

## تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، کانی‌سازی و مطالعات ژئوفیزیکی IP/RS

## کانسار ماهور - شمال غرب دهسلم، بلوک لوت

آرش گورابجیری پور<sup>1</sup> و محسن مبشری<sup>2\*</sup>

(1) دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه، گروه زمین‌شناسی، میانه، ایران

(2) گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران

دریافت مقاله: 1393/2/7، پذیرش: 1393/8/10



## چکیده

منطقه اکتشافی ماهور، یک سیستم پلی‌متال مس، روی و نقره است. کانی‌سازی در ماهور به دو صورت رگه‌ای و انتشاری نمود دارد. این منطقه در بلوک لوت و در غرب دهسلم واقع است. سنگ‌شناسی منطقه ماهور مشتمل بر بازالت، آندزیت، داسیت، ریولیت و آذرآوریهاست. این مجموعه در ائوسن پایانی - الیگوسن زیرین مورد حمله توده‌هایی با ترکیب دیوریت تا کوارتز دیوریت قرار گرفته است. زون‌های دگرسانی در منطقه شامل آرژلیک، سیلیسی، کوارتز - سرسیت - پیریت، کلریتی و پروپیلیتیک است. میزبان رگه‌های معدنی رخنمون یافته در کانسار ماهور سنگهای با ترکیب داسیتی است، که روندی شمالی - جنوبی دارند. رگه‌های کانی‌سازی با روند NNE-SSW و شیب 85 تا 90 درجه دیده می‌شوند. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت، کوارتز و کانیهای ثانویه مالاکیت، آتاکامیت، آزوریت و گوتیت است. ناهنجاریهای بالایی از عناصر مس (تا 60417 ppm)، روی (تا 250438) و نقره (تا 1988 ppm) در محدوده مورد مطالعه نمود دارد. برداشتهای IP/RS به منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی در عمق انجام شد. خط مبنای مطالعات ژئوفیزیکی شمال شرق - جنوب غرب (N 7° E) هم‌روند با رگه معدنی و پروفیل‌ها عمود بر این روند طراحی شده‌اند. مقدار شارژابیلیته به 40msce می‌رسد که حاکی از وجود سولفید و کانیهای فلزات پایه در منطقه است. در کانسار ماهور دو زون مقاومت ویژه بالا و کم قابل تشخیص است. زون مقاومت ویژه بالا تا 350ohm.m در شبه مقاطع، مرتبط با زونهای کمتر خردشده است. زون دارای مقاومت ویژه کمتر در ارتباط با زونهای به شدت خرد شده می‌باشد. به‌طور کلی برداشتهای شارژابیلیته در منطقه ماهور وجود دو زون ناهنجاری در شمال شرق و دیگری در جنوب غرب محدوده را به‌وضوح نشان می‌دهد. 6 گمانه حفر شده در محل ناهنجاری معرفی شده مطالعه و در فواصل 1 متری از مغزه‌ها نمونه ژئوشیمیایی اخذ گردید. بیشترین ناهنجاریها همراه با آلتراسیون کوارتز - سرسیت - پیریت، سیلیسی، کلریت و مناطق با گسترش شدید اکسیدهای آهن ثانویه است.

واژه‌های کلیدی: شارژابیلیته، مقاومت ویژه، چاه‌نگاری، ماهور، بلوک لوت

## مقدمه

لوت در سنوزوئیک به‌طور خاص در ائوسن شاهد فعالیت‌های گسترده ماگمایی بوده است (Aghanabati, 2004). فعالیت‌های اکتشافی اخیر و مطالعات صورت گرفته توسط محققان زمین‌شناس در این بخش از پهنه آتشفشانی - نفوذی لوت حاکی از اهمیت آن به لحاظ اکتشاف ذخایر جدیدی از مس، طلا، روی و سرب می‌باشد.

منطقه اکتشافی ماهور یک سیستم پلی‌متال (مس، روی و نقره) رگه‌ای در شرق ایران و 45 کیلومتری غرب دهسلم است، که در محدوده طولهای جغرافیایی 58° 53' 00" تا 53° 38' 58" شرقی و عرض جغرافیایی 31° 09' 10" تا 10' 30" شمالی قرار دارد (شکل 1). منطقه مورد گزارش به لحاظ تقسیمات ساختاری جزئی از بلوک لوت است. این بخش از

- 4- عملیات اندازه‌گیری IP/RS به تعداد 2585 نقطه و به‌روش مستطیلی با فاصله پروفیل‌های 50 متر و فاصله الکترودی 20 متر
- 5- تفسیر مقاطع IP/RS با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی

#### زمین‌شناسی

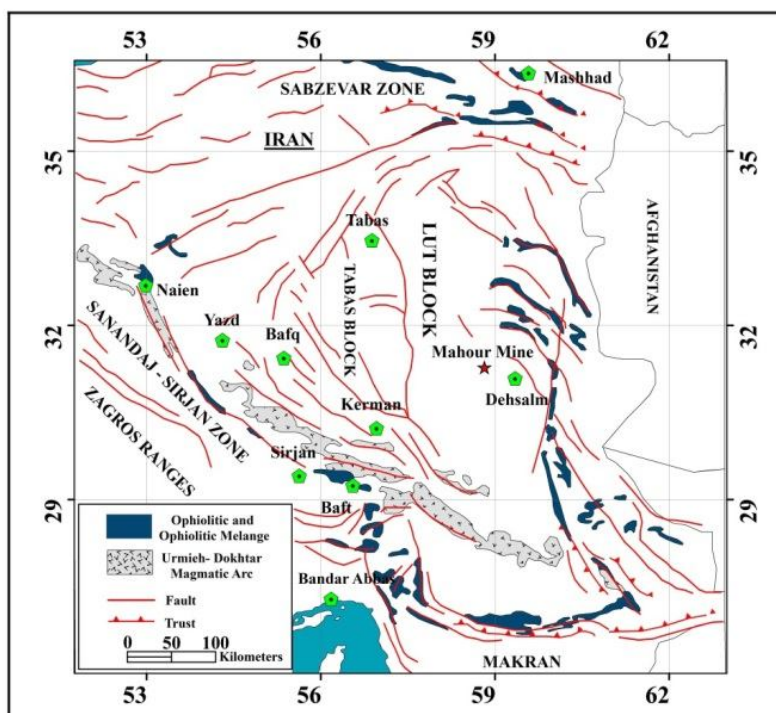
محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی جزئی از بلوک لوت است. محدوده اکتشافی ماهور از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در جنوب‌غربی چهارگوش 1:250000 ده‌سلم (چاه‌وک) (Griffs et al., 1992) و شرق بلوک لوت واقع است. بر اساس داده‌های موجود در نقشه یاد شده این منطقه مجموعه‌ای از سنگهای آتشفشانی و مواد آذرآواری است. با تأکید بر روی محدوده اصلی آلتراسیون - کانی‌سازی ماهور و به‌منظور تفکیک بیشتر سنگ‌شناسی، کانی‌سازی و آلتراسیون منطقه، نقشه‌ای در مقیاس 1:1000 تهیه شد (شکل 2). بر اساس روابط صحرایی و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته واحدهای سنگ‌شناسی موجود در منطقه را می‌توان به شرح زیر تقسیم کرد: 1- سنگهای آذرآواری شامل لاپیلی توف، کریستال - ویتریک توف و ایگنیمبریت به سن ائوسن پیشین - میانی، 2- سنگهای داسیتی که توده‌های نیمه‌عمیق در آن نفوذ کرده است، 3- واحدهای حدواسط تا بازیگ به سن ائو- الیگوسن، 4- توده‌های نفوذی نیمه عمیق نظیر دیوریت، کوارتز دیوریت و گرانودیوریت 5- تراس‌های آبرفتی متعدد، رسوبات رودخانه‌ای، تل‌ماسه‌ها و دشتهای سیلابی عهد حاضر. سنگهای آذرآواری شامل توف و توف‌های جریان‌ی به رنگ قهوه‌ای، قرمز تا سبز قدیمی‌ترین واحد رخنمون‌یافته در محدوده ماهور است. این واحد در بخشهای شرقی و غربی محدوده مورد مطالعه برون‌زد دارند. توف‌ها بیشتر از نوع لاپیلی توف، کریستال - لیتیک توف، کریستال - ویتریک توف و ایگنمبریت می‌باشند. این واحد دارای بافت پیروکلاستیکی است. اجزای اصلی سازنده این سنگها را قطعات سنگی و بلورهای پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، بیوتیت و آمفیبول تشکیل می‌دهند. قطعات سنگی اغلب با اندازه‌هایی بیش از 1 mm دارای ترکیب آندزیتی بوده و درشت‌بلورها در این قطعات به‌طور عمده پلاژیوکلاز و با خمیره میکرولیتیک تا شیشه‌ای هستند.

در گذشته چندین نوشته علمی در مورد کانسار ماهور منتشر شده است، میرزایی راینی و همکاران (Mirzaei Rayni et al., 2012a; Mirzaei Rayni et al., 2012b) به مطالعه سیالات کانه‌ساز ماهور پرداخته‌اند. سپس اسفورم و همکاران (Sform et al., 2012) نیز با برداشت تعدادی نمونه سنگی از محدوده کانسار سعی در مطالعه ژئوشیمی و سنگ‌شناسی واحدهای دربرگیرنده کانسار ماهور نموده‌اند.

پژوهش حاضر سعی در تکمیل مطالعات صورت گرفته پیشین در مورد کانسار ماهور را دارد. در این مقاله، برای نخستین بار از محدوده کانسار نقشه زمین‌شناسی - معدنی با مقیاس 1/1000 ترسیم و موقعیت، هندسه و روند واحدهای مختلف و رگه معدنی به‌خوبی نمایش داده شده است. نقشه‌های مشابهی از هندسه و پراکندگی کانیهای سولفیدی و اکسیدی نیز ترسیم شده است. همچنین با استفاده از روش ژئوفیزیکی IP/RS و تلفیق نتایج حاصل از آن با سایر داده‌های زمین‌شناسی سعی در تعیین محل و گسترش عمقی رگه‌های سولفیدی، به‌منظور تعیین محل دقیق نقاط حفاری شده است. روش IP/RS در تعیین محل و گسترش عمقی کانی‌سازی سولفیدی در کانسارهای مختلفی مانند المپیک دم در استرالیا (Esdale et al., 1987)، کانسار طلای اپی‌ترمال هیشی‌کاری در کاگوشیما ژاپن (Okada, 1995; Okada, 2000; Lzawa et al., 1990)، سرب و روی چنگ در چین (Guo et al., 2000)، مس رسوبی آدلاید جنوب استرالیا (Stuart and Dentith, 2003)، مس هیل (White et al., 2001) و کانسار سرب، روی، نقره و مس مانت ایسا در کوئینزلند استرالیا (Rutley et al., 2001) استفاده شده است.

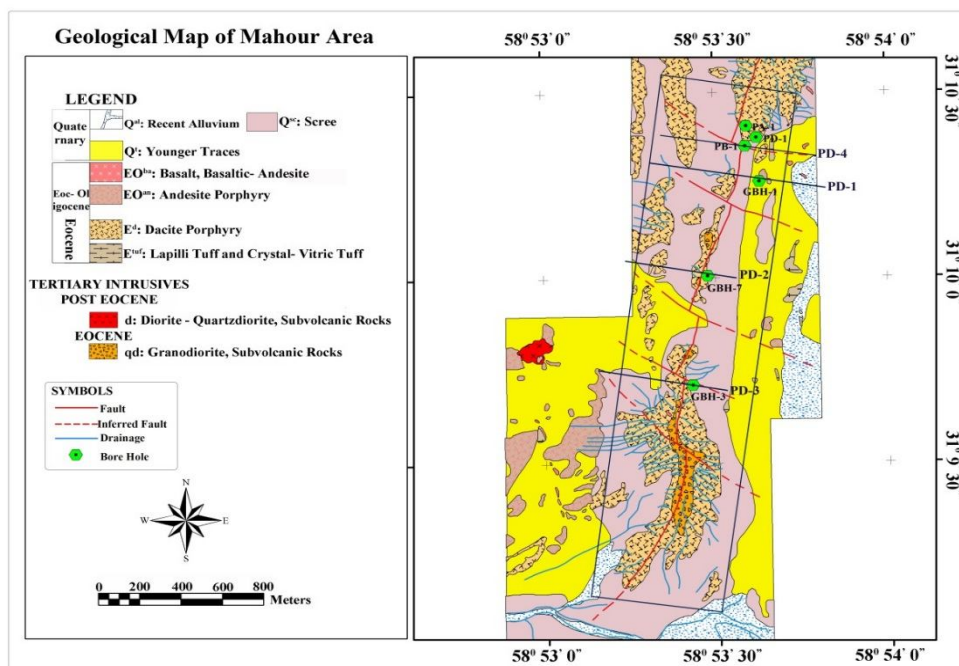
#### روش مطالعه

- 1- مطالعه 70 مقطع نازک و 45 بلوک صیقلی به‌منظور مطالعات پتروگرافی، آلتراسیون و کانی‌سازی سطحی و زیرسطحی
- 2- تهیه نقشه زمین‌شناسی و کانی‌سازی با مقیاس 1:1000، از محدوده مورد مطالعه
- 3- مطالعه زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی 6 گمانه حفر شده



شکل 1. موقعیت کانسار ماهور بر روی نقشه ساختاری مرکز و شرق ایران (Berberian, 1981; Jackson and Mckenzie, 1984; Haghypour and Aghanabati, 1989; Hajimirzajan et al., 2013)

**Fig. 1.** Position of the Mahour ore deposit on the tectonic map of central and eastern Iran (Berberian, 1981; Jackson and Mckenzie, 1984; Haghypour and Aghanabati, 1989; Hajimirzajan et al., 2013)



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی منطقه ماهور، چهارگوش مطالعات ژئوفیزیکی و موقعیت پروفیل‌های IP/RS در کانسار ماهور

**Fig. 2.** Geological map of the Mahour area, the rectangle of geophysical studies and position of IP/RS profiles in Mahour ore deposit

غرب منطقه رخنمون دارد. در این واحد بافت، گرانولار و پورفیری با زمینه دانه متوسط است. کانیهای مشاهده شده در این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز، هورنبلند، اوژیت، آپاتیت و کوارتز که با فراوانی کمتر از 5 درصد در بین کانیهای دیگر نمود دارد. از محصولات دگرسانی پلاژیوکلاز می‌توان به سرسیت و کانیهای رسی اشاره کرد. کانیهای مافیک این واحد نیز در برخی نقاط با کلریت و کانیهای اپاک جایگزین شده‌اند. کوارتزدیوریت نیز در غرب محدوده برون‌زد دارد. این واحد دارای بافت گرانولار متوسط بلور می‌باشد، همچنین هم‌رشدی محلی کانیهای کوارتز و فلدسپات آلکانل باعث ایجاد بافت میکروگرافیک در این واحد شده است. عمده کانیهای تشکیل‌دهنده این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکانل، هورنبلند و کوارتز با فراوانی 15 تا 20 درصد. کانیهای حاصل از دگرسانی این واحد شامل کلریت، کربنات و اپیدوت است. گرانودیوریت نیز در بخش مرکزی و جنوب محدوده مورد مطالعه برون‌زد دارد. این واحد دارای بافت گرانولار متوسط دانه است. عمده کانیهای تشکیل‌دهنده آن واحد شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و آلکالی فلدسپار است. از محصولات دگرسانی فلدسپات‌ها می‌توان به سرسیت و کانیهای رسی اشاره کرد. هورنبلند نیز در برخی نقاط با کلسیت و سرسیت جایگزین شده است. این واحد در محل برون‌زد داسیت‌ها را قطع کرده است. واحدهای آتشفشانی منطقه عبارتند از: داسیت، آندزیت، بازالت، آندزیت - بازالت و آذرآوری.

#### دگرسانی

بر اساس مطالعات انجام شده دگرسانیهای متفاوتی در محدوده مورد مطالعه قابل تفکیک است. این دگرسانیها شامل (1) دگرسانی پروپیلیتیک (2) آرژیلیک (3) فیلیک (کوارتز + پیریت + سرسیت) (4) سیلیسی شدن می‌باشند. دگرسانی پروپیلیتیک در بخش شرقی، جنوب شرقی و غرب محدوده گسترش دارد، این دگرسانی بیشتر همراه با واحدهای بازالت، بازالتیک - آندزیت، آندزیت و به صورت ضعیف‌تر همراه با واحد دیوریتی است. کانیهای عمده تشکیل‌دهنده این زون شامل کلریت، کلسیت و اپیدوت است. این دگرسانی در منطقه به طور محلی با سرسیت و پیریت نیز همراه می‌باشد. دگرسانی آرژیلیک به علت حضور گسترده کانیهای رسی با تخریب بافتی همراه

از خصوصیات این قطعات می‌توان به مورفولوژی زاویه‌دار تا بیضی شکل اشاره نمود. در برخی موارد این لیتیک‌ها توسط کلسیت جایگزین شده است. از عمده‌ترین درشت‌بلورها می‌توان به قطعات زاویه‌دار کوارتز، بیوتیت‌های کلریتی شده و پلاژیوکلازهای سرسیتی شده با پراکندگی کم اشاره نمود. در برخی موارد این کانیها توسط کلسیت با نسبتهای متفاوت جایگزین شده‌اند. خمیره از قطعات پیروکلاستیکی در حد خاکستر تشکیل شده است. این قطعات تا حدی توسط کلسیت و کلریت جایگزین شده است. داسیت با رنگ روشن بیشترین گسترش را در محدوده کانسار مهور دارد. این واحد در مرکز، غرب و شمال غرب محدوده برون‌زد دارد. بافت این واحد پورفیری است. کانیهای تشکیل‌دهنده آن عبارتند از: پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند. در این واحد در برخی نقاط پلاژیوکلاز با سرسیت و هورنبلند با کلسیت، سرسیت و کانیهای رسی جایگزین شده‌اند. آندزیت نیز در شرق و جنوب شرق منطقه رخنمون دارد. در این واحد بافت پورفیری مشاهده شده است. در برخی نقاط با تجمع درشت‌بلورها بافت گلومروپورفیریتیک ایجاد شده است. کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده این واحد شامل پلاژیوکلاز و هورنبلند است. سرسیتی و کربناتی شدن با شدت کم تا شدید فلدسپارها، کربناتی و کلریتی شدن با شدت کم تا شدید هورنبلندها از انواع دگرسانی این واحد به‌شمار می‌آید. مجموعه آتشفشانی بازالتی شامل بازالت و آندزیت - بازالت با بافت پورفیری و ویتروفیریک در بخشهای شرقی و شمال‌غربی و غرب محدوده مورد مطالعه برون‌زد دارد. حضور تجمع‌های بلوری در زمینه سبب ایجاد بافت گلومروپورفیریک در این واحد شده است. این واحد به‌طور عمده از کانیهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند و اولیوین تشکیل شده است. بلورهای فلدسپار با درجات شدید دگرسانی کربناتی، کلریتی و به میزان کمتر دگرسانی سیلیسی را نشان می‌دهند. بلورهای هورنبلند دگرسانی کلریتی شدید و کمتر کربناتی شدن را نشان می‌دهند. پیروکسن و اولیوین‌ها حاشیه‌پاسیته شده نشان می‌دهند، و توسط کلریت و اکسیدهای آهن با درجه شدید جانشین شده‌اند. توده‌های نیمه‌عمیق منطقه مهور شامل دیوریت، کوارتزدیوریت و گرانودیوریت می‌شوند. بافت اغلب آنها پورفیری با زمینه ریز تا متوسط دانه است و گاه بافت گرانولار دارند. این توده‌ها به شکل‌های آپوفیز و دایک در منطقه قابل مشاهده‌اند. دیوریت در

و موجب تشکیل منطقه اکسیدی و یک زون غنی‌سازی برین‌زاد در کانسار ماهور شده است. در اقلیم‌های بسیار خشک، کانیهای حل‌شدنی در آب مانند سولفات‌ها و کلریدهای مس و آهن، می‌توانند در منطقه اکسایش باقی بمانند (Guilbert and Park, 2010). از این‌رو اقلیم خشک کویر لوت سبب شده است که منطقه اکسیده تا حدودی مس خود را به‌صورت مالاکیت و آتاکامیت حفظ کرده باشد. این کانیها به همراه هیدروکسیدهای آهن در بخش سطحی و در داخل شکستگیها ایجاد شده‌اند. دانه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل گوتیت و لایه‌های متحدالمرکز لپیدوکروسیت (شکل 5-A) از جمله هیدروکسیدهای آهن این زون به شمار می‌آیند. با توجه به این‌که درجه انحلال گوتیت در مواجهه با آثار جوی زیاد است، در نتیجه در این منطقه پس از شست‌وشو همراه با هیدروکربناتهای مس از جمله مالاکیت و آزوریت فضایی بین دانه‌های سولفیدی واپاشی شده را فرا گرفته‌اند و گاه با لایه‌های هیدروکسید آهن به‌صورت متناوب در آمده‌اند (شکل 5-B). به‌طور کلی پاراژنز کانیایی منطقه فروشت و اکسیدی شامل مالاکیت، آزوریت، آتاکامیت، گوتیت، لپیدوکروسیت و هماتیت است. منطقه غنی‌شده در کانسار ماهور بلافاصله از زیر بخش اکسیده در ژرفای تقریبی 80 تا 150 متری از سطح زمین گسترش دارد. ممکن است این مرز متغیر بین منطقه غنی‌شده و منطقه اکسیدی نمایانگر موقعیت سطح ایستایی در زمان غنی‌سازی برین‌زاد باشد (Guilbert and Park, 2010). مقدار مس در زون غنی‌سازی به‌طور ناگهانی افزایش یافته است، و به سمت کانسنگ اولیه به تدریج کم می‌شود. در کانسار ماهور آثار غنی‌سازی برین‌زاد تا اعماق 400 متری از سطح زمین قابل ردیابی است. به‌طور کلی این منطقه در کانسار ماهور با اجتماعی از کانیهای کوولیت، کالکوسیت، برنیت و انگلزیت مشخص است. این کانیها به‌صورت جاننشینی و حاشیه‌ای جایگزین کانیهای نظیر کالکوپیریت و پیریت شده‌اند. در شکل (5-D) نمایی از واپاشی کالکوپیریت اولیه به کوولیت که طی آن تنها آثاری از کالکوپیریت اولیه به‌عنوان بافت باقی‌مانده بر جا مانده است، نمایش داده شده است. در منطقه درون‌زاد و یا اولیه نیز کانیهای مشتمل بر پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، کوبالتیت، آرسنوپیریت و استیبینیت نمود دارند.

است. این زون در محدوده مورد مطالعه با واحد داسیتی و گرانودیوریت همراه است. کانیهای رسی عمده محصول این دگرسانی می‌باشند. از دیگر کانیهای مشاهده شده در این زون می‌توان به سیلیس، سرسیت و سولفید اشاره کرد. در برخی از نقاط نیز کلریت با شدت کم قابل تشخیص است، حضور این کانی نشانه‌ای از تداخل این زون دگرسانی با زون پروپیلیتیک می‌باشد. هوازگی سوپرژن نیز سبب افزایش کانیهای رسی و تشکیل کانیهای لیمونیت و ژپس در این دگرسانی شده است. زون کوارتز + سرسیت + پیریت (لیمونیت) در مرکز و شمال محدوده مورد مطالعه همراه با واحد گرانودیوریت و داسیت نمود دارد. این دگرسانی واجد پیریت، پیریت‌های اکسیده و یا لیمونیت‌های پراکنده و ریزبلور، سیلیس و سرسیت است. سیلیسی شدن در منطقه مورد مطالعه به چند حالت مختلف قابل مشاهده می‌باشد. توده‌های سیلیسی بی‌قاعده، رگه‌های سیلیس توده‌ای و کوارتز شانه‌ای شیری تا خاکستری رنگ از جمله نمودهای مختلف این دگرسانی در منطقه است. توده‌های سیلیسی بی‌قاعده به‌صورت زون‌ها و کپ‌های به‌شدت سیلیسی کریپتوکریستالین تا دانه ریز در سطح رخنمون دارند. در برخی موارد این سیلیس‌ها با مقادیر متفاوتی از پیریت، لیمونیت، گوتیت، هماتیت و مالاکیت همراه می‌باشند.

### کانی‌سازی

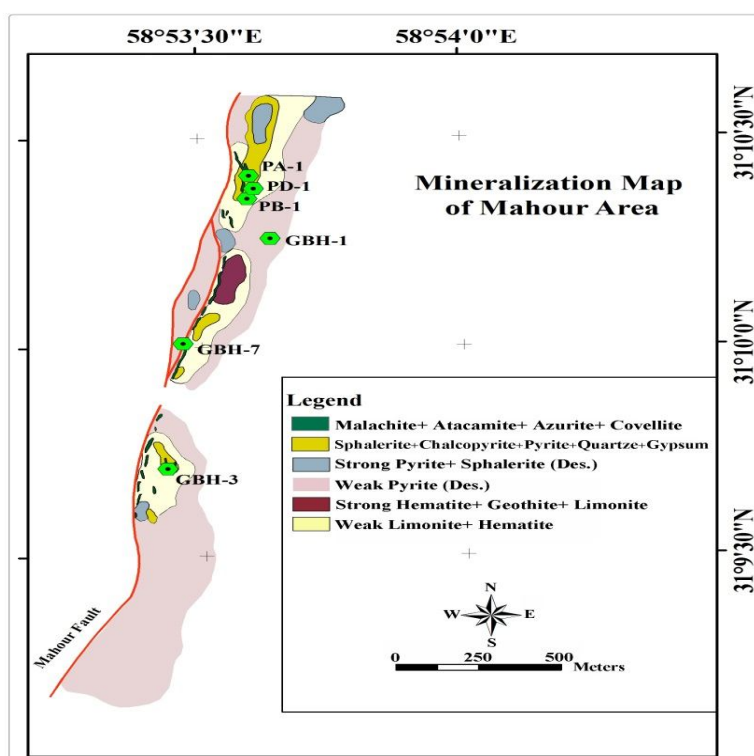
کانی‌سازی رخنمون‌یافته در منطقه به‌صورت رگه‌ای، در زون گسلی ماهور موجود در واحد فلسیتی متعلق به ترشیری است. روند این گسل رگه NNE-SSE و دارای شیب 80 تا 85 درجه به سمت شرق است. طول رگه کانی‌سازی شده در امتداد گسل ماهور به 1200 متر می‌رسد. کانسنگ، فضا‌های خالی در امتداد این گسل را که پهنایی متغیر از، کمتر از 40 سانتی‌متر تا افزون بر 6 متر دارد، پر کرده است. در شکل 3 روند، هندسه و کانی‌شناسی کانسنگ نشان داده شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته صحرایی و آزمایشگاهی و بررسی مغزه‌های حفاری، در نگاهی کلی از سطح به عمق، کانی‌زایی را در کانسار ماهور می‌توان به سه منطقه فروشت و اکسیدی، غنی‌شدگی (غنی‌سازی) سولفیدی و منطقه درون‌زاد و یا اولیه تقسیم نمود. آبهای جوی مقادیری از کانسنگ‌های سولفیدی نظیر مس، روی و سرب را شسته و به سمت پایین انتقال داده

بی‌شکل از اسفالریت در داخل بلورهای پیریت قدیمی مشاهده شده است، که می‌تواند نشان‌دهنده فازی کانه‌دار از اسفالریت قبل از پیریت باشد، در نتیجه کانی اسفالریت در کانسار ماهور قابل تفکیک به دو نسل قدیم و جدید می‌باشد.

کالکوپیریت با درصد حجمی متوسط (1 تا 10 درصد) تا بالا (بیش از 10 درصد) و اندازه‌های 0/2 تا 0/6 میلی‌متر در نمونه‌های مطالعه شده نمود دارد. کالکوپیریت نیز در کانسار پلی‌متال ماهور به صورت دو نسل قدیم و جدید وجود دارد. نسل قدیم به‌عنوان انکلوزیون در داخل دانه‌های پیریت قدیمی مشاهده شده است. کالکوپیریت نسل جدید نیز به صورت فاز واخورده و جدا شده از اسفالریت در عمق‌های کم و هم به صورت بافت توده‌ای در عمق‌های بیشتر مشهود است (شکل 5-D, G و H). گالن، با بافت رگه‌چه‌ای - توده‌ای با درصد حجمی متوسط (1 تا 10 درصد) و در اندازه‌های 0/01 تا 0/3 میلی‌متر با قدرت بازتابش (R%≈45) در نمونه‌های مطالعه شده تظاهر دارد. این کانی فازه‌های قدیمی‌تر نظیر اسفالریت، کالکوپیریت و تتراهدريت را قطع کرده و در داخل آن جای گرفته است (شکل 5-E و 5-H).

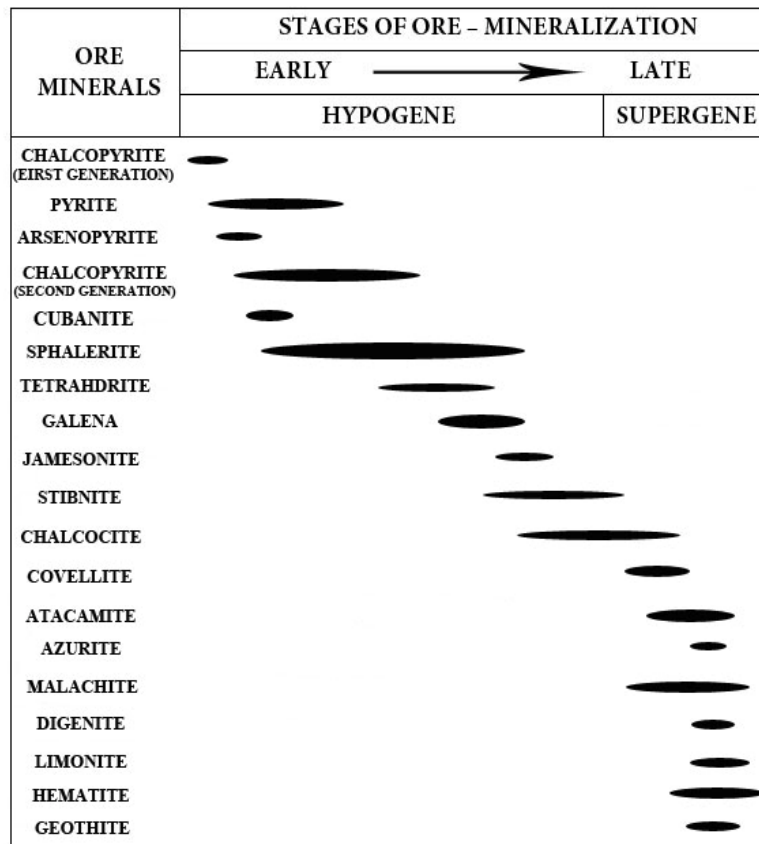
همان‌طور که در نمودار توالی پاراژنزی کانسار ماهور (شکل 4) قابل ملاحظه است، پیریت یکی از فراوانترین و قدیمی‌ترین کانی‌های سولفیدی در کانسار ماهور است. در نمونه‌های مورد مطالعه این کانی به‌طور غالب به صورت پراکنده با بلورهای خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار و با اندازه‌های 0/03 تا 7 میلی‌متر با درصد حجمی بالا بیش از 10 درصد (تا 85 درصد) با قدرت بازتابش بالا (R%≈55) تظاهر دارد. برخی از بلورهای پیریت دچار تنش‌های تکتونیکی شده و به شیوه مکانیکی خرد شده و به قطعاتی ریز و درشت به فابریک برشی تبدیل شده‌اند (شکل 5-C). این خردشدگی می‌تواند گویای پدیده میلونیتی شدن باشد.

اسفالریت، به صورت بافت توده‌ای به رنگ خاکستری و با رنگ انعکاسی داخلی نارنجی با اندازه‌های 1 تا 4 میلی‌متر و با درصد حجمی بالا بیش از 10 درصد (تا 60 درصد) نمود دارد، این کانی حاوی ریزرگه‌چه‌ها و قطره‌های امولسوئیدی کالکوپیریت در جهات خاص است که تداعی کننده بافت اکسولوشن امولسوئیدی می‌باشد (شکل 5-G). این کانی همچنین دربردارنده انکلوزیون‌های پیریت فاز انتشاری است، که نشانه جوانتر بودن آن است. در یک مقطع انکلوزیونی



شکل 3. نقشه کانی‌سازی کانسار ماهور (بر اساس مطالعات چاه‌نگاری و پیمایش‌های صحرائی)

Fig. 3. Mineralization map of Mahour ore deposit (based on logging studies and field survey)



شکل 4. نمودار شماتیک توالی پاراژنتیکی عمومی کانسار ماهور

Fig. 4. Schematic diagram showing generalized paragenetic sequence at the Mahour ore deposit

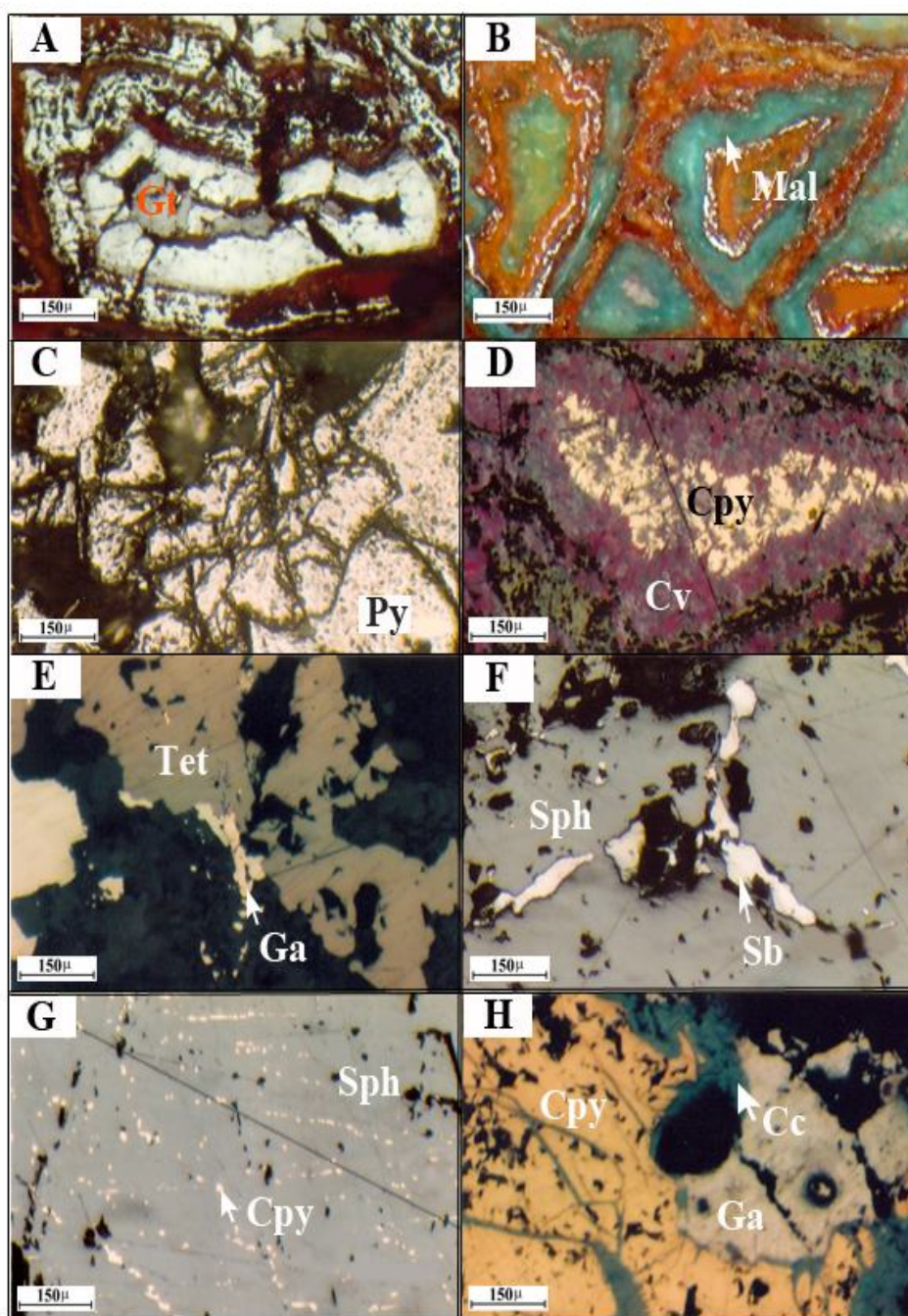
زمانی دیرتر از فاز اول اتفاق افتاده و نمود آن کانی استیبینیت است (شکل 5-F). همچنین وجود آرسنوپیریت به‌عنوان ردیاب طلا و استیبینیت که همبود یا همیافت با کانی‌سازی طلا می‌باشد، وجود طلا همراستا با این فاز را قطعی می‌کند.

#### برداشت‌های IP/RS

عملیات IP/RS با استفاده از آرایش مستطیلی با فاصله پروفیل‌های 50 متر و فاصله الکترودی 20 متر طراحی و اجرا شد. در مجموع در کانسار ماهور 2585 نقطه با روش IP/RS برداشت شد. دستگاه‌های مورد استفاده در این عملیات ژئوفیزیکی عبارت است از:

دستگاه فرستنده جریان<sup>1</sup>: این دستگاه با قدرت 3/6 کیلووات شامل یک موتور ژنراتور و فرستنده جریان از نوع GDDTX2 ساخت کشور کانادا می‌باشد.

تتراهدریت نیز با بلورهای بی‌شکل توده‌ای به‌داخل اسفالریت توده‌ای نفوذ کرده و نسبت به آن جوانتر می‌باشد. این کانی نقره‌دار به رنگ طوسی با سایه سبز است و از درصد حجمی پایینی برخوردار است. از دیگر کانیهای کانسار پلی‌متال ماهور می‌توان به جیمزسونیت، آرسنوپیریت، کوبانیت و استیبینیت (شکل 5-F) اشاره کرد. در نگاهی کلی پارژنز کانیایی کانسار پلی‌متال ماهور در شکل 4 نشان داده شده است. آنچه که از بررسی مقاطع صیقلی کانسار ماهور قابل درک است، وجود دو فاز عمده کانی‌زایی در این کانسار است، فاز اول با پارژنز پیریت و محلول جامد اسفالریت- کالکوپیریت مشخص است، این فاز نشانگر کانی‌زایی در دمای بالاست. از نشانه‌های این فاز می‌توان به وجود بافت اکسولوشن بین اسفالریت و کالکوپیریت (شکل 5-G) و وجود رنگ خاکستری تیره در اسفالریت که بیانگر وجود FeS در شبکه اسفالریت است، اشاره کرد. فاز دوم نشانه‌هایی از نوعی کانه‌زایی اپی‌ترمال به همراه دارد که در



شکل 5. A: بافت نواری - متحدالمركز گوتیت و لپیدوکروسیت، B: بافت نواری - متحدالمركز مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن، C: بافت برشی شده پیریت، D: جایگزین شدن کالکوپیریت توسط کوولیت، E: رگه‌چه گالن که بلور تتراهدریت را قطع نموده است، F: بلورهای سوزنی و کشیده استینیت که بلور اسفالریت را قطع نموده است، G: بافت امولسوئیدی بین اسفالریت و کالکوپیریت، H: کالکوسیت که توسط یک رگه‌چه گالن قطع شده است. (Gt = گوتیت، Mal = مالاکیت، Py = پیریت، Cpy = کالکوپیریت، Cv = کوولیت، Tet = تتراهدریت، Ga = گالن، Sb = استینیت، Sph = اسفالریت، Cc = کالکوسیت)

**Fig. 5.** A: Banded-concentric texture of goethite and lepidocrocite, B: banded-concentric texture of malachite and Fe hydroxides, C: brecciated texture, pyrite, D: chalcopyrite replaced by covellite, E: galena veinlet cut tetrahedrite crystal, F: lamellar stibnite cut sphalerite, G: emulsion texture between sphalerite and chalcopyrite, H: chalcocite is cut by a galena veinlet. (Gt = Geothite, Mal = Malachite, Py = Pyrite, Cpy = Chalcopyrite, Cv = Covellite, Tet = Tetrahedrite, Ga = Galena, Sb = Stibnite, Sph = Sphalerite, Cc = Chalcocite)



A بالاتر بوده ( $19.0\text{mv/v}$ ) که احتمالاً به علت گسترش کانه‌زایی به صورت پیریت پراکنده می‌باشد.

به‌طور کلی آنچه در این نقشه ملاحظه می‌گردد گسترش بی‌هنجاری IP به‌صورت افقی بوده و ابعاد آن در دو بعد مورد بررسی قرار گرفته است. لذا جهت بررسی بعد دیگر آن یعنی عمق بی‌هنجاری و چگونگی قرار گرفتن آن و همچنین تعیین نقاط حفاری اکتشافی اقدام به انجام 4 شبه مقطع با آرایش قطبی - دوقطبی (PD-1 الی PD-4) نموده که مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پروفیل PD-1 در بخش شمال شرق محدوده مورد مطالعه، عمود بر روند کانی‌زایی در زون A اندازه‌گیری شده است. این پروفیل با طول تقریبی 900 متر و با فواصل الکترودی 40 متر جهت بررسی احتمالی کانی‌زایی و گسترش آن در اعماق مختلف طراحی و برداشت گردید. جهت دسترسی به اطلاعات از سطح تا عمق 300 متری، از آرایش قطبی - دوقطبی با فواصل الکترودی پتانسیل 40 متر و الکترودی جریان با پرشهای 20 متر (جهت کنترل بیشتر بی‌هنجاریها) استفاده شده است. نتایج داده‌های خام با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv، مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده است. پروفیل PD-1 در راستای تقریبی شرقی - غربی اندازه‌گیری شده است. با بررسی‌های به‌عمل آمده از سمت شرق به غرب در مدل بارپذیری (شکل 7) وجود یک زون بی‌هنجاری IP تأیید می‌گردد که با روند گسل اصلی محدوده مورد مطالعه مطابقت دارد. در این پروفیل ناهنجاری شارژابیلیته به میزان  $34\text{ msec}$  در فاصله 680325 تا 680380 متری و در عمق (770m) 80 متر مشاهده می‌شود. این ناهنجاری می‌تواند به دلیل وجود کانیهای سولفیدی در این محل باشد. این زون در مدل مقاومت ویژه تبدیل به دو محدوده مقاومت ویژه بالا و یک بخش کم مقاومت می‌شود زون با مقاومت بالا از فاصله 680180 تا 680230 متر در عمق (710m) 90 متری و به میزان  $105\text{ohm.m}$  ثبت شده است بر اساس مشاهدات صحرائی این زون بر واحدهای داسیتی رخنمون یافته در شرق گسل ماهور منطبق است، در دو فاصله 680340 تا 680350 و 680435 تا 680460 نیز دو زون کم مقاوم‌تر وجود دارد، زون کم مقاومت اول در سطح به  $65\text{ohm.m}$  می‌رسد، زون کم مقاومت دوم در عمق (770m) 80 متری به میزان  $80\text{ohm.m}$  در شرق گسل ماهور واقع است.

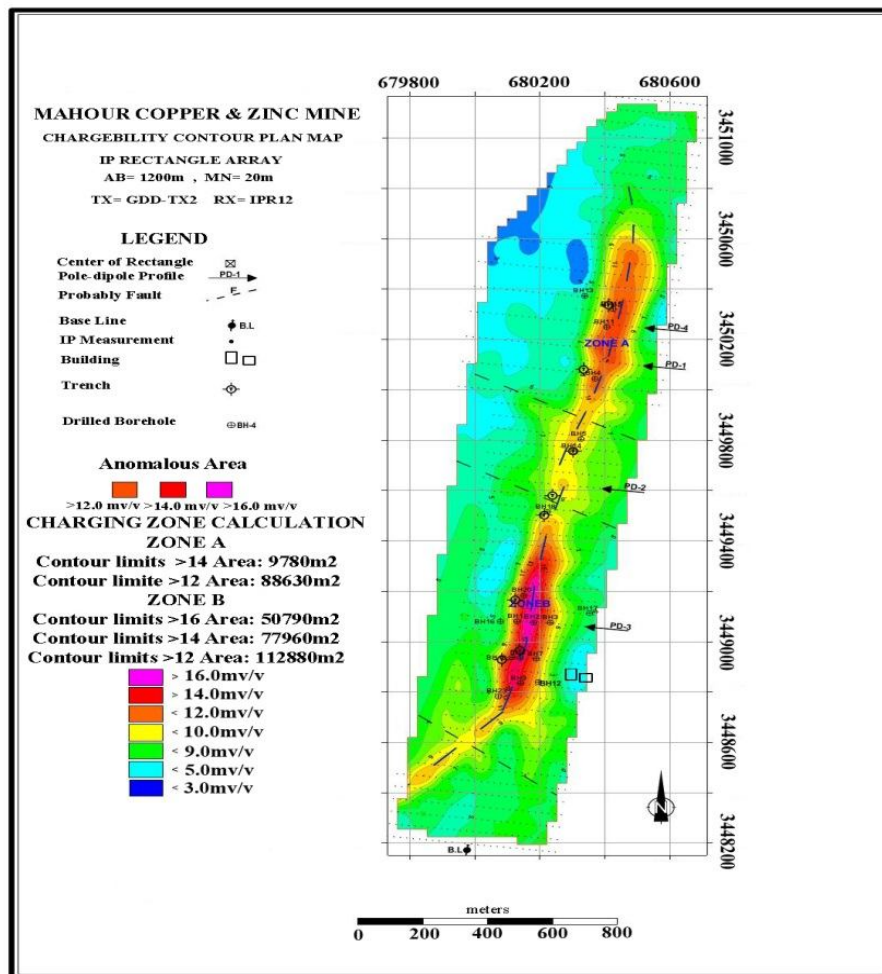
موتور ژنراتور جریانی با ولتاژ 240 ولت به فرستنده می‌دهد و فرستنده می‌تواند آن را تا 2400 ولت تقویت نموده و در فاصله زمانی 2-4-8 ثانیه توسط الکترودها به زمین ارسال و به‌طور خودکار قطع و وصل نماید.

دستگاه گیرنده جریان<sup>2</sup>: این دستگاه از نوع IPR-12 مقدار پتانسیل تولید شده (V) در زمین را حین فرستادن جریان و نسبت انتگرال منحنی دشارژ را به پتانسیل اولیه در فاصله زمانی در حدود 130-195 میلی‌ثانیه بعد از قطع جریان، اندازه‌گیری می‌نماید. پارامترهای معمول  $V_p$  (ولتاژ اولیه)، M (بارپذیری) و SP (پتانسیل خودزا) با این دستگاه قابل اندازه‌گیری هستند.

در محدوده مورد نظر به‌منظور بررسی گسترش کانه‌زایی در اعماق تا حدود 300 متر، آرایش مستطیلی با طول خط جریان  $AB=1200$  متر و فواصل الکترودی MN برابر با 20 متر طراحی و اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که در آرایش مستطیلی عمق نفوذ بستگی به عوامل مختلفی از قبیل توپوگرافی و مورفولوژی منطقه، اختلاف الکترودهای جریان (در یک سطح نبودن ارتفاع آنها) و وجود گسلهای عمیق دارد. موقعیت چهارگوش نقاط برداشت IP/RS بر روی نقشه زمین‌شناسی (شکل 2) جانمایی شده است.

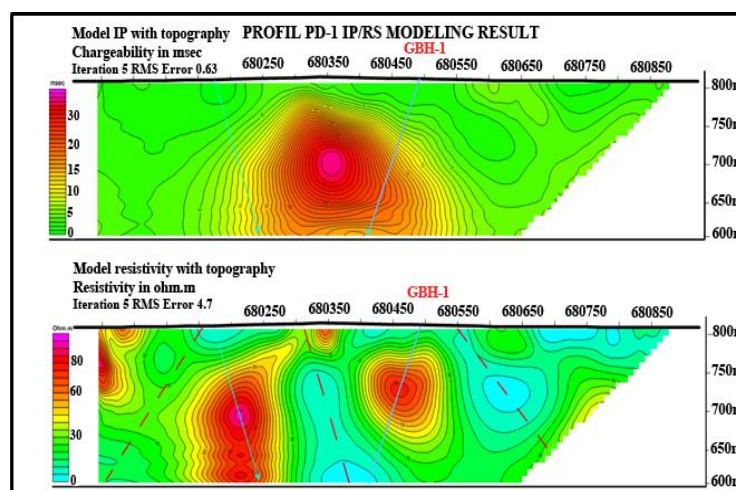
با استفاده از داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی گستره کانسار ماهور، خط مبنای مطالعات ژئوفیزیکی شمال شرق - جنوب غرب ( $N 7^\circ E$ ) هم روند با رگه معدنی و پروفیل‌ها عمود بر این روند طراحی شده‌اند. همان‌طوری که از بررسی نقشه بارپذیری (شکل 6) برمی‌آید از سمت جنوب به شمال روش IP وجود دو زون بی‌هنجاری در شمال شرق و دیگری در جنوب غرب محدوده را به‌طور وضوح نشان می‌دهد. روند این زون‌ها شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد. زون‌ها به ترتیب اهمیت و وسعت با علامت A و B مشخص شده‌اند. زون A در بخش شمال شرق محدوده قرار گرفته و از نظر بی‌هنجاری IP حائز اهمیت است. روند این زون شمال شرق - جنوب غرب بوده و وسعت آن به 30 هکتار می‌رسد.

زون B در بخش جنوب غربی محدوده کانسار قرار گرفته و از روند شمال شرق - جنوب غرب برخوردار بوده و وسعت آن به 20 هکتار می‌رسد. شدت بارپذیری این زون در مقایسه با زون



شکل 6. نقشه بارپذیری کانسار ماهور

Fig. 6. Chargeability map of Mahour ore deposit

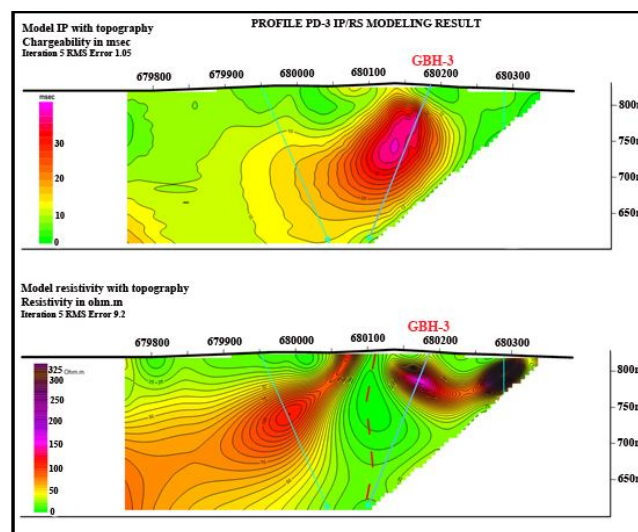


شکل 7. شبه مقطع IP/RS برای پروفیل PD-1 در کانسار ماهور

Fig. 7. IP/RS pseudo-section for profile PD-1 at the Mahour ore deposit

اعماق 150 متری ادامه دارد و از شدت بارپذیری بالایی برخوردار است. ناهنجاریهای شارژاییته در فاصله 680100 تا 680170 متری در عمق (775m) 75 متری به میزان msec 40 می‌رسد. این ناهنجاریها در فاصله 680140 متری به سطح می‌رسد، که می‌تواند به‌دلیل وجود کانیهای سولفیدی و اکسیدی به خصوص پیریت در این محل باشد. این بی‌هنجاری در مدل مقاومت ویژه به مانند بی‌هنجاری زون A (پروفیل-PD-1) تبدیل به دو محدوده مقاومت ویژه بالا و یک بخش کم مقاومت می‌شود. مقاومت ویژه بالا از فاصله 680250 تا 680320 متری از سطح تا عمق (750m) 60 متری قرار دارد. که به میزان 350ohm.m می‌رسد. زون کم مقاومت‌تر در فاصله 679960 تا 680025 متری در عمق (760m) 80 متری به میزان 125 ohm.m می‌باشد.

چنین استنباط می‌شود که بخش کم مقاومت می‌تواند مربوط به یک زون به‌شدت خرد شده و گسلی احتمالی و بخشهای با مقاومت ویژه بالاتر مرتبط به بخشهای کمتر خرد شده باشد. پروفیل PD-3 در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه، عمود بر زون کانه‌زایی و در زون B واقع است. این پروفیل با طول تقریبی 650 متر و با فواصل الکترودی 40 متر جهت بررسی احتمالی کانی‌زایی و گسترش آن در اعماق مختلف طراحی و برداشت گردید. پروفیل PD-3 به موازات پروفیل PD-1 و در راستای تقریبی شرقی- غربی مورد برداشت قرار گرفته است. با بررسیهای به‌عمل آمده از سمت شرق به غرب در مدل بارپذیری (شکل 8) وجود یک زون بی‌هنجاری IP تأیید می‌گردد که با روند گسل اصلی محدوده مورد مطالعه مطابقت دارد. این بی‌هنجاری از عمق نزدیک به سطح زمین شروع و تا



شکل 8. شبه مقطع IP/RS برای پروفیل PD-3 در کانسار ماهور

Fig. 8. IP/RS pseudo-section for profile PD-3 at the Mahour ore deposit

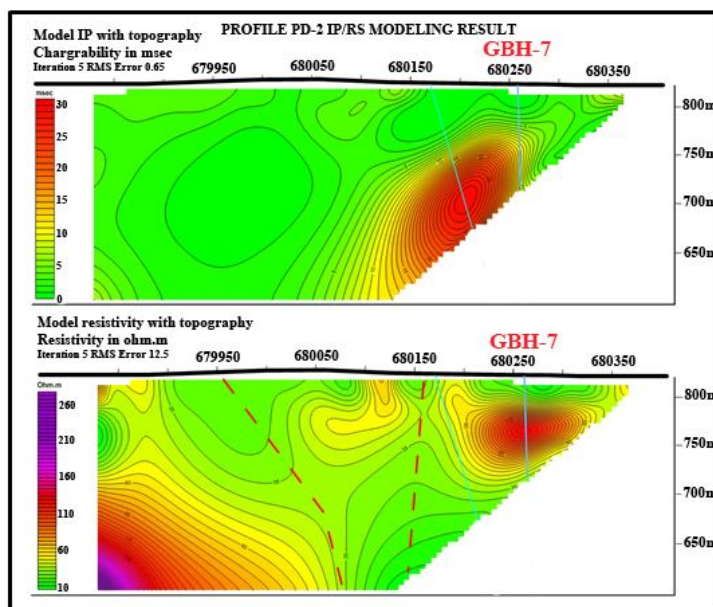
در عمق تقریبی (760m) 80 متری از زمین به میزان 30msec به ثبت رسیده و از گسترش عمقی زیاد برخوردار نمی‌باشد. در مدل مقاومت ویژه، محل بی‌هنجاری بارپذیری بر روی بخش مقاوم<sup>1</sup> منطبق بوده و همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد شیب بی‌هنجاری قائم و کمی به‌طرف شرق متمایل است.

پروفیل PD-4 در بخش شمال شرق محدوده مورد مطالعه بر روی زون A به موازات پروفیل PD-1 و به فاصله 150 متری در طول تقریبی 800 متر و با فواصل الکترودی 40 متر طراحی و اندازه‌گیری شد. این پروفیل به موازات پروفیل PD-1 و در

پروفیل PD-2 در بخش مرکزی محدوده معدن در حد فاصل زون A و زون B جهت بررسی وجود و یا عدم کانه‌زایی به طول تقریبی 550 متر و با فواصل الکترودی 40 متر طراحی و اندازه‌گیری شد. این پروفیل نیز به موازات پروفیل PD-1 و در راستای تقریبی شرقی- غربی برداشت شده است. با بررسیهای به‌عمل آمده از سمت شرق به غرب در مدل بارپذیری (شکل 9) وجود یک زون بی‌هنجاری IP کم عمق تأیید می‌گردد که با روند گسل اصلی محدوده معدن مطابقت کامل را نشان می‌دهد. این بی‌هنجاری در فاصله 680170 تا 680220 متری

می‌گردد که با روند گسل اصلی محدوده معدن مطابقت کامل را نشان می‌دهد.

راستای تقریبی شرقی - غربی اندازه‌گیری شده است. با بررسی‌های به‌عمل آمده از سمت شرق به غرب در مدل بارپذیری (شکل 10) وجود یک زون بی‌هنجاری IP تأیید

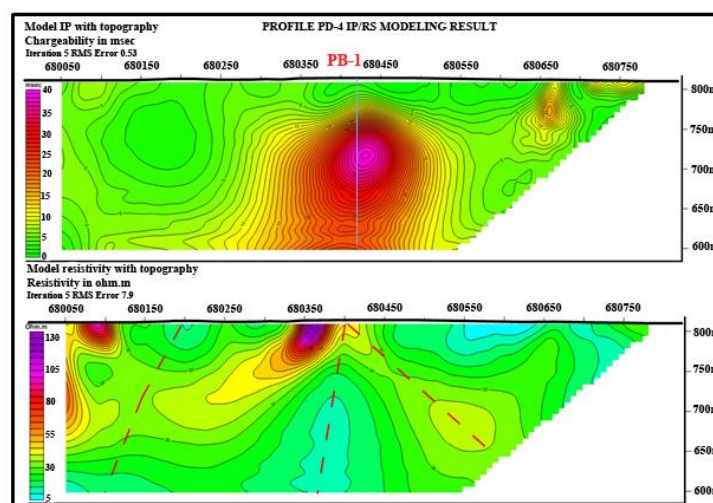


شکل 9. شبه مقطع IP/RS برای پروفیل PD-2 در کانسار ماهور

Fig. 9. IP/RS pseudo-section for profile PD-2 at the Mahour ore deposit

680370 تا 680350 متری نزدیک به سطح زمین به میزان  $130\text{ohm.m}$  می‌رسد، زون کم مقاومت در فاصله 680085 تا 680100 متری به میزان  $100\text{ohm.m}$  در نزدیکی سطح زمین ثبت شده است. شیب بی‌هنجاری به سمت غرب متمایل است.

این بی‌هنجاری در فاصله 680400 تا 680450 متری در عمق 70 (770m) متر به میزان  $40\text{msec}$  ثبت شده است. این زون در مدل مقاومت ویژه تبدیل به دو محدوده مقاومت ویژه بالا و یک بخش کم مقاومت می‌شود. مقاومت ویژه بالا در فاصله

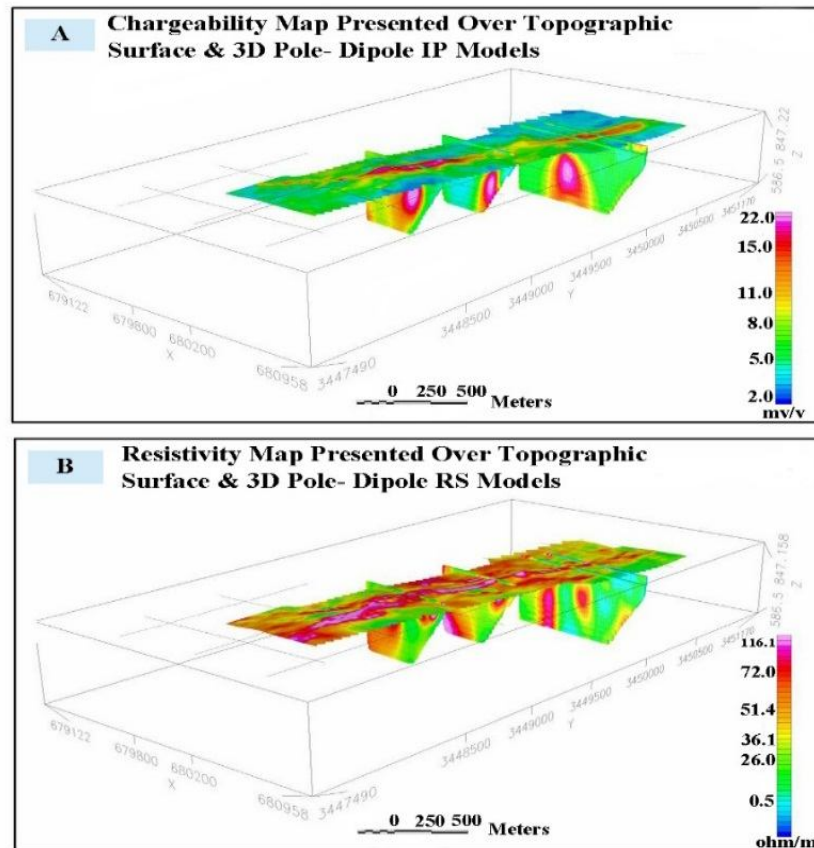


شکل 10. شبه مقطع IP/RS برای پروفیل PD-4 در کانسار ماهور

Fig. 10. IP/RS pseudo-section for profile PD-4 at the Mahour ore deposit

داده شده است، همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نتایج حاصل یکدیگر را تأیید می‌نمایند.

در (شکل‌های A-11 و B-11) تلفیق و مقایسه نتایج مطالعات ژئوفیزیکی به روش IP/RS به صورت سه بعدی نشان



شکل 11. A: نمایش سه بعدی نقشه بارپذیری همراه با شبه مقاطع IP کانسار ماهور، B: نمایش سه بعدی نقشه مقاومت ویژه ظاهری همراه با مدل‌های مقاومت ویژه مقاطع منطقه ماهور

**Fig. 11.** A: Showing 3D map of chargeability associated with pseudo-section IP at the Mahour ore deposit, B: Showing 3D map of resistivity associated with pseudo-section RS at the Mahour ore deposit

نظرگرفتن حد زمینه معادن اطراف کانسار ماهور از قبیل معدن قلعه زری، معدن سرب کویران و معدن چاه کلب بارپذیری با شدت  $9/0 \text{ mv/v}$  در این محدوده به‌عنوان حد زمینه محسوب شده و با رنگ زرد در نقشه بارپذیری مشخص شده است. مقاومت ویژه ظاهری در محدوده مورد مطالعه از شمال شرق به جنوب غرب افزایش داشته و میزان آن از 20 اهم متر تا 220 اهم متر متغیر است. میزان مقاومت ویژه در زونهای خردشده و گسله از زونهای کمتر خرد شده قدری پایین‌تر است.

به‌طور کلی آنچه که از مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده قابل درک است، حاکی از آن است که کانی‌زاییها در ارتباط نزدیک با زون‌های گسله و به‌شدت خرد شده است، به این مفهوم که کانی‌زایی به‌صورت رگه و رگه‌چه، استوک ورک و شکافه پرکن در زون‌های خرد شده با ضخامت متفاوت حضور دارد. طبق مطالعات انجام شده بارپذیری در محدوده مورد مطالعه از شمال شرق به جنوب غرب از روند افزایشی برخوردار بوده، حداکثر شدت بارپذیری اندازه‌گیری شده ( $19/0 \text{ mv/v}$ ) با رنگ بنفش سیر و حداقل شدت اندازه‌گیری ( $0/6 \text{ mv/v}$ ) با رنگ آبی سیر بر روی نقشه بارپذیری نشان داده شده است. با در

## چاه‌نگاری

همان‌طور که در بخش‌های قبل به تفصیل توضیح داده شد، برداشت‌های ژئوفیزیکی (IP) دو زون بی‌هنجاری را در شمال شرق (زون A) و جنوب شرق (زون B) محدوده ثبت نموده است. بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی و داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی تعدادی گمانه در هر دو زون یاد شده حفر گردیده شده است. که از این میان با توجه به حوصله این نوشتار 6 گمانه GBH-1، GBH-3، GBH-7، PA-1، PB-

1 و PD-1 (جدول 1) جهت بررسی بیشتر انتخاب شده است. پس از مطالعه دقیق مغزه‌ها، نمودار چاه‌نگاری آنها ترسیم شد. در ادامه از کل مترائز حفاری شده در فواصل 1 متری از مغزه‌ها نمونه‌برداری شد که در قالب پروژه اکتشاف معدن پلی‌متال ماهور توسط شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی پارس کانی مورد تجزیه قرار گرفت.

جدول 1. موقعیت و مشخصات نقاط حفاری در کانسار ماهور

Table 1. Location and characteristic of borehole points at the Mahour ore deposit

BH.Code	Cordinate			Azimuth	Dip	Deep
	Longitude	Latitude	Z			
PA-1	58° 53' 36"	31° 10' 25"	843	N270°	80°	242.32
PB-1	58° 53' 35"	31° 10' 21"	822	N270°	80°	201.53
PD-1	58° 53' 37"	31° 10' 23"	826	0	90°	391.95
GBH-1	58° 53' 38"	31° 10' 15"	829	N280°	70°	288.45
GBH-3	58° 53' 26"	31° 09' 42"	840	N280°	70°	221
GBH-7	58° 53' 28"	31° 10' 00"	833	0	90°	302.55

PD-2 (شکل 9)، وجود یک ناهنجاری IP به همراه یک زون با مقاومت ویژه کم منطبق بر آن در عمق تقریبی 60 متری، در محل گمانه پیشنهادی GBH-7 مشهود است. جهت کنترل این ناهنجاریها و ارتباط آن با کانی‌زایی، بر روی این پروفیل گمانه GBH-7 حفر شد. مطالعه مغزه‌های این گمانه نشان داد که دو بازه 20-32 و 65-57 در این گمانه دارای بیشترین ناهنجاری عناصر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بازه‌های دارای کانه‌زایی منطبق بر ناهنجاریهای مشخص در پروفیل PD-2 می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه چاه‌نگاری این بازه‌ها در (شکل 13-A) نشان داده شده است. شبه مقطع IP/RS پروفیل PD-3 در محل گمانه پیشنهادی GBH-3 در عمق تقریبی 80 متری وجود یک زون بی‌هنجاری IP را تأیید می‌کند، این بی‌هنجاری تا عمق 140 متری ادامه دارد. با توجه به مدل مقاومت ویژه، این بی‌هنجاری بر روی بخش مقاوم منطبق است. بررسی مغزه‌های گمانه GBH-3 حاکی از وجود دو بازه با بیشترین بی‌هنجاری عناصر است، بازه اول در عمق 20-40 متری و بازه دوم در عمق 133-152 متری قرار دارد. با مقایسه شبه مقطع

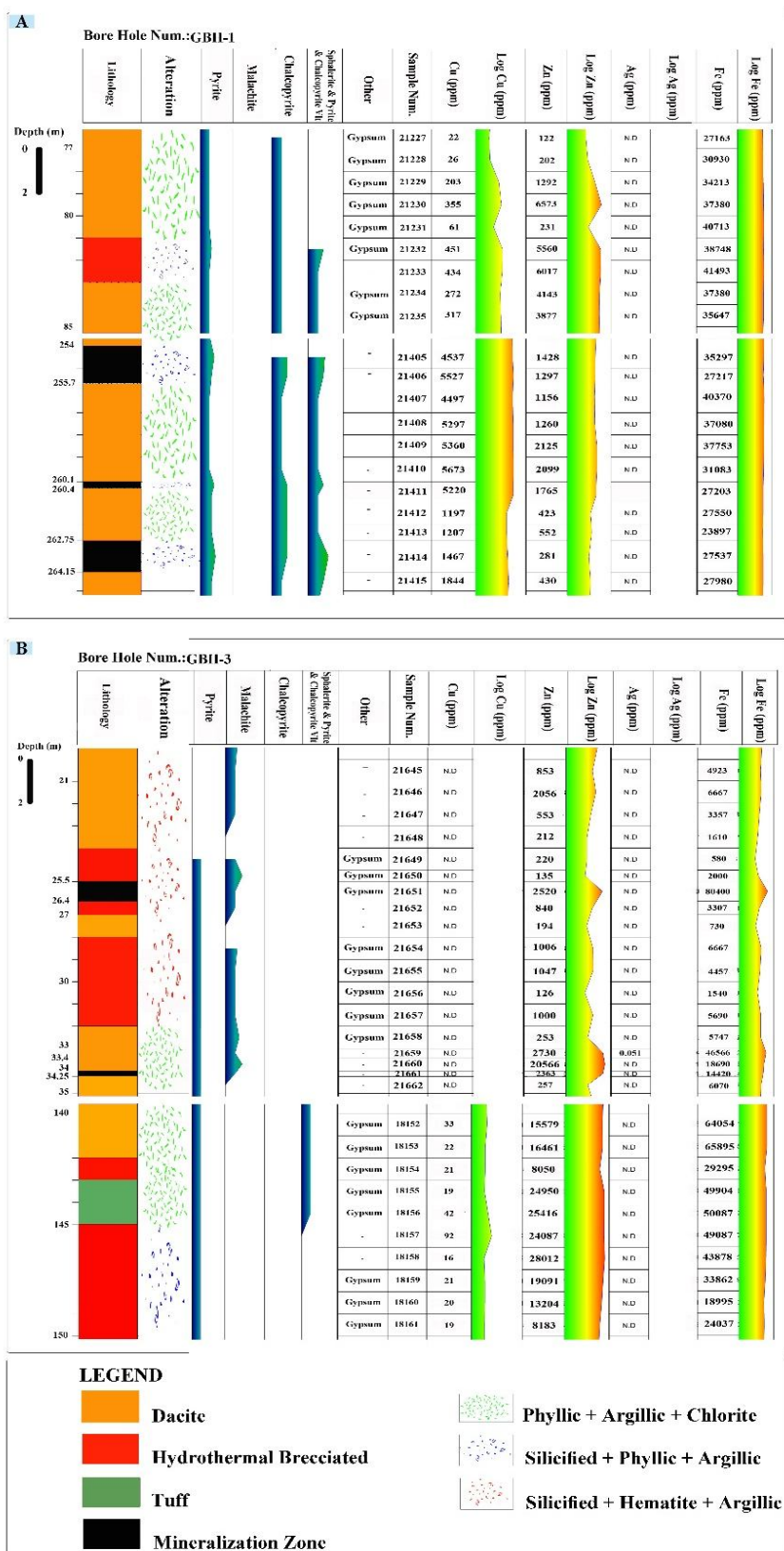
بررسی نتایج حاصل از مطالعه دقیق مغزه‌های گمانه GBH-1 حاکی از وجود دوبازه 78-92 و 281-246 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشد. همان‌طور که در شبه مقطع IP/RS پروفیل PD-1 (شکل 7) قابل مشاهده است، در محل گمانه پیشنهادی GBH-1 از عمق تقریبی 80 متری ناهنجاری شارژ‌آبیلیته مشهود است، که با افزایش عمق همچنان ادامه دارد. این ناهنجاری با توجه به محدود بودن طول پروفیل قابل پی‌گیری نیست. مقاومت ویژه نیز در این پروفیل دارای دو بخش زون با مقاومت ویژه بالا و زون با مقاومت ویژه کم می‌باشد. در محل گمانه پیشنهادی GBH-1 در عمق تقریبی 80 متری یک زون با مقاومت ویژه کم مشهود است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه مغزه‌های گمانه GBH-1، بازه کانی‌زایی اول (92-78 متری) بر ناهنجاری یاد شده تأکید می‌کند. با توجه به این‌که ناهنجاری شارژ‌آبیلیته در جهت عمق ادامه داشته است، حفاری این گمانه تا عمق 288/45 متری ادامه یافت، بررسی مغزه‌ها حاکی از وجود ناهنجاری دیگری از عناصر در بازه (281-246 متری) است (شکل 12-A). با توجه به شبه مقطع IP/RS پروفیل

سابولکانیک با روندی شمالی - جنوبی در منطقه نمود دارند. رگه‌های کانی‌سازی با روند NNE-SSW و شیب 80 تا 90 درجه به سمت شرق دیده می‌شوند. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت، کوارتز و کانیهای ثانویه ملاکیت، آتاکامیت، آزوریت و گوتیت است. ناهنجاریهای بالایی از عناصر مس (تا 60417 ppm)، روی (تا 250438 ppm) و نقره (تا 1988 ppm) در محدوده مورد مطالعه نمود دارد. برداشتهای IP/RS به منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی در عمق انجام شد. با استفاده از داده‌های حاصل از بررسیهای صحرائی و آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی گستره کانسار ماهور، خط مبنای مطالعات ژئوفیزیکی شمال شرق - جنوب غرب (N 7° E) هم روند با رگه معدنی و پروفیل‌ها عمود بر این روند طراحی شده‌اند. مقدار شارژ ایلینیت به 40 mscE می‌رسد که حاکی از وجود سولفید و کانیهای فلزات پایه در منطقه است. در کانسار ماهور دو زون مقاومت ویژه بالا و کم قابل تشخیص است. زون مقاومت ویژه بالا تا 350 ohm.m در شبه مقاطع، مرتبط با زونهای کمتر خرد شده می‌باشد. زون دارای مقاومت ویژه کمتر در ارتباط با زونهای به شدت خرد شده می‌باشد. به‌طور کلی برداشتهای شارژ ایلینیت در منطقه ماهور وجود دو زون بی‌هنجاری در شمال شرق و دیگری در جنوب غرب محدوده را به وضوح نشان می‌دهد. مطالعه مغزه‌ها نشان داد آلتراسیون کوارتز + سرسیت + پیریت + کلریت مهمترین آلتراسیون و در ارتباط با زون کانی‌سازی می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی در چاه GBH-1 دو بازه 78-92 و 281-246 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشند. در گمانه GBH-3 نیز دو بازه 20-40 و 133-152 متری بیشترین ناهنجاری عناصر را داراست. گمانه GBH-7 در بازه های 20-32 و 57-65 متری دارای کانی‌زایی می‌باشد. در چاه PB-1 دو بازه 85 تا 94 متری و 133 تا 140 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشند. در چاه شماره PD-1 در بازه‌های 50-55، 298-301 و 360 تا 365 متری بیشترین میزان ناهنجاری عناصر مشاهده شده است. و در چاه PA-1 در بازه‌های 48-57، 152-161 و 212-218 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشند.

پروفیل PD-3 با نمودار چاه‌نگاری ترسیم شده برای گمانه GBH-3 (شکل 12-B) انطباق بی‌هنجاری IP و مقاومت ویژه با بازه‌های حاوی بیشترین مقدار کانی‌زایی قابل درک است. شبه مقطع IP/RS پروفیل PD-4 نیز وجود یک زون بی‌هنجاری IP را در عمق تقریبی 70 متری تأیید می‌کند. این بی‌هنجاری با افزایش عمق همچنان ادامه دارد. مطالعه مغزه‌های گمانه PB-1 دو بازه 85 تا 94 متری و 133 تا 140 متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری عناصر می‌باشد. لازم به ذکر است که بی‌هنجاری عناصر در این گمانه با شدت کمتر از عمق 140 تا 191 متر ادامه دارد. در این گمانه نیز مقایسه شبه مقطع با نمودار چاه‌نگاری ترسیم شده (شکل 13-B) انطباق بی‌هنجاری IP با بازه‌های حاوی بیشترین مقدار کانی‌زایی مشهود است. با توجه به نتایج مطلوب به‌دست آمده از حفاری گمانه PB-1 و بررسیهای زمین‌شناسی در فواصل 50 و 100 متری شمال این گمانه و در امتداد بی‌هنجاری IP پروفیل PD-4 دو گمانه PD-1 و PA-1 حفر شده است. نتایج حاصل از بررسی مغزه‌های این دو گمانه نشان داد که بیشترین میزان ناهنجاری عناصر در چاه PD-1 (شکل 14-B) در بازه‌های 50-55، 298-301 و 360 تا 365 متری و در چاه PA-1 (شکل 14-A) در بازه‌های 48-57، 152-161 و 212-218 می‌باشد. با مقایسه این دو گمانه با شبه مقطع PD-4 و گمانه PB-1 بازه‌های حاوی بیشترین مقدار بی‌هنجاری عناصر منطبق بر بی‌هنجاری IP و بازه‌های حاوی کانی‌زایی گمانه PB-1 می‌باشد. در هر 6 چاه انطباق خوبی بین کانی‌زایی و آلتراسیون کلریتی - فیلیک - سیلیسی و هماتیته وجود دارد. بیشترین تراکم رگه‌چه‌ها در مغزه‌ها منطبق با بالاترین ناهنجاریهای ژئوشیمیایی و مناطق دارای بیشترین گسترش آلتراسیون می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

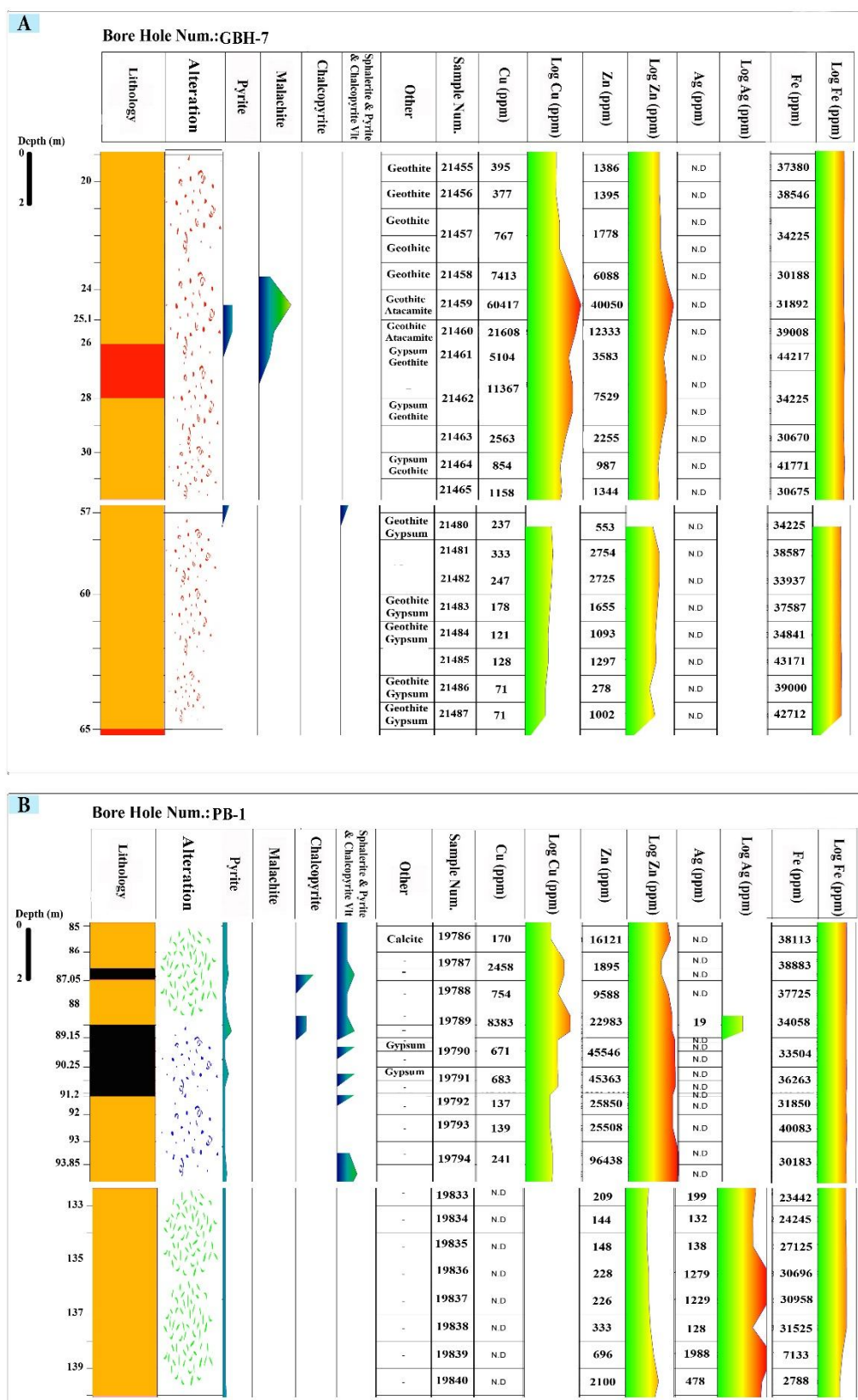
محدوده مورد مطالعه بخشی از گستره آتشفشانی دوران سنوزوئیک کوپرلوت است. سنگ‌شناسی منطقه ماهور مشتمل بر بازالت، آندزیت، داسیت، ریولیت و آذرآوریهاست. این مجموعه در ائوسن پایانی - الیگوسن زیرین مورد هجوم توده‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی قرار گرفته است. میزبان رگه‌های معدنی رخنمون یافته در کانسار ماهور مجموعه داسیتی است که به‌صورت سنگهای آتشفشانی و گاهی



شکل 12. A: نمودار چاه‌نگاری گمانه GBH-1 (کانسار ماهور)، B: نمودار چاه‌نگاری گمانه GBH-3 (کانسار ماهور)

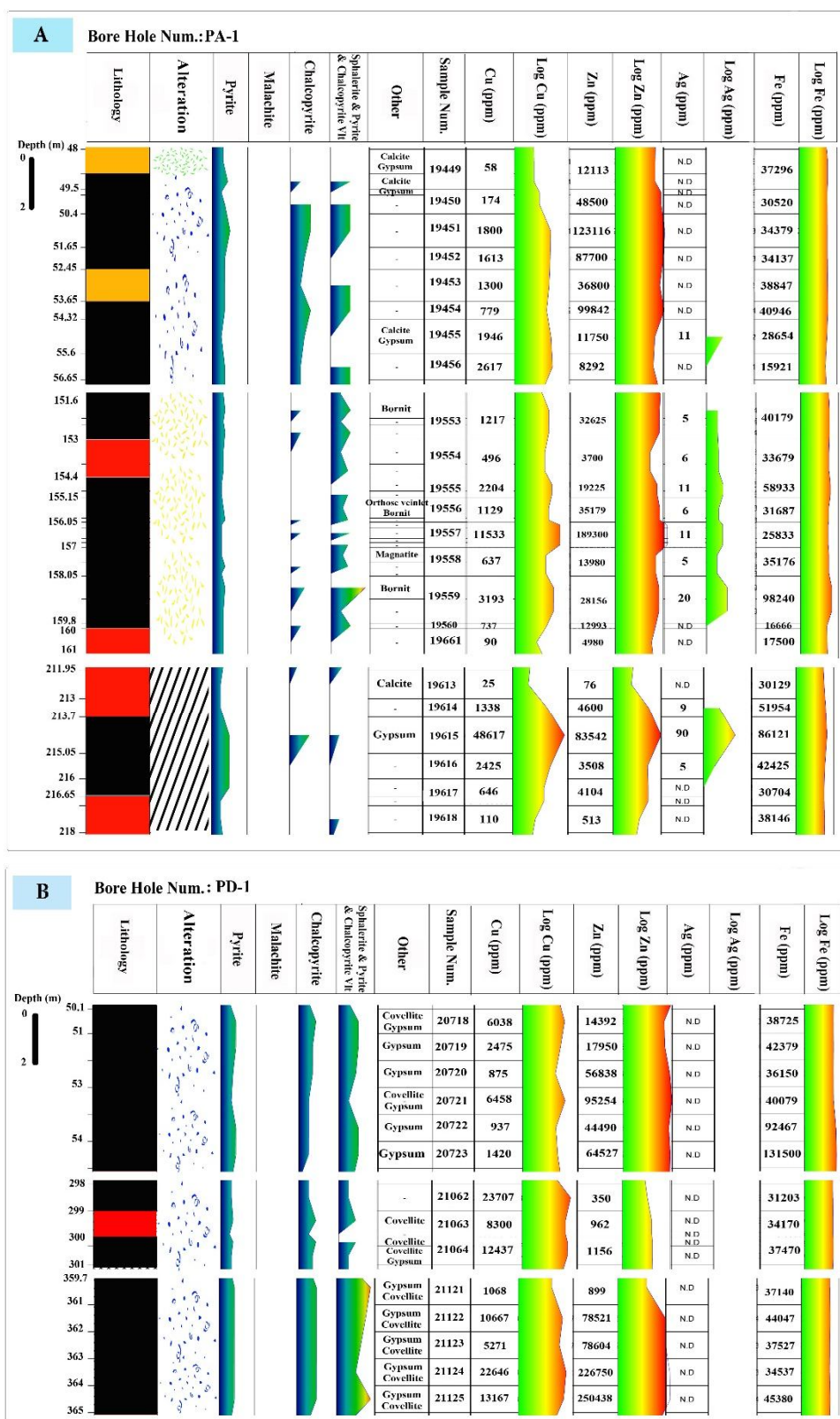
Fig. 12. A: Logging diagram of borehole GBH-1 (Mahour ore deposit), B: Logging diagram of borehole GBH-3 (Mahour ore deposit)





شکل 13. A: نمودار چاه‌نگاری گمانه GBH-7 (کانسار ماهور)، B: نمودار چاه‌نگاری گمانه PB-1 (کانسار ماهور) (علایم همانند شکل 12)

Fig. 13. Logging diagram of borehole GBH-7 (Mahour ore deposit), B: Logging diagram of borehole PB-1 (Mahour ore deposit) (symbols as in Fig. 12)



شکل 14. A: نمودار چاهنگاری گمانه PA-1 (کانسار ماهور)، B: نمودار چاهنگاری گمانه PD-1 (کانسار ماهور) (علامه همانند شکل 12)

Fig. 14. A: Logging diagram of borehole PA-1 (Mahour ore deposit), B: Logging diagram of borehole PD-1 (Mahour ore deposit) (symbols as in Fig. 12)

## References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Ministry of industry and mine geological survey of Iran, Tehran, 606 pp.
- Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran. In: H.K. Gupta and F.M. Delany (Editors), Zagros-Hindu Kush-Himalaya geodynamic evolution. American Geophysical Union Geodynamic Series, Washington D.C., pp. 33-69.
- Esdale, D.J., Pridmore, D.F., Coggen, J.H., Muir, P.M., Williams, P.K. and Fritz, F.P., 1987. Olympic Dam deposit- Geophysical case history. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 18(2): 47- 49.
- Griffs, R., Meixner, H., Johns, G., Abedian, N., Behruzi, A., Nazer, N., Hamzeshpour, B., Shahriari, S., Sahandi, M.R., Mohajjel, M., Berberian, M. and Soheili, M., 1992. Geological map of Deh-salm(Chahvak), scale 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Guilbert, J.M. and Park, C.F. (translated by Alirazai, S.), 2010. The geology of ore deposits. Amirkabir Press, Tehran, 966 pp.
- Guo, W., Dentith, M. and Zhao, Y., 2000. Geophysical exploration in the Xi-cheng Lead-Zinc Ore field Gansu province, China. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 31(2): 243-247.
- Haghipour, A. and Aghanabati, A., 1989. Geological map of Iran(2<sup>nd</sup> edition), scale 1:2500000. Geological Survey of Iran.
- Hajimirzajan, H., Karimpour, M.H., Malekzadeh, A., Hydariyan, M. and Hamoni, J., 2013. Compiling data from Geological, Mineralogical, Geochemical and Geophysical (IP/RS, Ground magnetometer) studies on Roudgaz area, SE Gonabad, Khorasan Razavi province. *Journal of Economic Geology*, 5(1): 117-136. (in persian)
- Jackson, J. and Mckenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine- Himalaya belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77(1): 185-264.
- Lzawa, E., Urashima, Y., Lbaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A. and Taguchi, S., 1990. The Hishikari Gold deposit: Highgrade epithermal veins in Quaternary volcanics of Southern Kyushu, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, 36(1): 1-56.
- Mirzaei Rayni, R., Ahmadi, A. and Mirnejad, H., 2012a. The origin of ore-forming fluids in the Mahour polymetal ore deposit, using electron microprobe data and sulfur isotopes, East of Lut block, Central Iran. *Journal of Petrology*, 3(10): 1-12. (in Persian with English abstract)
- Mirzaei Rayni, R., Ahmadi, A. and Mirnejad, H., 2012b. Study of mineralogy and fluid inclusions in the Mahour polymetal ore deposit, East of Lut block, Central Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 20(2): 307-318.(in Persian)
- Okada, K., 1995. Geophysical exploration for epithermal gold deposits: Case studies from the Hishikari gold mine, Kagoshima, Japan. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 26(3): 78- 83.
- Okada, K., 2000. Geophysical exploration of Hishikari gold mine, Kagoshima, Japan. *Journal of the Leading Edge*, 19(7): 744-750.
- 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.
- Sform, M., Biyabangard, H., Bomary, M., Zarinkoub, M.H., Mehran, M. and Ebrahimi, V., 2012. Geochemistry and petrology of volcanic rocks Mahoor copper deposit, North West Nehbandan, East of Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 20(2): 241-252.(in Persian)
- Stuart, R. and Dentith, M., 2003. Sediment-hosted stratiform Copper deposit in the Adelaide Geosyncline, South Australia: Geophysical responses of Mineralization and the Mineralized environment. *Geophysical Signatures of south Australian Mineral Deposits*, 2003(3): 169-195.
- White, R.M.S., Collins, S., Denne, R., Hee, R. and Brown, P., 2001. A new survey design fore 3D IP modeling at copper Hill. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 32(4): 152-155.



## Compiling Data from Geological, Mineralogical and Geophysical (IP/RS) Studies on Mahour Deposit, Northwest of Deh-salm, Lut Block

Arash Gorabjeiri Puor<sup>1</sup> and Mohsen Mobasheri\*<sup>2</sup>

1) Department of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Miyane Branch, Miyane, Iran

2) Department of Petrology, School of Geosciences, Shahrood University, Shahrood, Iran

Submitted: Apr. 27, 2014

Accepted: Nov. 1, 2014

**Keywords:** chargeability, especial resistivity, well logging, Mahour, Lut block,

### Introduction

The Mahour exploration area is a polymetallic system containing copper, zinc and silver. The mineralization can be seen in two forms of veins and disseminations. This area is structurally within the Lut block, west of Deh-salm Village. Recent exploration work and studies carried out by geologists on this volcanic-plutonic area of Lut demonstrate its importance indicating new reserves of copper, gold, and lead and zinc.

Several articles have been published on the Mahour deposit in recent years, including work on fluid inclusions (Mirzaei et al., 2012a; Mirzaei et al., 2012b).

The present report aims at completion of previous studies on Mahour. During the course of this research, the IP/RS geophysical methods were used to locate the extent and depth of sulfide veins in order to locate drill sites. The IP/RS method has been used extensively worldwide in locating sulfide mineralization at deposits such as Olympic Dam in Australia (Esdale et al., 1987), Hishikari epithermal gold deposit in Kagoshima, Japan (Okada, 1995) and Cadia-Ridgeway copper and gold deposit in New South Wales, Australia (Rutley et al., 2001).

### Materials and Methods

1. Determination of mineralogy of ore and alteration by examination of 70 thin sections and 45 polished sections.
2. Compilation of geological and mineralization maps of the studied area at a scale of 1:1000.
3. Geological, alteration, mineralization and trace element geochemical studies of 6 drill holes.
4. IP/RS measurements for 2585 points on a rectangular grid with profile intervals of 50 meters and electrode intervals of 20 meters.

### 5. Interpretation of IP/RS results.

### Discussion

The Mahour area is covered by a volcanic sequence of basalt, andesite, dacite, rhyolite and pyro-clastics. During the Late Eocene through Early Oligocene this volcanic complex was intruded by several diorite and quartz-diorite bodies, which were responsible for mineralization of the area. Mineralized veins hosted by dacite show NNE trends with 85 to 90° dips, and which are accompanied by argillic, silicic, quartz-sericite-pyrite and propylitic alteration zones. The primary minerals include pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, tetrahedrite, and quartz along with supergene minerals such as malachite, atacamite, azurite and goethite. High anomalies of copper (up to 103062 ppm), zinc (up to 213520 ppm) and silver (up to 1988 ppm) are present in the studied area.

The IP/RS surveys were carried out on profiles perpendicular to the veins. The chargeability levels reached 40 msce, indicating the presence of sulfide minerals in the area. Two especially anomalous resistivity zones, high and low, were detected within the deposit. The high resistivity zone, up to 350 ohm.m, occurs along geophysical profiles in association with less-crushed zones, whereas the low anomaly zone is related to highly crushed zones.

The geophysical anomalies agree with drilling results indicating zones of highest mineralization.

### Results

Generally, the chargeability surveys have clearly revealed two anomalous zones: one in the northeast and the other in the southwest of the studied area. Six holes have been drilled through

these anomalous zones and geochemical samples taken at intervals of 1 meter in each hole. Most of the anomalies are associated with quartz-sericite-pyrite, silicification and chloritic alteration as well as the intense distribution of secondary iron oxides.

Geochemical results from the drill holes show the highest anomalies as follows:

GBH-1, 78-92 m, 246-281 m

GBH-3 20-40 m and 133-152 m

GBH-7 20-32 m and 57-65m

PB-1 85-94 m. and 133-140 m

PD-1. 50-55 m, 298-301 m and 360-365 m

PA-1 48-57 m, 152-161 m and 212-218 m

### References

- Esdale, D.J., Pridmore, D.F., Coggen, J.H., Muir, P.M., Williams, P.K. and Fritz, F.P., 1987. Olympic Dam deposit- Geophysical case history. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 18(2): 47- 49.
- Mirzaei Rayni, R., Ahmadi, A. and Mirnejad, H., 2012a. The origin of ore-forming fluids in the Mahour polymetal ore deposit, using electron microprobe data and sulfur isotopes, East of Lut block, Central Iran. *Journal of Petrology*, 3(10): 1-12. (in Persian with English abstract)
- Mirzaei Rayni, R., Ahmadi, A. and Mirnejad, H., 2012b. Study of mineralogy and fluid inclusions in the Mahour polymetal ore deposit, East of Lut block, Central Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 20(2): 307-318.(in Persian)
- Okada, K., 1995. Geophysical exploration for epithermal gold deposits: Case studies from the Hishikari gold mine, Kagoshima, Japan. *Journal of the Australian Society of Exploration Geophysics*, 26(3): 78- 83.
- 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.