکل 16-الف)، کمی به سمت شمال جابه‌جا شد، که محل واقعی ناهنجاری را دقیق‌تر مشخص می‌کند. بیشترین ناهنجاری در قسمت شمال منطقه برداشت قرار دارد که با توجه به نقشه زمین‌شناسی مربوط به واحد هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری است (شکل 17).

در نقشه TMI ناهنجاری در بخش شمال منطقه برداشت گسترش بیشتری از سایر نقاط دارد و دارای روند تقریباً شرقی - غربی به طول 530 متر است (شکل 16-الف). دومین بخش ناهنجاری با شدت کمتر در قسمت میانی منطقه برداشت قرار دارد، که دارای شدتی به نسبت کمتر از بخش شمالی است و دارای گسترشی به طول 470 متر و عرض 230 متر می‌باشد (شکل 16-الف). از آنجایی که میل و انحراف مغناطیسی باعث می‌شود ناهنجاریهای مغناطیسی نسبت به منبع ایجادکننده خود انحراف داشته باشند، فیلتر



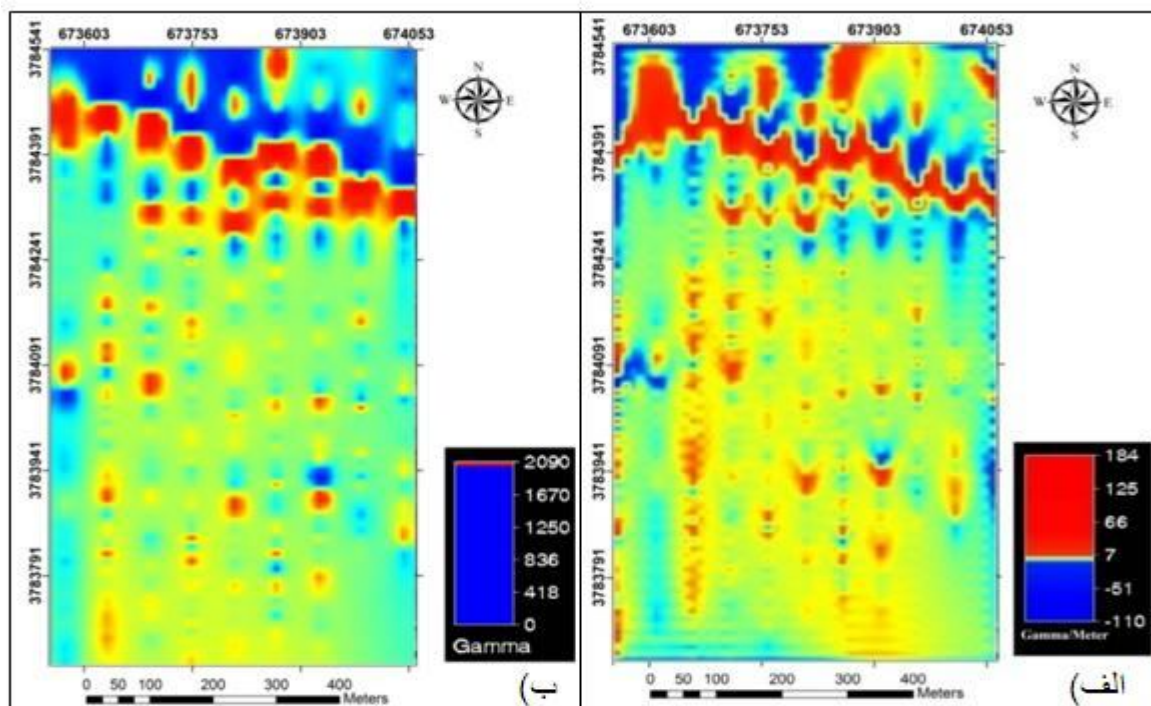
شکل 16. الف) نقشه TMI و ب) نقشه RTP



شکل 17. نقشه RTP هم‌مقیاس با نقشه زمین‌شناسی

شمالی و ارتباط آن با توده نفوذی هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری است که رخنمون سطحی نیز دارد. نقشه سیگنال تحلیلی مرز ناهنجاری مغناطیسی را مشخص‌تر می‌کند. روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی توده هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری مرتبط با ناهنجاری مغناطیسی به وضوح در نقشه سیگنال تحلیلی آشکار شده است (شکل 18-ب).

به منظور بررسی منابع سطحی ایجاد کننده ناهنجاری مشاهده‌شده، از فیلتر گرادیان اول عمودی استفاده شد. نقشه مشتق اول قائم (گرادیان عمودی) اثر ناهنجاریهای عمیق با بسامد پایین را حذف کرده و تأثیر منابع کم‌عمق با بسامد بالا را به نمایش در می‌آورد [25]، [26]. این نقشه (شکل 18-الف)، نشان‌دهنده کم‌عمق بودن منبع ایجاد کننده ناهنجاری

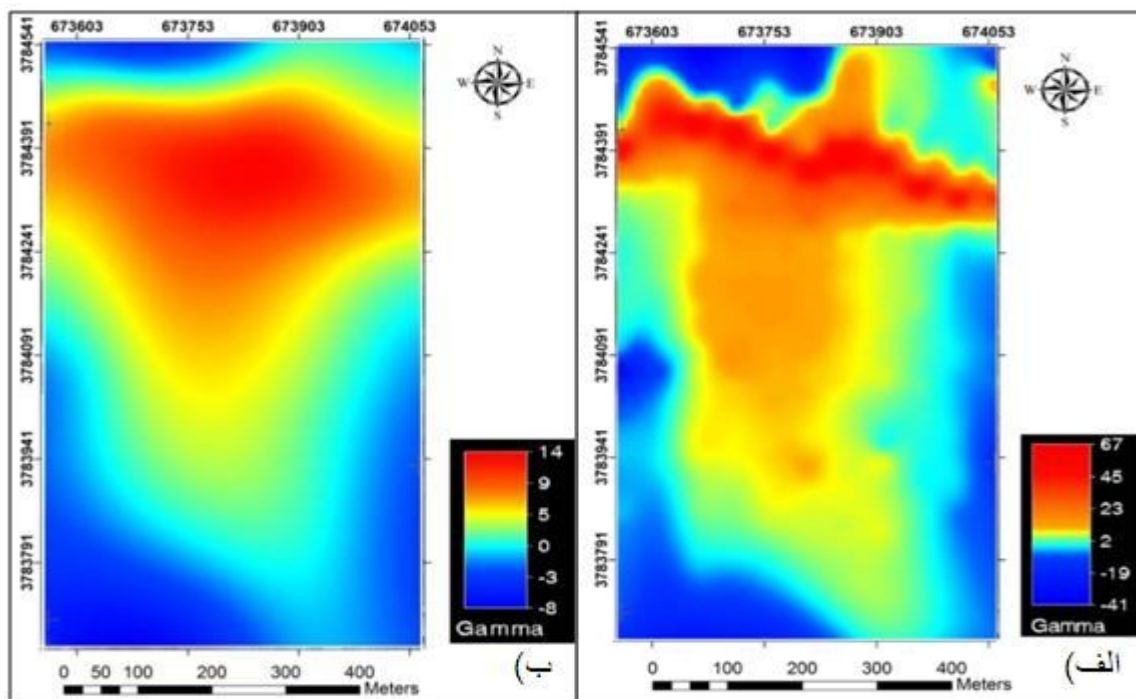


شکل 18. الف) نقشه گرادبان عمودی و ب) نقشه سیگنال تحلیلی

ادامه به سمت بالا این مطلب دریافت می‌شود که منبع ایجاد کننده ناهنجاری قسمت شمالی (واحد هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری) از عمق کم تا اعماق زیاد ادامه دارد و به سمت مرکز و جنوب منطقه برداشت به تدریج اثر مغناطیسی آن کاهش می‌یابد که می‌تواند دو دلیل عمده داشته باشد:

- 1- کمتر شدن پذیرفتاری مغناطیسی توده
 - 2- عمیق شدن آن به سمت جنوب به علت پوشیده شدن توسط واحد دگرگونی با پذیرفتاری پایین.
- در نتیجه توده‌های با قابلیت مغناطیسی و پذیرفتاری کمتر در مرکز محدوده برداشت و به ویژه شرق روستای رودگز قرار دارند که انطباق خوبی بین این محدوده و بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی و تمرکز رگه‌های حاوی کانی‌سازی وجود دارد.

برای بررسی گسترش عمقی توده نفوذی مسبب ناهنجاری مغناطیسی از فیلتر فراسو استفاده شد. نقشه ادامه به سمت بالا اثر ناهنجاریهای سطحی با بسامد بالا را حذف و به این طریق اثر ناهنجاریهای عمیق‌تر با بسامد کم را بهتر آشکار می‌سازد [27]. هرچه منبع مغناطیسی به سطح زمین نزدیکتر و منبع کوچکتر باشد، طول موجها، کوتاهتر و بسامدها در واحد طول بیشتر خواهد بود و بالعکس [28]. نقشه‌های فراسو با ارتفاع 10، 20، 50، 70 و 100 متری از محدوده برداشت تهیه شد که نقشه‌های فراسوی با ارتفاع 10 و 100 متری بحث می‌شود (شکل 19-الف و ب). ناهنجاری بخش شمالی از فراسوی 10 تا 100 متر مشهود است، بنابراین توده نفوذی مسبب ناهنجاری در عمق ادامه دارد که با افزایش ارتفاع از حالت خطی خارج شده و به سمت مرکز و جنوب گسترش دارد. با تلفیق مشاهدات حاصل از نقشه‌های مشتق اول قائم و



شکل 19. نقشه فراسو با ارتفاع الف (10 متر و ب) 100 متری

چاه نگاری

بر اساس مشاهدات سطحی و برداشت‌های ژئوفیزیکی در منطقه (ژئوالکتریک و مغناطیس‌سنجی)، 2 نقطه جهت حفاری در منطقه پیشنهاد شد (جدول 2).

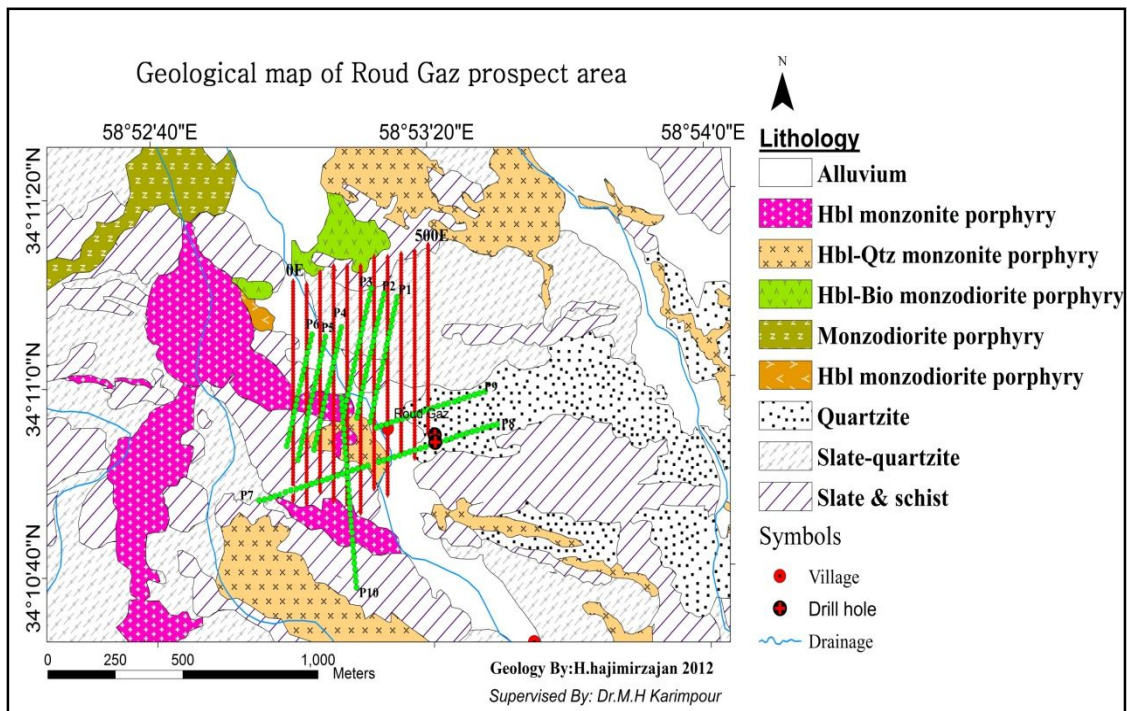
موقعیت نقاط حفاری بر روی نقشه زمین‌شناسی و نسبت به پروفیل‌های برداشت IP/RS و مغناطیس‌سنجی‌زمینی در شکل 20 نشان داده شده است.

جدول 2. موقعیت و مشخصات نقاط حفاری در منطقه

UTM						
WGS1984- Zone 40N						
DDH	X	Y	ارتفاع (متر)	آزیموت	زاویه حفاری	عمق (متر)
DDH-1	674085	3783906	1425	125	80	48
DDH-2	674082	3783921	1422	108	80	56

بالاترین ناهنجاریهای ژئوشیمیایی و مناطق دارای بیشترین گسترش آلتراسیون می‌باشد. آلتراسیون غالب در مغزه‌ها سیلیسی-کلریتی است که بین این آلتراسیون و مکانهای دارای بیشترین مقدار عناصر حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی رابطه نزدیکی وجود دارد (شکل 21 و 22). مهمترین کانی‌زایی در منطقه شامل اکسیدهای آهن ثانویه است که به مقدار کم همراه با تورمالین و ملاکیت قابل مشاهده است. لیتولوژی غالب مغزه‌ها شامل شیست و به مقدار کمتر کوارتزیت و فیلیت می‌شود.

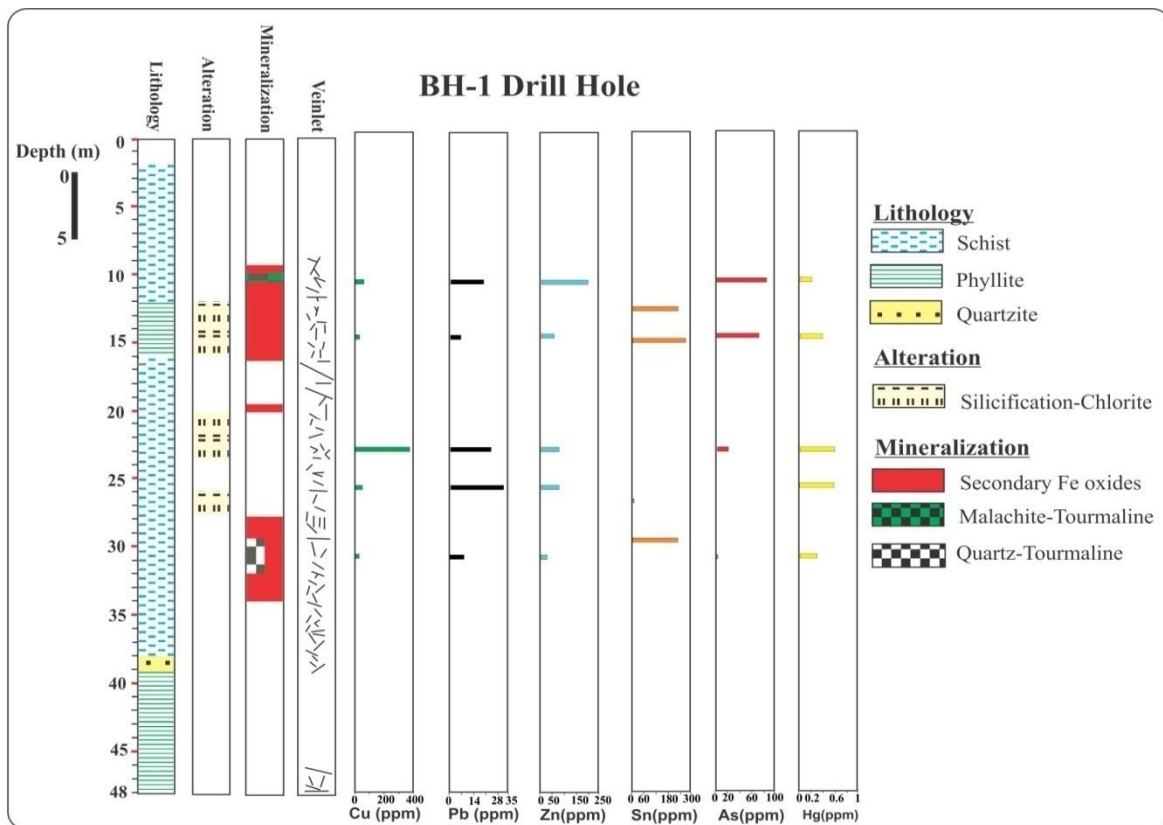
پس از مطالعه دقیق مغزه‌ها در منطقه نمودار چاه‌نگاری آنها ترسیم و بر اساس گسترش آلتراسیون و کانی‌سازی 24 نمونه ژئوشیمیایی از این دو چاه برداشت شد که نتایج حاصل در جدول 3 قابل مشاهده است. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی در چاه شماره 1 دو بازه 10 تا 15 متری و 22 تا 30 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشند. در چاه شماره 2 در متر 16 تا 32 متری بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی قرار دارد. در هر دو چاه انطباق خوبی بین گسترش اکسیدهای آهن ثانویه و آلتراسیون کلریتی-سرسیتی وجود دارد. بیشترین تراکم رگه‌چه‌ها در مغزه‌ها منطبق با



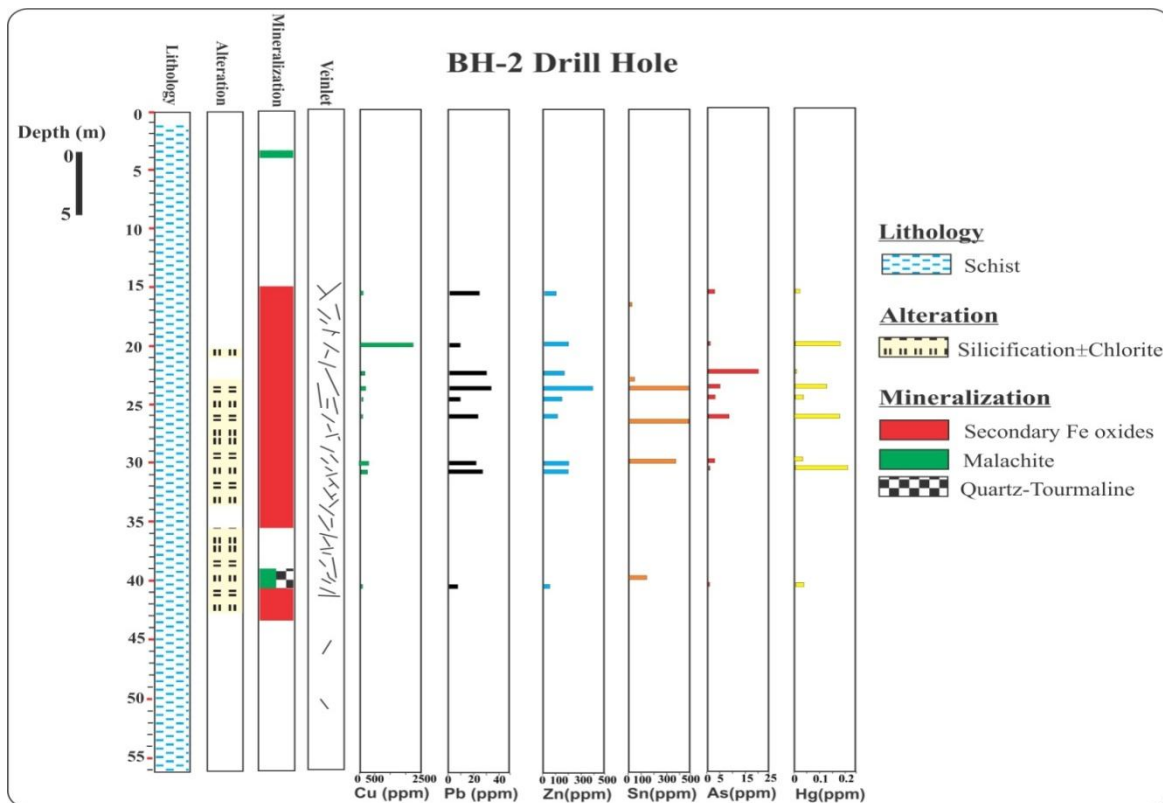
شکل 20. موقعیت نقاط حفاری نسبت به برداشتهای ژئوفیزیکی و بر روی نقشه زمین شناسی

جدول 3. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی 6 عنصر از مغزه های مربوط به چاه های شماره 1 و 2

Sample No.	Depth	Analytic metod	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Sn (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
BH1-1	12/20	1DX1	54/6	۲۰/۰	۲۰۸	-	۸۷/۶	۰/۲۰
BH1-2	۱۲/۸۰	4BO3	-	-	-	۲۳۹	-	-
BH1-3	14/80	1DX1	۲۶/۹	۷/۰	۶۸	-	۷۸/۹	۰/۳۹
BH1-4	۱۰/۳۰	4BO3	-	-	-	۲۷۴	-	-
BH1-5	23/50	1DX1	۳۸۴/۰	۲۳/۹	۷۶	-	۰/۳	۰/۰۷
BH1-6	26/30	1DX1	۴۸/۳	۳۲/۰	۷۳	-	۱۸/۰	۰/۶۰
BH1-7	۲۷/۱۰	4BO3	-	-	-	۱۱	-	-
BH1-8	۲۹/۷۰	4BO3	-	-	-	۲۲۳	-	-
BH1-9	31/60	1DX1	۹/۹	۸/۳	۳۸	-	۲/۷	۰/۳۱
BH2-10	15/30	1DX1	۰۴/۴	۹/۳	۱۱۱	-	۳/۴	۰/۰۲
BH2-11	۱۶/۳۰	4BO3	-	-	-	۲۴	-	-
BH2-12	20/20	1DX1	۲۳۴۲/۱	۲۶/۲	۲۲۴	-	<۰/۰	۰/۱۸
BH2-13	۲۰/۷۰	4BO3	-	-	-	۰۸	-	-
BH2-14	22/40	1DX1	۱۱۷/۰	۳۰/۷	۱۷۰	-	۱۹/۸	۰/۰۱
BH2-15	۲۲/۹۰	4BO3	-	-	-	۰۳۸	-	-
BH2-16	23/70	1DX1	۱۲۷/۷	۳۳/۹	۴۰۹	-	۰/۳	۰/۱۲
BH2-17	24/40	1DX1	۴۳/۳	۱۰/۲	۱۳۰	-	۲/۶	۰/۰۴
BH2-18	۲۴/۶۰	4BO3	-	-	-	۰۳۷	-	-
BH2-19	25/50	1DX1	۳۷/۴	۲۲/۷	۹۳	-	۸/۳	۰/۱۸
BH2-20	۲۶/۰۰	4BO3	-	-	-	۳۸۱	-	-
BH2-21	29/80	1DX1	۷۷/۰	۲۱/۱	۲۱۲	-	۳/۶	۰/۰۳
BH2-22	30/80	1DX1	۰۱/۸	۲۷/۹	۲۰۱	-	۱/۹	۰/۲۲
BH2-23	۳۹/۴۰	4BO3	-	-	-	۱۴۲	-	-
BH2-24	39/60	1DX1	۳۴/۱	۶/۹	۶۲	-	۱/۰	۰/۰۳



شکل 21. نمودار چاه‌نگاری چاه شماره 1



شکل 22. نمودار چاه‌نگاری چاه شماره 2

نتیجه‌گیری

شیل و ماسه‌سنگ‌های رسوبی منطقه در نتیجه تصادم و کوه‌زایی اواسط ژوراسیک و تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای به اسلیت، شیست و کوارتزیت تبدیل شده‌اند. این واحدها میزبان رگه‌های کانی‌سازی هستند. توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با سن ترشیاری و با ترکیب مونزونیت تا مونزودیوریت پورفیری در منطقه از نوع گرانیتوئیدهای نوع اکسیدان هستند که به‌طور وسیع در منطقه رخمون دارند. با اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های سطحی مشخص شد توده‌های احیایی در منطقه رخمون سطحی ندارند. به دلیل ارتباط کانی‌سازی قلع با توده‌های سری ایلمنیت (احیایی یا S) توده‌های سطحی نمی‌توانند منشأ محلول کانه‌دار حاوی قلع بالای منطقه باشند، لذا رگه‌های پلی‌متال قلع‌دار همراه با آلتراسیون سیلیسی ± تورمالینی بایستی با توده‌های نفوذی احیایی در عمق در ارتباط باشند. رگه‌های کانی‌سازی با روند عمدتاً NW-SE و شیب 85 تا 90 درجه دیده می‌شوند. کانیهای اولیه شامل کوارتز، تورمالین، کالکوپیریت، پیریت و کانیهای ثانویه مالاکیت، آزوریت و گوتیت است. بخش اعظم کانیهای سولفیدی منطقه در سطح اکسید شده‌اند. ناهنجاریهای بالایی از عناصر مس، قلع، سرب و آرسنیک (همگی تا ppm 10000)، روی (تا ppm 5527) و طلا (تا ppm 325) در رگه‌های کانی‌سازی نشان‌دهنده یک سیستم پلی‌متال (Cu, Sn, Pb, Zn, As, Au) رگه‌ای است [7].

برداشت‌های IP/RS به‌منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی در عمق انجام شد. در مرحله اول برداشتها در محل رخنمونهای سطحی کانی‌سازی و کنده‌کاری‌های قدیمی انجام شد. در مرحله دوم سعی شد اغلب پروفیل‌های برداشت منطبق بر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، زون گوسان، کنده‌کاری‌های قدیمی و رگه‌های کانی‌سازی باشند. مقدار شارژابیلیته به 125 msec می‌رسد که حاکی از وجود سولفید و کانیهای فلزات پایه فراوان در منطقه است. افزایش مقاومت ویژه تا 425 اهم متر در شبه مقاطع، مرتبط با واحد کوارتزیت، اسلیت - شیست دگرگونی و کوارتز در رگه‌های معدنی است. به دلیل مقاومت بالای کوارتز همراه رگه‌های کانی‌سازی، مقاومت ویژه بالا همراه با شارژپذیری بالا در محل رگه‌ها مشاهده می‌شود. در مکانهایی که مقاومت ویژه بالا و پلاریزان القایی پایین است، نشان از

وجود رگه کوارتز فاقد کانی‌سازی در منطقه دارد. حداکثر گسترش عمقی و جانبی ناهنجاری شارژابیلیته به ترتیب 60 و 150 متر می‌باشد. برداشتهای شارژابیلیته بیشترین تمرکز کانی‌سازی رگه‌ای را مربوط به مرکز منطقه و در اطراف روستای رودگز می‌داند.

با توجه به ناهنجاری بالای ژئوشیمیایی عنصر قلع (تا ppm 10000) و ارتباط این کانی‌سازی با توده‌های نفوذی احیایی عمقی (نوع S)، از مغناطیس‌سنجی زمینی به‌منظور تعیین موقعیت توده‌های پنهان سری مگنتیت (اکسیدان) و تفکیک آنها از توده‌های سری ایلمنیت (احیایی، مرتبط با کانی‌سازی) در منطقه استفاده شد. تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی در نقشه TMI از 48084/8 تا 48419/9 گاما متغیر است. در نقشه RTP بالاترین ناهنجاری مغناطیسی در شمال منطقه برداشت قرار دارد که مرتبط با توده‌های سری مگنتیت بوده و توسط واحد دگرگونی (شیل و اسلیت) با پذیرفتاری بسیار ناچیز پوشیده شده است. بنابراین با توجه به نقشه زمین‌شناسی منبع ناهنجاری مربوط به توده‌های نفوذی در زیر واحدهای دگرگونی و متعلق به توده هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت پورفیری می‌باشد که نقشه‌های ادامه به سمت بالا و مشتق اول قائم نیز آن را تأیید می‌کند. توده‌های با قابلیت مغناطیسی و پذیرفتاری کمتر عمدتاً در مرکز محدوده برداشت و به ویژه شرق روستای رودگز قرار دارند که انطباق خوبی بین این محدوده و بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی و تمرکز رگه‌های حاوی کانی‌سازی وجود دارد. این مطلب بیانگر حضور توده‌های احیایی عمقی عامل کانی‌سازی در این محل است. مطالعه مغزه‌ها نشان داد آلتراسیون سیلیسی-کلریتی مهمترین و تنها آلتراسیون موجود می‌باشد که آنومالی ژئوشیمیایی بالای قلع در ارتباط با این آلتراسیون است. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی در چاه شماره 1 دو بازه 10 تا 15 متری و 22 تا 30 متری دارای بیشترین میزان عناصر هستند. در چاه شماره 2 در متر 16 تا 32 متری بیشترین ناهنجاری قرار دارد که انطباق خوبی با گسترش اکسیدهای آهن ثانویه و آلتراسیون کلریتی - سرسیتی وجود دارد.

تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره 3 مورخ 90/3/24 و شماره 18077/3

Gansu Province, China", Exploration Geophysics 31 (2000) 243-247.

[12] Dentith M., Stuart R., "Sediment-hosted stratiform copper deposits in the Adelaide Geosyncline, South Australia", Geophysical responses of mineralisation and themineralised environment, Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits (2002) 169-195.

[13] Busuttill S., Law S., "The geophysics of the Kalkaroo prospect, Olary Domain, South Australia", Geophysical Signatures of South Australian Mineral Deposits (2001) 121-126.

[14] White R.M.S., Collins S., Denne R., Hee R. Brown P., "A new survey design for 3D IP modelling at Copper hill", Exploration Geophysics 32 (2001) 152-155.

[15] آقانباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (1383) 606 ص.

[16] قائمی ف، "نقشه زمین‌شناسی 1:100000 گناباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (1384).

[17] مرادی م، کریم‌پور م.ح، فارمر ل، و استرن چ، "ژئوشیمی ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd سن‌سنجی زیرکن U-Pb و پتروژنز باتولیت گرانودیوریتی - گرانیت نجم‌آباد، گناباد، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره 3 (1390) ص 145-127.

[18] Ishihara S., "The granitoid series and mineralization", Economic Geology 75th Anniv (1981) 458-484.

[19] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/>

[20] <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>

[21] Gunn P.J., "Workshop Interpretation of aeromagnetic data", AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics 17(2) (1996) 105-113.

[22] Urquhart W.E.S., "Airborne magnetic data compilation and interpretation", Geophysical Airborne Survey Compilation and Interpretation (2007) 1-13.

[23] Clark D.A., "Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys", AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics 17 (2) (1997) 83-103.

[24] Nakatsuka T., Okuma S., "Reduction of magnetic anomaly observations from helicopter surveys at varying elevations", Exploration Geophysics 37 (2006) 121-128.

انجام شده است. از آقای مهندس جواد پور جهت برداشتهای IP/RS تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مراجع

[1] Berberian M., "Active faulting and tectonics of iran, in Gupta", H K., and Delany F.M., editors, "Zagros- Hinda kush- Himalaya geodynamic evolution", American Geophysical Union Geodynamic Series 3 (1981) 33-69.

[2] Jackson J., Mckenzie D., "Active tectonics of the Alpine- Himalaya belt between western Turkey and Pakistan", Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 77 (1984) 185-264.

[3] Lindenberg H.G., Groler K., Jacobshagen V., Ibbeken H., "post-paleozoic stratigraphy, structure and orogenic evolution of the southern Sabzevar zone and the Taknar block", Neues jahrbach for Geologie und palaontologie, Abhandlungen 168 (1984) 287-326.

[4] Haghypour A., Aghanabati A., "Geological map of iran (2nd edition), Tehran", Geological Survey of Iran, scale 1:2500000 (1989).

[5] Alavi.M., "Tectonic map of the Middle East, Tehran", Geological Survey of Iran, scale 1:5000000 (1991a).

[6] Ramezani J., Tucker R.D., "The Saghand region, central Iran, U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics", American journal of science 303 (2003) 622-665.

[7] هامونی س.ج، کریم‌پور م.ح، ملک‌زاده سفارودی آ، "زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی منطقه اکتشافی رودگز، جنوب شرق گناباد"، سومین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، (1390).

[8] Karen P., Barry B., "The geophysical response of the tusker gold deposit, Lake Victoria gold fields, Tanzania" (2005).

[9] Esdale D.J., Pridmore D. F., Coggen J. H., Muir P.M., Williams P. K., Fritz F.P., "Olympic Dam deposit- Geophysical case history", 5th ASEG Conference, (1987) 47-49.

[10] Rajagopalan S., Haydon S.J., "The Benambra volcanic hosted massive sulphide deposits", Geological Survey of Victoria report 119, Australian Society of Exploration geophysicists special publication 11 (1999).

[11] Guo W., Dentith M., Zhao Y., "Geophysical exploration in the Xi-Cheng lead-zinc orefield,

limited outcrop", AGSO Journal of Australia Geology & Geophysics 17(2) (1997) 175-185.

[28] Tarlowski C., Gunn P.J, Mackey T., " *Enhancements of the magnetic map of Australia*", AGSO Journal of Australia Geology & Geophysics 17(2) (1997) 77-82.

[25] Ford K., Kating P., Thomas M.D., " *Overview of Geophysical Signatures Associated with Canadian Ore deposit, CSC*" (2006).

[26] Cooper G.R.J., Cowan D.R., " *Filtering using variable order vertical derivatives*", Computers & Geosciences 30 (2004) 455-459.

[27] Gunn P.J., Madment D., Milligan P.R., " *Interpreting aeromagnetic data in areas of*