چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

کاربرد مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌های ژئوفیزیک (IP/Rs) در شناسایی زون سولفیدی پنهان معدن منگنز بهاباد

حامد چمنی[1]، احمد زارعان شیروانه ده (نویسنده مسئول)[2]، صولت عطالو[3]

[1]گروه مهندسی معدن، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران zarean@gmail.com

[1]گروه مهندسی عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران Ah.zarean@iau.ac.ir

[1]گروه مهندسی معدن، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران atasolat@yahoo.com

چکیده

در این مقاله معدن منگنز واقع در شمال غرب شهر بهاباد (استان یزد) تحت مطالعات ژئوفیزیک به روش IP/Rs قرار گرفت. در محدوده معدنی یک زون کانی زایی منگنز (هماتیت) با روند تقریبی شمال‌غرب-جنوب‌شرق (واحد دولومیت) مشخص‌شده است. نکته حائز اهمیت وجود کانی سازی روی در همین زون است که احتمال وجود کانی‌زایی سولفوره در عمق و زیر سطح ایستابی دلیل اصلی برداشت‌های ژئوفیزیک به روش IP/Rs در این زون می‌باشد. با توجه به‌احتمال وجود کانی‌های سولفیدی در عمق، روش پلاریزاسیون القایی و برای ردیابی لیتولوژی، دگرسانی و کانی‌های فلزی مفید روش مقاومت ویژه الکتریکی انتخاب شد. در زون کانی‌زایی رگه‌ای با کانی‌زایی آهن، منگنز، اکسید روی و ... وجود دارد. برداشت ژئوفیزیک در این زون توسط ۷ پروفیل ژئوفیزیک جهت مطالعات ژئوالکتریک به روش IP-RS با آرایش قطبی- دوقطبی با فاصله ۱۵۰ متر از هم و با فواصل الکترودی ۲۰ و ۴۰ متر انجام شد. در این عملیات صحرایی، درمجموع ۶۸۳۲ نقطه برداشت ژئوفیزیک IP-RS برداشت گردید. پس از پردازش داده‌های خام برداشت‌شده، نقشه‌های شارژپذیری (IP) و مقاومت ویژه (RS) در هر پروفیل ترسیم گردید و با اعمال توپوگرافی محدوده، مدل‌سازی مقاطع پروفیل‌ها توسط نرم‌افزار RES2DINV و RES3DINV صورت پذیرفت. نتایج این مطالعه و تفسیرهای ژئوفیزیکی پروفیل‌های برداشت‌شده و تلفیق آن‌ها با مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد، مقدار بی‌هنجاری در زون موردنظر جهت ارتباط با کانه‌زایی سولفوره متوسط است. در این زون بعد از مدل‌سازی دو و سه‌بعدی یک زون با شارژپذیری بالا در مرکز و در سطح پروفیل‌ها و یک زون با شارژپذیری متوسط در نیمه جنوبی پروفیل‌ها و عمقی قابل‌تفکیک است.

واژه‌های کلیدی

منگنز، کانی‌زایی سولفیدی، ژئوفیزیک، IP/RS، آرایش قطبی-دوقطبی.

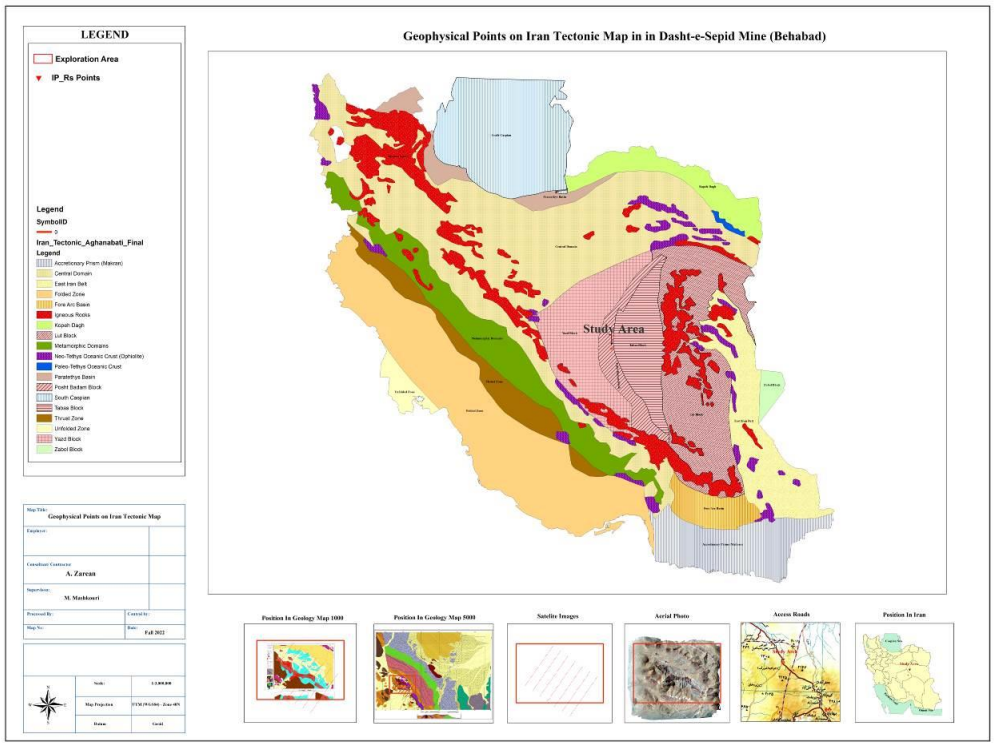
۱. مقدمه

پدیده قطبش القایی برای اولین بار توسط شلومبرژر کمی قبل از سال ۱۹۲۰ مطرح شد، اما کاربردهای پیشرفته این روش در اکتشافات ژئوفیزیکی به حدود سال ۱۹۶۸ برمی‌گردد و در دهه‌ی ۱۹۸۰ پیشرفته‌ای قابل‌توجهی در دستگاه‌های اندازه‌گیری قطبش القایی به وقوع پیوست. در دهه‌ی آخر قرن بیستم با توسعه‌ی الگوریتم‌های رایانه‌ای و سامانه‌ی کابل چند الکترودی، روش‌های مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی توسعه‌ی چشمگیری یافت [۱].

روش‌های ژئوالکتریکی یکی از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی هستند که بر مبنای مطالعه‌ی میدان‌های الکتریکی زمین یا ویژگی‌های الکتریکی ساختارهای زمین‌شناسی و معدنی استوارند. برای مطالعه ساختارهای معدنی معمولاً از ترکیب روش‌های ژئوالکتریکی استفاده می‌شود. اگر این ساختارها دارای خاصیت قطبش پذیری باشند، برداشت هم‌زمان IP و مقاومت ویژه الکتریکی می‌تواند به نتایج ارزنده‌ای بیانجامد. قطبش القایی یکی از روش‌های معمول و کارآمد در تشخیص کانی‌های سولفیدی و فلزی مخصوصاً سولفیدهای پراکنده است. مقاومت ویژه نیز که از ویژگی‌های ذاتی سنگ بوده و در شناخت وضعیت ساختاری و زمین‌شناسی منطقه موردنیاز است، به‌عنوان روش مکمل IP در اکتشاف ذخایر فلزی به کار گرفته می‌شود [۲].

۲. خلاصه زمین‌شناسی و کانی زایی محدوده

محدوده موردمطالعه به‌عنوان بخشی از ایالت فلز زایی بافق – پشت بادام در ایران مرکزی قرار دارد. شکل ۱ موقعیت محدوده اکتشافی را در زون‌های ساختاری ایران به نمایش می‌گذارد [۳]. کمربند فلز زایی بافق - پشت بادام بخشی از خردقاره ایران مرکزی است که در حدفاصل گسل پشت بادام در غرب و گسل کوهبنان در شرق قرار دارد و شامل ذخایر آهن، فسفر، منگنز، سرب و روی، عناصر پرتوزا، عناصر نادر خاکی و مس می باشد.



شکل ۱. موقعیت محدوده موردبررسی بر روی نقشه زون‌های ساختاری ایران

در محدوده موردمطالعه یک زون کانی زایی منگنز (هماتیت) با روند تقریبی شمال‌غرب-جنوب‌شرق (واحد دولومیت) مشخص‌شده است که در داخل این زون عیار پایین تا بالای منگنز مشخص‌شده است. نکته حائز اهمیت وجود کانی سازی روی در همین زون است. احتمال وجود کانی‌زایی سولفوره در عمق و زیر سطح ایستابی دلیل اصلی طراحی و برداشت‌های ژئوفیزیک به روش IP/Rs در این زون می‌باشد. ازنقطه‌نظر زمین‌شناسی در ذخایر گرمابی یک نوع پراکندگی ناحیه‌ای مربوط به کانی‌های منگنز و سایر فلزات مشاهده‌شده است. در عمیق‌ترین بخش‌ها تنها کانی‌های منگنز دو ظرفیتی همراه با سولفورهای فلزات پایه (Pb،Zn،Cu) و کانسارهای طلا-نقره تشکیل می‌شود. وجود اکسید روی (تا ۵٪) و همبستگی مثبت آن با کانی‌زایی منگنز احتمال وجود کانی‌زایی سولفوره در عمق بیش از ۱۰۰ متر را بالا می‌برد.

۳. روش ژئوفیزیک

کانی‌ها و سنگ‌های مرتبط با دگرسانی‌های هیدروترمال اغلب دارای خواص الکتریکی متفاوتی هستند و بنابراین روش‌های ژئوفیزیکی که این خواص را شناسایی و مدل کنند، معمولاً مبنای شناسایی و تعیین ویژگی‌های کانسارهای فلزی به‌صورت غیرمستقیم هستند. مشابه با توزیع کانی فلزی، خواص الکتریکی نیز نوع و ویژگی‌های دگرسانی‌های مختلف را تعیین می‌کنند. با توجه به حالت تقارن دگرسانی‌ها، آنومالی‌های الکتریکی نیز باید الگوی متقارن مشابهی را نمایش دهند. در این زون رگه‌های هیدروترمال به‌طور کاملاً واضح رخنمون دارند بااین‌حال وجود توده نفوذی که احتمالاً منشأ این رگه‌ها باشد در داخل یا خارج محدوده وجود دارد [۴].

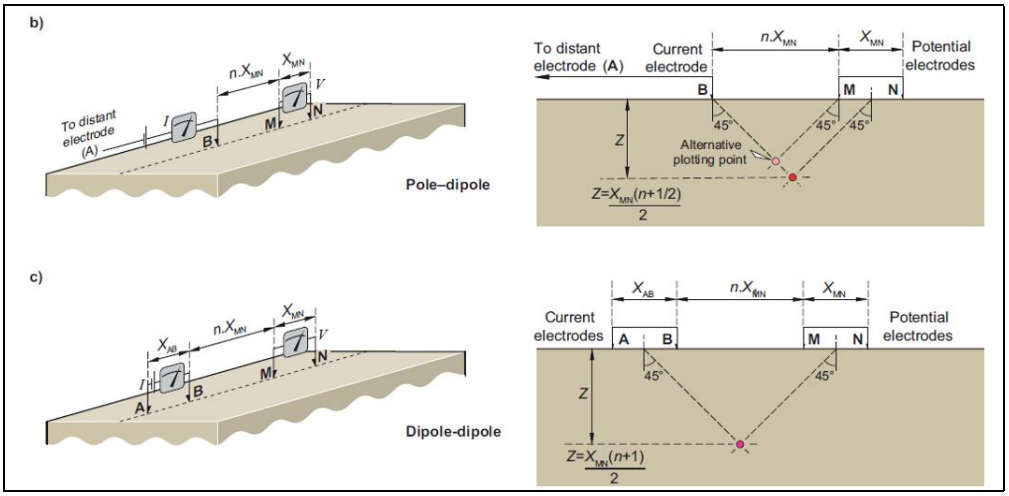
روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی اغلب مقاومت الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌های زیرسطحی را اندازه‌گیری می‌کنند. مقاومت الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌ها محدوده بسیار گسترده‌ای دارند. به‌عنوان‌مثال، کوارتز بسیار مقاوم است (بالای ۱۰۵ اهم-متر) درحالی‌که مس طبیعی شدیداً رساناست (حدود ۸-۱۰ اهم-متر). در پوسته بالایی، مقاومت واحدهای زمین‌شناسی به‌شدت به سیالات درون آن‌ها و شوری‌شان، تخلخل، درجه خردشدگی، دما و کانی‌های رسانا وابسته است. وجود سیالات شور درون حفره‌ها و شکستگی‌ها می‌تواند مقاومت را در مقایسه با سنگ‌های خشک تا چندین برابر کاهش دهد. مقاومت الکتریکی همچنین با حضور کانی‌های رسانای رسی، گرافیت و کانی-سازی‌های فلزی سولفیدی نیز کاهش می‌یابد. زون‌های گسلی حاوی سنگ‌های خردشده زیادی هستند که امکان عبور سیالات را فراهم می‌کنند و باعث دگرسانی کانی‌ها می‌شوند و دارای مقاومت کم (کمتر از ۱۰۰ اهم-متر) هستند. به‌طورکلی زون‌های کانه‌دار دگرسان، گرافیت، آب‌شور بسیار رسانا هستند (کمتر از ۱ اهم-متر). سنگ‌های رسوبی، سنگ‌های هوازده، زون‌های کم سولفید، آب تازه، تقریباً مقاوم هستند (حدود ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم –متر) و سنگ‌های آذرین و دگرگونی خیلی مقاوم هستند (بالای ۱۰۰۰ اهم-متر). کانی‌های هیدروترمال مرتبط با روش‌های ژئوفیزیکی اکتشافی الکتریکی شامل پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، بیوتیت و سریسیت هستند. مشابه با مگنتیت، شدت و نوع دگرسانی‌ها با آنومالی‌های الکتریکی قابل‌شناسایی هستند. در زون‌های گرمابی کمترین مقدار مقاومت ویژه الکتریکی بر روی زون دگرسان واقع می‌شود که در زونی با شکستگی‌های فراوان و حرکت جریان سیالات واقع‌شده است [۴].

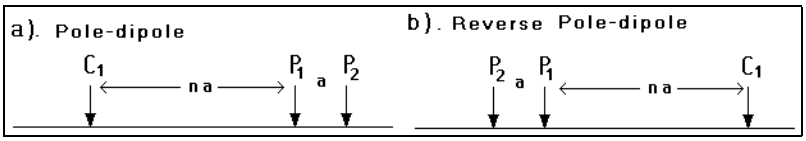
در طی سال‌های متمادی بسته به نوع پروژه موردمطالعه آرایش‌های مختلفی مورداستفاده واقع‌شده، که ازجمله می‌توان آرایش شلومبرژه، آرایش ونر، آرایش دوقطبی (دوقطبی - دوقطبی)، آرایش سه الکترودی، آرایش مستطیلی و یا روش Missa-A-La-Masse (اتصال به جرم) را نام برد. آرایش‌های مورداستفاده در این منطقه آرایش قطبی – دوقطبی است.

آرایش دوقطبی- قطبی پوشش افقی بهتری نسبت به آرایش دوقطبی- دوقطبی دارد همچنین در مورد عمق نفوذ برتری قابل‌توجهی به آرایش دوقطبی- دوقطبی دارد. نقطه قوت دیگر این آرایش عدم حساسیت آن به امواج تلوریک است. بااین‌وجود برخلاف دوقطبی-دوقطبی یک آرایش نامتقارن است (شکل ۲). به همین دلیل بی‌هنجاری‌های به‌دست‌آمده از این آرایش نامتقارن هستند و همین نامتقارن بودن بر شکل مدل به‌دست‌آمده از وارون‌سازی بسیار مؤثر خواهد بود. یک روش کارآمد برای حذف این مسئله تکرار برداشت‌ها در جهت معکوس پروفیل است. با ترکیب روش پیشرو و معکوس هرگونه جهت‌گیری بی‌هنجاری در مدل‌سازی حذف خواهد شد. بااین‌حال این فرآیند نیازمند برداشت دو برابر داده و صرف زمان بیشتر هست [۵].

در این زون به دلیل وجود رگه‌های متعدد کانی زایی منگنز به‌طور اکسیدی، مطالعات سنگ‌شناسی و ساختاری احتمال وجود زون سولفیدی داده می‌شود. با توجه به محدودیت در تعداد نقاط و هم‌زمان حصول رزولوشن و عمق بالا، ۷ پروفیل ۸۰۰ متری با آزیموث ۳۴

درجه برداشت شد. ازآنجایی‌که زمین‌شناسی محدوده با چند گسل قطع‌شده، آرایش دایپل-دایپل جریان مناسبی را جهت حصول به عمق زیاد به دست نداد و بدین ترتیب از آرایش پل-دایپل با فواصل الکترودی پتانسیل ۲۰ و ۴۰ متر به‌صورت رفت‌وبرگشت استفاده شد. آرایش برگشت جهت رزولوشن بالا و جانمایی دقیق بی‌هنجاری استفاده می‌شود که به دلیل نیاز به‌دقت بالا انجام شد. در شکل ۳ موقعیت پروفیل‌های برداشت روی تصویر پهبادی به همراه رخنمون‌های ماده معدنی منگنز نمایش داده‌شده است.



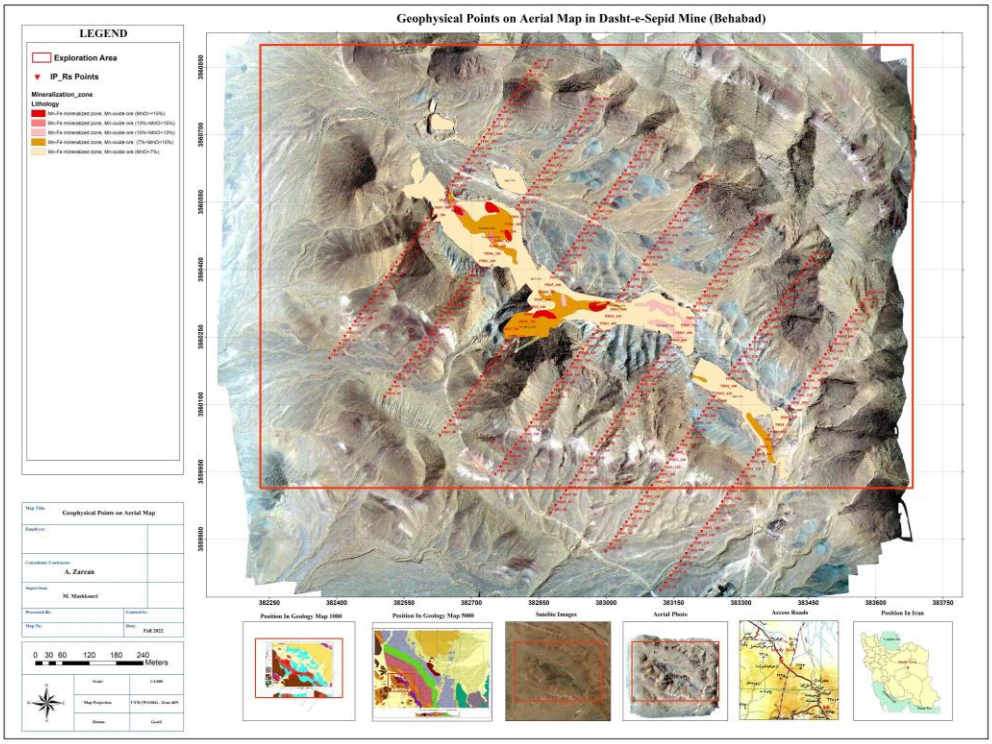


شکل ۲. مقایسه شبه مقطع حاصل از آرایش دوقطبی- دوقطبی و قطبی- دوقطبی (بالا) مقایسه آرایش قطبی- دوقطبی پیشرو و معکوس (پایین) [۴].

۴- شبیه‌سازی و مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی

یکی از روش‌های معکوس سازی اعمال شرایط هموار بودن مدل نهایی است. عامل اصلی برای جستجو کردن مدل هموار این است که مدل‌هایی که ذاتاً با داده‌های مشاهده‌ای سنخیتی نداشته تغییرات شدید و غیرواقعی ایجاد می‌نمایند، در مجموعه پاسخ‌ها وارد نگردید. دو نوع مدل برای داده‌های ژئوالکتریک وجود دارد. یکی از مدل‌ها توسط مدل‌سازی هموار تعیین و مدل دیگر نیز توسط تکنیک پارامتری مارکوارت (۱۹۶۳) تهیه گردیده است[۶]. تکنیک مارکوارت پایدار و مؤثر برای برازش پارامتر است و به‌طور وسیع برای تفسیر داده‌های ژئوالکتریک استفاده‌شده است؛ اما به‌هرحال مشاهده می‌شود که مثلاً برای یک مدل ۲۷ لایه‌ای درروش مارکوارت تعدادی از لایه‌ها به‌راحتی ازدست‌رفته‌اند و یک‌لایه با هدایت بالا را به ما داده است. ولی همان مدل درروش هموار لایه‌های میانی را به‌خوبی نمایش می‌دهد. لذا ترجیح داده می‌شود که بسته به طبیعت مدل واقعی زمین از یکی از دو روش فوق و یا از هر دو روش استفاده گردد.

این نوع مدل‌سازی اساس نرم‌افزارهای Res3Dinv, Res2Dinv را تشکیل می‌دهد. برای حل مسئله در این نوع مدل‌سازی ابتدا زمین را متشکل از تعدادی بلوک مستطیلی با مقاومت ویژه یکسان (همگن) در نظر گرفته می‌شود. عمق مرکز درونی بلوک‌ها به‌عنوان عمق متوسط تجسس برای فواصل مختلف الکترودی در نظر گرفته می‌شود [۵].

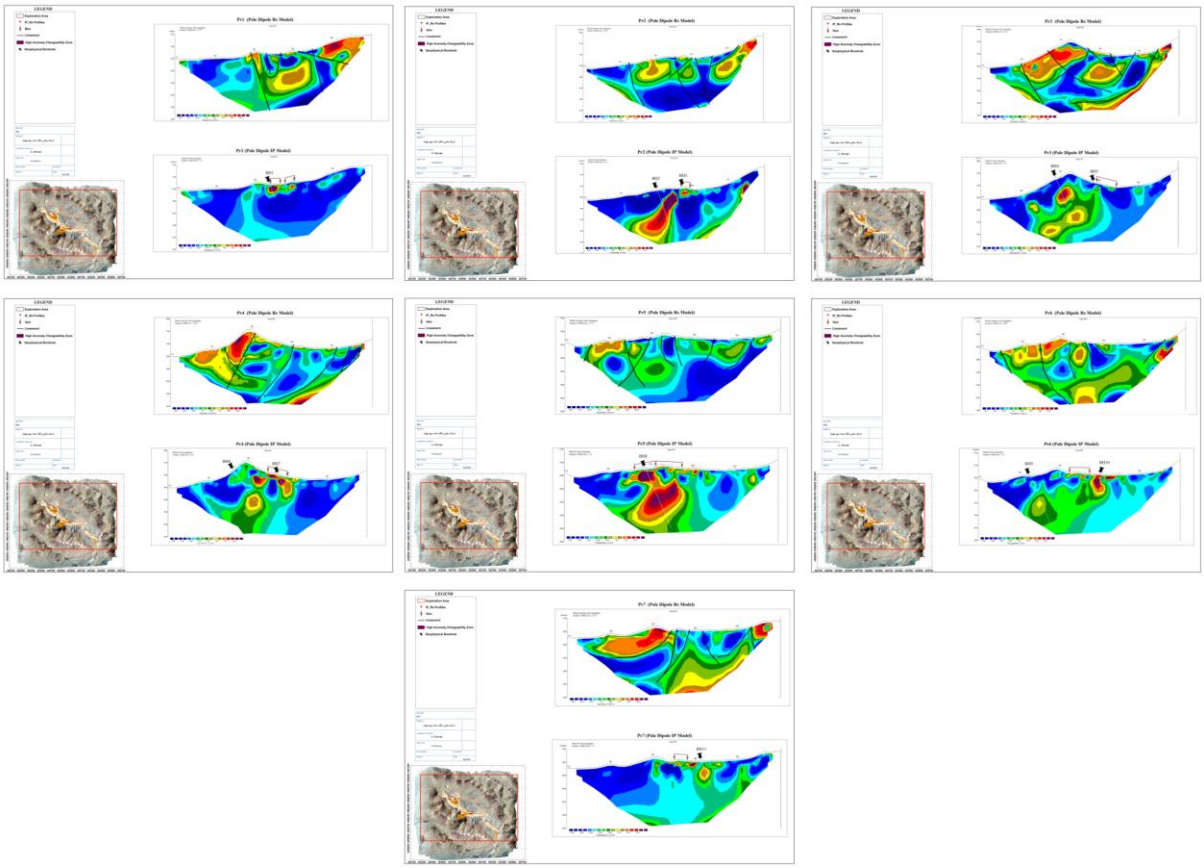


شکل ۳. موقعیت محدوده موردمطالعه ژئوفیزیک (در هر پروفیل برداشت‌های پیشرو و معکوس برداشت‌شده‌اند).

۵- مدل‌سازی دوبعدی مقاطع قطبی-دوقطبی

در این پروژه از طول خط جریان AB=∞ و طول خط برداشت پتانسیل MN= 20m با ۱۶ پرش به‌منظور عمق نفوذ بالا استفاده شد. همان‌طور که در بخش عملیات صحرایی شرح داده شد، عمق نفوذ واقعی برای فواصل الکترودی (۲۰ متر) حدود متر خواهد بود. در این پروژه از طول خط جریان AB=∞ و طول خط برداشت پتانسیل MN=20,40m با ۱۶ پرش به‌منظور عمق نفوذ بالا استفاده شد. ۷ پروفیل ۸۰۰ متری با روند جنوب‌غربی-شمال‌شرقی تقریباً عمود بر ساختار تکتونیکی و ساختار کانی‌زایی احتمالی برداشت شد. نتایج به‌دست‌آمده از این برداشت‌ها در ذیل ارائه گردیده است. در سرتاسر این مقاطع تغییرات شارژپذیری از مقادیر پایین تا متوسط دیده می‌شود. حد زمینه در حدود 0.1 mV/V بوده و مقدار بیشینه بی‌هنجاری به تا 19.0 mV/V دیده می‌شود. پس از تحلیل آماری داده‌های پروفیل‌ها مقادیر بی‌هنجاری از میانگین حدود 3.1 mV/V تا 5.5 mV/V برخوردار است و انحراف معیار 1.4 mV/V تا 2.6 mV/V، می‌تواند معیار مناسبی برای کانی‌زایی سولفوره متوسط باشد. مقادیر میانه نیز تقریباً با مقادیر میانگین برابر هستند که نشان از تقارن پراکندگی داده‌های شارژپذیری دارد (جدول ۳-۱). بازه مقادیر مقاومت ویژه از مقادیر بسیار پایین در حد 1 اهم-متر تا مقادیر بالای هزار متغیر است. بااین‌حال مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده مقاومت ویژه عموماً زیر 100 اهم-متر است.

تمام ۷ پروفیل با روند جنوب‌غربی- شمال‌شرقی و عمود بر روند کانی زایی احتمالی توده‌ای و رگه‌های محدوده برداشت شد. در شکل ۴ بعد از اعمال اثر توپوگرافی، وارون سازی برای تعیین مدل واقعی بی‌هنجاری انجام‌شده است. در این شکل هر دو مقطع مدل‌سازی شده برای کمیت مقاومت ویژه و شارژپذیری برای هر پروفیل نشان داده‌شده است. مقادیر مقاومت ویژه مدل‌سازی شده با طیف رنگی از مقادیر ۰ تا ۳۰۰۰ اهم-متر و مقادیر شارژپذیری مدل‌سازی شده با طیف رنگی از مقادیر ۰ تا ۱۵ میلی ولت بر ولت نمایش داده‌شده‌اند.



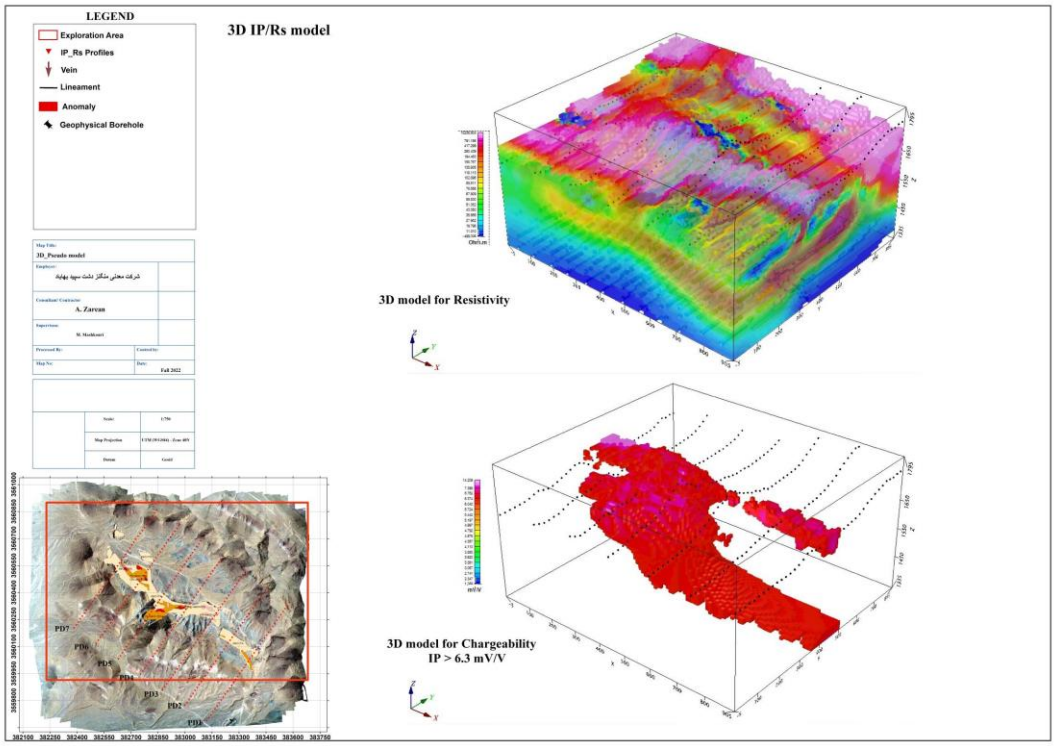
شکل ۴. مقطع مدل‌سازی شده برای مقادیر مقاومت ویژه و مقطع مدل‌سازی شده برای مقادیر شارژپذیری در پروفیل‌های Pr1 تا Pr7

۱.۵. مدل‌سازی سه‌بعدی

در مرحله آخر مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌ها ژئوفیزیک بر اساس داده‌های برداشت‌شده دوبعدی انجام شد. با توجه به موازی بودن پروفیل‌های برداشتی و همچنین فاصله ۵ برابری فاصله پروفیل‌ها نسبت به حداقل فاصله الکترودی امکان مدل‌سازی ۳ بعدی واقعی برای این وجود دارد. برای نشان دادن بهتر زون بی‌هنجاری عمیق از مدل‌سازی سه‌بعدی واقعی با استفاده از نرم‌افزار Res3Dinv استفاده شد. ابتدا پروفیل‌های دوبعدی باهم در یک فایل تلفیق‌شده و در قدم بعدی مدل‌سازی سه‌بعدی انجام شد. برای نمایش مدل شبه سه‌بعدی و سه‌بعدی نهایی از نرم‌افزار voxel استفاده شد.

از آنجائی که مقدار میانگین بی‌هنجاری شارژپذیری پس از مدل‌سازی، 4.5 mV/V و انحراف معیار نیز 1.8 mV/V است، در شکل ۵ (پایین) مقادیر شارژپذیری بالای 6.3 mV/V به‌عنوان زون بی‌هنجاری نمایش داده‌شده است. مقدار بیشینه بی‌هنجاری شارژپذیری در این زون به 16.7 mV/V رسیده است. روند بی‌هنجاری جنوبی تقریباً جنوب‌شرقی- شمال‌غربی است. طول بی‌هنجاری ۹۰۰ متر و عرض آن به ۲۰۰ متر در عمق می‌رسد. در شکل ۵ (بالا) مقادیر مقاومت ویژه نمایش داده‌شده است. با تلفیق دو نقشه سه‌بعدی شارژپذیری و مقاومت ویژه تطابق نسبتاً خوبی بین مقادیر مقاومت ویژه پایین و بی‌هنجاری شارژپذیری بالا دیده می‌شود. به نظر می‌رسد در فصل مشترک این دو بی‌هنجاری به دلیل کانی‌زایی فلزی سولفوره مقادیر شارژپذیری افزایش نسبی پیداکرده است. هم‌زمان وجود زون گسلی و رسی شدن و نفوذ سیالات گرمابی، مقاومت ویژه را در عمق مقاطع به‌شدت کاهش داده است. وجود زون هادی در سنگ میزبان با مقاومت پایین کاملاً در نقشه مقاومت ویژه مشهود است. کانی زایی سولفوره نیمه عمیق به‌صورت رگه‌ای (توده) در مرکز و نیمه جنوبی جنوب بیشتر پروفیل‌های محدوده قابل‌رؤیت است. این زون بر بیشتر پروفیل‌ها به‌صورت ساختار رگه‌ای به سطح رسیده است که با شواهد جزئی

کانی‌زایی در سطح تطابق دارد. زون بی‌هنجاری مرکزی بیشتر در سطح بوده و با توجه به سنگ میزبان توف عمدتاً با مقادیر مقاومت ویژه پایین تطابق دارد.



شکل ۵. مقطع مدل‌سازی شده سه‌بعدی برای مقادیر مقاومت ویژه (شکل بالا)، مقطع مدل‌سازی شده برای مقادیر شارژپذیری مدل سه‌بعدی برای مقادیر شارژپذیری بالای 6.3 mV/V (شکل پایین).

۶- نتیجه‌گیری و بحث

مرکز این محدوده در حال بهره‌برداری هماتیت و منگنز بوده بااین‌حال بیشتر محدوده به‌عنوان بهترین پتانسیل کانی‌زایی روی مطرح شد. در فاز اول مطالعات ژئوفیزیک به روش IP/Rs با آرایش قطبی- دوقطبی و در ۷ پروفیل در بلوک شمال‌غربی انجام شد.

در سرتاسر مقاطع این زون تغییرات شارژپذیری از مقادیر پایین تا متوسط دیده می‌شود. حد زمینه در حدود 0.1 mV/V بوده و مقدار بیشینه بی‌هنجاری به تا 19.0 mV/V دیده می‌شود. پس از تحلیل آماری داده‌های پروفیل‌ها مقادیر بی‌هنجاری از میانگین حدود mV/V 4.0 برخوردار است و انحراف معیار 2.1 mV/V، می‌تواند معیار مناسبی برای کانی‌زایی سولفوره ضعیف تا متوسط (اسفالریت) باشد. بی-هنجاری‌ها در مقاطع دوبعدی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول زون‌های بی‌هنجاری نیمه عمیق در مرکز پروفیل‌ها و در محل رخنمون‌های آهن و منگنز، دسته دوم زون‌های بی‌هنجاری عمیق و با ابعاد بزرگ است که به نظر می‌رسد با کانی‌زایی گرمابی در نیمه جنوبی پروفیل‌ها انطباق دارند.

- مقادیر متوسط تا بالای شارژپذیری در زون‌های هادی در مرکز مقاطع نشانه کانی‌زایی سولفوره است. مضاف بر اینکه شواهد سطحی نیز به مقدار کم در این قسمت وجود دارد. به نظر می‌رسد، مقادیر بی‌هنجاری بالای شارژپذیری در عمق به دلیل وجود زون کانی‌زایی فلزی (اسفالریت) به همراه کانی‌زایی آهن باشد که مطالعات تفضیلی (حفاری) می‌تواند صحت‌وسقم این نظر را اثبات کند.
- دسته دوم بی‌هنجاری ازنقطه‌نظر شارژپذیری شدت کمتری داشته و در بیشتر پروفیل‌ها تا عمق بیش از ۲۰۰ متری دیده می-شود. این بی‌هنجاری به دلیل شکل هندسی خود با ساختار رگه‌ای در ارتباط است بااین‌حال در برخی موارد، خصوصاً در

پروفیل‌های Pr2 تا Pr5 زون مذکور بسیار واضح و قابل‌تفکیک است. زون بی‌هنجاری در سطح براثر نفوذ در شکستگی‌ها در محل رخنمون‌های دیده می‌شود. مقادیر متوسط شارژپذیری نیز عمدتاً با زون کم مقاومت تطابق دارد. وجود زون برشی، رسی شدن کانی‌زایی فلزی و حتی نفوذ سیالات گرمایی به‌شدت از مقادیر مقاومت ویژه خصوصاً در عمق کاسته است.

پس از تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی، همبستگی مثبت بین دو پارامتر ژئوفیزیکی مقاومت ویژه پایین و شارژپذیری بالا در جنوب این زون دیده می‌شود. مقایسه پارامترهای ژئوشیمیایی کانی‌های منگنز و روی نشان از همخوانی بسیار خوب بین این پارامترها و پارامترهای ژئوفیزیکی دارد. پس از تلفیق مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیک در محدوده، ۱۱ گمانه با دو اولویت در محل بی‌هنجاری هر پروفیل جهت صحت سنجی نتایج ژئوفیزیک پیشنهاد شد. گمانه‌ها بر اساس مدل‌سازی دو و سه‌بعدی مقاومت ویژه پایین و شارژپذیری نسبی بالا پیشنهادشده‌اند.

منابع

[1] حجت آزاده حجت، حجت‌الله، رنجبر، ۱۳۹۰. اصول ژئوالکتریک کاربردی، نشر ستایش.

[2] دبلیو. ام. تلفورد، ۱۳۸۷. ژئوفیزیک کاربردی، برگردان به فارسی توسط حسین زمردیان، حسن حاجب حسنیهٔ، انتشارات دانشگاه تهران.

[3] Aghanabati, A., 1983. Major Structural Zone Sedimentary Iran. Geological and Country Mineral Exploration Organization, Iran, 606.

[4] Dentith, M. and Mudge, S.T., 2014. Geophysics for the mineral exploration geoscientist. Cambridge University Press.

[5] Loke, M.H., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, Geotomo saftwares, Penang, Malaysia.

[6] Menke W., 2012. Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory, Third edition, Elsevier Academic Press.