

دانشگاه صنعتی مازندران

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک - گرایش ژئوالکتریک

مطالعات ژئوالکتریک جهت بررسی آب‌های زیرزمینی و ساختارهای
زمین‌شناسی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر

محقق:

آزاده حاجت

اساتید راهنما:

دکتر سعید کریمی نسب

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

تابستان ۱۳۸۲



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک - گرایش ژئوالکتریک

مطالعات ژئوالکتریک جهت بررسی آب‌های زیرزمینی و ساختارهای
زمین‌شناسی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر

محقق:

آزاده حجت

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی دکتر سعید کریمی نسب

پیشگفتار

عاقبت ای خاک جان بخش وطن می سازمت گر هزاران ره شوی ویرانه، من می سازمت
گاه بیلیم در کف و گاهی قلم، یعنی که من با قلم یا بیل، ای خاک وطن می سازمت

قبل از آغاز عملیات معدن کاری در هر منطقه، فعالیت های اکتشافی (اکتشافات مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی) برای جمع آوری اطلاعات مورد نظر از قبیل بررسی وضعیت هندسی کانسار، عیار ماده معدنی، عمق ماده معدنی، انواع کانی سازی های موجود، مطالعه رژیم هیدروژئولوژیکی منطقه، وضعیت زمین شناسی و... انجام می گیرد. بررسی دقیق پارامترهای مذکور و از همه مهم تر، شناخت گسل ها و ساختارهای فعال زمین شناسی، نقش بسزایی در طراحی پله های معادن روباز و کارگاه های استخراج معادن زیرزمینی دارد. همچنین، برای ارائه طرح زهکشی آب های ورودی به معدن، آشنایی با وضعیت آب های زیرزمینی منطقه قبل از آغاز عملیات، ضروری است. عدم انجام مطالعات دقیق در این زمینه باعث بروز مشکلات فراوان در معادن بزرگی چون معدن مس سرچشمه، معدن سنگ آهن چغارت، معدن سنگ آهن گل گهر و... شده است و عملاً هیچ راه حل مهندسی در جهت رفع مشکلات موجود در این معادن دیده نشده است.

از آنجاکه آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل گهر در مرحله اکتشاف تفصیلی قرار دارد و با توجه به کاربرد فراوان روش ژئوالکتریک در مطالعات زمین شناسی مهندسی و آب های زیرزمینی، پس از مشورت با اساتید راهنما، علاقه مند شدم تا طرح حاضر را در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد انجام دهم. ضمن اینکه معتقدم در کنار آموزش تئوری و تحقیقات دانشگاهی، حضور در بخش صنعت و کسب تجربه های هر چند کوتاه مدت، مفید خواهد بود.

خوشحالم که بعد از گذشت حدود ۱/۵ سال از زمان تعریف پروژه، علیرغم مشکلات فراوان و موانع موجود در مراحل مختلف انجام طرح، توانستم تاحد زیادی به اهداف مورد نظر خود دست یابم. البته، همفکری های فراوان اساتید راهنمایم، همچنین حمایت های آقایان دکتر علی اکبر رجبی ریاست محترم دانشگاه، دکتر رضا کاکایی ریاست محترم دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک و اساتید عزیزی چون آقایان دکتر سیدضیاءالدین شفایی و دکتر علی مرادزاده، نقش بسزایی در برطرف شدن

موانع موجود داشت، و افسوس که ستایش من از این بزرگواران، نه شایسته ایشان، که در حد توان من است. به هر حال، ما ایمان داریم که خواستن، توانستن است و می‌توانیم، چون می‌خواهیم.

در انجام این طرح، از مراجع مختلفی استفاده شده که در فهرست منابع، ابتدا منابع فارسی و سپس منابع انگلیسی (بر اساس سال انتشار) قرار داده شده است. شماره مرجع مورداستفاده در متن نیز درون [] آورده شده است. در مورد جداول و اشکال نیز به همین ترتیب عمل شده و در صورتی که مرجعی ذکر نشده باشد، یعنی نتایج حاصل از انجام این طرح بوده و از جایی اقتباس نشده است.

امید است این پایان‌نامه، گاهی به سوی ارتباط هرچه بهتر صنعت و دانشگاه برداشته و برای استفاده اساتید، دانشجویان و متخصصین علوم وابسته، مفید واقع گردد.

آزاده حجت

چکیده

یکی از مشکلات عملیات استخراجی در بسیاری از معادن در حال بهره‌برداری، مشکل زهکشی آب‌های موجود در معدن می‌باشد که مانع عملکرد مناسب تجهیزات استخراج و کاهش راندمان تولید می‌شود. از طرف دیگر، طراحی الگوهای حفاری و آتشیاری در محیط‌های آبدار مشکلات خاص خود را دارد که شناخت رژیم هیدروژئولوژیکی منطقه، راهنمای مناسبی جهت ارائه راهکارهای بهینه در این زمینه می‌باشد. مشکلات موجود در معدن سنگ‌آهن گل‌گهر نیز مهندسين معدن را به شناسایی مناطق آبدار و یافتن راه‌حلی برای زهکشی آن وادار کرده است. علاوه بر مشکل زهکشی، وجود گسل‌های منطقه و ساختارهای فعال زیرسطحی نیز بر نحوه استخراج تأثیر می‌گذارد. آنومالی شماره ۳ معدن سنگ‌آهن گل‌گهر هم‌اکنون مورد مطالعات تفصیلی قرار دارد و از آنجا که حضور آب از عمده مشکلات استخراج آنومالی شماره ۱ می‌باشد، لازم است قبل از آغاز عملیات استخراجی در این محدوده، روشی اتخاذ شود تا وضعیت آب‌زیرزمینی، عمق سنگ کف و ضخامت رسوبات، ساختارهای زمین‌شناسی و خصوصیات لیتولوژیکی منطقه را با دقت مناسب مشخص نماید.

روش‌های ژئوفیزیکی الکتریکی و به‌خصوص روش ژئوالکتریک، به دلیل سرعت بالا، کاهش قابل توجه هزینه‌ها و غیرتهاجمی بودن در بررسی مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی، تعیین ساختارهای زمین‌شناسی و غیره، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند و در عمل نیز نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند. روبراه آبرفتی و توپوگرافی هموار زمین در آنومالی شماره ۳ معدن سنگ‌آهن گل‌گهر، امکان به‌کارگیری روش ژئوالکتریک را حتی در فتراز محدود این آنومالی، فراهم می‌آورد. لذا به‌نظر می‌رسد با انجام برداشت‌های ژئوالکتریک در این منطقه و تفسیر نتایج بتوان به اهداف موردنظر در ارتباط با آب‌های زیرزمینی و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه دست یافت.

با تفسیر یک‌بعدی داده‌های سونداژزنی ژئوالکتریک برداشت‌شده در یک شبکه منظم با ابعاد ۵۰۰ متری با استفاده از آرایش شلومبرژر با طول خط جریان حداکثر $AB = 1400 \text{ m}$ در ۲۵ نقطه مختلف در کل محدوده آنومالی شماره ۳، عمق سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه، بین ۶۰-۴۰ متر با ضخامت حدود ۲۰-۳۵ متر برآورد شده است. مقاومت ویژه لایه آبدار نیز حدود $23-15 \Omega m$ برآورد شده است که نشانه وجود املاح فراوان در آب ویا وجود رس به‌همراه لایه آبدار می‌باشد.

نتایج حاصل از تفسیر مقاطع دوبعدی به دست آمده نیز مبنی بر تائید این نتایج می باشد. تطابق بسیار کم بین سونداژها در این مقاطع را می توان به زمین شناسی پیچیده و حضور گسل های متعدد در منطقه نسبت داد.

برای بررسی دقیق تر تغییرات جانبی مقاومت ویژه و تشخیص گسل ها، ۳ امتداد برای انجام عملیات پروفیل زنی پیشنهاد شده است. همچنین لازم است تا از روش های ژئوفیزیکی دیگر مانند روش پلاریزاسیون القایی (IP) و روش پتانسیل خودزا (SP) برای رفع ابهامات موجود، کمک گرفت.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- مشکلات ناشی از آب‌های سطحی	۱
۳-۱- مشکلات ناشی از آب‌های زیرزمینی	۱
۴-۱- روش‌های بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی	۳
۵-۱- روش‌های ژئوفیزیک الکتریکی	۴
۶-۱- اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین	۶
۷-۱- مراحل عملیات صحرایی	۱۰
۱-۷-۱- پروفیل‌زنی مقاومت ویژه	۱۰
۱-۱-۷-۱- انتخاب آرایش مناسب	۱۱
۲-۱-۷-۱- یادداشت‌های صحرایی در پروفیل‌زنی مقاومت ویژه	۱۱
۳-۱-۷-۱- نمایش داده‌های پروفیل‌زنی مقاومت ویژه	۱۲
۲-۷-۱- سونداژزنی مقاومت ویژه	۱۳
۱-۲-۷-۱- انتخاب آرایش مناسب	۱۳
۲-۲-۷-۱- یادداشت‌های صحرایی در سونداژزنی مقاومت ویژه	۱۴
۳-۲-۷-۱- ارائه داده‌های سونداژزنی مقاومت ویژه	۱۴
۳-۷-۱- آرایش‌های الکترودی	۱۵
۸-۱- توصیه‌های عملی برای برداشت‌های صحرایی	۱۷
۹-۱- تجربه‌های لازم برای برداشت‌های ژئوفیزیکی	۱۹
۱۰-۱- محدودیت‌های روش ژئوالکتریک	۱۹
۱۱-۱- فعالیت‌های بعدی	۲۰

- ۱۲-۱- ارزیابی و تفسیر ۲۱
- ۱۳-۱- هدف از اجرای طرح ۲۱
- ۱۴-۱- مروری بر فصل‌های پایان‌نامه ۲۲

فصل دوم: عملیات صحرائی

- ۱-۲- مقدمه ۲۴
- ۲-۲- موقعیت جغرافیایی ۲۵
- ۳-۲- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی ۲۶
- ۴-۲- زمین‌شناسی ۲۷
- ۵-۲- تاریخچه اکتشافی ۳۰
- ۱-۵-۲- اکتشافات ناحیه‌ای ۳۰
- ۲-۵-۲- اکتشافات آنومالی شماره ۳ ۳۱
- ۱-۲-۵-۲- اکتشافات ژئوفیزیکی ۳۲
- ۶-۲- عملیات صحرائی ۳۵
- ۷-۲- کیفیت داده‌ها ۳۸

فصل سوم: تعبیر و تفسیر یک بعدی داده‌های صحرائی

- ۱-۳- مقدمه ۴۴
- ۲-۳- تفسیر کیفی و کمی سونداژهای الکتریکی ۴۵
- ۱-۲-۳- تعبیر و تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی ۴۷
- ۲-۲-۳- تعبیر و تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی ۴۷
- ۳-۳- تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه ۴۸
- ۱-۳-۳- سونداژ الکتریکی P1 ۴۹
- ۲-۳-۳- سونداژ الکتریکی P2 ۴۹
- ۳-۳-۳- سونداژ الکتریکی P3 ۵۰
- ۴-۳-۳- سونداژ الکتریکی P5 ۵۱
- ۵-۳-۳- سونداژ الکتریکی P6 ۵۲
- ۶-۳-۳- سونداژ الکتریکی P7 ۵۲
- ۷-۳-۳- سونداژ الکتریکی P8 ۵۳

۵۴.....	۸-۳-۳ سونداژ الکتریکی P9
۵۴.....	۹-۳-۳ سونداژ الکتریکی P10
۵۵.....	۱۰-۳-۳ سونداژ الکتریکی P11
۵۶.....	۱۱-۳-۳ سونداژ الکتریکی P12
۵۶.....	۱۲-۳-۳ سونداژ الکتریکی P13
۵۷.....	۱۳-۳-۳ سونداژ الکتریکی P14
۵۸.....	۱۴-۳-۳ سونداژ الکتریکی P15
۵۸.....	۱۵-۳-۳ سونداژ الکتریکی P16
۵۹.....	۱۶-۳-۳ سونداژ الکتریکی P17
۶۰.....	۱۷-۳-۳ سونداژ الکتریکی P18
۶۰.....	۱۸-۳-۳ سونداژ الکتریکی P19
۶۱.....	۱۹-۳-۳ سونداژ الکتریکی P20
۶۲.....	۲۰-۳-۳ سونداژ الکتریکی P21
۶۲.....	۲۱-۳-۳ سونداژ الکتریکی P22
۶۳.....	۲۲-۳-۳ سونداژ الکتریکی P23
۶۴.....	۲۳-۳-۳ سونداژ الکتریکی P24
۶۵.....	۲۴-۳-۳ سونداژ الکتریکی P25
۶۵.....	۲۵-۳-۳ سونداژ الکتریکی P28
۶۶.....	۴-۳ نقشه هم سطح آب زیرزمینی
۶۷.....	۵-۳ نتیجه گیری

فصل چهارم: تفسیر کیفی دو بعدی داده‌های صحرایی

۶۸.....	۱-۴ مقدمه
۶۸.....	۲-۴ نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری
۷۴.....	۳-۴ نتایج حاصل از تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IPI2win
۷۵.....	۱-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۱
۷۶.....	۲-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۲
۷۷.....	۳-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۳
۷۷.....	۴-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۴

- ۷۹.....۵-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل
- ۸۰.....۶-۳-۴ نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل
- ۸۳.....۴-۴ نتایج حاصل از تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Res.2d.inv.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۸۷.....۱-۵ نتیجه‌گیری
- ۸۸.....۲-۵ پیشنهادات
- ۹۰..... فهرست منابع

پیوست

- ۹۴..... الف: مدل‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار VES
- ۱۰۹..... ب: نمونه‌هایی از مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده مربوط به آنومالی شماره ۳

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقاومت ویژه بعضی از سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد معدنی متداول ۸
- ۲-۱- ارزیابی آرایش‌های متداول با توجه به مهم‌ترین عوامل موثر ۱۷

فصل دوم: عملیات صحرائی

- جدول ۱-۲- مشخصات حفاری‌های اکتشافی ناحیه گل‌گهر ۳۱
- جدول ۲-۲- مختصات نقاط برداشت (U.T.M) ۳۷
- ۳-۲- مقادیر مقاومت ویژه مربوط به سونداژهای P1 تا P8 ۳۹

فصل سوم: تعبیر و تفسیر یک بعدی داده‌های صحرائی

- ۱-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P1 ۴۹
- ۲-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P2 ۵۰
- ۳-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P3 ۵۱
- ۴-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P5 ۵۱
- ۵-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P6 ۵۲
- ۶-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P7 ۵۳
- ۷-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P8 ۵۳
- ۸-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P9 ۵۴
- ۹-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P10 ۵۵
- ۱۰-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P11 ۵۵
- ۱۱-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P12 ۵۶

۵۷.....	P13	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۵۷.....	P14	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۵۸.....	P15	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۵۹.....	P16	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۵۹.....	P17	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۰.....	P18	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۱.....	P19	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۱.....	P20	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۲.....	P21	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۳.....	P22	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۴.....	P23	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۴.....	P24	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۵.....	P25	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ
۶۶.....	P28	نتایج حاصل از تفسیر سونداژ

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- اصول روش ژئوالکتریک ۷

فصل دوم: عملیات صحرائی

۱-۲- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن گل‌گهر ۲۶
۲-۲- میزان بارندگی در ناحیه گل‌گهر از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۰ ۲۷
۳-۲- نقشه زمین شناسی ناحیه معدن سنگ آهن گل‌گهر ۲۹
۴-۲- شبکه گمانه‌های حفر شده در آنومالی شماره ۳ ۳۴
۵-۲- شبکه برداشت سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه ۳۶
۶-۲- دستگاه ABEM Terrameter SAS 4000 ۳۸

فصل سوم: تعبیر و تفسیر یک بعدی داده‌های صحرائی

شکل ۱-۳- نقشه هم سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه ۶۷

فصل چهارم: تفسیر کیفی دو بعدی داده‌های صحرائی

۱-۴- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی ۴۰ متر ۶۹
۲-۴- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی ۵۰ متر ۷۰
۳-۴- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی ۱۰۰ متر ۷۱
۴-۴- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی ۱۵۰ متر ۷۲
۵-۴- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی ۲۰۰ متر ۷۳
۶-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱ ۷۵
۷-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۲ ۷۶
۸-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۳ ۷۷

- ۹-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۴ ۷۸
- ۱۰-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۵ ۷۹
- ۱۱-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۶ ۸۰
- ۱۲-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۷ ۸۱
- ۱۳-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۸ ۸۱
- ۱۴-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۹ ۸۲
- ۱۵-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱۰ ۸۲
- ۱۶-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در اولین تکرار ۸۴
- ۱۷-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در دومین تکرار ۸۴
- ۱۸-۴- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در سومین تکرار ۸۵

فصل اول:

کلیات

فصل اول: کلیات

باتوجه به اینکه پایان نامه حاضر به بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی در معدن سنگ آهن گل‌گهر با استفاده از روش ژئوالکتریک می‌پردازد، در این فصل به‌طور خلاصه به بررسی مشکلات ناشی از حضور آب‌های زیرزمینی در معادن روباز و نکات مهم ژئوالکتریکی مرتبط، پرداخته شده است.

۱-۱- مقدمه

وجود آب در معادن روباز یکی از مشکلات مهمی است که به عنوان یک مانع فیزیکی در برابر عملیات استخراج به حساب می‌آید. آب همچنین از نظر اقتصادی، تاثیر منفی در عملیات استخراج داشته و یک عامل حیاتی در آلودگی محیط زیست در محدوده معدن می‌باشد.

۱-۲- مشکلات ناشی از آب‌های سطحی

آب‌های سطحی که به طرف معدن جریان دارد می‌تواند باعث ایجاد مشکلات عملیاتی در کارهای معدنی گردد که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان به‌صورت زیر نام برد:

- صرف هزینه‌های اضافه برای پمپاژ آب ورودی به معدن به بیرون از منطقه عملیاتی،
- فرسایش دیواره‌های معدن، راه‌های معدنی و کانال‌های زهکشی،
- سستی و نرم شدن کف جاده‌های معدنی و تورم آن در زمستان به علت یخ‌بندان،
- تجمع قطعات ناشی از فرسایش،
- ناپایداری پله‌ها در اثر تجمع آب در ترک‌های کششی،
- یخ‌زدگی در زمستان.

۱-۳- مشکلات ناشی از آب‌های زیرزمینی

مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی در معادن روباز را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- در نظر گرفتن شیب کم‌تر برای پله‌ها به منظور اجتناب از بروز ناپایداری،
- کاهش مقاومت برشی خاک و سنگ،
- افزایش نیروهای رانشی به علت اشباع دیواره معدن،
- ایجاد نیروهای تراوشی ناشی از جریان آب زیرزمینی به طرف معدن،
- افزایش فشار آب در شکاف‌های کشتی که سفره‌های آب کم عمق را قطع می‌کند.
- همچنین از مشکلات عملیاتی می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:
- مشکلات ایجاد شده در عملیات حفاری، استخراج و حمل و نقل،^۱
- مشکلات ناشی از انفجار در محیط‌های آبدار،
- کاهش درصد بازیابی به علت کاهش شیب کلی معدن،
- کاهش عملکرد ماشین‌آلات و افزایش هزینه تعمیر و نگهداری،
- مشکلات زیست محیطی.

وجود آب در چاه‌های انفجاری باعث افزایش هزینه‌های آتشباری خواهد شد زیرا در چنین شرایطی باید از مواد منفجره خاص و ضدآب (به عنوان مثال اسلاری^۱) استفاده نمود که قیمت واحد آن‌ها چندین برابر مواد منفجره معمولی است. از طرف دیگر، مسائلی از قبیل لغزش مواد بدون چسبندگی در اثر ارتعاشات ناشی از انفجار و شسته شدن مواد منفجره در اثر جریان آب در داخل چال باعث ایجاد مشکلات عملیاتی می‌گردد. مشکلات مزبور باعث افزایش قابل توجه هزینه‌های انفجار و استخراج در معادن گل‌گهر، سرچشمه و چغارت شده است.

وجود آب در حفاری‌های مربوط به روباره و ماده معدنی باعث کاهش عملکرد و بازدهی ماشین‌آلات شده و سبب افزایش وزن مواد می‌گردد. از طرف دیگر در اثر وجود آب، شیب دیواره‌های دیپوهای باطله^۲ کاهش می‌یابد. در اثر وجود آب در معدن، شیب معدن کاهش یافته و بنابراین در شرایط مساوی، درصد بازیابی کاهش خواهد یافت.

هزینه‌های لازم جهت آبکشی در معادن روباز می‌تواند تاثیر زیادی بر هزینه کلی استخراج بگذارد که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به پمپاژ،

1- Slurry

2- Waste Dumps

هزینه‌های لازم جهت آبکشی در معادن روباز می‌تواند تاثیر زیادی بر هزینه کلی استخراج بگذارد که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به پمپاژ، هزینه‌های تعمیر و نگهداری تاسیسات آبکشی و هزینه‌های ناشی از کار در محیط‌های آبدار اشاره نمود. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان دریافت که تاثیر آب در عملیات معدنکاری بسیار متنوع و متفاوت بوده و بایستی وضعیت آب‌های زیرزمینی در هر معدن قبل از شروع عملیات استخراجی، به‌طور دقیق مورد مطالعه قرار گیرد. به‌همین منظور و در این راستا، برای بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ‌آهن گل‌گهر، از روش ژئوالکتریک استفاده گردید که جزئیات آن در این پایان‌نامه به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۴- روش‌های بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی

روش‌هایی که در بررسی آب‌های زیرزمینی کاربرد دارند را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود که عبارتند از:

- روش‌های مستقیم

- روش‌های غیرمستقیم

در روش‌های مستقیم با حفر گمانه‌های حفاری، وضعیت آب‌های زیرزمینی در یک منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. البته این روش‌ها بسیار پرهزینه هستند و معمولاً بررسی‌های اولیه به کمک روش‌های غیرمستقیم انجام می‌شود.

بررسی‌های زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوفیزیکی متداول‌ترین روش‌های غیرمستقیم در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی می‌باشند. از میان روش‌های مختلف موجود برای بررسی‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی، روش‌های ژئوفیزیکی الکتریکی و به ویژه روش مقاومت‌ویژه الکتریکی بیش‌تر از همه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اگرچه یکی از راه‌های به‌دست آوردن اطلاعات زیرزمینی دقیق، حفر گمانه‌های اکتشافی است، اما عملیات حفاری بسیار پرهزینه است و تنها اطلاعاتی را در مناطق جداگانه فراهم می‌آورد. برداشت‌های ژئوفیزیکی، با اینکه در معرض ابهامات اساسی و یا عدم قطعیت در تفسیرهای انجام شده قرار دارند، وسیله‌ای سریع و ارزان برای به‌دست آوردن اطلاعات پیوسته زیر سطحی هستند. البته

استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به معنی عدم نیاز به عملیات حفاری نیست، بلکه در صورت استفاده از این روش‌ها، برنامه اکتشافی بهینه خواهد شد که سرعت عملیات افزایش یافته و تعداد گمانه‌های حفاری مورد نیاز، به حداقل خواهد رسید [۱۶].

۱-۵- روش‌های ژئوفیزیک الکتریکی

مهم‌ترین موارد استفاده روش‌های الکتریکی در بررسی کیفیت و هندسه سفره‌های آب زیرزمینی عبارتند از:

- ۱- برداشت مقاومت ویژه و هدایت ویژه الکتریکی سفره‌های آب زیرزمینی جهت تعیین تغییرات شوری، مقدار کل املاح جامد محلول (TDS)^۱ و پارامترهای دیگر آب‌های زیرزمینی،
- ۲- برداشت تقریبی وسعت و هندسه محل‌های محصور تامین‌کننده آب،
- ۳- برداشت مسیرهای متخلخل، مناطق رسی نفوذناپذیر و ساختارهای زمین‌شناسی که مسیر جریان آب را کنترل می‌کنند.

روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. این روش‌ها به‌طور مؤثری برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی انواع آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی، بررسی مسائل مهندسی برای تعیین محل حفره‌های زیرسطحی، گسل‌ها و مناطق خردشده، درز و شکاف‌ها، مناطق یخزده، چاه‌های معدنی و غیره، و در بررسی‌های باستان‌شناسی برای برداشت گسترش فضایی بقایای ساختارهای مدفون قدیمی، علاوه بر کاربردهای متنوع دیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰].

اهمیت روش‌های ژئوفیزیکی به عنوان یک وسیله کارآمد در به دست آوردن اطلاعات مربوط به وضعیت آب‌های زیرزمینی و اطلاعات زمین‌شناسی زیر سطحی به اندازه ای است که کلیه متخصصین علوم زمین باید با اصول این روش‌ها، اهداف و کاربردهای اصلی هر روش، آشنا باشند. بدون شک مهم‌ترین و مؤثرترین کاربرد روش مقاومت ویژه در مطالعات هیدروژئولوژیکی است که قادر به تعیین اطلاعات مهمی در رابطه با ساختارهای زمین‌شناسی و منابع آب زیرزمینی، با

هزینه‌های بسیار کمی در مقایسه با برنامه‌های حفاری می‌باشد. سپس به کمک نتایج ژئوفیزیکی می‌توان محل حفر حداقل گمانه اکتشافی مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌های ضروری سفره آب و کنترل تفسیرهای ژئوفیزیکی را مشخص نمود [۱۶].

مثال‌هایی از کاربرد روش مقاومت ویژه الکتریکی عبارتند از:

- اکتشاف و تعیین محل ذخایر شن و ماسه،
- تخمین عمق سطح آب‌های زیرزمینی و افق‌های حاوی آب،
- تعیین عمق سنگ یا ضخامت روباره،
- بررسی تغییرات ناحیه‌ای در لایه‌های خاک (به عنوان مثال، شن و ماسه در مقابل رس)،
- تعیین کانال‌های مدفون،
- تعیین آنومالی‌های ژئوترمال،
- برداشت فصل مشترک آب شور و شیرین،
- تعیین مناطق گسل خورده،
- آشکارسازی و تعیین آلودگی زیرزمینی،
- برداشت مناطق باستان‌شناسی،
- تخمین مقاومت سنگ.

روش مقاومت‌ویژه قابل مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی و همچنین روش‌های اکتشاف مستقیم است. این روش خصوصیات زیر را دارد:

- انعطاف‌پذیری، عملیات صحرائی را می‌توان برای شناسایی‌های اولیه و همچنین برداشت‌های تفصیلی طراحی نمود،
- سرعت بالا،
- هزینه‌های پایین عملیات صحرائی،
- سبک و قابل حمل بودن تجهیزات،
- امکان تفسیر مستقیم و کیفی داده‌ها.

در کنار این عوامل، محدودیت‌های روش مقاومت‌ویژه عبارتند از:

- ابهام در تفسیر داده‌ها که باعث رسیدن به چندین مدل مختلف می‌شود که با مشاهدات تطبیق داشته باشند [۲۲]،

- تفسیر به ساختارهای ساده محدود می‌شود. در ساختارهای پیچیده، تفسیر دشوار و حتی غیرممکن خواهد بود،

- توپوگرافی و تاثیرات مربوط به تغییرات مقاومت ویژه نزدیک به سطح، که ممکن است باعث حذف و پوشیده شدن اثر تغییرات عمقی شود،

- عمق نفوذ این روش با توجه به حداکثر توان الکتریکی ارسالی به درون زمین و به دلیل مشکلات عملیاتی مربوط به افزایش زیاد طول سیم‌ها، محدودیت دارد. حداکثر عمق عملی در اکثر برداشت‌ها، معمولاً از ۱ کیلومتر تجاوز نمی‌کند [۱۶].

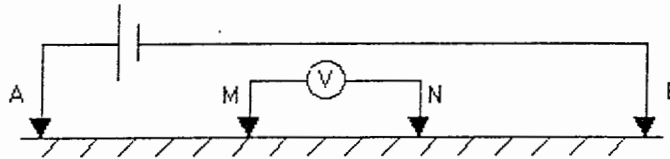
۱-۶- اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین

هدف اصلی عمده روش‌های الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش‌ها، برای اینکه یک ویژگی زیرزمینی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به طور بارزی متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روش‌های الکتریکی، به حالت‌هایی که یک تباین مقاومت ویژه^۱ وجود داشته باشد، محدود می‌شود. در این روش‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و سایر خصوصیات موجود، به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. این بدان معنی است که برای تفسیر مناسب داده‌های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی می‌باشد. در بعضی مواقع، داده‌های کمکی بسیار پراکنده بوده و برای محدود کردن تفسیرهای ممکن برای داده‌های ژئوفیزیکی، مناسب نمی‌باشند. در بعضی موارد هم، اطلاعات کمکی موجود به محدود کردن تفسیرها و انتخاب یک سری خصوصیات زمین‌شناسی با توجه به داده‌های الکتریکی، کمک می‌کنند.

هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشد. مقاومت ویژه زمین، به پارامترهای مختلف زمین‌شناسی از قبیل کانی‌ها،

سنگ‌ها و مواد معدنی موجود، محتوای سیالات درون حفره ای، تخلخل و درجه اشباع سنگ‌ها و غیره بستگی دارد.

در روش ژئوالکتریک، اندازه گیری های مقاومت ویژه، با تزریق جریان به زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه گیری اختلاف ولتاژ حاصل میان دو الکتروود پتانسیل انجام می شوند (شکل ۱-۱). معادله (۱-۱) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایش الکتروودی است. در زمین‌های همسانگرد و همگن، مقاومت ویژه به دست آمده از این معادله، ثابت و مستقل از فاصله الکتروودی و موقعیت الکتروودها در سطح زمین است. در این حالت، مقاومت ویژه به دست آمده، مقاومت ویژه واقعی یا حقیقی زمین موردنظر را نشان می‌دهد. در صورت وجود ناهمگنی های زیرسطحی، مقدار مقاومت ویژه اندازه گیری شده با تغییر موقعیت الکتروودها، تغییر می‌کند. در این صورت، مقادیر اندازه گیری شده مقاومت ویژه ظاهری هستند [۲۷].



شکل ۱-۱- چگونگی اندازه گیری مقاومت ویژه در روش ژئوالکتریک [۲۷].

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\}} \frac{\Delta V}{I} \quad (1-1)$$

در این رابطه، I شدت جریان ارسالی (برحسب آمپر)، ΔV اختلاف پتانسیل قرائت شده (برحسب ولت) و ρ_a مقدار مقاومت ویژه ظاهری (برحسب اهم-متر) می باشد.

به منظور تبدیل مقادیر مقاومت ویژه به ساختارهای زمین شناسی، آگاهی از مقادیر مقاومت ویژه مربوط به انواع مواد مختلف زیرسطحی، و زمین شناسی مناطق مورد مطالعه، الزامی است. مقادیر مقاومت ویژه مربوط به برخی سنگ‌ها، کانی‌ها و مواد دیگر در جدول (۱-۱)، ارائه شده است.

جدول ۱-۱- مقاومت ویژه (برحسب $(\Omega - m)$) بعضی از سنگ‌ها، کانیها و مواد معدنی متداول [۹].

مقاومت ویژه	ماده موردنظر	مقاومت ویژه	ماده موردنظر
$8 - 4 \times 10^3$	ماسه سنگ	$5 \times 10^3 - 10^6$	گرانیت
$20 - 2 \times 10^3$	شیل	$10^3 - 10^6$	بازالت
$50 - 4 \times 10^2$	سنگ آهک	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	اسلیت
$10^3 - 5 \times 10^5$	گابرو	$10^2 - 2 \times 10^8$	کوارتزیت
$500 - 5 \times 10^3$	ماسه سست	1 - 100	رس
0.2	آب دریا	10 - 100	آب زیرزمینی
$10^2 - 10^{-2}$	پیریت	9.074×10^{-8}	آهن
$10^{-2} - 10^3$	مگنتیت	$5 \times 10^{-3} - 0.1$	کالکوپیریت
0.843	کلرید سدیم 0.01M	0.708	کلرید پتاسیم 0.01M
6.998×10^{16}	اکسیلین	6.13	اسید استیک 0.01M
$10^{-3} - 10^2$	گالن	$10^{-3} - 10^{-2}$	پیرویتیت
$10^{-2} - 10^6$	هماتیت	$10^3 - 10^6$	اسفالریت

جریان مستقیم (DC) در اکتشافات مقاومت ویژه به دو طریق از میان مواد عبور می‌کند: حرکت الکترون‌ها یا یون‌های آزاد قسمت جامد، و یا حرکت یون‌های موجود در سیال درون حفره‌ای. حالت اول به‌ویژه هنگام بررسی انواع بخصوصی از مواد از قبیل گرافیت، مگنتیت، پیریت و ... اهمیت دارد. در بسیاری موارد و در بسیاری مطالعات مهندسی و هیدروژئولوژیکی، حالت دوم، غالب است. در سنگ‌ها و مواد آبدار با افزایش موارد زیر مقاومت ویژه کاهش می‌یابد:

- حجمی از سنگ که توسط آب اشغال شده است،
- میزان شوری و مقدار یون‌های موجود در آب درون حفره‌ای،
- ارتباط فضاهای خالی (نفوذپذیری)،
- درجه حرارت [۲۲].

دامنه تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف بسیار گسترده است و از $10^{-8} \Omega m$ برای نقره خالص تا $10^{16} \Omega m$ برای گوگرد خالص متغیر است. سنگ‌های آذرین بالاترین مقادیر مقاومت ویژه را دارند. هدایت ویژه الکتریکی سنگ‌های رسوبی با توجه به محتوای بالای سیالات درون

حفره‌های آن‌ها از همه بیش‌تر است؛ مقاومت‌ویژه الکتریکی سنگ‌های دگرگونی متوسط است که با سنگ‌های آذرین و رسوبی نیز همپوشانی دارد. سن زمین‌شناسی سنگ‌ها نیز بر مقاومت‌ویژه آن‌ها تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، مقاومت‌ویژه الکتریکی یک نمونه سنگ آتشفشانی دوره کواترنری ممکن است حدود $10-200 \Omega m$ باشد، درحالی‌که مقاومت‌ویژه یک سنگ معادل مربوط به پرکامبرین، بالاتر است. دلیل این امر این است که سنگ‌های قدیمی‌تر، بیش‌تر در معرض پرشدگی‌های ثانویه فضاهای خالی در اثر کانی‌سازی، تراکم و در نتیجه کاهش تخلخل و نفوذپذیری قرار دارند [۱۰].

به‌طور کلی، فرایندهای زمین‌شناسی بر روی مقدار مقاومت‌ویژه سنگ‌ها تأثیر می‌گذارند. انحلال، گسلش، برش و هوازدگی معمولاً باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری سیالات شده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت‌ویژه می‌گردند. رسوب کربنات کلسیم و سیلیس باعث کاهش تخلخل و در نتیجه نفوذپذیری نسبت به سیالات و بنابراین افزایش مقاومت‌ویژه می‌شود. سخت‌شدگی در اثر تراکم و یا دگرگونی باعث کاهش تخلخل و نفوذپذیری و در نتیجه افزایش مقاومت‌ویژه می‌شود. نفوذ آب‌های شور، باعث حضور یون‌های بیش‌تر برای هدایت جریان و در نتیجه کاهش مقاومت‌ویژه می‌شود [۱۸].

برخی کانی‌ها مثل پیریت، گالن و مگنتیت معمولاً در حالت توده‌ای، رساناهای ضعیفی هستند درحالی‌که بلورهای مجزای آن‌ها، بسیار رسانا می‌باشند. هماتیت و اسفالریت به‌طور خالص، نارسانا هستند اما همراه با ناخالصی‌های مختلف، ممکن است به هادی‌های خوب (با مقادیر مقاومت‌ویژه در حد $0/1 \Omega m$) تبدیل شوند. حضور گرافیت به‌طور پراکنده در سرتاسر یک توده سنگ با هدایت کم، می‌تواند باعث کاهش مقاومت‌ویژه کلی گردد. در سنگ‌های با ترکیب متغیر، مثل سنگ‌های رسوبی با رخساره‌های دانه‌بندی شده^۱، مقادیر مقاومت‌ویژه منعکس‌کننده نسبت‌های مختلفی از مواد تشکیل‌دهنده می‌باشند [۱۰].

هدف از برداشت‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی، به‌دست آوردن مدل‌های مقاومت‌ویژه واقعی برای مواد زیرسطحی است. این مدل‌ها باید دارای مفهوم زمین‌شناسی باشند. در حقیقت، زمین یک محیط همگن نیست و بنابراین مقاومت‌ویژه به‌دست آمده واقعی نیست، بلکه ظاهری (ρ_e) است. به‌خاطر داشته باشید که مقاومت‌ویژه ظاهری یک خاصیت فیزیکی از محیط زیرزمینی نیست و بنابراین کلیه

داده‌های صحرایی، مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری هستند، درحالی‌که نتایج حاصل از روش‌های تفسیر، مقاومت‌های ویژه حقیقی می‌باشند.

۱-۷-۲- مراحل عملیات صحرایی

اولین قدم در طراحی یک برداشت ژئوفیزیکی، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سابقه مطالعات انجام‌شده و کلیه داده‌های ژئوفیزیکی موجود در رابطه با هدف مورد نظر است. قبل از انجام طراحی اولیه، کلیه مسائل و تقاضاهای موجود (با جزئیات کامل) بایستی معرفی شوند. اطلاعات مربوط به هدف باید شامل اطلاعاتی در رابطه با نحوه دسترسی به منطقه، فاصله تا ساختمان‌های موجود، خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، تاسیسات الکتریکی، توپوگرافی و همچنین موقعیت لوله‌ها، کابل‌ها و تاسیسات بشری باشد. مهم‌تر از موارد مذکور، دسترسی به نقشه‌ها، مقاطع و یا سایر مدارک گرافیکی مربوط به منطقه می‌باشد. مقیاس آن‌ها باید به اندازه‌ای باشد که امکان وارد کردن دقیق اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر ایستگاه باشد.

یک عملیات یا برداشت ژئوالکتریک به یکی از دو روش سونداژزنی قائم الکتریکی (VES) و یا پروفیل‌زنی انجام می‌شود. در روش سونداژزنی، تغییرات عمقی یا قائم مقاومت‌ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در روش پروفیل‌زنی، تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه مواد زیر سطح زمین در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شود. به‌طور کلی، روش ژئوالکتریک در بررسی آب‌های زیرزمینی می‌تواند اطلاعات با ارزشی فراهم نماید که معمولاً نمی‌توان این اطلاعات را از روش‌های دیگر ژئوفیزیکی به‌دست آورد [۳].

۱-۷-۱- پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه

پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه برای تعیین تغییرات جانبی انجام می‌شود. در این حالت، آرایش مورد استفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می‌مانند. بهترین هدف‌های مطالعاتی در پروفیل‌زنی، همبری‌های شیب‌دار (با شیب تند) میان دو محیط با مقاومت‌ویژه متفاوت است که در زیر روباره‌های کم ضخامت و نسبتاً یکنواخت، قرار گرفته‌اند. چنین مواردی در طبیعت وجود دارد، اما در بیشتر مواقع، تغییرات زمین‌شناسی موجود تنها باعث ایجاد تغییرات کوچکی در مقاومت‌ویژه ظاهری می‌شود

که بایستی آن‌ها را از زمینه، با توجه به سایر منابع زمین‌شناسی، جدا کرد. به عنوان مثال، حفره‌های موجود در سنگ آهک، بسیار مقاوم‌تر از محیط اطراف خود هستند، اما به دلیل کوچک بودن، تعیین آن‌ها ممکن است بسیار دشوار گردد. معمولاً برای جستجوی توده‌های بسیار هادی و کوچک (مانند کانسارهای سولفیدی) روش‌های الکترومغناطیس، مؤثرتر از روش‌های جریان مستقیم هستند.

۱-۷-۱-۱- انتخاب آرایش مناسب

در پروفیل‌زنی ژئوالکتریکی، کابل‌ها و الکترودها در فواصل طولانی بر روی خطوط برداشت جابجا می‌شوند و در نتیجه در این حالت آرایش‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که این جابه‌جایی در آن‌ها تا حد امکان ساده و راحت انجام شود. آرایش گرادیان که در آن تنها دو الکترودها جابجا می‌شود، آرایش مناسبی است، اما وسعت منطقه برداشت به منبع انرژی موجود بستگی دارد و معمولاً کوچک است، مگر در صورت استفاده از ژنراتورهای موتوری. در آرایش ونر، هر چهار الکترودها جابجا می‌شوند، اما با توجه به اینکه فاصله میان همه الکترودها یکسان است، احتمال خطا وجود ندارد. در صورت استفاده از الکترودهای فلزی ارزان قیمت، می‌توان قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها، الکترودها را در تمام طول خط پروفیل، در زمین نصب کرد. به دلیل عدم وجود مشکل القا در هنگام استفاده از جریان مستقیم و یا جریان متناوب با فرکانس بسیار پایین، می‌توان با بریدن طول‌های مورد نظر از کابل و متصل کردن آن‌ها به یکدیگر پروفیل‌زنی را سرعت بخشید. آرایش دو قطبی-دوقطبی معمولاً در برداشت‌های پلاریزاسیون القایی (IP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این برداشت‌ها از اثرات القایی باید اجتناب شود. در آرایش دو قطبی-دوقطبی (D-D)، هر چهار الکترودها جابجا می‌شوند و ولتاژهای اندازه‌گیری شده، نسبتاً کوچک می‌باشند [۱۹].

۱-۷-۱-۲- یادداشت‌های صحرائی در پروفیل‌زنی مقاومت ویژه

در طول پروفیل، پارامترهای آرایش مورد استفاده ثابت باقی می‌مانند. بنابراین نوع آرایش و فاصله میان الکترودها و همچنین در اکثر موارد جریان و محدوده ولتاژ مورد استفاده را می‌توان در بالای برگه‌ها یادداشت کرد. سپس، در هر ایستگاه فقط شماره ایستگاه، قرائتهای V/I و توضیحات لازم،

می‌شوند. از آنجاکه محدوده جریان و ولتاژ مورد استفاده، نشان‌دهنده اعتبار و قابلیت اعتماد قرائتها هستند، در صورت تغییر، این مقادیر نیز بایستی ثبت گردند.

توضیحات مربوط به تغییرات نوع خاک، گیاهان موجود، وضعیت توپوگرافی، کشتزارها و مناطق پرجمعیت (که در آن‌ها اثرهای غیر زمین‌شناسی دیده می‌شود)، بایستی تهیه شود. با توجه به اینکه هر یادداشت مختص یک نقطه برداشت خاص می‌باشد، توضیح کلی ناحیه نیز بایستی در دسترس باشد [۱۹].

۱-۷-۱-۲- نمایش داده‌های پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه

اطلاعات و نکاتی که در پروفیل‌زنی ژئوالکتریک ثبت می‌گردند، عبارتند از:

متغیر مستقل: فاصله مرکز آرایش از یک نقطه مبنا^۱،

متغیر وابسته: مقاومت‌ویژه ظاهری (ρ_a)،

اطلاعات کمکی: آرایش الکتروودی، فاصله الکتروودی، موقعیت.

در برداشت‌های مقاومت‌ویژه می‌توان عملیات پروفیل‌زنی را در طول یک خط پروفیل برای یک یا چند مقدار متفاوت فاصله الکتروودی تکرار نمود. با مقایسه نتایج به دست آمده می‌توان تغییرات عمقی را نیز کنترل نمود. در حالتی دیگر، پروفیل‌زنی در طول خطوط موازی انجام می‌شود و در نتیجه به جای یک خط، یک منطقه را پوشش می‌دهد. در این حالت، می‌توان مقادیر مقاومت‌ویژه به دست آمده را با یک نقشه کانتوری ارائه نمود [۲۲].

نتایج حاصل از برداشت‌های پروفیل‌زنی مقاومت‌ویژه الکتریکی را می‌توان به صورت پروفیل‌هایی که کلیه خصوصیات داده‌های اولیه را در بردارند، ارائه کرد. برای نمایش داده‌های پروفیل‌زنی، محور افقی همواره خطی است. محور قائم می‌تواند خطی یا لگاریتمی باشد. البته اکثر منحنی‌های تجربی مورد استفاده برای تفسیر، در مقیاس خطی هستند. می‌توان پروفیل‌های مقاومت‌ویژه را همراه با پروفیل‌های توپوگرافی و مختصری از یادداشت‌های صحرایی، ارائه نمود. داده‌های یک منطقه را می‌توان با رسم پروفیل‌هایی بر روی یک نقشه مبنا نشان داد، ولی در این حالت فضای کافی برای یادداشت‌های حاشیه‌ای باقی نمی‌ماند.

امتداد توده‌های هادی و یا مقاوم را به خوبی می‌توان توسط نقشه‌های کانتوری نشان داد. خطوط برداشت و محل نقاط اندازه‌گیری باید بر روی نقشه‌های کانتوری مشخص شوند، زیرا نقشه‌های مربوط به یک منطقه که در راستاهای مختلف تهیه شده باشند، ممکن است متفاوت باشند [۱۹].

۱-۷-۲- سونداژزنی مقاومت ویژه

در سونداژهای ژئوالکتریک، تغییرات عمقی مقاومت ویژه و لایه‌بندی‌های موجود، با استفاده از آرایش‌هایی که فاصله میان بعضی از الکترودها و یا همه آن‌ها به‌طور متقارن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شوند. مقادیر مقاومت ویژه با توجه به فاصله و بر روی نمودارهای لگاریتمی (هر دو محور لگاریتمی) رسم می‌شوند. اگرچه روش‌هایی برای تفسیر شیب لایه‌ها نیز پیشنهاد شده، سونداژزنی ژئوالکتریک تنها در مواقعی که فصل مشترک لایه‌ها افقی باشد به خوبی جواب می‌دهد [۱۹].

ارزیابی یک منحنی سونداژ ممکن است چندین پاسخ هم‌ارز داشته باشد. وظیفه متخصصین ژئوفیزیک، انتخاب نتیجه‌ای است که بهترین تطابق را با ساختمان‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی شناخته شده منطقه داشته باشد. یک مورد انتخابی دیگر، مقایسه با سونداژهای مجاور است. باید امکان وصل کردن نشانه‌های یک لایه در یک عمق اندازه‌گیری شده توسط یک سونداژ، به نشانه‌های عمقی مربوطه در سونداژ بعدی به نحوی که یک مقطع صحیح و منطقی از نظر زمین‌شناسی به دست آید، وجود داشته باشد. در سونداژزنی (همانند مغزه‌گیری‌های حفاری) می‌توان مرز و یا ضخامت لایه‌های افقی را ثابت کرد. با این تفاوت که در اینجا به جای سنگ‌شناسی، مقاومت‌های ویژه ظاهری لایه‌ها ارائه می‌شود [۱۳].

۱-۷-۲-۱- انتخاب آرایش مناسب

با توجه به اینکه سونداژزنی، مستلزم گسترش الکترودها در اطراف یک نقطه مرکزی می‌باشد، معمولاً وسایل اندازه‌گیری در یک محل باقی می‌مانند. به همین دلیل، قابل حمل بودن دستگاه‌ها در سونداژزنی، نسبت به پروفیل‌زنی از اهمیت کم‌تری برخوردار است. با این حال، برای سادگی و سرعت بخشیدن به عملیات معمولاً آرایش شلومبرژر که در آن تنها دو الکترودها جابجا می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علاوه، مقدار خطا و حساسیت این روش به تغییرات جانبی مقاومت ویژه نسبتاً کم و

قدرت تفکیک‌پذیری عمودی آن بالا است. روش‌های تفسیر و منحنی‌های استاندارد مختلفی نیز برای این روش، در دسترس می‌باشند.

آرایش ونر نیز برای سونداژزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته، معمولاً اختلاف میان منحنی‌های ونر و شلومبرژر در زیر سطح نويز مشاهده‌ای قرار دارد. اثر ناهمگنی‌های نزدیک به سطح را می‌توان با استفاده از روش افست ونر، کاهش داد.

اگرچه استفاده از آرایش دو قطبی - دو قطبی برای سونداژزنی امکان‌پذیر است، اما در عمل این آرایش مورد استفاده قرار نمی‌گیرد [۱۹].

۱-۷-۲-۲- یادداشت‌های صحرائی در سونداژزنی مقاومت‌ویژه

در یادداشت‌های صحرائی، موقعیت، جهت‌یابی و نوع آرایش مورد استفاده برای هر سونداژ، یادداشت می‌شود. محیط و منطقه برداشت باید به‌طور کلی و به وضوح شرح داده شده و هر مطلب خاصی از قبیل علت انتخاب یک جهت مشخص، بیان شود. احتمال تغییرات قابل توجه در جریان و مقادیر ولتاژ وجود دارد و محدوده‌های مورد استفاده برای هر قرائت باید ثبت شوند.

معمولاً و به ویژه در هنگام استفاده از آرایش شلومبرژر، اپراتور قادر به دیدن و کنترل الکترودهای پتانسیل می‌باشد. اما برای تهیه توضیحات مربوط به الکترودهای خارجی، باید یا به گزارش‌های دسته دوم اعتماد کند و یا اینکه تمام طول خط برداشت را طی کرده و شخصاً بررسی نماید. تصمیم‌گیری، به تغییرات مشاهده شده و تجربه و قابل اعتماد بودن همکاران وی، بستگی دارد [۱۹].

۱-۷-۲-۳- ارائه داده‌های سونداژزنی مقاومت‌ویژه

اطلاعات و نکاتی که در سونداژزنی ژئوالکتریک ثبت می‌گردد، عبارتند از:

متغیر مستقل: فاصله الکترودی،

متغیر وابسته: مقاومت‌ویژه ظاهری (ρ_a)،

اطلاعات کمکی: آرایش الکترودی، آزمون خط برداشت، موقعیت مرکز الکتروود [۲۲].

معمولاً هنگام جابجا کردن الکترودهای فواصل دور، زمان لازم برای محاسبه و رسم مقادیر مقاومت ویژه ظاهری وجود دارد. در همه حالت‌ها، تاخیرهای کوتاه بسیار بهتر از تحویل سریع نتایج غیرقابل تفسیر می‌باشد. برای محاسبه و رسم مقادیر مقاومت ویژه ظاهری هنگام برداشت، در اختیار داشتن یک ماشین حساب جیبی و مقداری کاغذ لگاریتمی، کافی است.

به کمک کاغذهای شفاف، می‌توان تفسیر ساده‌ای را با استفاده از منحنی‌های استاندارد دو لایه‌ای انجام داد. معمولاً یک تطبیق دو لایه‌ای دقیق، به دست نمی‌آید و بهترین راه، انجام تطبیق‌های جزئی می‌باشد. بدین منظور، از منحنی‌های کمی برای تعیین محل‌های مناسب مبدا منحنی دو لایه‌ای که به قسمت‌های بعدی منحنی صحرائی منطبق می‌شود، استفاده می‌شود. روش تطبیق مرحله به مرحله، روش اصلی تفسیر تا سال ۱۹۸۰ بوده است. پس از آن، برنامه‌های کامپیوتری امکان تهیه نتایج قابل اعتمادتری را فراهم آورده است [۱۹].

۱-۷-۳- آرایش‌های الکترودی

آرایش‌های الکترودی متنوعی وجود دارد که هر کدام، مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب آرایش مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایش مورد استفاده و سختی هر روش بستگی دارد. همچنین، حساسیت آرایش‌ها به ناهمگنی‌های جانبی و فصل مشترک‌های شیبدار نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. در اصل، خطی بودن آرایش انتخابی لزومی ندارد، اما در عمل تقریباً همیشه از آرایش‌های خطی استفاده می‌شود، زیرا در غیراین صورت تعبیر و تفسیر نتایج دشوار خواهد بود و عملیات صحرائی نیز وقت گیر و پیچیده می‌شود. متداول‌ترین آرایش‌های الکترودی مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه عبارتند از آرایش دو قطبی - دو قطبی، آرایش قطبی - دو قطبی، آرایش گرادیان، آرایش شلومبرژر، و آرایش ونر.

توضیح کامل حدود ۲۵ آرایش الکترودی، همراه با مزایا و معایب هر کدام، توسط Whitely (۱۹۷۳) ارائه شده است. آرایش‌های مذکور، به‌طور گسترده‌ای در برداشت‌های مقاومت ویژه مورد استفاده قرار گرفته است و روش‌های مناسب پردازش و تفسیر داده‌های حاصل از آن‌ها، توسعه یافته است. این آرایش‌ها برای اغلب کاربردهای مهندسی، هیدروژئولوژیکی، زیست‌محیطی و ژئوتکنیکی، مناسب هستند.

عوامل متعددی در انتخاب آرایش الکترونی تأثیر دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به عوامل زیر اشاره کرد:

- ۱- نسبت سیگنال به نویز،
- ۲- جفت‌شدگی الکترومغناطیسی^۱،
- ۳- حساسیت به موقعیت جانبی^۲،
- ۴- قابلیت تفکیک ساختارهای شیب‌دار،
- ۵- قدرت تفکیک پذیری ساختارهای افقی،
- ۶- عمق نفوذ،
- ۷- حساسیت به عمق آنومالی‌ها (عمق هدف)،
- ۸- حساسیت نسبت به شیب،
- ۹- حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی^۳ در عملیات سونداژزنی،
- ۱۰- حساسیت به ناهمگنی‌های سطحی در عملیات پروفیل‌زنی،
- ۱۱- حساسیت به توپوگرافی سنگ بستر،
- ۱۲- حساسیت به اثرات جانبی^۴،
- ۱۳- حساسیت به روباره‌های هادی، و
- ۱۴- حساسیت به توپوگرافی.

البته اطلاعات کافی در رابطه با این عوامل و شرایط بسیار متنوعی که ارزیابی واقعی هر کدام از آن‌ها را برای آرایش‌های مختلف میسر می‌سازد، در دسترس نیست. حتی برای بعضی از این عوامل، هیچ بررسی سیستماتیک و منظمی برای مجموعه گسترده‌ای از مدل‌های زمینی انجام نشده است.

1- Electromagnetic Coupling
 2- Lateral Location
 3- Surface Inhomogeneities
 4- Lateral Effects

ارزیابی مختصری از اولویت آرایش‌های مورد استفاده با توجه به تأثیر عوامل مذکور، در جدول (۲-۱) ارائه شده است. در این جدول، عدد ۱ نشان دهنده این است که آرایش مربوطه، مناسب‌ترین آرایش می‌باشد؛ عدد ۵ نشان می‌دهد که آرایش مذکور، اصلاً مناسب نیست و در اولویت آخر (با توجه به عامل مورد نظر) قرار دارد؛ اعداد ۲، ۳، ۴ نیز به ترتیب اولویت‌های بعدی را نشان می‌دهند. مواردی که ارزیابی دقیقی صورت نگرفته و هیچ قطعیت و مطالعات مستندی در دسترس نبوده، با علامت \times یا $+$ مشخص شده اند. برای تکمیل این جدول، نیاز به مطالعات دقیق و گسترده می‌باشد [۱۸].

جدول ۲-۱- ارزیابی آرایش‌های متداول با توجه به مهمترین عوامل مؤثر [۱۸].

آرایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
گردیان	۳	۳	۱	۱	۵	+	۵	۱	\times	۵	۵	+	۱	+
دوقطبی - دوقطبی	۵	۱	۲	۴	۲	+	۲	۴	۴	۲	۱	+	۱	+
قطبی - دوقطبی	۴	۲	۳	۵	۲	+	۳	۵	۳	۱	۲	+	۱	+
شلومبرژر	۲	۴	۴	۲ [*]	۱	+	۱	۲	۱	۲	۳	+	۱	+
ونر	۱	۵	۵	۳ [*]	۱	+	۱	۲	۲	۲	۳	+	۱	+

۸- توصیه‌های عملی برای برداشت‌های صحرائی

- دقت در اندازه‌گیری‌های صحرائی و استفاده از وسایل و تجهیزات قابل اعتماد؛

برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد، برداشت داده‌ها با کیفیت بالا الزامی است. پیشرفته‌ترین روش‌های تفسیر و پردازش نیز قادر به ارائه نتایج صحیح یا دقیقی از داده‌های کم کیفیت نمی‌باشند.

- مقاومت الکترودها باید تا حد امکان پایین باشد؛

معمولاً مقاومت الکترودها در حد چند هزار اهم است. مقادیر بیشتر باعث کاهش حساسیت دستگاه شده و پتانسیل‌های کاذبی را بوجود می‌آورند. مقاومت بالای الکترودها جریان باعث کاهش

جریان ارسالی می‌شود. مقاومت بالای الکترودهای پتانسیل نیز باعث کاهش حساسیت و ایجاد ابهام در قرائت اختلاف پتانسیل خواهد شد.

برای کاهش مقاومت الکترودها، راه حل‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

(۱) در صورت امکان، فروکردن الکترودها در زمین تا رسیدن به خاک مرطوب (از چند سانتیمتر تا یک متر و حتی بیشتر)

(۲) استفاده از دویا چند الکترودها به صورت موازی و به فاصله یک یا دو متر از یکدیگر،

(۳) ریختن آب یا آب نمک در اطراف الکترودها.

- در پروفیل‌زنی با آرایش ونر، مقدار x برابر با $3a$ توصیه می‌شود (x فاصله جابه‌جایی مرکز اندازه‌گیری با آرایش مورد استفاده است). مقادیر کوچکتر x برای برداشت‌های تفصیلی با جزئیات کامل‌تر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- برای سونداژزنی، توصیه می‌شود که فواصل الکترودی متوالی، در مقیاس لگاریتمی فاصله (تقریباً) مساوی داشته باشند.

- همان‌طور که قبلاً گفته شد، پروفیل‌زنی ژئوالکتریک، برای آشکارسازی تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با انجام پروفیل‌ها در فواصل الکترودی متفاوت می‌توان کنترلی از تغییرات عمقی مقاومت‌ویژه نیز برای تفسیر انجام داد.

- کلیه آرایش‌های الکترودی برای برداشت‌های سونداژ و پروفیل‌زنی مناسب هستند، اما معمولاً آرایش شلومبرژر برای سونداژزنی و آرایش ونر برای پروفیل‌زنی توصیه می‌شود.

- توصیه می‌شود که همیشه یادداشت‌های صحرائی کافی، علاوه بر ثبت داده‌های ژئوفیزیکی نگهداری شود تا بتوان تصحیحات لازم را با مراجعه به اطلاعات صحیح (به جای جمع‌آوری مجدد و مبهم در صحرا)، اعمال نمود.

- سونداژزنی قائم الکتریکی برای تعیین ضخامت روباره، عمق، وضعیت ساختاری و مقاومت‌ویژه لایه‌های افقی و سنگ بستر مناسب است، البته به شرطی که عمق آن‌ها خیلی زیاد نباشد. حتی در مواقعی که هدف اکتشافات جانبی باشد، بایستی چند سونداژ در منطقه انجام شود تا فاصله الکترودی مناسب برای برداشت‌های جانبی تعیین گردد [۲۲].

- در اکثر آرایش‌های الکترودی می‌توان جای الکترودهای پتانسیل و جریان را عوض کرد. با توجه به اصل تقابل^۱، مقدار مقاومت ویژه ظاهری در هر دو حالت یکسان است. جابجا کردن الکترودهای جریان و پتانسیل، به عنوان مثال در هنگام استفاده از ولتاژهای بالا و فواصل الکترودی زیاد در آرایش شلومبرژر و حتی ونر، مطلوب است [۱۷].

۹-۱- تجربه‌های لازم برای برداشت‌های ژئوفیزیکی

اجرای برداشت‌های ژئوفیزیکی نمی‌تواند استانداردهای مستقیم را دنبال کند. بررسی‌ها بایستی با شرایط خاص هر منطقه تطبیق یابد. تناوب اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی باید بر اساس نتایج مخصوص هر روش، زمینه زمین‌شناسی، بررسی یا تجزیه و تحلیل مسائل قبل از برداشت و داده‌های حفاری، تعیین شود. بنابراین، تفسیر مشاهدات صحرایی ژئوفیزیک باید بر پایه تجارب طولانی مدت صورت گرفته و توسط مهندسين زیست محیطی، زمین‌شناسان و یا متخصصین هیدروژئولوژی کنترل شود. همچنین انتخاب آرایش‌های مورد نیاز به تخصص و دانش قابل ملاحظه‌ای نیاز دارد. مسائل مختلف هیدروژئولوژیکی باید با آرایش‌های متفاوتی دنبال شود. بایستی خاطر نشان کرد که اطلاعات مقدماتی غیر کافی و نادرست، باعث افزایش هزینه بررسی‌های ژئوفیزیکی تا حد قابل ملاحظه و جلوگیری از تفسیر مناسب، می‌شود [۱۳].

۱۰-۱- محدودیت‌های روش ژئوالکتریک

اثرات مزاحم ناشی از تأسیسات بشری مانند لوله‌های فلزی و یا کابلها، جاده‌ها، ساختمان‌ها و غیره بایستی قبل از شروع هر نوع اندازه‌گیری، در نظر گرفته شود. حضور این تأسیسات ممکن است در فعالیت‌های ژئوفیزیکی محدودیت ایجاد کند و یا استفاده از روش‌هایی که از این تأسیسات متأثر نمی‌شوند را ایجاب نماید. بنابراین قبل از هرگونه اقدامی بررسی منطقه با دستگاه‌های آشکارساز کابل‌ها یا لوله‌ها، توصیه می‌شود. در مواردی که ساختمان‌ها، لوله‌های فلزی و کابل‌های موجود و یا خطوط راه‌آهن منطقه بررسی را قطع نمایند، اندازه‌گیری‌های ژئوالکتریک محدود می‌شوند. علاوه بر موارد مذکور، نویزهای الکتریکی در نزدیکی مناطق صنعتی، اندازه‌گیری‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد.

فرو کردن الکترودها در زمین‌های جاده‌ای بتنی و یا قیری بسیار مشکل است. طبقات هادی خوب مانند رسها و مارن، عمق نفوذ را کاهش می‌دهند. با توجه به فرو کردن الکترودهای جریان و پتانسیل به درون زمین، اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه بسیار وقت گیر هستند. لایه‌های کم ضخامت ممکن است در سونداژهای ژئوالکتریک، حذف شوند. احتمال وجود چندین تفسیر معادل برای عمق یا ضخامت لایه‌ها وجود دارد.

برای انجام برداشت‌های موفق الکتریکی، همیشه بایستی تباین مقاومت ویژه (ویا در برخی کاربردهای خاص، تباین پلاریزاسیون و یا ثابت دی‌الکتریک) بین هدف و لایه‌های دربرگیرنده وجود داشته باشد. اگر تباین مقاومت ویژه، پلاریزاسیون و یا گذردهی الکتریکی وجود نداشته باشد، نبایستی روش‌های الکتریکی را مورد استفاده قرار داد. به زبان ساده، ژئوفیزیک، در صورتی که به درستی مورد استفاده قرار گیرد، وسیله مناسبی برای بعضی مطالعات است. در بعضی مواقع، روش‌های نامناسب در مطالعات آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب روش مناسب، یکی از مراحل مهمی است که باید بعد از ارزیابی کلیه پارامترهای پروژه انجام شود [۱۳ و ۲۲].

۱۱-۱- فعالیت‌های بعدی

یک برداشت ژئوفیزیکی طراحی شده، ممکن است در طول عملیات صحرایی ویا بعد از آن، اصلاح شود. مثلاً اگر یک آنومالی در انتهای یک خط برداشت مشاهده شود، باید بلافاصله طول خط برداشت، افزایش یابد. چنین تغییراتی نباید به بعد از ارزیابی نهایی موکول شود، زیرا این امر مستلزم بازگشت مجدد خدمه به منطقه برداشت است.

دستگاه‌های پیشرفته دیجیتالی برای برداشت‌های صحرایی می‌توانند داده‌های اندازه‌گیری شده را ذخیره نمایند. با انتقال داده‌ها به کامپیوترهای کوچک^۱ مورد استفاده در صحرا، به کمک نرم‌افزارهای ارزیابی، می‌توان خروجی و نتایج هر روز را کنترل نمود تا اندازه‌گیری‌ها و داده‌های نامناسب تعیین شوند. داده‌های مشکوک باید تکرار شده ویا در روز بعد کنترل شوند.

در اکثر موارد، یک شبکه گسترده برای شناسایی اولیه منطقه و تعیین برخی نشانه‌ها، انتخاب می‌شود. در صورت کشف چنین آنومالی‌هایی توسط ارزیابی‌های ابتدایی، مناطق موردنظر باید با یک شبکه مترکم‌تر، مجدداً برداشت شوند. این مسئله، باعث کاهش قابل توجه هزینه‌ها می‌شود. فعالیت‌های بعدی، باید نهایتاً به طراحی برنامه‌های حفاری، ترانسه‌زنی، و سایر عملیات لازم، منجر شود. با توجه به هزینه بالای این روش‌ها، متخصصین مسئول ژئوفیزیک باید دقت نمایند که بعد از کنترل و بررسی دقیق نتایج ژئوفیزیکی، به اظهارنظر بپردازند [۱۳].

۱-۱۲- ارزیابی و تفسیر

در مرحله ارزیابی و تفسیر، باید به اندازه عملیات صحرایی، دقت به خرج داد. امروزه با توجه به دسترسی به نرم‌افزارهای مختلف ژئوفیزیکی، ارزیابی داده‌ها بسیار سریع‌تر از گذشته انجام می‌گیرد. استفاده از کامپیوتر، باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان می‌شود. البته باید توجه داشت که کامپیوتر، هرگز نمی‌تواند جایگزین تفکر بشری شود. نتایج کامپیوتری باید مطابق با خواص شناخته شده آنومالی، تصحیح شوند.

گزارش نهایی باید حتی برای افرادی که با ژئوفیزیک آشنایی ندارند، قابل فهم باشد. در عین حال، داده‌ها باید به‌طور کامل و همراه با مدارک موجود ارائه شوند، به‌طوری‌که ارزیابی و تفسیر مجدد آن‌ها امکان‌پذیر باشد. کلیه نقشه‌ها، مقاطع و سایر مدارک تصویری باید مقیاس یکسانی داشته باشند تا بتوان مستقیماً به مقایسه آن‌ها پرداخت [۱۳].

۱-۱۳- هدف از انجام پایان‌نامه

همان‌طور که بیان شد، یکی از مشکلات عملیات استخراجی در اکثر معادن در حال بهره‌برداری، مشکل زهکشی آب‌های موجود در معدن می‌باشد که مانع عملکرد مناسب تجهیزات استخراج و کاهش راندمان تولید می‌شود. از طرف دیگر، طراحی الگوهای حفاری و آتشیاری در محیط‌های آبدار مشکلات خاص خود را دارد که شناخت رژیم هیدروژئولوژیکی منطقه، راهنمای مناسبی جهت ارائه راهکارهای بهینه در این زمینه می‌باشد. مشکلات موجود در معدن سنگ آهن گل‌گهر نیز مهندسین معدن را به شناسایی مناطق آبدار و یافتن راه‌حلی برای زهکشی آن وادار کرده است. علاوه بر مشکل زهکشی،

وجود گسل‌های منطقه و ساختارهای فعال زیرسطحی نیز بر نحوه استخراج تأثیر می‌گذارد. آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر هم‌اکنون مورد اکتشاف تفصیلی قرار دارد و از آنجا که حضور آب از عمده مشکلات استخراج آنومالی شماره ۱ می‌باشد، بایستی قبل از آغاز عملیات استخراجی در این محدوده، روشی اتخاذ شود تا وضعیت آب‌زیرزمینی، عمق سنگ‌کف و ضخامت رسوبات، ساختارهای زمین‌شناسی و خصوصیات لیتولوژیکی منطقه را با دقت مناسب مشخص نماید. روبراه آبرفتی و توپوگرافی هموار زمین در آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر، امکان به‌کارگیری روش ژئوالکتریک را حتی در فراتراز محدوده این آنومالی، فراهم می‌آورد. به کمک نتایج و اطلاعات به‌دست آمده از روش ژئوالکتریک می‌توان به تعیین محل بهینه حفر چاه‌های حفاری برای کنترل مستقیم منطقه پرداخت.

با درک اهمیت موضوع و باتوجه به مزایای روش ژئوالکتریک، با استفاده از این روش، ضمن دستیابی به نتایج موردنظر، صرفه جویی هنگفتی در هزینه و وقت انجام شد.

۱-۱۴- مروری بر فصل‌های پایان‌نامه

در نگارش متن پایان‌نامه، سعی شده است به نکات مهم و اصلی در رابطه با مشکلات ناشی از حضور آب در عملیات معدن‌کاری و نقش روش ژئوالکتریک در انجام مطالعات مربوطه، پرداخته شود. این پایان‌نامه مشتمل بر پنج فصل می‌باشد:

در فصل اول به بیان مقدمه و نکات مهم که باید در برداشت‌های ژئوالکتریک مورد توجه قرار گیرد پرداخته شده، همچنین ضرورت و هدف از انجام پایان‌نامه نیز شرح داده شده است. فصل دوم به معرفی منطقه مورد مطالعه و تاریخچه مطالعات انجام شده و عملیات صحرایی ژئوالکتریک، اختصاص دارد. در فصل‌های سوم و چهارم نیز تعبیر و تفسیر یک‌بعدی و دوبعدی داده‌های صحرایی (به‌طور کیفی) شرح داده شده است. در نهایت، در فصل پنجم به بیان نتیجه‌گیری و پیشنهادات پرداخته می‌شود.

فصل دوم:

عملیات صحرائی

فصل دوم: عملیات صحرایی

در فصل قبل به بیان مطالب کلی در مورد مشکلات ناشی از حضور آب در معادن و کاربرد روش ژئوالکتریک در حل بخشی از این مسائل، هدف از اجرای این پایان نامه و ساختار آن پرداخته شد. در این فصل، مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه و چگونگی طراحی شبکه برداشت ژئوالکتریک و عملیات صحرایی به طور مختصر شرح داده می شوند.

۲-۱- مقدمه

انجام فعالیت های اکتشافی یک آنومالی، دو هدف عمده را دنبال می کند. اولین هدف رسیدن به تخمینی مناسب و قابل اعتماد از نوع ماده معدنی، مقدار ماده معدنی، عیار ماده معدنی و... می باشد. هدف دوم که همواره تحت الشعاع هدف اول قرار می گیرد، جمع آوری داده هایی است که برای طراحی معدن لازم و ضروری می باشند. پاسخ به سوالاتی نظیر شیب دیواره معدن چقدر باشد؟ آیا این شیب پایدار است؟ مقدار آب ورودی به معدن چقدر خواهد بود؟ عرض کارگاه استخراج معدن زیرزمینی چقدر باشد؟ نگهداری تونل ها یا چاه های دسترسی چگونه باید باشد؟ و... در صورتی امکان پذیر است که اولاً پارامترهای ورودی لازم جهت پاسخ به این سوالات وجود داشته باشد. ثانیاً این داده ها به شیوه مناسبی به دست آمده باشند.

طراحی آنومالی شماره ۳ سنگ آهن گل گهر و پاسخ به مجهولات فنی و اقتصادی این آنومالی نیز از قاعده فوق مستثنی نمی باشد.

در معادنی که عملیات استخراج در زیر سطح آب های زیرزمینی انجام می شود، زهکشی معدن از اهمیتی ویژه برخوردار است. عدم ارائه یک طرح جامع زهکشی می تواند منجر به توقف کامل عملیات معدن کاری گردد. طبق مطالعات اولیه، سطح آب زیرزمینی در ناحیه ۳ معدن سنگ آهن گل گهر در عمق حدود ۴۰ متری گزارش شده است که این نشانه آن است که روباره آبرفتی در عمق ۴۰ متر به

پایین، از آب اشباع می‌باشد. گسل‌های تقریباً عمودی درون ماده معدنی می‌توانند مسیرهایی جهت حرکت آب‌های زیرزمینی باشند.

پس از بررسی شرایط منطقه، روش مقاومت‌ویژه به منظور مطالعه وضعیت آب‌های زیرزمینی عمق سنگ کف، ضخامت رسوبات و بررسی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، انتخاب گردید. بدین منظور، آرایش شلومبرژر با طول خطوط جریان $AB=1000m$ برای برداشت مقادیر مقاومت‌ویژه مورد استفاده قرار گرفت. طبق شواهد موجود و با توجه به وسعت زیاد منطقه، یک شبکه منظم با ابعاد ۵۰۰ متری برای برداشت‌ها طراحی گردید. البته کاهش این ابعاد تا فاصله ۵۰ متری در صورت مواجهه با شرایط غیرمنتظره، پیش‌بینی شده بود. با استفاده از مقاطع زمین‌شناسی منطقه، آزمون خط برداشت در کلیه سونداژها، N350 در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، برداشت‌های مقاومت‌ویژه در ۲۵ نقطه انجام شد که کلیه محدوده آنومالی شماره ۳ را تحت پوشش قرار داد.

در ادامه این طرح قرار است به کمک نتایج به دست آمده از عملیات سونداژزنی، چند امتداد مناسب برای انجام عملیات پروفیل‌زنی در اعماق مورد نظر، طراحی گردد. همچنین در صورت امکان با اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون القایی (IP) و پتانسیل خودزا (SP) در یک سری نقاط انتخابی بتوان به نتایج دقیق‌تری در رابطه با اهداف مورد نظر دست یافت. امید می‌رود اطلاعات به دست آمده از این مرحله، راهگشای انجام مرحله تکمیلی این مطالعات و ارائه طرح کامل زهکشی و طراحی معدن گردد.

۲-۲- موقعیت جغرافیایی

کانسار سنگ آهن گل‌گهر در استان کرمان، در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۷ دقیقه شمالی و به طور تقریبی در مرکز مثلثی که رئوس آن را کرمان، شیراز و بندرعباس تشکیل می‌دهد واقع شده است. نزدیک‌ترین شهر به آن سیرجان می‌باشد که در ۵۳ کیلومتری شمال شرقی قرار دارد (شکل ۲-۱).

ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۷۵۰ متر است، که در دامنه شمالی با رشته کوه‌هایی به ارتفاع ۲۵۰۰ متر و امتداد شمال غربی-جنوب شرقی احاطه شده است.

راه ارتباطی این منطقه، جاده آسفالت سیرجان-شیراز است که بعد از طی ۴۵ کیلومتر در جاده آسفالت، یک راه فرعی آسفالت به طرف جنوب، تا معدن امتداد می‌یابد. راه آهن دو بانده بافق-

بندرعباس از ۸ کیلومتری شرق معدن عبور می‌کند که یک انشعاب به طول حدود ۱۰ کیلومتر، معدن را به شبکه راه‌آهن سراسری متصل می‌سازد [۵].

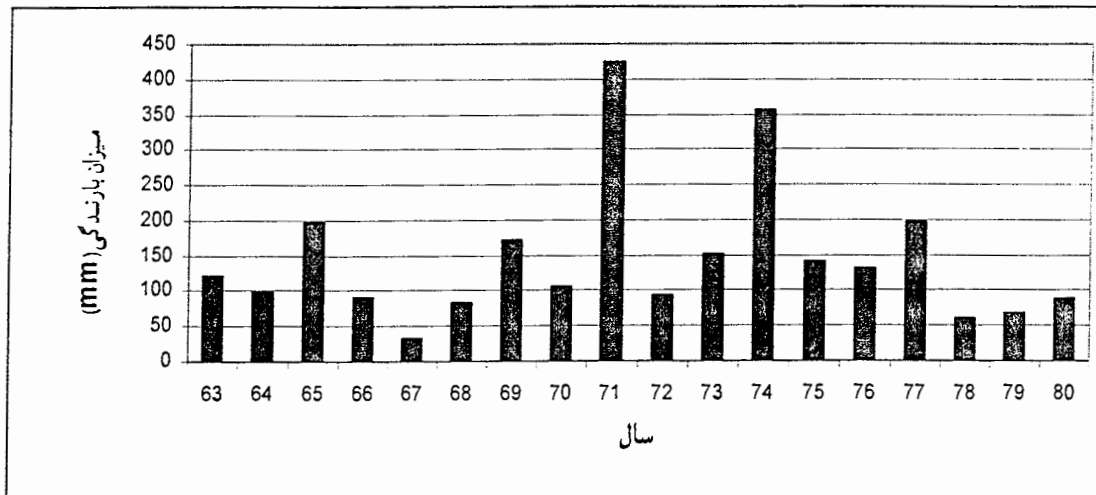


شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن گل‌گهر [۲۹].

۲-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی

آب و هوای منطقه گل‌گهر، خشک و کویری است و متوسط میزان بارندگی سالیانه در خلال سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۱ به‌طور متوسط مقدار ۱۴۴ میلیمتر بوده است. در نواحی غیرکوهستانی منطقه، این مقدار قبل از آنکه به مصرف تغذیه سفره‌های آبدار زیرزمینی برسد، تحت تأثیر درجه حرارت و تبخیر و تعرق گیاهان مجدداً به شکل بخار به جو برگردانده می‌شود. به‌طور کلی بارندگی در این مناطق در زمستان و بهار و گاهی در میانه مرداد ماه صورت می‌گیرد ولی مقدار آن چندان چشمگیر نمی‌باشد. باران‌های بهاری سیلابی است. حداکثر درجه حرارت ۴۲ درجه و مربوط به مرداد ماه و حداقل آن ۱۶- درجه سانتی‌گراد و مربوط به دی ماه است. در این ناحیه رود دائمی جریان نداشته و آب مورد دسترس در بسیاری از اوقات سال متکی به آب چشمه‌های پراکنده می‌باشد. با وجود این در فصل بهار، جویبارهای فصلی به راه می‌افتد. آب و هوای خشک و کویری سبب تغییرات شدید حرارت در فصول مختلف و در شبانه روز شده است. میزان اختلاف درجه حرارت در روز و شب گاهی به ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

نزولات بارانی کم (به طور متوسط سالیانه ۱۲۰ میلیمتر) و تبخیر سالیانه زیاد (تقریباً در حدود ۲۰۰۰ میلیمتر) نمودی از آب و هوای کویری منطقه است (شکل ۲-۲). رطوبت نسبی هوا در ۳۰+ درجه سانتی‌گراد به میزان حداکثر ۷۰٪ ثبت شده است.



شکل ۲-۲- میزان بارندگی در ناحیه گل‌گهر از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۸۰ [۲].

پوشش گیاهی این ناحیه بسیار اندک و پراکنده و بیشتر به صورت بوته و گیاهان وحشی مقاوم در مقابل خشکی و گرما است. تنها در قسمتهایی که آب از دره‌ها و دامنه کوه‌ها سرزیر می‌شود، درخت روئیده است [۲].

۲-۴- زمین‌شناسی

ناحیه معدنی گل‌گهر در لبه شمال شرقی زون سنندج-سیرجان و لبه فروافتادگی نمک‌زار کفه خیرآباد که خود در حدفاصل زون سنندج-سیرجان و زون ارومیه-دختر به وجود آمده، قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه عموماً از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است و ارتفاعات معدودی که رخنمون دارند، شامل سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک در جنوب و جنوب‌غرب معدن و سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک در شرق معدن می‌باشند.

سنگ‌های پالئوزوئیک شامل مجموعه گل‌گهر بوده که این مجموعه قدیمی‌ترین مجموعه دگرگونی این منطقه را تشکیل می‌دهد. ذخایر شش‌گانه سنگ‌آهن گل‌گهر در این مجموعه قرار گرفته

است. بخش تحتانی این مجموعه شامل تناوبی از گنایس، میکاشیست، آمفیبولیت و کوارتزشیست می‌باشد. بر روی این بخش، مجموعه‌ای تشکیل شده است که در تمامی مناطق اسفندقه، حاجی‌آباد و نیریز ویژگی‌های یکنواختی به شرح زیر دارد:

- تناوب مرمرهای دولومیتی، کلسیتی میکاشیست، شیست سبز، گرافیت شیست و کوارتزشیست به مقدار کم.

- فراوانی شیست‌های سبز در میان سنگ‌های کربناته.

- قرار گرفتن این مجموعه بر روی واحد زیرین مجموعه گل‌گهر بدون دگرشیبی،

- ختم شدن این مجموعه به یک واحد مرمری دولومیتی یا کلسیتی در تمام زون

سنندج-سیرجان به نام کرسفید [۴].

نقشه زمین‌شناسی ناحیه معدن سنگ‌آهن گل‌گهر و واحدهای زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

موجود در این ناحیه، در شکل (۳-۲) نشان داده شده است [۲].

۲-۵- تاریخچه اکتشافی

۲-۵-۱- اکتشافات ناحیه‌ای

در سال ۱۳۴۸ شرکت ایران باریت عملیات اکتشافی و پی‌جویی سنگ آهن را آغاز کرد و نتیجه آن اکتشاف معدن شماره یک گل‌گهر با عیار مناسب آهن و ذخیره قابل توجه بوده است. در سال ۱۳۵۳ معدن گل‌گهر به شرکت ملی فولاد واگذار گردید. شرکت ملی فولاد نیز با مشارکت شرکت سوئدی گرانگز^۱ مراحل مختلف اکتشاف و عملیات مهندسی را پی‌گیری نمود. در این رابطه توسط شرکت ایروسرویس در محدوده‌ای به وسعت ۴۵۰۰۰ کیلومتر مربع در فاصله بین آباده فارس تا جازموریان برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی (مگنتومتري) انجام گرفت و آنومالی‌های متعددی که دارای پتانسیل‌های بالایی از سنگ آهن بودند اکتشاف گردید. بزرگ‌ترین این آنومالی‌ها در ناحیه گل‌گهر واقع گردیده است.

در پی مطالعات ژئوفیزیک هوایی و با استفاده از تجربه و امکانات موسسه زمین‌شناسی یوگسلاوی در محدوده‌ای به وسعت ۷۴ کیلومتر مربع در ناحیه گل‌گهر برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی صورت گرفت. این برداشت‌ها شامل مغناطیس‌سنجی و ثقل‌سنجی زمینی بوده است. به دنبال آن حفاری‌های زمین‌شناسی در ۶ منطقه جداگانه شروع گردید و وجود سنگ آهن در این ۶ منطقه با عیارهای مناسب تأیید گردید (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲. مشخصات حفاری‌های اکتشافی ناحیه گل‌گهر [۲].

عیار سنگ آهن (%)			ضخامت پوشش (m)		ابعاد (m)		ذخیره (میلیون تن)		حفاری (m)	شماره توده
S	P	Fe	حداکثر	حداقل	پهنا	طول	احتمالی	قطعی		
۱/۵۲۱	۰/۱۵۲	۵۵/۵	۳۱۰	۰	۴۰۰	۲۶۰۰	۶۰	۲۶۵	۳۲۶۵۴	۱
۲/۳۰۸	۰/۱۴۶	۵۳/۱	۱۹۹	۴۱	۲۰۰	۱۱۰۰	۷	۵۲	۷۴۷۰	۲
۱/۹۰۳	۰/۱۲۳	۵۳/۵	۵۴۵	۸۴	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۹۰	۶۱۶	۴۴۲۰۴	۳
۲/۰۳۰	۰/۱۵۰	۵۳/۱	؟	۹۲	۱۰۰	۳۰۰	۱۲	-	۵۸۰	۴
-	-	-	؟	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۴/۵	-	۲۶۰	۵
۰/۰۸۴	۰/۰۹	۵۰/۰	؟	۵۶۸	۲۴۰	۱۱۰۰	۱۵۰	-	۶۱۰	۶

۲-۵-۲- اکتشافات آنومالی شماره ۳

آنومالی شماره ۳ گل‌گهر که در فاصله ۱۰۰۰ متری معدن شماره ۱ قرار دارد، ابتدا در یک اکتشاف ژئوفیزیکی مگنتومتری هوایی کشف و سپس ۱۵ حلقه گمانه برای اکتشاف مقدماتی حفاری گردید. از سال ۱۳۷۱ عملیات اکتشاف نیمه‌تفضیلی شروع و با حفر ۷۵ حلقه چاه در اسفندماه ۱۳۷۶ پایان پذیرفت و در ادامه جهت انجام اکتشافات تفصیلی تاکنون بیش از ۴۴۲۰۴ متر حفاری گردیده است. باتوجه به مقاطع زمین‌شناسی رسم شده و حفاری‌های انجام شده، شکل کلی توده سنگ آهن شماره ۳ به صورت یک تختال گسلیده است که دو انتهای شمالی و جنوبی آن نزدیک سطح زمین و بخش مرکزی آن در عمق بیشتری قرار دارد. سنگ‌های دربرگیرنده کلا از نوع سنگ‌های دگرگون شده با سن احتمالی اردوین-سیلورین می‌باشند. سنگ بستر شامل گنیس، کوارتزکلریت شیست، کوارتز مسکویت شیست و آمفیبولیت است. سنگ پوشش در قسمت‌های شمال و جنوبی از بین رفته و در بخش مرکزی ضخامتی حدود ۳۰۰ متر دارد که کل مجموعه توسط آبرفت‌های عهد حاضر با ضخامت ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر پوشیده شده است. ضخامت پوشش آبرفت در شمال کم‌تر و در جنوب بیش‌تر است. وسعت توده سنگ آهن تقریباً ۲۵۰۰×۲۰۰ متر و امتداد طولی کانسار تقریباً شرقی و غربی است.

باتوجه به اطلاعات به دست آمده از گزارشات زمین شناسی سطحی و عمقی و نتایج اکتشافات ژئوفیزیکی، ۱۴ مقطع زمین شناسی که موازی محور شمالی جنوبی شبکه محلی است، برای نشان دادن وضعیت کانسار تهیه شده است. لازم به ذکر است برای سهولت انجام عملیات نقشه برداری در ناحیه گل گهر، یک شبکه محلی اختیار شده که شمال آن نسبت به شمال جغرافیایی حدود ۲۳ درجه به طرف شرق انحراف دارد.

۲-۵-۱-۲- اکتشافات ژئوفیزیکی

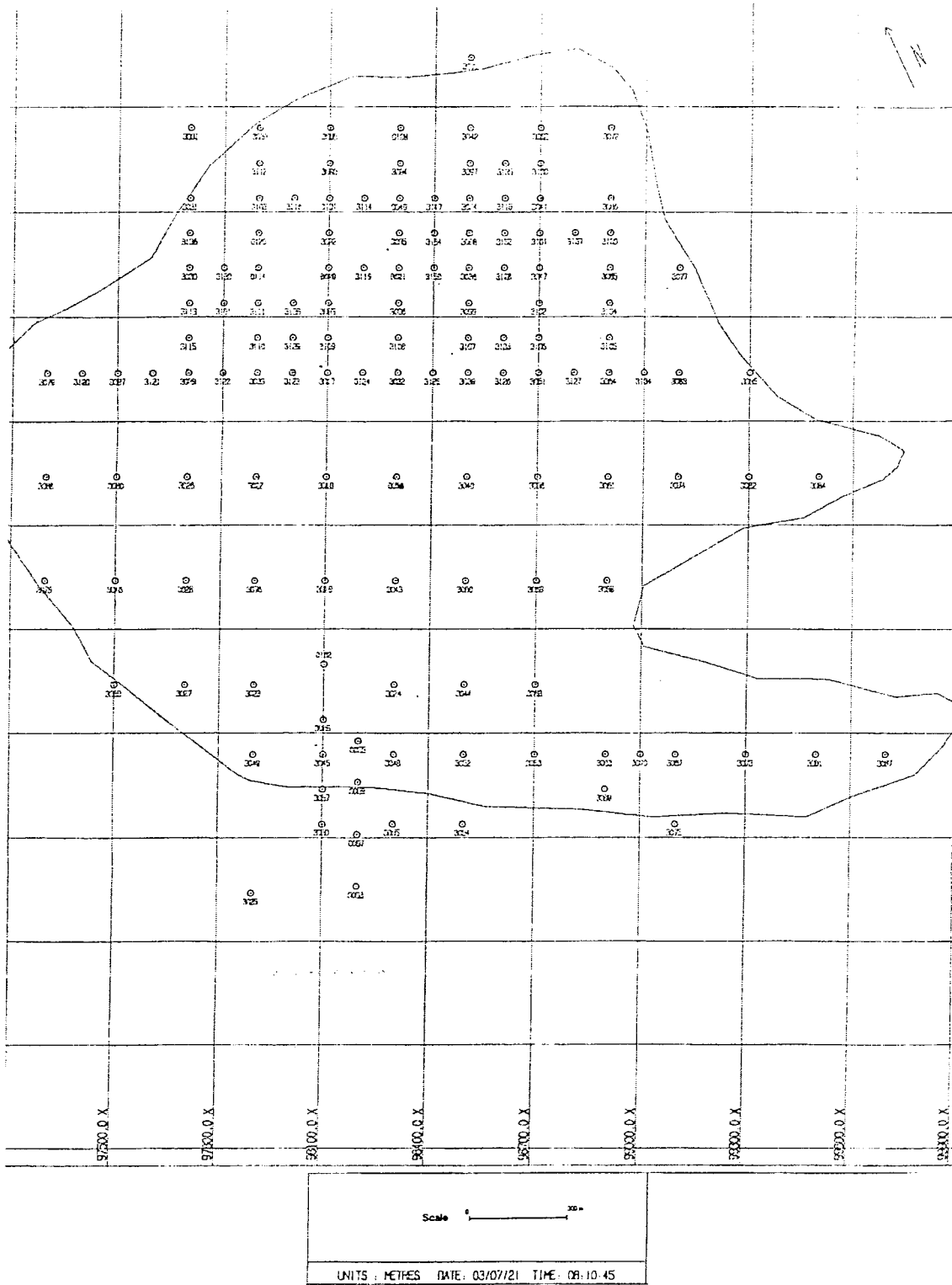
آنومالی شماره ۳ در جستجوهای ژئوفیزیک هوایی شرکت ایرو سرویس، به روش مگنتومتري و در پی آن به وسیله برداشت های ژئوفیزیکی زمینی (شامل مطالعات مغناطیس سنجی و گرانی سنجی) توسط مؤسسه زمین شناسی یوگسلاوی در سال ۱۳۵۴ کشف گردید.

شرکت ایرو سرویس در گزارشات خود اشاره می کند که مطالعات ژئوفیزیک هوایی به روش مگنتومتري نشان دهنده وجود ۷۰۰ میلیون تن سنگ آهن است، اما یوگسلاوی ها در کارهای زمینی به روش گراویمتری گزارش کرده اند که ۴۲ میلیون تن سنگ آهن در بخش شمالی ذخیره شماره ۳ است و ابعاد آن به طول ۴۴۰ متر و عرض ۲۸۰ متر و ضخامت ۱۸۰ متر می باشد. در حالی که مدل انتخاب شده از برداشت های مگنتومتري توسط یوگسلاوها نشان می دهد که لایه ای از سنگ آهن با شیب ۳۳ درجه به سمت جنوب و با ضخامت متوسط ۷۰ متر و عرض ۳۷۰ متر می باشد.

باتوجه به اختلاف موجود بین تخمین ذخیره سنگ آهن در برداشت های ژئوفیزیک هوایی و زمینی، در سال ۱۳۶۱ مجدداً روی ذخیره شماره ۳ توسط گروه ژئوفیزیک سنگ آهن مرکزی، اکتشافات ژئوفیزیک زمینی به روش مگنتومتري و گراویمتری انجام شد. نتایج حاصل نشان گر مغایرت بین نتایج حاصل از روش گراویمتری و مگنتومتري بود. به طوری که نتایج مگنتومتري نشان می داد که سنگ آهن در قسمت شمالی در عمق ۹۰ الی ۱۰۰ متری، به حالت تقریباً افقی واقع گردیده و از آن به بعد با شیب ۳۰ درجه به طرف جنوب ادامه یافته و عمق آن به ۳۴۰ تا ۳۷۰ متری می رسد و سپس با زاویه ۴۰ درجه به سمت جنوب ادامه می یابد. در حالی که روش گراویمتری، باز هم حکایت از احتمال مجزا بودن دو توده شمالی و جنوبی می کند. هر دو روش، محل و عمق قرار گرفتن دو سر

توده سنگ آهن در شمال و جنوب را به طور یکسان تأیید نموده‌اند، ولی در ممتد بودن لایه یا گسیخته بودن آن اتفاق نظر ندارند.

در مرحله اکتشافات نیمه تفصیلی و تفصیلی، گمانه‌های متعددی در منطقه حفر شد (شکل ۲-۴)، که با استفاده از نتایج آن، ۱۳ مقطع طولی و ۱۴ مقطع عرضی از توده رسم گردید. همچنین، ۳۵ نقشه افقی زمین‌شناسی از توده تهیه شد. علیرغم هزینه‌های بسیاری که از آغاز اکتشاف این ذخیره صرف گردیده، هیچ‌گونه مطالعه‌ای در رابطه با وضعیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه، انجام نشده است [۲].



شکل ۲-۴- شبکه گمانه‌های حفرشده در آنومالی شماره ۳ [۲]

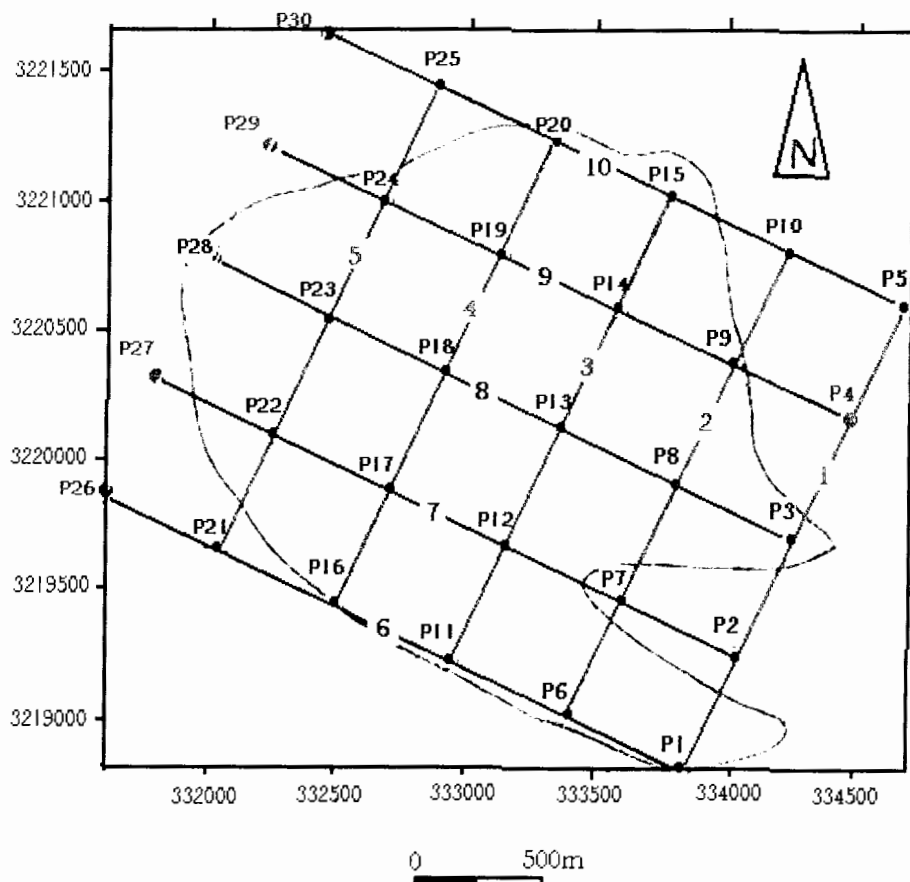
به هر حال لازم است قبل از آغاز عملیات استخراجی در این محدوده، با اتخاذ روش مناسب، وضعیت‌های آب‌های زیرزمینی، عمق سنگ کف، ضخامت روباره آبرفتی و ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه به دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

روش‌های ژئوفیزیکی الکتریکی و به خصوص روش ژئوالکتریک، به‌طور موفقیت‌آمیزی در بررسی مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی، تعیین ساختارهای زمین‌شناسی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرعت بالا، کاهش قابل توجه هزینه‌ها و غیرتهاجمی بودن این روش‌ها از مهم‌ترین مزایای آن‌ها است. برای سال‌های متمادی، برداشت‌های ژئوالکتریک در بررسی‌های معدنی، هیدروژئولوژیکی و ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبولی را نیز ارائه داده است. روباره آبرفتی و توپوگرافی هموار زمین در آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر، امکان به‌کارگیری روش ژئوالکتریک را حتی در فواصل محدود این آنومالی، فراهم می‌آورد. با انجام برداشت‌های ژئوالکتریک در این منطقه و تفسیر نتایج، می‌توان به اهداف مورد نظر در ارتباط با آب‌های زیرزمینی و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه دست یافت.

به کمک نتایج و اطلاعات به‌دست‌آمده از روش ژئوالکتریک می‌توان به تعیین محل بهینه حفر چاه‌های حفاری برای کنترل مستقیم منطقه پرداخت. کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی همراه با اطلاعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی، باعث افزایش کیفیت و دقت بررسی‌ها می‌شود [۲].

۲-۶- عملیات صحرائی

پس از انجام مطالعات اولیه و بازدید مقدماتی منطقه، شبکه برداشت به‌صورت مربعی با فواصل 500×500 متر در نظر گرفته شد. بررسی مقاطع و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و گزارشات مربوطه نشان‌دهنده این است که روند عمومی گسل‌های منطقه، شمالی - جنوبی می‌باشد. به همین دلیل و بادر نظر گرفتن فضای لازم برای گسترش الکترودها، راستای برداشت تقریباً شمالی - جنوبی انتخاب شد که در کلیه نقاط ثابت بود. در شبکه اولیه، ۳۰ نقطه سونداژ مشخص شده بود که بعضی از آن‌ها نیز در خارج از محدوده آنومالی قرار داشت (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- شبکه برداشت سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه

به دلیل مشکلات عملیاتی مختلف (اقامت عشایر و حفر چاه‌های آب، واقع شدن بعضی نقاط در دامنه کوه‌های اطراف و...)، در نهایت برداشت‌های مقاومت‌ویژه در ۲۵ نقطه انجام شد که کل محدوده آنومالی را تحت پوشش قرار داد (شکل ۲-۵). مختصات این نقاط برداشت، در جدول (۲-۲) ارائه شده است.

جدول ۲-۲. مختصات نقاط برداشت (U.T.M)

Coordinates Sounding No.	X	Y	Z (m)
P1	40 R 0333863	3218816	1717
P2	40 R 0334074	3219274	1736
P3	40 R 0334288	3219720	1736
P5	40 R 0334709	3220634	1748
P6	40 R 0333411	3219029	1740
P7	40 R 0333621	3219477	1747
P8	40 R 0333837	3219927	1731
P9	40 R 0334039	3220383	1695
P10	40 R 0334245	3220833	1752
P11	40 R 0332959	3219237	1739
P12	40 R 0333167	3219690	1754
P13	40 R 0333378	3220141	1729
P14	40 R 0333572	3220592	1755
P15	40 R 0333796	3221049	1743
P16	40 R 0332503	3219440	1738
P17	40 R 0332717	3219902	1740
P18	40 R 0332924	3220350	1746
P19	40 R 0333135	3220804	1756
P20	40 R 0333344	3221262	1720
P21	40 R 0332050	3219664	1761
P22	40 R 0332258	3220109	1744
P23	40 R 0332473	3220563	1766
P24	40 R 0332682	3221021	1743
P25	40 R 0332893	3221470	1741
P28	40 R 0332020	3220767	1774

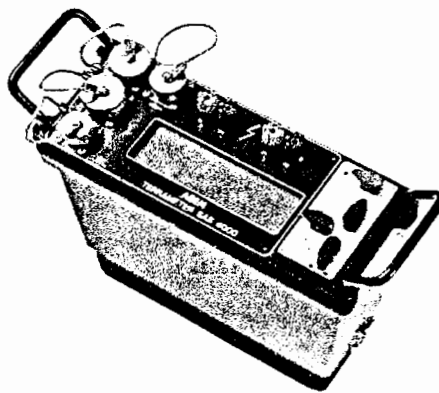
برای انجام سونداژهای مقاومت ویژه، آرایش شلومبرگر که متداولترین آرایش مورد استفاده در عملیات سونداژزنی است، انتخاب شد. از مزایای آرایش شلومبرگر این است که چون الکترودهای پتانسیل حداقل برای چندین طول AB ثابت مانده و جابجا نمی‌شوند، صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان و همچنین مصرف کابل و سایر لوازم ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری مقادیر مقاومت ویژه برای دو

مقدار MN در سونداژزنی با آرایش شلومبرژر، می‌توان به اثر تغییرات سطحی و جانبی منطقه مورد مطالعه پی برده و آن‌ها را از تغییرات عمقی مقاومت‌ویژه تفکیک نمود. برای اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه در هر منطقه، با نصب دستگاه مقاومت سنج و ارسال جریان به داخل زمین، مقادیر مقاومت الکتریکی قرائت و با استفاده از معادله (۱-۱) به مقاومت‌ویژه الکتریکی تبدیل شد. مقادیر مقاومت‌ویژه حاصل از سونداژهای انجام شده، در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

در برداشت صحرائی، فاصله الکترودی AB، ۱۰۰۰ متر و در برخی از نقاط، ۱۴۰۰ متر بوده که برای دسترسی به اعماق موردنظر، طراحی شد.

۲-۷- کیفیت داده‌ها

برای اندازه‌گیری داده‌ها، از دستگاه ABEM Terrameter SAS 4000 استفاده شده است که از دقت فراوانی برخوردار بوده و اندازه‌گیری‌ها را در سیکل‌های منظم چهارتایی یا بیش‌تر (که بر اساس نیاز قابل تغییر است) قرائت می‌نماید (شکل ۲-۶). دستگاه مذکور علاوه بر ارائه مقادیر $R = \frac{V}{I}$ ، انحراف معیار داده‌های قرائت شده را نیز ارائه می‌نماید که بیان‌کننده دقت کار می‌باشد.



شکل ۲-۶- دستگاه ABEM Terrameter SAS 4000 [۲۸].

پس از اندازه‌گیری‌های صحرائی و محاسبه مقادیر مقاومت‌ویژه، تفسیر دستی داده‌ها و مدل‌سازی کامپیوتری آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف انجام شد که در فصل‌های سوم و چهارم، تفسیر داده‌های صحرائی به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

جدول ۳-۲. مقادیر مقاومت ویژه ($\Omega - m$) مربوط به سونداژهای P1 تا P28 در محدوده آنومالی شماره ۳.

AO (m)	MN (m)	P1	P2	P3	P5	P6	P7	P8
3	1	24.62	57.73	644.26	313.66	197.81	57.59	399.08
5	1	21.16	19.73	547.39	205.46	46.46	45.96	138.89
7	1	16.27	14.99	288.80	156.13	30.18	34.75	75.85
10	1	12.95	7.43	193.64	66.32	50.88	29.54	56.97
10	2.5	12.22	20.71	530.17	83.30	49.94	27.87	144.39
15	1	11.57	21.19	170.74	72.05	42.82	19.88	404.53
15	2.5	11.59	26.83	126.74	58.92	40.11	27.15	428.65
20	2.5	12.44	16.18	67.48	32.54	223.76	20.92	331.99
30	2.5	16.68	16.75	148.24	38.43	239.89	8.91	679.32
40	2.5	11.59	20.74	122.50	44.51	115.86	45.61	406.22
50	2.5	25.12	10.12	190.05	46.69	347.48	78.54	23.66
50	10	16.81	16.00	53.49	44.61	39.93	23.85	21.02
70	2.5	10.61	5.23	3181.22	40.55	198.15	15.42	73.65
70	10	13.50	15.88	170.02	28.18	145.21	21.61	16.30
100	10	17.90	3.55	93.07	239.44	181.51	29.74	7.30
150	10	3.98	15.47	55.57	78.12	688.55	8.74	15.38
200	10	7.63	13.15	1061.52	63.66	233.47	19.92	27.39
200	40	14.25	11.70	177.50	96.24	68.72	5.84	9.75
300	10	79.26	32.47	124.49	288.61	380.84	239.87	65.93
300	40	24.74	20.57	89.66	240.78	17.07	47.24	53.62
400	40	63.18	58.70	1012.61	199.12	139.02	11.66	86.82
500	40	29.55	23.98	671.02	24.22	118.70	71.46	150.19
500	100	15.82	57.73	644.26	313.66	197.81	57.59	399.08
700	40	427.72	-	-	-	-	-	-
700	100	52.43	-	-	-	-	-	-

ادامه جدول ۳-۲. مقادیر مقاومت ویژه ($\Omega - m$) مربوط به سونداژهای P1 تا P28 در محدوده آنومالی شماره ۳.

AO (m)	MN (m)	P9	P10	P11	P12	P13	P14
3	1	735.78	21.49	25.86	20.92	65.49	50.60
5	1	212.12	19.62	22.08	13.87	8.70	24.57
7	1	133.76	19.26	99.50	17.06	30.72	25.57
10	1	64.84	12.83	88.98	20.40	56.41	22.31
10	2.5	49.70	14.32	18.26	17.95	51.52	58.22
15	1	65.00	10.01	221.98	36.79	38.41	24.12
15	2.5	44.09	10.88	88.65	26.71	43.76	18.23
20	2.5	41.06	11.01	20.52	23.26	119.72	14.61
30	2.5	38.36	11.99	142.66	30.54	85.71	12.80
40	2.5	38.98	13.95	70.50	100.97	344.18	13.50
50	2.5	37.78	17.33	29.81	63.81	931.38	13.58
50	10	31.54	15.49	16.18	16.85	35.89	23.61
70	2.5	69.18	15.79	30.09	363.01	2008.64	31.31
70	10	21.83	16.47	22.92	1945.05	28.91	29.85
100	10	24.48	17.63	119.72	22.05	40.59	271.88
150	10	80.65	105.91	942.38	12.32	40.20	71.65
200	10	88.72	80.94	1280.95	23.10	98.37	19.84
200	40	184.44	50.56	2390.28	37.43	72.35	19.75
300	10	5.61	186.22	791.15	448.19	966.15	5777.94
300	40	9.48	105.52	796.72	6756.39	42.24	16.33
400	40	33.83	8.96	144.74	4467.09	58.28	40.47
500	40	92.54	28.83	309.11	29994.56	919.56	66.62

ادامه جدول ۳-۲. مقادیر مقاومت ویژه ($\Omega - m$) مربوط به سونداژهای P1 تا P28 در محدوده آنومالی شماره ۳.

AO (m)	MN (m)	P15	P16	P17	P18	P19	P20
3	1	30.82	13.87	20.28	16.39	12.16	82.24
5	1	22.67	10.28	14.22	12.00	2.63	82.64
7	1	19.24	10.46	9.99	12.74	5.72	41.21
10	1	9.59	5.85	105.04	22.87	5.68	25.40
10	2.5	11.53	8.60	15.42	14.28	6.71	24.45
15	1	7.17	67.42	10.24	12.62	8.22	23.41
15	2.5	12.92	17.77	5.62	9.81	8.93	20.58
20	2.5	11.72	7.43	28.00	9.91	8.93	14.33
30	2.5	9.51	9.25	13.61	10.95	9.88	14.00
40	2.5	15.07	4.87	168.85	98.33	9.70	7.98
50	2.5	14.94	136.11	256.46	79.18	11.52	17.28
50	10	15.87	39.55	5.99	15.68	3.60	21.49
70	2.5	142.91	362.71	296.66	28.25	342.11	14.75
70	10	13.83	149.70	89.51	33.52	64.41	21.29
100	10	9.19	603.61	154.31	24.85	25.64	54.45
150	10	103.98	1453.98	576.06	443.02	9.83	7.51
200	10	18.52	49.81	236.58	355.65	14.71	29.96
200	40	34.98	3537.38	49.99	99.05	15.22	16.10
300	10	677.89	317.38	348.59	316.32	739.95	165.53
300	40	30.09	43302.24	61.90	30.17	109.91	8.45
400	40	45.72	644.93	841.86	168.38	17.69	528.00
500	40	48.21	1552.74	413.03	857.55	43.12	437.01

ادامه جدول ۳-۲. مقادیر مقاومت ویژه ($\Omega - m$) مربوط به سونداژهای P1 تا P28 در محدوده آنومالی شماره ۳.

AO (m)	MN (m)	P21	P22	P23	P24	P25	P28
3	1	34.79	188.84	53.79	10.16	48.08	87.71
5	1	15.96	76.39	18.41	276.38	36.04	28.94
7	1	60.10	23.61	6.77	3.60	41.11	402.53
10	1	86.58	15.51	18.63	482.53	48.00	17.74
10	2.5	10.16	45.81	32.88	6.31	31.06	17.64
15	1	17.26	76.02	32061.30	14.09	15.83	21.19
15	2.5	36.74	10.75	12070.83	7.11	22.25	23.01
20	2.5	541.41	69.09	7774.55	4.45	26.44	50.99
30	2.5	1319.95	18.76	2888.33	58.57	20.08	6.02
40	2.5	66.77	316.33	16587.91	53.89	8.31	73.51
50	2.5	47064.01	1095.74	757.75	19.81	46.85	519.07
50	10	14283.44	5707.64	21.81	10.68	36.83	228.06
70	2.5	122805.80	29106.69	144169.74	30.70	332.94	61.93
70	10	407.63	559.39	64444.35	1815.81	773.51	19.27
100	10	71.75	2222.07	140.73	1629.58	63.91	304.32
150	10	255.32	44.39	10033.24	818.74	284.86	170.83
200	10	159.38	939.31	53830.11	13423.06	4263.14	1084.84
200	40	-	-	20.97	3123.15	41.32	159.15
300	10	-	-	429.59	32801.32	184736.93	330555.11
300	40	-	-	863.37	7537.45	49134.20	229.74
400	40	-	-	339.07	27964.85	88696.03	1439.70
500	40	-	-	4840.06	169282.11	1649.22	916.65

فصل سوم:

تعبیر و تفسیر یک بعدی
داده های صحرائی

فصل سوم: تعبیر و تفسیر یک‌بعدی داده‌های صحرایی

در فصل‌های قبل، مشخصات منطقه مورد مطالعه و هدف از برداشت‌های ژئوالکتریک، همراه با چگونگی طراحی شبکه نقاط اندازه‌گیری و عملیات صحرایی موردبررسی قرار گرفت. در این فصل، به تعبیر و تفسیر یک‌بعدی داده‌های صحرایی پرداخته و نتایج حاصل همراه با جداول مربوطه، ارائه شده است.

۳-۱- مقدمه

هدف از تفسیر داده‌های حاصل از سونداژزنی الکتریکی قائم، به‌دست‌آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریکی قابل‌قبول و منطقی است که با نتایج مطالعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی و به‌عبارت‌دیگر مسائل مهندسی زمین‌شناسی مطابقت داشته باشد.

در ابتدا ممکن است برای به‌دست‌آوردن یک تصویر عمومی از منطقه، تفسیر به‌صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری بر روی نقشه‌ها و مقاطع ظاهری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. برای به‌دست‌آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید به‌صورت کمی انجام پذیرد. در تفسیر کمی از داده‌های خام (مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری) یک‌سری پارامترهای فیزیکی شامل مقاومت‌ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها تعیین می‌شود. برای به‌دست‌آوردن تفسیر دقیق‌تر باید نتایج حاصله را با سایر داده‌های حاصل از زمین‌شناسی، حفاری و غیره تلفیق نمود.

در تفسیر کمی برای بدست آوردن مقادیر مقاومت‌های ویژه حقیقی و ضخامت لایه‌ها از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای VES و VESCURT استفاده شده است. منحنی‌های سونداژ در ابتدا به روش دستی و با استفاده از سر منحنی‌های دو لایه و منحنی‌های کمکی و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری مذکور، مورد تفسیر قرار گرفته‌اند. مدل‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار VES

تطبيق مناسب‌تری با داده‌ها ارائه نمود و به‌همین‌علت، در تفسیر نهایی از نتایج به‌دست‌آمده توسط این نرم‌افزار استفاده شده است.

معمولا نتایج سونداژهای الکتریکی بر روی یک منحنی با محورهای لگاریتمی ارائه می‌شوند. در این محورها، مقدار ρ_a به‌صورت تابعی از طول $\frac{AB}{2}$ رسم می‌شود. با استفاده از سیستم محورهای لگاریتمی، تفسیر نتایج به کمک آباک‌ها یا منحنی‌های استاندارد آسان‌تر می‌گردد، به طوری که اگر آباکی برای مدل مشخص تنظیم شده باشد، در شرایطی که تغییرات مقاومت‌ویژه و ضخامت لایه دارای نسبت برابری با مدل مورد نظر باشد با روش بسیار ساده‌ای که مبتنی بر موازی قرار دادن محورهای مختصات است می‌توان از این آباک استفاده نمود [۱۰].

۳-۲- تفسیر کیفی و کمی سونداژهای الکتریکی

آنچه که در این مبحث بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته جنبه تعبیر و تفسیر فیزیکی مسئله است. بدیهی است که اطلاعات حاصل مانند هر روش دیگر ژئوفیزیکی باید به اطلاعات زمین‌شناسی برگردانده شود. بنابراین یک تعبیر و تفسیر کامل، از یک طرف به تجربه و تبحر کافی در مسائل ژئوالکتریک بستگی دارد و از طرف دیگر مستلزم آن است که اطلاعات جامعی از زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در دسترس باشد [۱۰]. به طور خلاصه به منظور تفسیر صحیح سونداژهای الکتریکی یک منطقه باید به نکات زیر توجه داشت:

- ۱- هر سونداژ الکتریکی باید با توجه به سونداژهای الکتریکی دیگری که در منطقه اجرا شده است مورد تعبیر و تفسیر قرار گیرد.
- ۲- هرگاه در مجاورت سونداژهای الکتریکی گمانه‌هایی موجود باشد باید اطلاعات حاصل از این گمانه‌ها در تعبیر و تفسیر سونداژهای الکتریکی مورد توجه قرار گیرد، زیرا در نواحی‌ای که حداقل تعداد محدودی گمانه حفر شده و نمونه‌هایی از آن گمانه‌ها تهیه شده باشد، ارزیابی کیفی آب زیرزمینی با استفاده از ژئوالکتریک در تمامی آن نواحی به‌صورت دقیق‌تری امکان‌پذیر است.

۳- سونداژهای الکتریکی که روی رخنمون‌ها و یا طبقات مجاور آن پیاده شده است، باتوجه‌به مشخصات زمین‌شناسی این طبقات مورد بررسی قرار گیرد.

گاهی در منحنی‌های صحرایی سونداژزنی، انحنا و یا تیزی‌هایی وجود دارد که مفسر باید در مورد واقعی بودن و میزان اهمیت آن‌ها تصمیم‌گیری نماید. در بعضی مواقع، یک منحنی صحرایی که آثار نویزهای زیادی در آن مشاهده می‌شود، هموار می‌گردد تا یک منحنی ساده‌تر برای مدلسازی آماده شود. در این شرایط، باید توجه داشت که به‌دست‌آوردن یک تطبیق کامل میان منحنی تولید شده توسط کامپیوتر و منحنی صحرایی، مستلزم صرف زمان زیادی است.

۴- قبل از تعبیر و تفسیر منحنی ترسیم شده بایستی با تصحیح داده‌ها، این منحنی به یک منحنی هموار^۱ تبدیل گردد.

۵- حدود تغییرات مقاومت‌ویژه هر چه دقیق‌تر تعیین شود، تعبیر و تفسیر حاصل دقیق‌تر خواهد بود.

بنابراین به‌طور کلی برای یک تفسیر نهایی باید از تمام اطلاعات موجود در منطقه استفاده نمود تا بتوان به نتایج دقیق‌تری دست یافت [۱].

روش متداول برای تفسیر داده‌های سونداژ مقاومت‌ویژه شامل مراحل زیر می‌باشد:

الف - در نظر گرفتن یک مدل زمین آزمون^۲،

ب - محاسبه منحنی نظری^۳ مربوط به این مدل،

ج - مقایسه این منحنی نظری با منحنی صحرایی مشاهده‌ای^۴،

د - تصحیح یا تغییر مدل در نظر گرفته شده تا زمانی که بهترین انطباق ممکن با منحنی مشاهده‌ای به‌دست آید [۲۲].

این روش، بیشترین استفاده را در تفسیر کلیه داده‌های مقاومت‌ویژه و در حقیقت، کلیه داده‌های ژئوفیزیکی دارد. پارامترهایی که از مدل به‌دست خواهد آمد، عبارتند از: الف) تعداد لایه‌ها (N)، ب) مقاومت‌ویژه هر لایه (ρ)، و ج) ضخامت یا عمق هر لایه (E یا D). در مرحله تفسیر، مقادیر

1- Smooth Curve
2- Trial Earth Model
3- Theoretical Curve
4- Observed Field Curve

این پارامترها که بهترین تطبیق را با داده‌های صحرایی داشته باشند، تعیین می‌شوند. پس از آن، تفسیر زمین‌شناسی باید انجام شود که اطلاعات زمین‌شناسی موجود، داده‌های گمانه‌های حفاری و غیره، باعث افزایش کیفیت این تفسیر می‌شوند [۲۲].

۳-۲-۱- تعبیر و تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی

به‌طور کلی آنچه که در تعبیر و تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می‌گیرد، نقاط ماکزیمم و می‌نیمم در روی این منحنی است. وجود هر ماکزیمم یا مینیمم برای طبقات افقی می‌تواند معرف وجود یک لایه با مقاومت‌ویژه متفاوت باشد. البته باید در نظر داشت که این قاعده کلی نیست و برای اینکه یک لایه بتواند خود را روی منحنی نشان دهد باید دارای ضخامت کافی و تباین مقاومت‌ویژه مناسب با طبقات مجاورش باشد. نکته قابل توجه شناخت منحنی‌های سونداژ الکتریکی برای حالت‌های مختلف است. برای افراد با تجربه، تغییر شیب منحنی، قسمت‌های بالارونده و پایین رونده و مسائلی از این قبیل می‌تواند هر یک شامل اطلاعات کیفی در رابطه با تغییرات مقاومت‌ویژه در یک منطقه باشد [۲۲].

۳-۲-۲- تعبیر و تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی

مجموعه وسیعی از منحنی‌های استاندارد (آباک‌ها) برای طبقات افقی دو تا چهار لایه تهیه شده است که این منحنی‌های سونداژ الکتریکی به‌صورت گروه‌هایی طبقه‌بندی شده که در نتیجه می‌توان به راحتی منحنی‌های استاندارد را که مشابه منحنی سونداژ الکتریکی به‌دست آمده می‌باشند مشخص نمود و مشخصات لایه‌ها را تعیین کرد. برای اینکه یک منحنی سونداژ الکتریکی منحصرأ مربوط به طبقات افقی باشد بایستی شرایط زیر برای منحنی صادق باشد:

- ۱- شیب قسمت بالا رونده نباید از ۴۵ درجه بیش‌تر باشد،
- ۲- شعاع انحنای منحنی در نزدیکی نقطه ماکزیمم آن نباید از حد معینی کوچکتر باشد (این مقدار تقریباً برابر با نسبت ۲ در مقیاس لگاریتمی انتخاب شده، می‌باشد)،
- ۳- در خصوص شیب قسمت پایین رونده منحنی سونداژ الکتریکی و شعاع انحنای آن در نزدیکی نقطه می‌نیمم محدودیت‌هایی مانند قسمت ۱ و ۲ و حتی شدیدتر وجود دارد.

بعداز مشخص شدن اینکه منحنی سونداژ الکتریکی، مربوط به طبقات افقی می‌باشد تعیین مشخصات لایه سطحی به سادگی امکان‌پذیر است. برای این کار می‌توان از منحنی‌های استاندارد (برای دو لایه) استفاده کرد. مجانب منحنی برای مقادیر کوچک فاصله الکترودها مشخص کننده مقاومت ویژه لایه اول است (یا متوسط چند مقدار اولیه مقاومت ویژه ظاهری است) اما برای تعیین مشخصات این لایه، منحنی آن لایه بر منحنی استاندارد مربوطه منطبق می‌گردد. تقاطع محورهای افقی و قائم منحنی استاندارد را روی کاغذ لگاریتمی که منحنی سونداژ الکتریکی روی آن رسم شده با علامت (+) مشخص کرده و مختصات این نقطه به دست می‌آید. طول این نقطه معادل ضخامت لایه اول و عرض آن مقاومت ویژه لایه اول را به دست خواهد داد [۲۲].

برای تعیین مشخصات لایه دوم، در صورتی که زمین مورد مطالعه فقط از دو لایه تشکیل شده باشد (ضخامت لایه دوم بی‌نهایت زیاد باشد)، منحنی سونداژ الکتریکی به سمت مقاومت ویژه حقیقی لایه دوم مجانب می‌شود. در صورت وجود بیش از دو لایه، حتی اگر تباین مقاومت ویژه لایه دوم با لایه اول و سوم هم زیاد باشد منحنی سونداژ الکتریکی به مقدار حقیقی مقاومت ویژه لایه دوم نمی‌رسد، که با استفاده از منحنی‌های کمکی و با تطبیق جزء به جزء منحنی سونداژ، می‌توان مشخصات لایه‌ها را به راحتی تعیین نمود.

۳-۳- تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

برای به دست آوردن اطلاعات مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، ۲۵ سونداژ الکتریکی که موقعیت آن‌ها در شکل ۵-۲ نشان داده شده است، برداشت شد. در ابتدا، کلیه سونداژهای الکتریکی برداشت شده را با کمک منحنی‌های استاندارد تفسیر نموده و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای VESCURT و VES نیز منحنی‌های سونداژ الکتریکی مربوطه مورد تفسیر قرار گرفته و نتایج حاصل با هم مقایسه شده است. در نهایت، بهترین نتایج حاصل از مقایسه روشهای دستی و رایانه‌ای، انتخاب گردید.

۳-۳-۱- سونداژ الکتریکی P1

سونداژ الکتریکی P1 در حاشیه جنوب شرقی آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵) و در فاصله ۱۲۰ متری جنوب غربی گمانه ۳۰۷۰ و ۱۲۵ متری جنوب شرقی گمانه ۳۰۸۱، واقع شده است. بررسی تمامی مدل‌های به دست آمده از منحنی‌های استاندارد (تفسیر دستی) و نرم‌افزارهای VES و VESCURT وجود ۶ لایه را تایید می‌کند (جدول ۱-۳)، که لایه پنجم به عنوان لایه آب‌دار تفسیر می‌شود. باتوجه به جدول (۱-۳)، سطح آب زیرزمینی در عمق ۵۲-۵۰ متری برآورد می‌گردد و ضخامت لایه آب‌دار بین ۲۵-۲۸ متر می‌باشد.

جدول ۱-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P1 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror= 4.6%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۲/۱	۲۷/۶	۲/۱	۲۷	۲/۳	۲۷	لایه اول
۰/۹	۱۸/۲	۱/۲	۱۹/۶	۱/۳	۲۱/۵	لایه دوم
۱۴/۷	۱۱/۵	۱۴	۱۲	۱۴	۱۲	لایه سوم
۳۴	۳۶	۳۳	۳۱	۳۳/۵	۲۹	لایه چهارم
۲۶	۱۴	۲۶/۴	۱۲/۵	۲۷/۲	۱۲	لایه پنجم
-	۱۲۰	-	۸۵	-	۲۴۰	لایه ششم

۳-۳-۲- سونداژ الکتریکی P2

سونداژ الکتریکی P2 در جنوب شرقی آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵) و در فاصله حدود ۳۴۰ متری شمال شرقی گمانه ۳۰۸۱، واقع شده است. باتوجه به مدل‌های به دست آمده که همگی نشان‌دهنده ۷ لایه برای این سونداژ می‌باشند، لایه ششم، به عنوان لایه آب‌دار در نظر گرفته می‌شود که حدود ۲۵-۲۸ متر ضخامت داشته و عمق سطح آب نیز حدود ۵۵-۵۰ متری می‌باشد (جدول ۲-۳).

جدول ۳-۲. نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P2 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 4.2%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۱/۲	۴۹۴	۱/۲	۵۰۰	۰/۹۴	۵۰۰	لایه اول
۴/۶	۲۸	۳/۵	۲۹	۴/۷	۲۶/۵	لایه دوم
۱۰	۶۵	۱۱/۵	۵۷	۱۰	۶۸	لایه سوم
۱۸	۲۲	۱۷	۲۱/۸	۱۷	۲۴	لایه چهارم
۱۴	۶/۹	۱۳/۵	۷/۲	۱۳/۵	۷/۲	لایه پنجم
۲۳	۱۶	۲۴	۱۴	۲۲/۴	۱۴	لایه ششم
-	۱۲۷	-	۱۱۰	-	۷۸	لایه هفتم

همانطور که در تمام مدل‌های به‌دست آمده مشاهده می‌شود، در بالای لایه آبدار، لایه‌ای با مقاومت ویژه بسیار پایین (حدود $7/2 \Omega - m$) وجود دارد که علت هدایت ویژه بالاتر این لایه، نسبت به لایه آبدار، حضور میزان رس بالا در این لایه، می‌باشد. توصیه می‌شود که با انجام برداشت پلاریزاسیون القایی (IP) در این محدوده، این مطلب به طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۳-۳- سونداژ الکتریکی P3

این نقطه در شرق محدوده آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵) و در فاصله حدود ۱۵۰ متری شمال شرقی گمانه شماره ۳۰۸۴ قرار دارد.

برای این سونداژ، مدل ۶ لایه‌ای تایید شده که لایه چهارم، لایه آبدار است (جدول ۳-۳)، که ضخامت آن ۲۶-۲۹ متر و عمق سطح آب در این لایه، حدود ۴۷-۵۳ متر می‌باشد.

جدول ۳-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P3 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 13.5%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۲/۴	۰.۶۹۷	۳/۵	۶۸۰	۴/۳	۶۸۰	لایه اول
۴/۷	۲۸/۲	۵/۲	۳۶	۵/۷	۳۶	لایه دوم
۴۴	۱۷۲	۳۹	۱۸۰	۳۷	۱۴۳	لایه سوم
۲۶/۴	۲۵/۴	۲۸	۲۶	۲۸	۲۴	لایه چهارم
۳۳	۵۷/۴	۴۳	۱۵۰	۴۳	۵۰	لایه پنجم
-	۱۷۰۰	-	۱۷۰۰	-	۱۲۰۰	لایه ششم

۳-۳-۴- سونداژ الکتریکی P5

همان طور که در فصل دوم نیز اشاره شد، نقطه P4 به دلیل واقع شدن در محل اقامت عشایر و مشکلات اجرایی، از شبکه اندازه‌گیری حذف گردید و در عمل، P5 چهارمین نقطه اندازه‌گیری بود. این نقطه در شرق منطقه مورد مطالعه و در خارج از محدوده آنومالی قرار گرفته و در نزدیکی آن، هیچ گمانه‌ای حفر نشده است (شکل ۵-۲).

نتایج حاصل از تفسیر این سونداژ، وجود ۶ لایه که لایه چهارم لایه آبدار است را نشان می‌دهد (جدول ۴-۳). عمق سطح آب در این لایه، حدود ۵۴-۵۰ متری و ضخامت آن حدود ۱۹-۲۴ متر می‌باشد.

جدول ۴-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P5 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 7.4%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۲/۱	۳۴۵	۳/۲	۳۴۰	۳/۲	۳۴۰	لایه اول
۱۹/۵	۲۴/۷	۱۱/۸	۲۷/۴	۱۱/۸	۲۶/۵	لایه دوم
۳۰/۴	۷۴	۳۶	۵۸	۳۶	۵۲	لایه سوم
۲۳/۹	۱۶/۷	۲۱	۱۷	۱۹	۱۸	لایه چهارم
۸۴	۲۰۸	۱۸۰	۱۹۰	۹۵	۱۹۰	لایه پنجم
-	۷۲۴	-	۹۶۰	-	۹۶۰	لایه ششم

۳-۳-۵- سونداژ الکتریکی P6

سونداژ P6 در حاشیه جنوبی محدوده آنومالی (شکل ۵-۲)، در فاصله ۱۱۷ متری چاه شماره ۳۰۶۷ و در فاصله ۸۲ متری چاه ۳۰۷۵ واقع شده است.

بررسی مدل‌های به‌دست آمده از تفسیر دستی و نرم‌افزارهای VES و VESCURT، وجود ۵ لایه مقاوم در این نقطه را تایید می‌کند که هیچ لایه آبداری در این مدل‌ها به چشم نمی‌خورد (جدول ۵-۳). باتوجه‌به اینکه در اطراف سونداژ P6 (سونداژهای P1 و P11) حضور لایه آبدار به وضوح دیده می‌شود، احتمال دارد که در این منطقه گسل وجود داشته باشد که با انجام عملیات پروفیل‌زنی در این امتداد با فاصله الکترودی مناسب (باتوجه‌به عمق عمودی سطح آب در منطقه) می‌توان صحت و سقم این مسئله را تعیین نمود.

جدول ۵-۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P6 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 8.1%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۳	۴۱۹	۱/۷	۳۸۰	۱/۱۲	۳۸۰	لایه اول
۹	۱۲/۴	۷/۵	۲۵	۸/۲	۲۵	لایه دوم
۳۳/۹	۲۵۹	۲۵	۲۵۰	۳۹/۵	۲۵۰	لایه سوم
۱۶۵/۱	۳۳۴	۹	۱۸۰	۸/۲۱	۴۱۳	لایه چهارم
-	۶۸۵	-	۷۲۱	-	۷۲۱	لایه پنجم

۳-۳-۶- سونداژ الکتریکی P7

نقطه P7 در خارج از آنومالی (شکل ۵-۲) و در فاصله حدود ۲۴۰ متری از چاه شماره ۳۰۸۸ قرار دارد.

در کلیه مدل‌های به‌دست آمده برای این سونداژ، چهارمین لایه که حدود ۲۲-۲۵ متر ضخامت دارد، به‌عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود (جدول ۶-۳). عمق سطح آب زیرزمینی نیز حدود ۴۲-۵۰ متر تخمین زده می‌شود.

جدول ۳-۶. نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P7 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 9.5%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۴/۲	۶۵	۲/۴	۶۶	۳/۴	۶۶	لایه اول
۱۳/۵	۲۹	۹/۸	۲۱/۲	۱۱/۸	۲۸/۵	لایه دوم
۲۵	۷۸	۳۸	۸۰	۳۴	۴۲	لایه سوم
۲۲/۷	۱۶/۴	۲۴	۱۵	۲۴/۵	۱۷	لایه چهارم
-	۸۵۴	-	۸۰۰	-	۷۰۰	لایه پنجم

۳-۳-۷. سونداژ الکتریکی P8

سونداژ P8 که در داخل محدوده آنومالی قرار گرفته (شکل ۲-۵)، در فاصله حدود ۱۰۵ متری چاه ۳۰۷۴ و ۲۳۵ متری چاه ۳۰۶۱ واقع شده است. در مدل‌های ۶ لایه‌ای به دست آمده برای این نقطه، لایه پنجم به عنوان لایه آب‌دار تفسیر می‌شود. عمق سطح آب حدود ۵۴-۶۵ متری و ضخامت این لایه حدود ۱۸-۲۴ متر برآورد می‌گردد (جدول ۳-۷).

جدول ۳-۷. نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P8 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMS error= 5.1%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۲	۹۷۱/۶	۱/۳	۹۷۰	۱/۶	۹۷۰	لایه اول
۲/۲	۵۷/۴	۱/۵	۱۸	۲/۱	۸۳	لایه دوم
۱۹/۲	۴۳۶/۵	۱۴/۲	۸۴۰	۲۰/۴	۴۲۰	لایه سوم
۳۹/۷	۲۹	۳۷	۸۰	۴۰/۳	۴۹	لایه چهارم
۱۹/۲	۱۴/۵	۲۳	۱۳	۱۸	۱۳	لایه پنجم
-	۲۵۰۰	-	۲۵۰۰	-	۲۸۰۰	لایه ششم

۳-۳-۸- سونداژ الکتریکی P9

سونداژ P9 در حاشیه شرقی آنومالی (شکل ۲-۵) و به فاصله حدود ۹ متری از گمانه شماره ۳۰۷۷ قرار دارد.

در مدل ۵ لایه‌ای به دست آمده از روش‌های مختلف، چهارمین لایه آب‌دار است که ضخامتی حدود ۱۸-۲۶ متر داشته و عمق سطح آب نیز حدود ۴۸-۵۲ متر برآورد شده است (جدول ۳-۸).

جدول ۳-۸- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P9 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSError = 2.5%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۲/۳	۷۸۲	۲/۵	۳۴۰	۲/۵	۳۴۰	لایه اول
۴/۱	۵۷	۳/۳	۴۶	۳/۳	۴۶	لایه دوم
۴۲/۵	۴۲/۹	۴۵	۳۷	۴۲/۲	۳۷	لایه سوم
۲۶	۲۱	۱۸/۹	۲۱	۲۲	۲۴	لایه چهارم
-	۵۸۵	-	۲۰۰	-	۶۳۰	لایه پنجم

۳-۳-۹- سونداژ الکتریکی P10

سونداژ P10 در حاشیه شمال شرقی آنومالی و در خارج از محدوده معدن شماره ۳ قرار دارد (شکل ۲-۵). نزدیک‌ترین گمانه به این نقطه، گمانه شماره ۳۰۷۲ است که در فاصله ۲۲۵ متری سونداژ P10 واقع شده است.

بررسی مدل‌های به دست آمده از تفسیرهای مختلف، وجود ۶ لایه را تأیید می‌کند که لایه پنجم به عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود. سطح آب زیرزمینی در عمق حدود ۴۷-۵۵ متری و ضخامت لایه آبدار حدود ۲۴-۲۷ متر تخمین زده شده است (جدول ۳-۹).

جدول ۳-۹- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P10 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror = 19.4%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۲/۸	۲۷	۳/۲	۲۴	۳/۶	۲۳	لایه اول
۸/۵	۲۴	۵/۹	۱۵	۷	۱۰	لایه دوم
۲۵	۳۴	۱۲	۱۷/۶	۲۴	۱۸	لایه سوم
۱۸/۳	۵۶/۲	۳۰	۴۹	۱۴	۴۷	لایه چهارم
۲۶	۱۹/۵	۲۵/۸	۱۷	۲۴	۱۸	لایه پنجم
-	۷۹۵	-	۱۰۰۰	-	۳۲۰	لایه ششم

۳-۳-۱۰- سونداژ الکتریکی P11

سونداژ P11 در حاشیه جنوبی آنومالی (شکل ۲-۵) و در فاصله ۱۶۵ متری چاه شماره ۳۰۵۲ و ۱۳۸ متری چاه شماره ۳۰۵۳ قرار گرفته است.

جدول ۳-۱۰- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P11 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror = 17.4%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۰/۸۵	۲۷/۵	۱/۲	۲۹	۲/۴	۲۹	لایه اول
۳/۱	۱۷/۵	۲/۴	۱۲	۲/۴	۱۹	لایه دوم
۱۶/۸	۱۰۳/۵	۱۸	۳۰۰	۱۲/۵	۲۵۰	لایه سوم
۲۳/۹	۹۹	۲۲	۴۳	۲۸	۵۴	لایه چهارم
۳۸/۷	۱۶/۲	۳۶	۱۴	۳۶	۱۲	لایه پنجم
-	۲۶۵۰	-	۱۰۰۰	-	۲۵۰۰	لایه ششم

باتوجه به مدل‌های به دست آمده که همگی نشان‌دهنده ۶ لایه برای این سونداژ می‌باشند، لایه پنجم به عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود که حدود ۳۵-۴۰ متر ضخامت داشته و عمق سطح آب نیز حدود ۴۲-۴۶ متری برآورد می‌شود (جدول ۳-۱۰).

۳-۳-۱۱- سونداژ الکتریکی P12

سونداژ P12 که در داخل محدوده آنومالی (شکل ۲-۵) قرار دارد، در فاصله ۱۳۵ متری از چاه شماره ۳۰۶۹ و ۱۴۷ متری چاه شماره ۳۰۶۰ واقع شده است. نتایج حاصل از تفسیر این سونداژ وجود ۶ لایه را تأیید می‌کند که پنجمین لایه، لایه آبدار است. عمق سطح آب در این لایه حدود ۴۷-۴۰ متر و ضخامت آن حدود ۲۶-۲۰ متر برآورد شده است.

جدول ۳-۱۱- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P12 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror = 7.3%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۷	۳۹/۸	۱/۹	۲۵	۲/۵	۲۵	لایه اول
۱/۷	۱۴	۱/۴	۹/۷	۰/۹	۱۰	لایه دوم
۵/۲	۱۹/۹	۳/۷	۲۱	۴/۶	۱۹	لایه سوم
۳۷/۱	۱۸۹/۹	۳۵	۸۲۰	۳۴	۱۷۷	لایه چهارم
۲۲/۱	۱۲/۸	۲۴/۲	۱۳/۵	۲۵	۱۵/۶	لایه پنجم
-	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰	-	۱۱۲۰	لایه ششم

۳-۳-۱۲- سونداژ الکتریکی P13

سونداژ P13 تقریباً در قسمت مرکزی آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵) و به فاصله حدود ۱۳۷ متری چاه شماره ۳۰۵۶ و ۱۵۰ متری چاه شماره ۳۰۴۰ قرار گرفته است. در کلیه مدل‌های به دست آمده برای این سونداژ، ۶ لایه تفسیر می‌شود که لایه چهارم، لایه آبدار می‌باشد. عمق سطح آب در این لایه حدود ۳۴-۳۰ متر و ضخامت لایه آبدار حدود ۱۸-۱۴ متر تخمین زده شده است (جدول ۳-۱۲).

جدول ۳-۱۲- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P13 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSError=11.5%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۲/۱	۸۳/۶	۱/۴	۱۲۰	۲/۳	۷۵	لایه اول
۱۰/۵	۱۴/۲	۱۱/۸	۱۷/۵	۱۲/۳	۲۹	لایه دوم
۱۹/۵	۱۴۳/۵	۱۸/۲	۸۴/۵	۱۷/۴	۱۰۵	لایه سوم
۱۴	۱۵/۲	۱۶/۳	۱۸/۵	۱۵	۱۴/۵	لایه چهارم
۲۰۶	۱۲۵	۱۳۰	۸۰/۲	۲۲۳	۹۵	لایه پنجم
-	۱۱۱۰۰	-	۱۱۰۰	-	۱۱۱۰۰	لایه ششم

۳-۳-۱۳- سونداژ الکتریکی P14

نقطه P14 در فاصله حدود ۶ متری چاه ۳۱۲۸ و در محدوده مرکزی منطقه مورد مطالعه

واقع شده است (شکل ۲-۵).

جدول ۳-۱۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P14 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSError=7.5%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۷	۴۰۳	۱/۶	۵۹۰	۱/۵	۴۰۰	لایه اول
۳/۶	۲۶/۶	۲/۶	۲۸	۳/۱	۳۰	لایه دوم
۲۴	۱۴/۲	۲۲	۱۶	۲۶/۴	۱۶	لایه سوم
۱۸/۲	۱۳۳	۱۶	۱۵۰	۱۴	۱۴۸	لایه چهارم
۳۶/۲	۱۸/۲	۳۵	۱۳/۲	۳۵	۱۸/۵	لایه پنجم
-	۱۷۰۰	-	۱۷۰۰	-	۱۷۰۰	لایه ششم

در کلیه مدل‌های بدست آمده برای این سونداژ، پنجمین لایه که حدود ۳۴-۳۸ متر ضخامت

دارد، به عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود (جدول ۳-۱۳). عمق سطح آب زیرزمینی در این محل حدود

۴۹-۴۱ متر برآورد می‌گردد.

۳-۳-۱۴- سونداژ الکتریکی P15

سونداژ P15 که تقریباً در شمال شرق محدوده آنومالی قرار گرفته (شکل ۲-۵)، در فاصله ۱۴۰ متری گمانه شماره ۳۰۷۱ و در فاصله ۱۳۲ متری گمانه شماره ۳۰۶۲ واقع شده است. در مدل‌های ۶ لایه ای بدست آمده برای این سونداژ، لایه پنجم به‌عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود. عمق سطح آب حدود ۶۲-۵۵ متری و ضخامت این لایه حدود ۲۲-۱۶ متر پیش‌بینی می‌شود (جدول ۳-۱۴).

جدول ۳-۱۴- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P15 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror=13.5%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۳/۲	۳۵/۶	۳	۳۳	۳/۲	۳۳	لایه اول
۱۲/۸	۵/۸	۱۴/۸	۶	۱۴/۸	۶	لایه دوم
۱۷/۲	۱۹	۱۳/۵	۱۶	۱۴/۸	۱۶	لایه سوم
۲۴/۱	۹۹/۴	۲۵	۱۰۰	۲۸/۲	۱۵۰	لایه چهارم
۱۷/۵	۱۶/۴	۲۰	۱۵/۴	۱۶/۹	۱۸/۷	لایه پنجم
-	۶۰۱	-	۶۰۰	-	۴۳۵	لایه ششم

۳-۳-۱۵- سونداژ الکتریکی P16

سونداژ P16 در حاشیه جنوبی منطقه مورد مطالعه (شکل ۲-۵) و به فاصله حدود ۲۰ متری گمانه شماره ۳۰۵۷، در فاصله ۱۰۵ متری گمانه شماره ۳۰۵۰ و فاصله ۹۷ متری گمانه شماره ۳۰۴۵ قرار گرفته است.

برای این سونداژ، مدل ۶ لایه ای تایید شده که لایه چهارم، لایه آبدار است. ضخامت این لایه ۲۰-۱۵ متر و عمق سطح آب در این محل، حدود ۵۶-۴۹ متر ارزیابی می‌شود (جدول ۳-۱۵).

جدول ۳-۱۵- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P16 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSError=17.4%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۶	۲۳	۲	۱۷	۲	۱۷	لایه اول
۱۴/۲	۹/۵	۱۳/۵	۱۲/۳	۱۴/۸	۷/۳	لایه دوم
۳۹/۶	۷۵۱	۳۵	۸۰۰	۳۹	۵۸۰	لایه سوم
۱۷/۴	۲۳	۱۵/۹	۲۱	۱۹	۲۳	لایه چهارم
۴۲/۶	۳۲۰	۴۵	۲۵۰	۷۵	۲۳۰	لایه پنجم
-	۴۰۰۰	-	۴۶۰۰	-	۴۵۰۰	لایه ششم

۳-۳-۱۶- سونداژ الکتریکی P17

سونداژ P17 در داخل محدوده آنومالی و در نیمه جنوبی آن واقع شده است (شکل ۲-۵). این

سونداژ، به فاصله ۸۶ متری چاه شماره ۳۰۱۹ قرار گرفته است.

بررسی مدل‌های به دست آمده برای این سونداژ، وجود ۶ لایه را تایید می‌کند که لایه پنجم

به عنوان لایه آبدار با ضخامت حدود ۲۶-۲۰ متر پیش‌بینی شده است (جدول ۳-۱۶).

جدول ۳-۱۶- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P17 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSError=17%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۸	۳۵/۱	۱/۵	۲۴	۲/۶	۲۴	لایه اول
۲/۲	۵/۲	۲/۷	۶/۵	۲/۷	۸	لایه دوم
۷/۴	۱۴/۳	۶/۷	۱۴	۶/۷	۱۴	لایه سوم
۳۴/۳	۶۶۴	۳۹	۶۶۰	۲۱/۵	۶۶۰	لایه چهارم
۲۵/۱	۱۹/۷	۲۲	۲۱/۵	۲۲	۲۱/۵	لایه پنجم
-	۴۲۰	-	۳۸۰	-	۴۳۵	لایه ششم

۳-۳-۱۷- سونداژ الکتریکی P18

سونداژ P18 دربخش مرکزی آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵) و به فاصله ۱۱۲ متری چاه شماره ۳۰۱۸ و به فاصله ۲۰۰ متری چاه شماره ۳۰۱۷ قرار گرفته است. باتوجه به مدل‌های به دست آمده که همگی نشان‌دهنده ۵ لایه برای این سونداژ می‌باشند، لایه چهارم به عنوان لایه آبدار در نظر گرفته می‌شود که حدود ۱۸-۲۵ متر ضخامت داشته و عمق سطح آب نیز حدود ۳۹-۴۵ متری تخمین زده می‌شود (جدول ۳-۱۷).

جدول ۳-۱۷- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P18 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSerror=7.2%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۴	۱۵	۱/۴	۱۹/۶	۲/۷	۱۹/۵	لایه اول
۳/۲	۴/۸	۲/۵	۸/۵	۰/۸	۸/۶	لایه دوم
۳۵/۵	۸۲/۵	۳۷	۷۹/۵	۳۸/۵	۷۸	لایه سوم
۲۴	۲۰/۲	۲۰	۱۹/۶	۲۲	۱۹/۵	لایه چهارم
-	۹۷۵/۷	-	۹۷۵	-	۷۹۵	لایه پنجم

۳-۳-۱۸- سونداژ الکتریکی P19

سونداژ P19 درون محدوده آنومالی و در نیمه شمالی آن (شکل ۲-۵)، در حدود ۹ متری چاه شماره ۳۰۲۰ و در فاصله ۱۰۵ متری چاه شماره ۳۰۹۲ واقع شده است. برای این سونداژ، یک مدل ۵ لایه ای تایید شده که لایه چهارم، لایه آبدار است. ضخامت این لایه حدود ۲۰-۲۶ متر و عمق سطح آب در این محل حدود ۵۹-۶۵ متری پیش‌بینی می‌شود (جدول ۳-۱۸).

جدول ۳-۱۸- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P19 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر بانرم افزار VESCURT RMSerror=12.2%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر بانحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۲/۷	۱۴/۵	۱/۲	۱۳/۵	۳/۲	۱۳/۵	لایه اول
۳۱/۲۰	۱۲/۴	۲۹/۸	۱۰/۵	۲۹/۴	۱۰/۵	لایه دوم
۲۹/۵	۶۱	۳۰	۳۸/۷	۲۸	۵۷/۵	لایه سوم
۲۴	۱۸	۲۱	۱۷/۵	۲۲	۱۸/۵	لایه چهارم
-	۵۷۴/۵	-	۵۷۵	-	۵۷۵	لایه پنجم

۳-۳-۱۹- سونداژ الکتریکی P20

سونداژ P20 در مرز شمالی آنومالی قرار دارد (شکل ۲-۵) و چاه شماره ۳۵-۳۰ نیز در فاصله حدود ۱۰۳ متری آن واقع شده است.

نتایج حاصل از تفسیر این سونداژ، وجود ۵ لایه که لایه چهارم لایه آبدار است را نشان می‌دهد. عمق سطح آب در این محل حدود ۶۲-۵۵ متری و ضخامت آن حدود ۲۵-۱۶ متر برآورد شده است (جدول ۳-۱۹).

جدول ۳-۱۹- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P20 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر بانرم افزار VESCURT RMSerror=6.3%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر بانحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۳/۲	۹۹	۳/۱	۹۰	۳/۱	۹۰	لایه اول
۲۳/۱	۱۲/۶	۲۵	۱۲/۵	۲۴/۹	۱۵	لایه دوم
۳۱	۷۱	۳۲	۵۱	۳۲	۵۱	لایه سوم
۲۴	۱۹/۷	۱۷	۱۸	۲۱	۱۸/۵	لایه چهارم
-	۴۵۰	-	۴۵۰	-	۴۵۰	لایه پنجم

۳-۳-۲۰- سونداژ الکتریکی P21

سونداژ P21 در حاشیه جنوب غرب محدوده آنومالی (شکل ۲-۵) قرار گرفته و نزدیک‌ترین گمانه به آن، چاه شماره ۳۰۲۷ است که در فاصله ۳۰۰ متری آن واقع شده است.

جدول ۳-۲۰- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P21 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSerror=18.3%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۵	۴۶	۱/۸	۱۷	۲/۳	۴۶	لایه اول
۰/۷	۱۷۵	۱/۷	۱۷۵	۱/۲	۱۲۴/۲	لایه دوم
۱۴	۲۰/۲	۱۸	۱۲	۱۱	۱۴/۸	لایه سوم
-	۱۱۶۰	-	۱۱۶۰	-	۱۱۶۰	لایه چهارم

در مدل‌های حاصل از تفسیر سونداژ P21، هیچ لایه آبداری به چشم نمی‌خورد. لازم به ذکر است که این نقطه، در نزدیکی رشته کوه واقع در غرب محدوده آنومالی قرار گرفته است و به دلیل برخورد مکرر الکترودها با سنگ و عدم امکان برقراری جریان (پیغام خطای قطع جریان توسط دستگاه)، فاصله الکترودی تا حداکثر مقدار $AB = 400\text{m}$ گسترش یافت. به هر حال، عدم مشاهده لایه آبدار در این منطقه، باتوجه به احتمال هدایت آب‌های حاصل از ریزش‌های جوی توسط دامنه کوه تا دشت مرکزی (مرکز محدوده مورد مطالعه) و احتمالاً عدم نفوذ آب به داخل زمین در این محل، منطقی می‌باشد.

۳-۳-۲۱- سونداژ الکتریکی P22

سونداژ P22 تقریباً در جنوب غربی آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵)، به فاصله ۱۶۰ متری چاه شماره ۳۰۴۶، حدود ۱۲۶ متری چاه شماره ۳۰۲۸ و به فاصله ۲۲۵ متری چاه شماره ۳۰۲۷ واقع شده است.

مدل‌های به‌دست آمده با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای VES و VESCURT در جدول (۳-۲۱) ارائه شده است. به دلایل مشابه سونداژ P21 در این محل نیز هیچ لایه آبداری مشاهده نشده است.

جدول ۳-۲۱- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P22 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror=16.2%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۵	۳۲۰	۱/۵	۳۲۰	۱/۸	۳۲۰	لایه اول
۳/۴	۴۸	۷	۱۱	۱۰/۲	۴۸	لایه دوم
-	۳۰۰۰	-	۱۵۰۰	-	۳۰۰۰	لایه سوم

۳-۲۲- سونداژ الکتریکی P23

سونداژ P23 در بخش غربی محدوده آنومالی (شکل ۲-۵)، به فاصله ۱۳۲ متری چاه شماره ۳۰۲۶، در فاصله ۲۰۰ متری چاه شماره ۳۱۲۱ و ۲۳۷ متری چاه شماره ۳۰۳۷ قرار گرفته است. مقادیر مقاومت ویژه مربوط به این سونداژ، بسیار متغیر است، به طوری که قابل تفسیر نبوده و نتایج حاصل از تفسیر این سونداژ، (نه با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نه به کمک نرم‌افزارهای مختلف) قابل اعتماد نمی‌باشد. فقط در تفسیر دستی، لایه کم مقاومتی در حدود عمق ۷۰ متری تخمین زده شده (جدول ۳-۲۲) که در صورت وجود آب در این ناحیه، می‌توان آن را به عنوان لایه آبدار تفسیر نمود، اما باید دقیق‌تر بررسی شود.

جدول ۳-۲۲- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P23 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSError=352%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۱/۴۵	۲۵۸	۱	۲۶۰	۱/۲	۲۶۰	لایه اول
۸/۱	۷/۲	۸/۲	۶/۵	۶/۸	۶	لایه دوم
۹۳	۱۳۰۰	۳۷	۱۳۰۰	۶۵	۱۳۰۰	لایه سوم
۱۸/۲	۳۰۰	۱۴	۲۵۰	۲۰	۹۵	لایه چهارم
-	۱۹۰۰	-	۱۹۰۰	-	۱۹۰۰۰	لایه پنجم

۳-۳-۲۳- سونداژ الکتریکی P24

سونداژ P24 تقریباً در قسمت شمال‌غربی محدوده مورد مطالعه (شکل ۲-۵)، در فاصله ۸۴

متری چاه شماره ۳۰۳۰، در ۱۳۳ متری چاه شماره ۳۱۱۳ و در ۱۲۵ متری چاه شماره ۳۱۳۶ قرار گرفته است.

جدول ۳-۲۳- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P24 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSError=555%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	
۳/۵	۷۸	۱/۴	۲۰	۱/۷	۱۸	لایه اول
۱۶	۶/۷	۱۲	۱/۲	۱۱/۵	۳/۳	لایه دوم
۳۳	۱۴/۱	۸/۲	۹۸	۴۸/۲	۹۵	لایه سوم
۰/۷	۳/۴	۵/۵	۴	۵/۲	۱۲/۵	لایه چهارم
-	۸۳۴	-	۳۰۰۰	-	۸۲۵	لایه پنجم

تفسیر نتایج این سونداژ نیز باتوجه به مقادیر بسیار متغیر مقاومت‌ویژه، دشوار و حتی غیرممکن است. تنها به نظر می‌رسد که لایه آبدار احتمالا با ضخامت کم در عمق ۶۰ متری وجود داشته باشد. (جدول ۳-۲۳).

۳-۳-۲۴- سونداژ الکتریکی P25

سونداژ P25 در شمال منطقه مورد مطالعه و در خارج از محدوده آنومالی شماره ۳ (شکل ۲-۵)، در فاصله حدود ۱۴۰ متری گمانه شماره ۳۰۹۱ قرار گرفته است. نتایج حاصل از تفسیر این سونداژ، وجود ۵ لایه که لایه چهارم آبدار است را نشان می‌دهد. عمق سطح آب در این محل حدود ۶۶-۷۲ متر و ضخامت آن حدود ۲۵-۳۵ متر برآورد گردیده است (جدول ۳-۲۴).

جدول ۳-۲۴- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P25 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم افزار VESCURT RMSerror=33%		تفسیر با نرم افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		مشخصات
t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	t(m)	P($\Omega - m$)	
۱/۹	۶۷	۲/۶	۵۶	۲/۶	۵۶	لایه اول
۳۰/۲	۲۴	۲۶/۴	۱۶	۲۵	۱۶	لایه دوم
۳۸/۴	۱۶۵	۳۹/۷	۱۷۰	۴۰	۱۶۰	لایه سوم
۳۴/۱	۱۸/۹	۳۲	۲۱	۲۵	۲۳	لایه چهارم
-	۶۷۵۲/۶	-	۶۷۵۰	-	۶۷۵۰	لایه پنجم

۳-۳-۲۵- سونداژ الکتریکی P28

سونداژ P28 که تقریباً در حاشیه غربی محدوده آنومالی شماره ۳ قرار گرفته (شکل ۲-۵)، تنها نقطه برداشت از میان نقاط P26-P30 بود. این سونداژ در فاصله حدود ۲۷۷ متری از گمانه شماره ۳۰۷۹ واقع شده است.

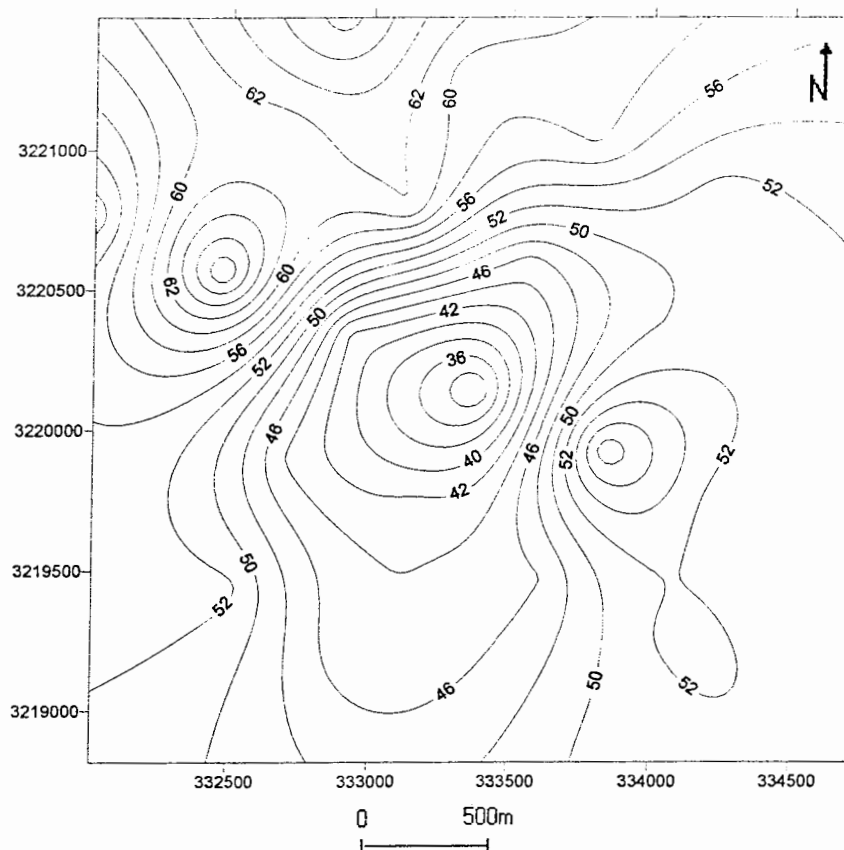
در مدل‌های به‌دست آمده برای این سونداژ، پنجمین لایه که حدود ۲۸-۲۵ متر ضخامت دارد به‌عنوان لایه آبدار تفسیر می‌شود. عمق سطح آب نیز حدود ۵۵-۴۶ متر برآورد شده است (جدول ۳-۲۵).

جدول ۳-۲۵- نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P28 به کمک روش‌های مختلف.

تفسیر با نرم‌افزار VESCURT RMSerror=33%		تفسیر با نرم‌افزار VES		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	t(m)	$P(\Omega - m)$	مشخصات
۲/۴	۱۲۴/۵	۱/۴	۱۲۵	۲/۲	۱۲۵	لایه اول
۵/۲	۹/۲۵	۴	۸/۵	۳/۴	۹	لایه دوم
۶/۵	۶۸	۵	۷۵	۷/۴	۴۱/۵	لایه سوم
۳۹/۷	۱۹۵	۳۷/۲	۲۵۰	۳۷	۱۷۵	لایه چهارم
۲۶	۳۴	۲۷/۵	۲۵	۲۷	۵۲	لایه پنجم
-	۲۹۴	-	۲۸۴	-	۲۱۰	لایه ششم

۳-۴- نقشه هم سطح آب زیرزمینی (ایزوپیز)

با استفاده از نتایج به دست آمده از تفسیر یک بعدی داده‌ها، نقشه هم سطح آب زیرزمینی در منطقه تهیه گردید (شکل ۳-۱). همانطور که دیده می‌شود، عمق سطح آب زیرزمینی در مرکز منطقه کمتر از سایر مناطق است و با پیشروی به سمت شمال، شرق و به خصوص غرب، به تدریج عمق سطح آب افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که تنها با استفاده از این نقشه نمی‌توان جهت حرکت آب زیرزمینی در منطقه را تشخیص داد.



شکل ۳-۱- نقشه هم سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

۳-۵- نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت‌شده در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر به کمک منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای مذکور، می‌توان چنین استنباط کرد که به‌طور کلی لایه آبدار در عمق حدود ۴۰ تا ۶۰ متری با ضخامت متوسط حدود ۲۰-۳۵ متر قرار گرفته است. مقاومت ویژه آن نیز حدود $15-23 \Omega m$ می‌باشد که این مقاومت ویژه کم نشان‌دهنده میزان بالای املاح و یا حضور کانی‌های رسی می‌باشد. بعضی از سونداژها نیز باتوجه به مقادیر بالای مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده، به احتمال زیاد فاقد لایه آبدار هستند. این مسئله، ارتباط و مطابقت تفسیر بین سونداژهای مختلف را مشکل می‌سازد، اما در هر حال به‌علت حضور گسل‌های موجود که توسط داده‌های حفاری و زمین‌شناسی زیرسطحی تأیید شده و همچنین زمین‌شناسی نسبتاً پیچیده در زیرسطح زمین این منطقه، این مسئله دوران انتظار نیست.

فصل چهارم:

تفسیر کیفی دو بعدی
داده های صحرائی

فصل چهارم: تفسیر کیفی دوبعدی داده‌های صحرایی

در فصل قبل، به چگونگی تعبیر و تفسیر کیفی و کمی داده‌های سونداژ الکتریکی پرداخته شد. همچنین نتایج حاصل از تفسیر ۲۵ منحنی سونداژ به دست آمده از داده‌های صحرایی، مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل به تعبیر و تفسیر دوبعدی داده‌ها پرداخته و نتایج حاصل، ارائه شده است.

۴-۱- مقدمه

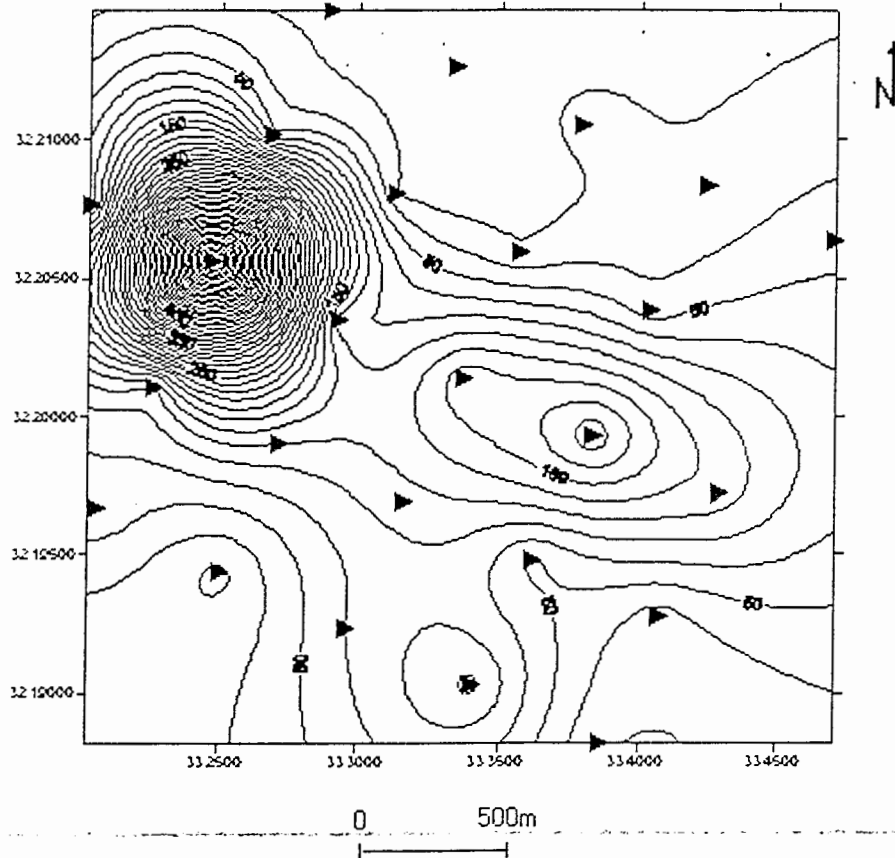
یکی از محدودیت‌های روش سونداژزنی مقاومت‌ویژه، عدم پاسخ مناسب به تغییرات افقی مقاومت‌ویژه در زیر سطح زمین است. با مدل‌سازی دوبعدی داده‌ها می‌توان تصویر دقیق‌تری از تغییرات مقاومت‌ویژه هم در امتداد قائم و هم در امتداد افقی در طول خط بررسی، تهیه نمود. در اکثر مواقع، خصوصاً هنگام بررسی ساختارهای طویل زمین‌شناسی، این روش مدل‌سازی، یک روش مناسب و منطقی می‌باشد.

برای تفسیر دوبعدی داده‌های مقاومت‌ویژه، نقشه‌های هم مقاومت‌ویژه ظاهری به ازای طول‌های معین از فاصله الکترودی با استفاده از نرم‌افزار Surfer تهیه گردید. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Ipi2win مقاطع دوبعدی داده‌ها در امتداد پروفیل‌های عمودبرهم مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، شبه‌مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری، به کمک نرم‌افزار RES.2d.inv تهیه و مورد بحث قرار گرفته است.

۴-۲- نقشه‌های هم مقاومت‌ویژه ظاهری

به منظور بررسی وضعیت تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری لایه‌ها در اعماق مختلف، نقشه‌های توزیع مقاومت‌ویژه ظاهری با استفاده از نرم‌افزار Surfer تهیه شده است. این نقشه‌ها که مشخص کننده چگونگی تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری به ازای طول معین از فاصله الکترودی می‌باشند، تغییرات عمومی مقاومت‌ویژه الکتریکی در منطقه و در یک عمق معین که با فاصله الکترودی مورد نظر متناسب

است را نشان می‌دهند. نحوه تهیه این نقشه‌ها باید به گونه‌ای باشد که پاسخگوی ابهامات موجود باشد. نقشه‌ها یا مقاطع افقی هم مقاومت ویژه ظاهری در منطقه مورد مطالعه برای فواصل الکترودی $AB/2 = 40, 50, 100, 150, 200 \text{ m}$ در شکل های (۱-۴) تا (۵-۴) ارائه شده است که به بررسی آنها می‌پردازیم.

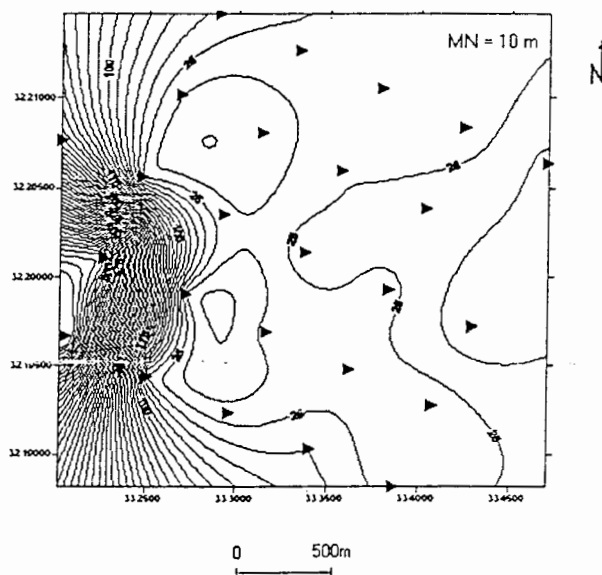
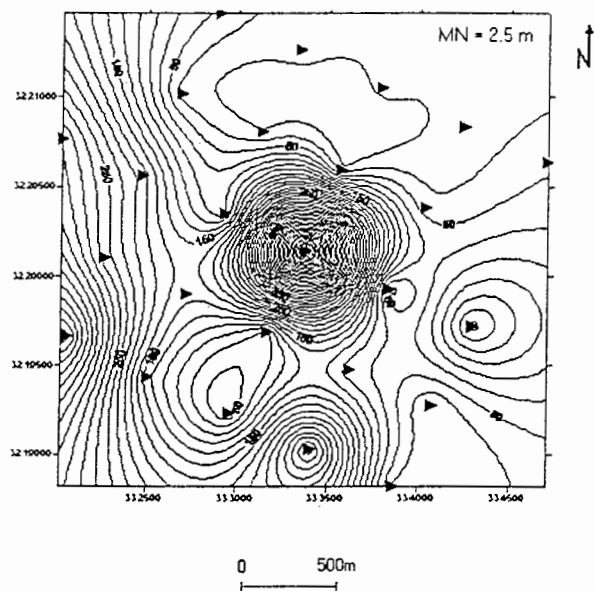


شکل ۴-۱- نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 40 \text{ m}$.

همان‌طور که نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری برای عمق متناظر با خط جریان $AB/2 = 40 \text{ m}$ نشان می‌دهد (شکل ۴-۱)، مقادیر مقاومت ویژه در شرق و به‌خصوص در غرب منطقه نسبتاً بالا است، ولی در بقیه بخش‌های منطقه پایین است که نشان‌دهنده هدایت الکتریکی بالاتر زمین در افق موردنظر در این بخش‌ها است.

تفاوت نسبتاً زیاد مقاطع هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 50 \text{ m}$ با دو مقدار متفاوت برای MN (شکل ۴-۲)، بیانگر وجود ناهمگنی ویا تغییرات مقاومت ویژه جانبی در عمق

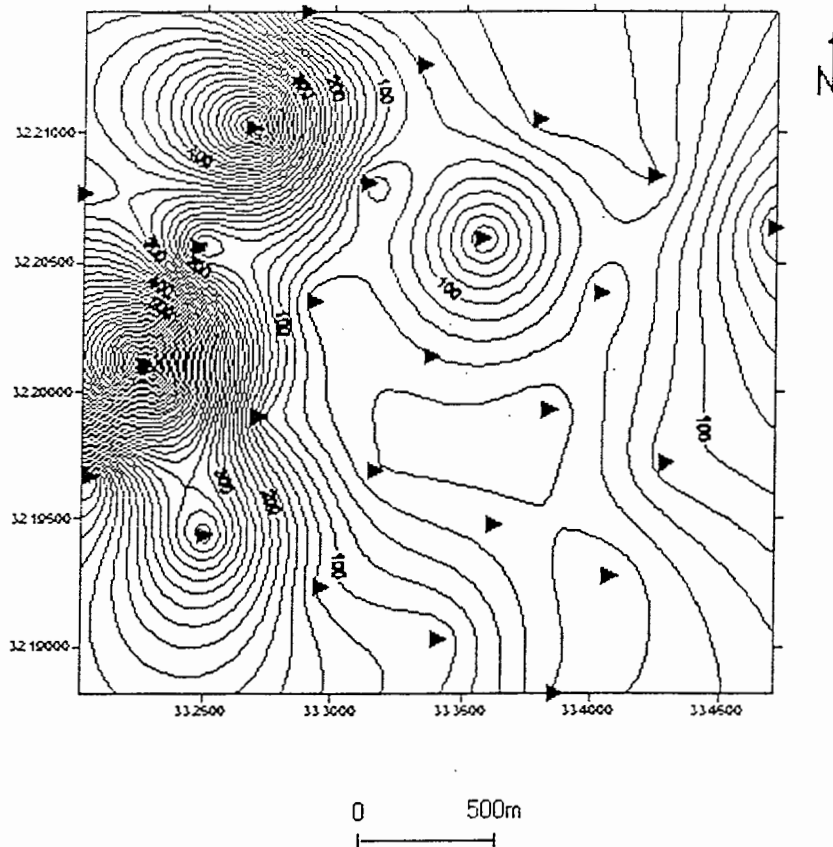
متناظر با این فاصله الکترودی در منطقه مورد مطالعه است. در هر صورت، هر دو مقطع نشان دهنده زمینی مقاوم در غرب منطقه در این افق می‌باشند.



شکل ۴-۲- نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 50 \text{ m}$ با دو مقدار متفاوت

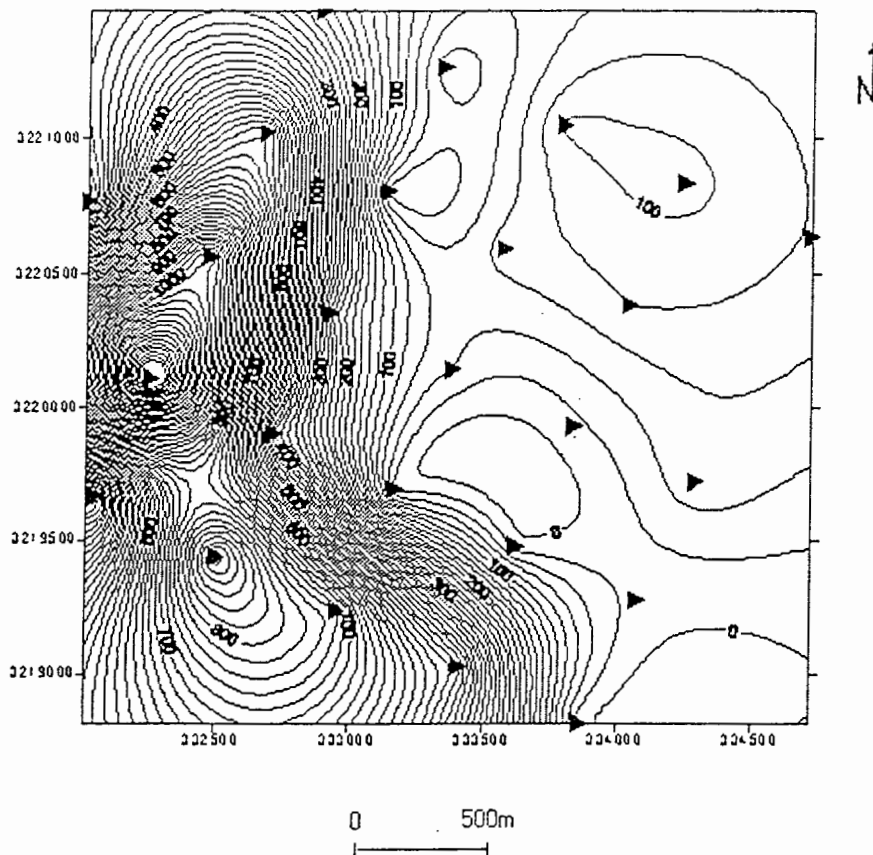
$MN=10 \text{ m}$ و $MN=2.5 \text{ m}$

نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2=100 \text{ m}$ نشان دهنده مقاومت‌های بالا در شمال غربی، غرب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه در عمق متناظر با این فاصله الکترودی می‌باشد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 100$ m

در اعماق کم متناظر با فواصل الکترودی $AB/2 = 40, 50, 100$ m مشابهت‌هایی بین مقادیر مقاومت ویژه در منطقه به چشم می‌خورد. ضمناً مقادیر مقاومت ویژه در این اعماق پایین است، اما در اعماق بیشتر (اعماق متناظر با فواصل الکترودی $AB/2 = 150, 200$ m که در شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵ نشان داده شده است)، مقادیر مقاومت ویژه به‌طور کلی بالاتر بوده که حکایت از مقاوم بودن لایه‌ها در این اعماق دارد. مقادیر مقاومت ویژه مربوط به فاصله الکترودی $AB/2 = 150$ m و $AB/2 = 200$ m نسبتاً مشابه بوده و نشان می‌دهد که توزیع مقاومت ویژه در منطقه، برای اعماق متناظر با این فواصل الکترودی به تدریج از ۱۵۰ متر به ۲۰۰ متر افزایش می‌یابد، به طوری که در عمق متناظر با فاصله الکترودی $AB/2 = 200$ m دیگر اثری از لایه آبدار دیده نمی‌شود.



شکل ۴-۴- نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 150 \text{ m}$.

نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله الکترودی $AB/2 = 200 \text{ m}$ (با دو مقدار متفاوت برای فاصله الکترودی MN)، نشان‌دهنده زمینی مقاوم در غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه در عمق متناظر با این فاصله الکترودی است. دو نقشه ارائه شده که مربوط به دو مقدار متفاوت MN می‌باشند، تطابق چندانی خوبی با هم ندارند که نشانه وجود ناهمگنی یا تغییرات جانبی مقاومت ویژه در این افق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

از مجموع نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری برای فواصل الکترودی مختلف نتیجه می‌شود که به‌طور کلی بخش غربی منطقه مورد مطالعه از مقاومت ویژه بالایی برخوردار است که حتی تا عمق متناظر با فاصله الکترودی $AB/2 = 200 \text{ m}$ نیز اثری از لایه آبدار در این محدوده دیده نمی‌شود.

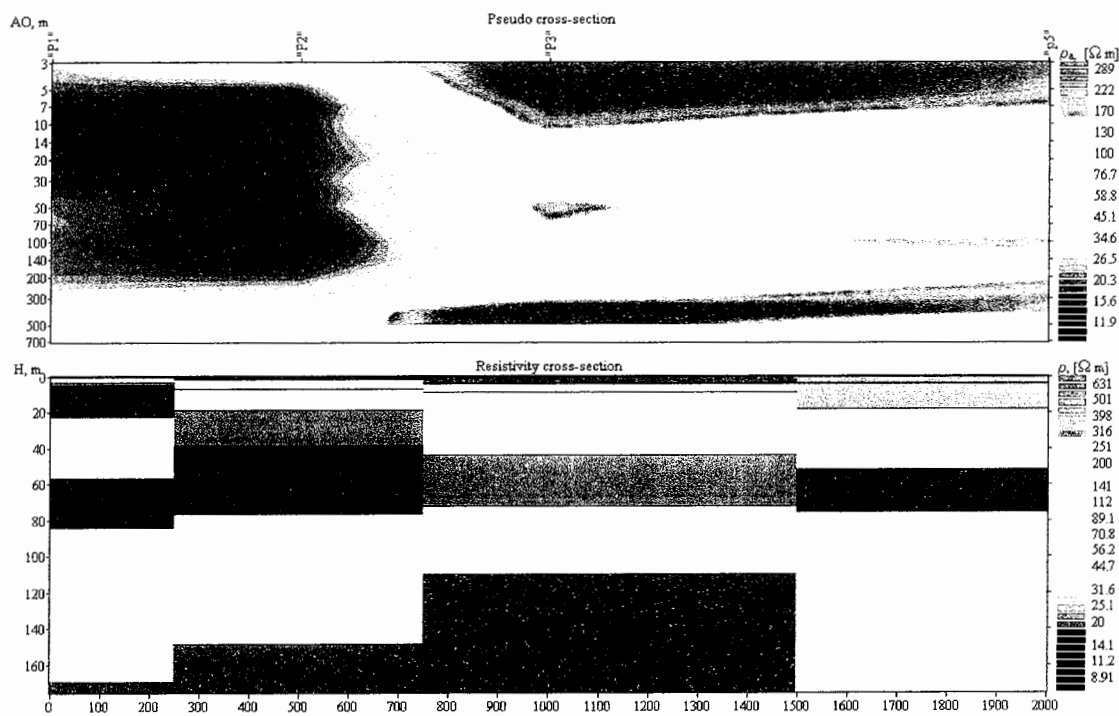
۴-۳- نتایج حاصل از تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Ipi2win

نرم‌افزار Ipi2win یک نرم‌افزار قوی و مناسب برای مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی است که توسط آن می‌توان منحنی سونداژ حاصل از داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آرایش‌های شلومبرژر، ونر، دوقطبی-دوقطبی و قطبی-قطبی را ترسیم نموده و به‌طور دستی یا اتوماتیک، بهترین منحنی سونداژ تئوری منطبق با آن را به دست آورد. مزیت مهم این نرم‌افزار این است که می‌توان پارامترهای مختلف مدل یا داده‌های ورودی را درحین استفاده از نرم‌افزار، در صفحه مربوط به داده‌های ورودی یا شبه مقطع مقاومت‌ویژه رسم شده، با استفاده از صفحه کلید یا موس، تغییر داد. به محض اعمال چنین تغییراتی در داده‌های ورودی یا پارامترهای مدل، نتایج تک تک تغییرات، در منحنی صحرایی یا مدل به‌دست‌آمده، قابل مشاهده و بررسی می‌باشد.

برای هر سونداژ، به‌طورمجزا مدل‌سازی معکوس صورت گرفته و مدل لایه‌ای زیرسطحی در محدوده سونداژ مذکور، متشکل از ضخامت و مقاومت‌ویژه لایه‌ها تعیین گردیده است. سپس مدل‌های به‌دست‌آمده بر روی پروفیل‌های مربوطه که در دو امتداد عمودبرهم می‌باشند (شکل ۲-۵)، قرار داده شده و یک مقطع ژئوالکتریکی از مجموع آن‌ها ساخته می‌شود. مهم‌ترین مزیت این نوع مدل‌سازی این است که تغییرات ضخامت و ترکیب لایه‌ها و همچنین تغییرات ایجادشده در روند قرارگیری آن‌ها در زیر هر یک از نقاط برداشت، به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد. نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل‌های ۱ تا ۱۰ با استفاده از نرم‌افزار Ipi2win در شکل‌های (۴-۶) تا (۴-۱۵) ارائه شده که به‌طور مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۳-۱- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۱

در شکل زیر، شبه مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری به همراه مقطع ژئوالکتریکی مقاومت‌ویژه حقیقی برای پروفیل ۱ (با راستای تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P5 به P1) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر مقاومت‌ویژه در محدوده سونداژهای P1 و P2 و همچنین در محدوده سونداژهای P3 و P5 تا حدودی مشابه می‌باشد. مقادیر مقاومت‌ویژه در بخش شمالی این پروفیل و به خصوص برای لایه‌های سطحی نسبتاً بالا است، اما در قسمت جنوبی پروفیل (نقاط P1 و P2) مقادیر مقاومت‌ویژه کاهش می‌یابد.

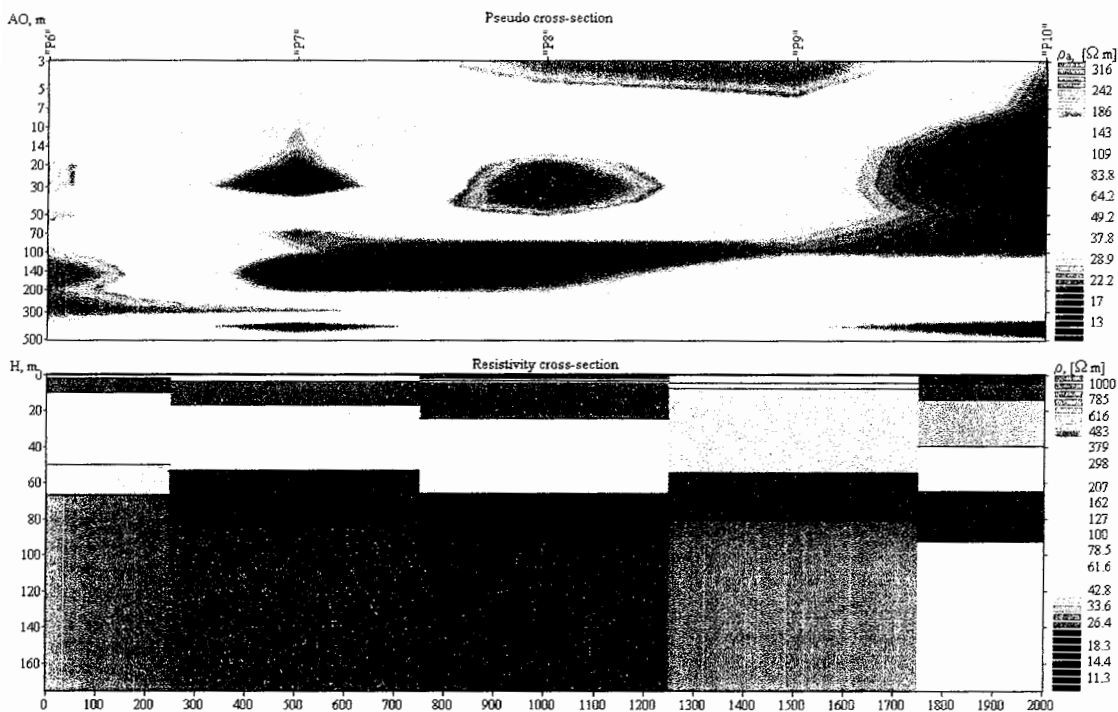


شکل ۴-۶- شبه مقطع مقاومت‌ویژه منطبق بر پروفیل ۱.

به‌طور کلی در امتداد این پروفیل، در حدود عمق ۴۷-۵۶ متری، لایه آبدار که به‌طور متوسط ۲۷ متر ضخامت دارد، مشاهده می‌شود. در محدوده سونداژ P2، قبل از برخورد به لایه آبدار، لایه‌های کم مقاومتی (با مقاومت‌ویژه کمتر از لایه آبدار) مشاهده می‌گردد که علت آن را می‌توان حضور میزان رس بالا در این لایه‌ها تفسیر نمود. این مطلب را می‌توان با انجام برداشت‌های پلاریزاسیون القایی، بررسی نمود.

۴-۳-۲- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۲

نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌ها در طول پروفیل ۲ (با راستای تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P10 به P6) در شکل زیر نشان داده شده است. وضعیت لایه‌ها در محدوده کلیه نقاط به‌خصوص سونداژ P6، بسیار متغیر است. تغییرات سطحی مقاومت‌ویژه را می‌توان به تغییرات شدید مشخصات لایه‌ها (ترکیب، دانه‌بندی، تخلخل و غیره) نسبت داد. بعد از یک‌سری تغییرات سطحی، مقاومت‌ویژه لایه‌ها کاهش می‌یابد که می‌توان یکی از دلایل آن را رطوبت ناشی از لایه آبدار موجود در عمق پایین‌تر دانست.

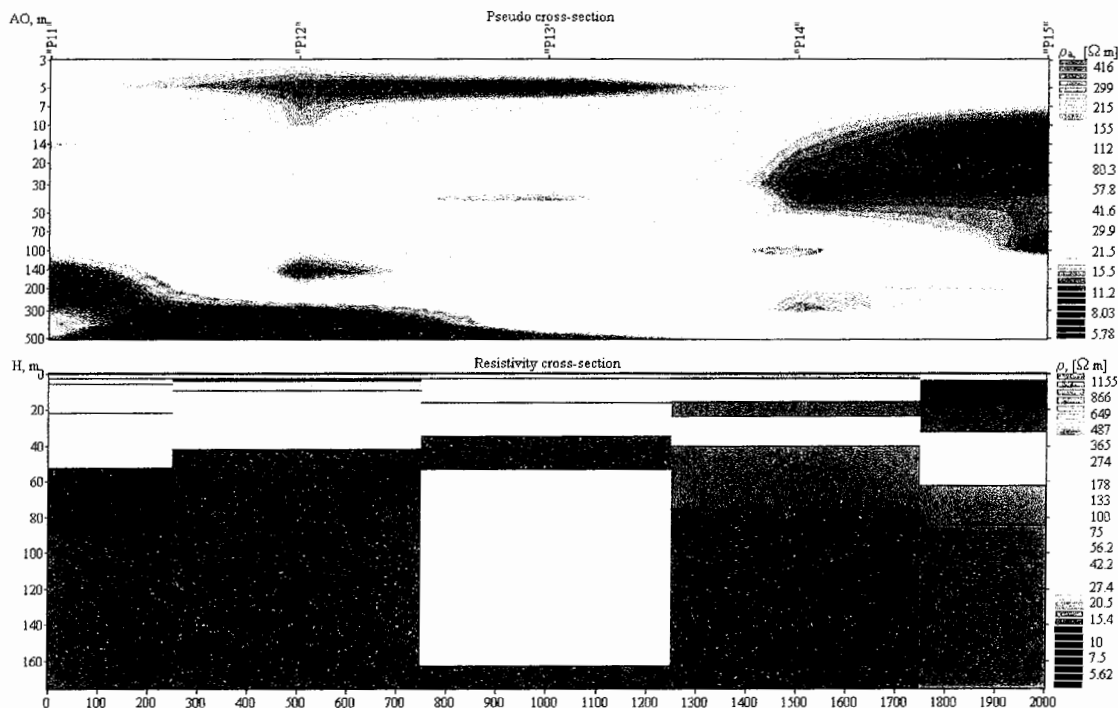


شکل ۴-۷- شبه مقطع مقاومت‌ویژه منطبق بر پروفیل ۲.

نکته قابل توجه در امتداد این پروفیل، محدوده سونداژ P6 است. همانطور که در شبه مقطع مقاومت‌ویژه ظاهری و مقطع ژئوالکتریک مقاومت‌ویژه حقیقی مشاهده می‌شود، در این محدوده، هیچ پتانسیل آبی به چشم نمی‌خورد. این مطلب، در نتایج حاصل از پروفیل ۶ (شکل ۴-۱۱) نیز به‌وضوح قابل تشخیص می‌باشد.

۴-۳-۳- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۳

با بررسی نتایج به دست آمده برای پروفیل ۳ (با راستای تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P15 به P11)، حضور لایه آبدار در تمامی نقاط مشاهده می‌شود. حداقل عمق سطح لایه آبدار در این امتداد، در محدوده سونداژ P13 و بیش از ۳۰ متر می‌باشد. در این محدوده، لایه آبدار کمترین ضخامت را دارد. به طور کلی در امتداد این پروفیل، بعد از عبور از لایه آبدار مقدار مقاومت ویژه در تمام نقاط بلافاصله افزایش می‌یابد. البته، مقادیر مقاومت ویژه در بخش شمالی نسبت به قسمت‌های جنوبی پروفیل کمتر است. حداکثر عمق کف سفره در این امتداد حدود ۸۷ متر و در محدوده سونداژ P11 می‌باشد.

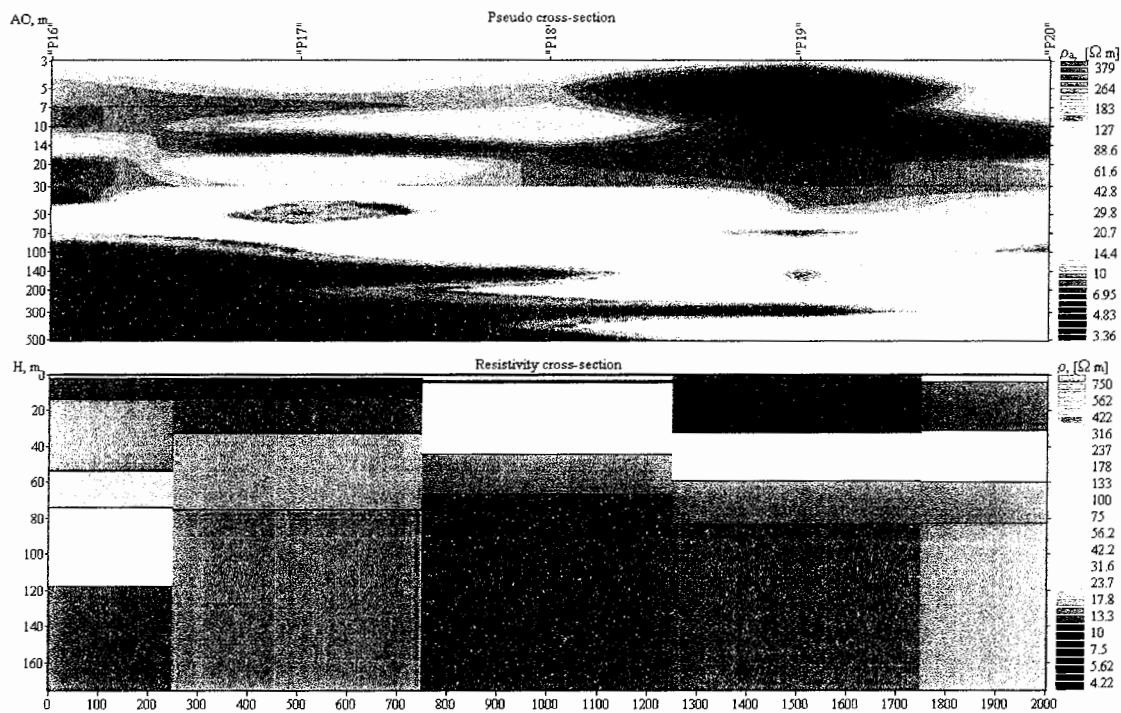


شکل ۴-۸- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۳.

۴-۳-۴- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۴

شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری به همراه مقطع ژئوالکتریک مقاومت ویژه حقیقی برای پروفیل ۴ (با راستای تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P20 به P16)، در شکل زیر نشان داده شده است. حضور لایه آبدار با ضخامت حدود ۲۰ متری در محدوده تمام نقاط به وضوح مشاهده می‌شود. البته، ضخامت این لایه در محدوده سونداژ P17 بیشتر از سایر مناطق است. مقاومت ویژه لایه‌های

سطحی درامتداد این پروفیل، پایین است که باتوجه به عدم وجود آب های سطحی در منطقه (باتوجه به اطلاعات به دست آمده از منابع مختلف نظیر گمانه های حفاری و زمین شناسی منطقه)، تغییرات مقاومت ویژه در این مناطق را می توان به تغییرات مشخصات لایه ها در نقاط مختلف و درصد دانه های رسی بیشتر، نسبت داد. در این مناطق می توان از روش های پلاریزاسیون القایی (برای تشخیص میزان رس) و پتانسیل خودزا (برای تشخیص تغییرات لایه های سطحی مثل رطوبت و غیره) کمک گرفت. به طور کلی، مقاومت ویژه لایه آبدار درامتداد این پروفیل، در مقایسه با پروفیل های قبلی بیشتر است که احتمالاً می تواند به علت وجود املاح کمتر و یا مقدار رس کمتر در این منطقه باشد. با نمونه گیری مستقیم از این منطقه و انجام آزمایشات لازم، می توان بررسی دقیق تری انجام داد.



شکل ۴-۹- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۴.

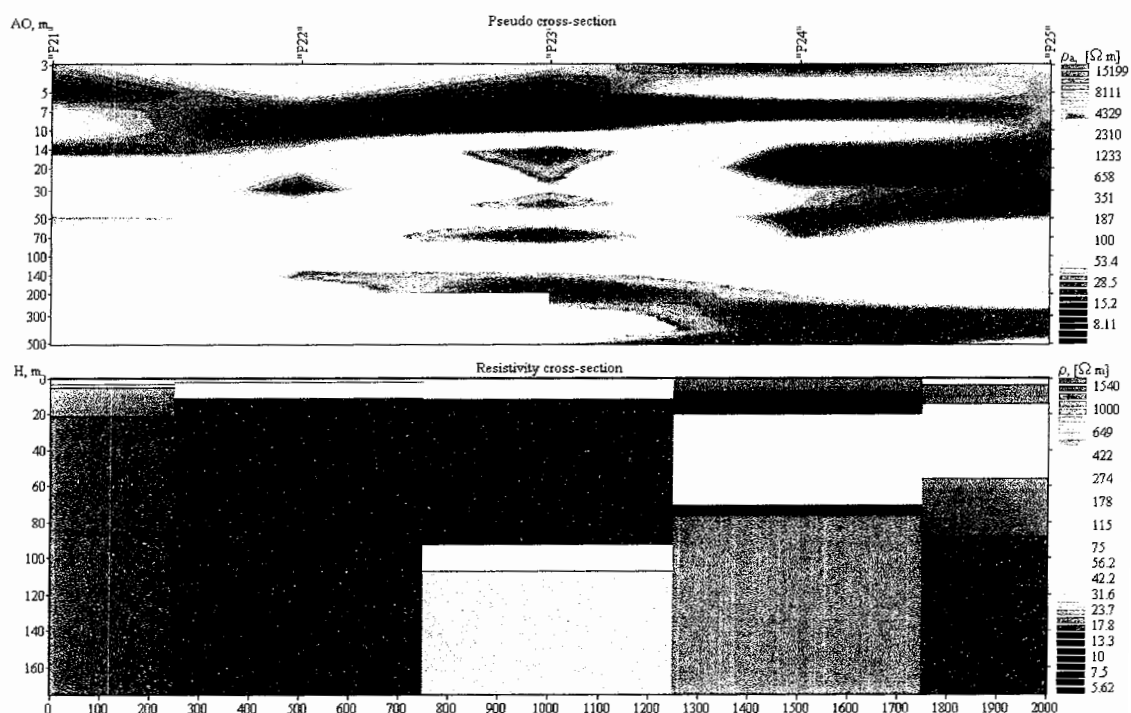
۴-۳-۵- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۵

در شکل زیر، نتایج مربوط به پروفیل ۵ (با راستای تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P25 به P21)، نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، وضعیت لایه‌ها در طول این پروفیل و به‌خصوص در محدوده سونداژهای P21، P22 و P23 متغیر و مقادیر مقاومت ویژه بسیار بالا است. دلیل این امر، نزدیکی این پروفیل به ارتفاعات واقع در حاشیه غربی منطقه مورد مطالعه (خارج از محدوده آنومالی شماره ۳) است که احتمالاً حضور توده‌های مقاوم واقع در اعماق پایین‌تر، باعث افزایش مقاومت ویژه و انتقال آب‌های این منطقه به طرف مرکز منطقه مورد مطالعه شده است.

به‌طور کلی، در محدوده سونداژهای مذکور هیچگونه لایه آبداری مشاهده نمی‌شود، اما با دور شدن از این منطقه، در محدوده سونداژ P25 لایه آبداری با ضخامت تقریبی ۳۰ متر و در عمق حدود ۵۵ متری ظاهر می‌شود. همچنین، احتمال وجود لایه آبدار کم ضخامت در عمق حدود ۷۰ متری نیز در محدوده سونداژ P24 نیز وجود دارد.

لازم به ذکر است که حداکثر فاصله الکترودی در نقاط P21 و P22 برابر با $AB/2=200m$ بوده است.

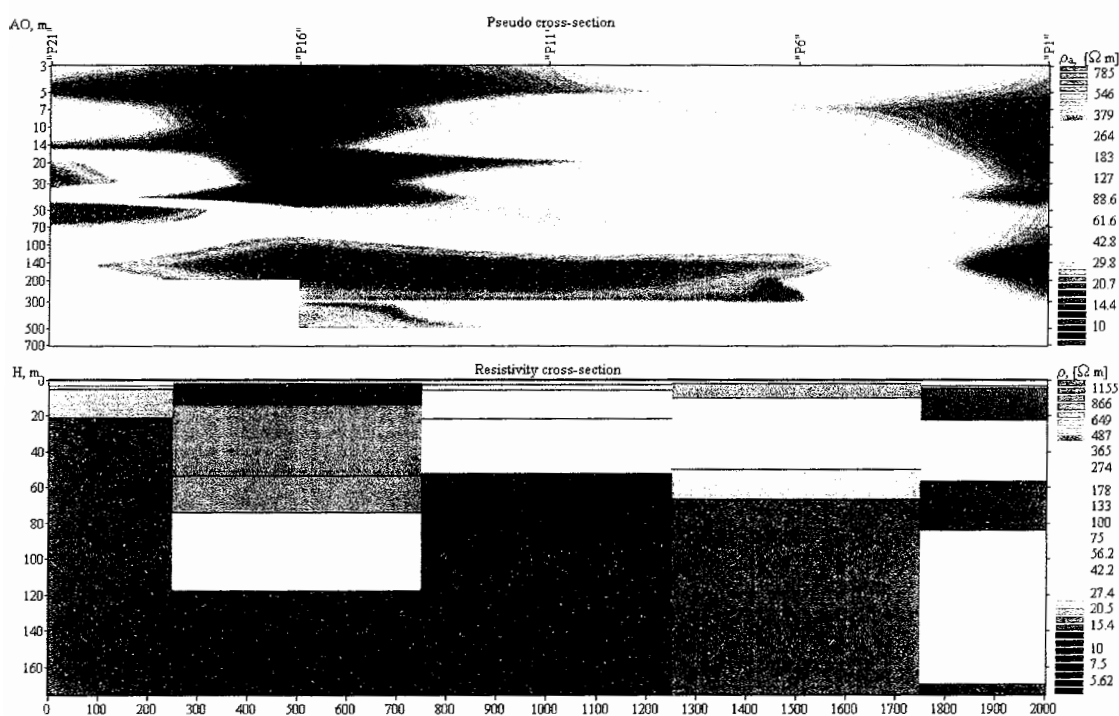


شکل ۴-۱۰- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۵.

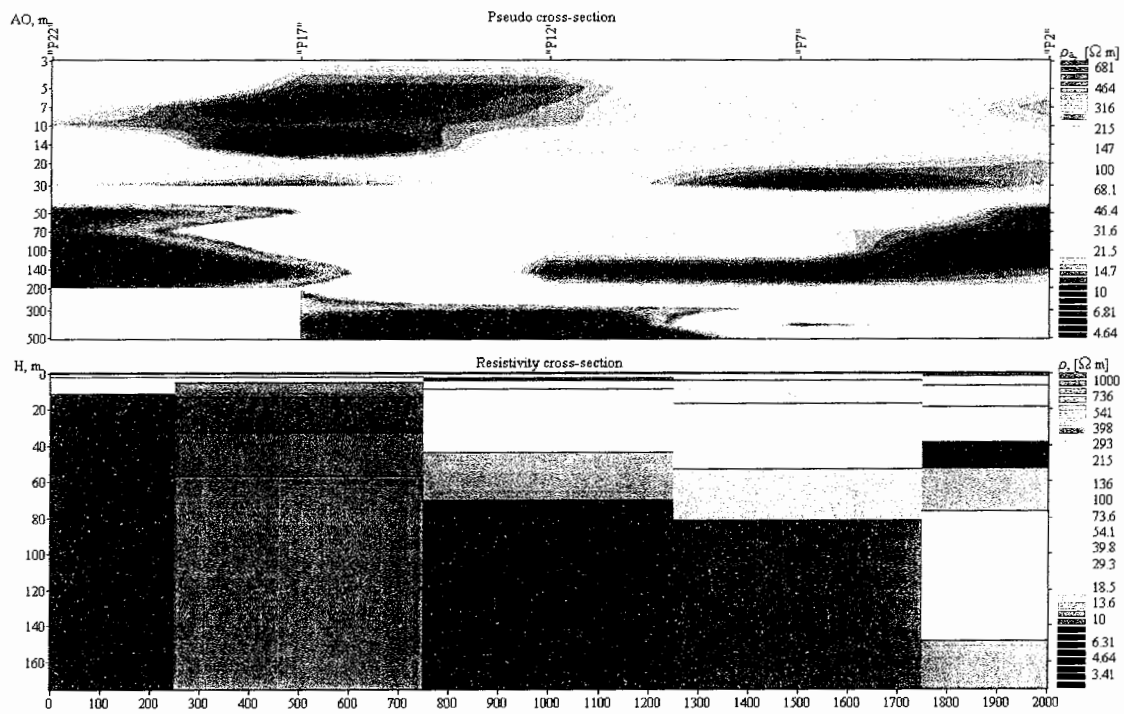
همان طور که قبلاً نیز بیان شد، باتوجه به شبکه مربعی منظم برداشت داده‌ها، تغییرات مقاومت‌ویژه در دو امتداد عمودبرهم مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به اینکه نتایج مربوط به پروفیل‌های ۷ تا ۱۰ (با امتداد تقریبی شرقی-غربی) نیز به‌طور مشابه است، از تکرار مطالب پرهیز نموده و فقط شبه مقاطع مقاومت‌ویژه ظاهری به همراه مقاطع ژئوالکتریکی مقاومت‌ویژه حقیقی (شکل‌های ۴-۱۲ تا ۴-۱۵) ارائه شده است.

۴-۳-۶- نتایج مدل‌سازی داده‌ها بر روی پروفیل ۶

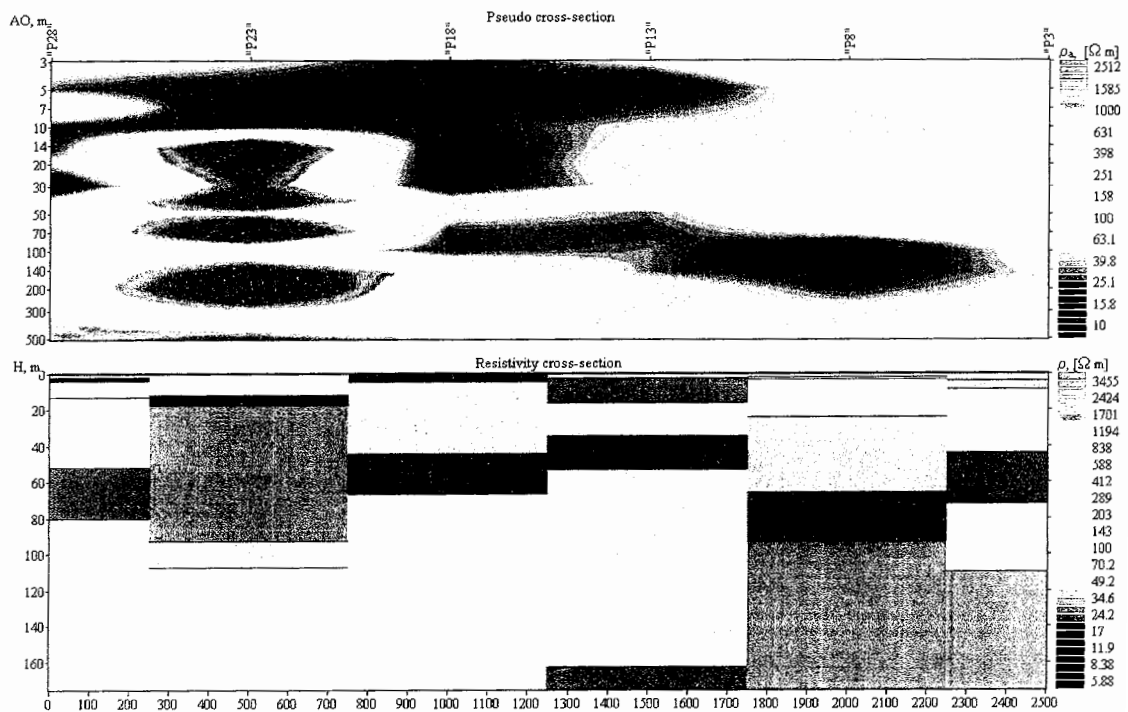
در شکل زیر، نتایج مربوط به پروفیل ۶ که جنوبی‌ترین پروفیل برداشت شده در منطقه (با راستای تقریبی شرقی-غربی از نقطه P1 به P21) می‌باشد، نشان داده شده است. در اینجا نیز مشاهده می‌شود که در محدوده P6 هیچ لایه آبداری وجود ندارد. این مسئله توسط تفسیرهای یک‌بعدی (فصل سوم) و نتایج مربوط به پروفیل ۲ نیز تأیید شده است.



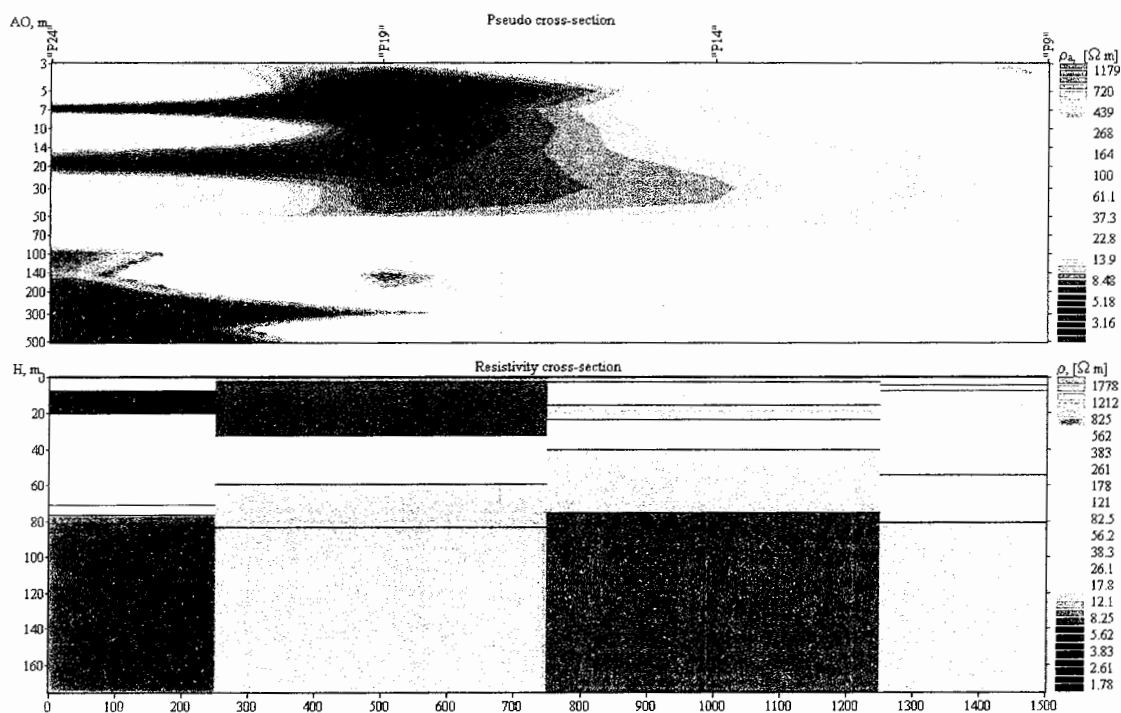
شکل ۴-۱۱- شبه مقطع مقاومت‌ویژه منطبق بر پروفیل ۶.



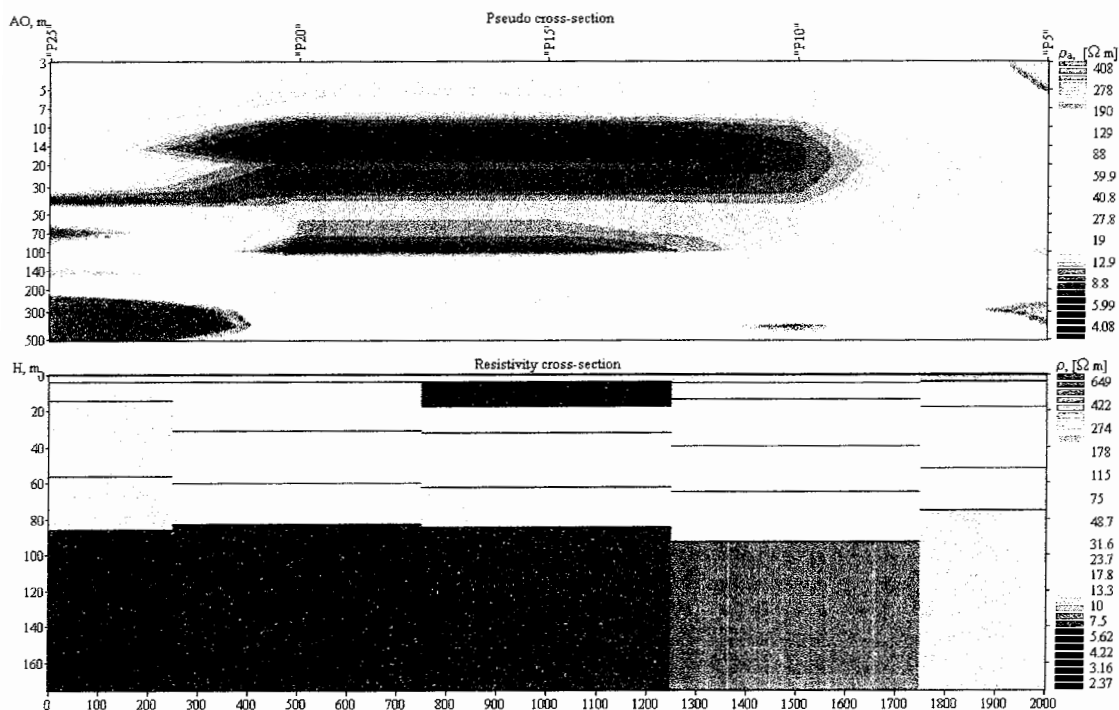
شکل ۴-۱۲- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۷.



شکل ۴-۱۳- شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۸.



شکل ۴-۱۴ - شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۹.



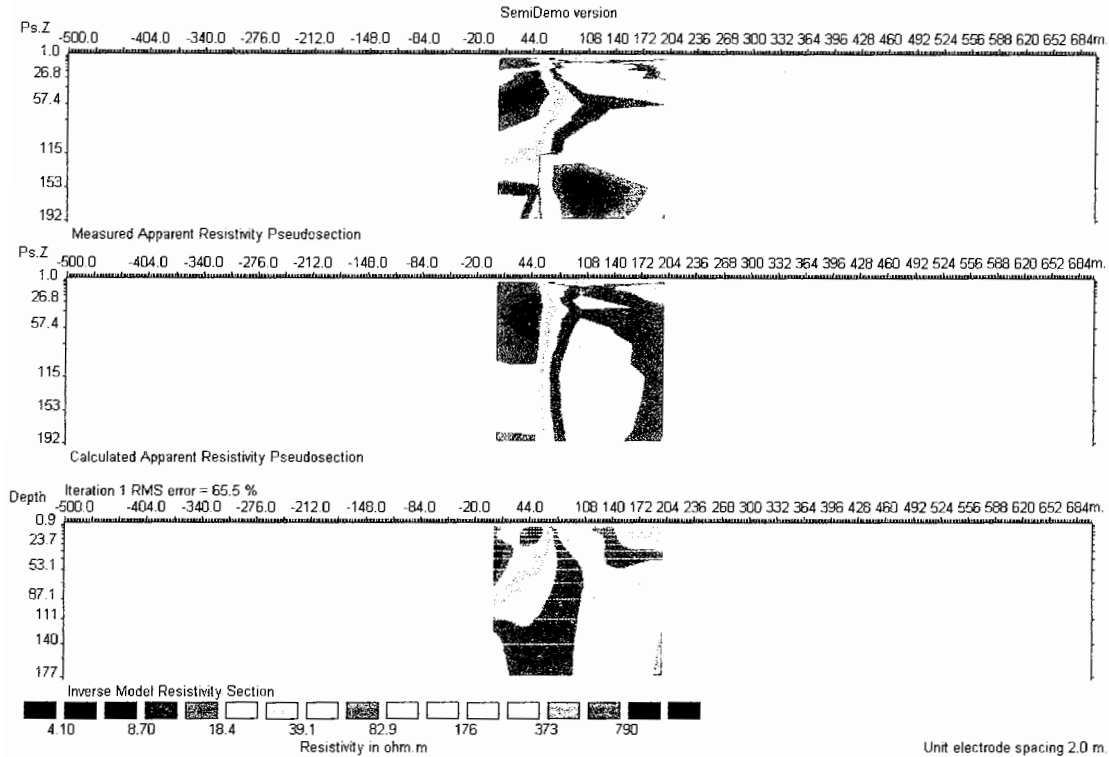
شکل ۴-۱۵ - شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱۰.

۴-۴- نتایج حاصل از تفسیر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Res.2d.inv.

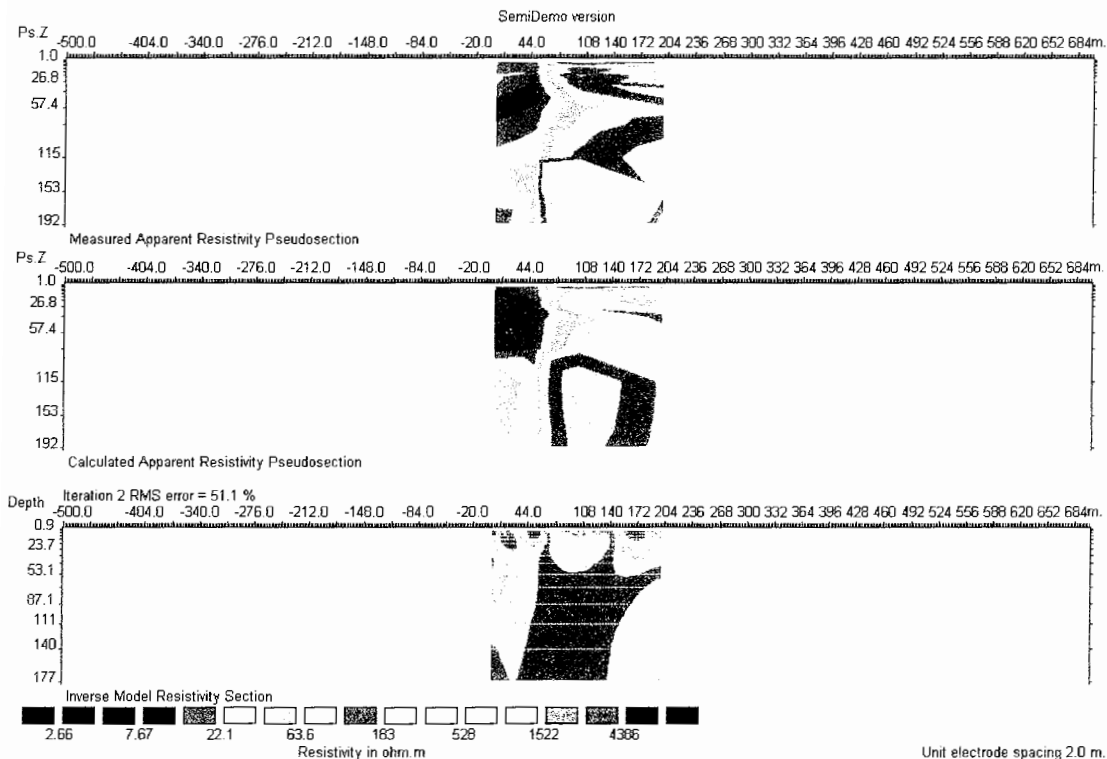
به منظور مدل‌سازی دوبعدی داده‌ها، نرم‌افزار Res.2d.inv. برای پروفیل‌های ۱ تا ۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که مدل‌سازی مربوطه با استفاده از مدل Semi Demo این نرم‌افزار که قابلیت انجام تنها ۳ مرحله تکرار را دارد، انجام شده است. پیش‌بینی می‌شود با استفاده از برنامه کامل این نرم‌افزار و افزایش مراحل تکرار، بتوان مقدار خطا را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. به هر حال مدل‌سازی دوبعدی برای تمام پروفیل‌ها انجام شده که با توجه به مقدار بالای خطای محاسباتی نرم‌افزار، در اینجا فقط یک نمونه از آن نشان داده شده است.

شبه‌مقطع مقاومت‌ویژه در امتداد پروفیل ۱ (با امتداد تقریبی شمالی-جنوبی از نقطه P5 به P1) در شکل زیر نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، مقدار RMSerror نسبتاً بالا است که علت آن عدم تطابق داده‌ها (داده‌های مدل نسبت داده شده به مقطع و داده‌های اندازه‌گیری شده) می‌باشد.

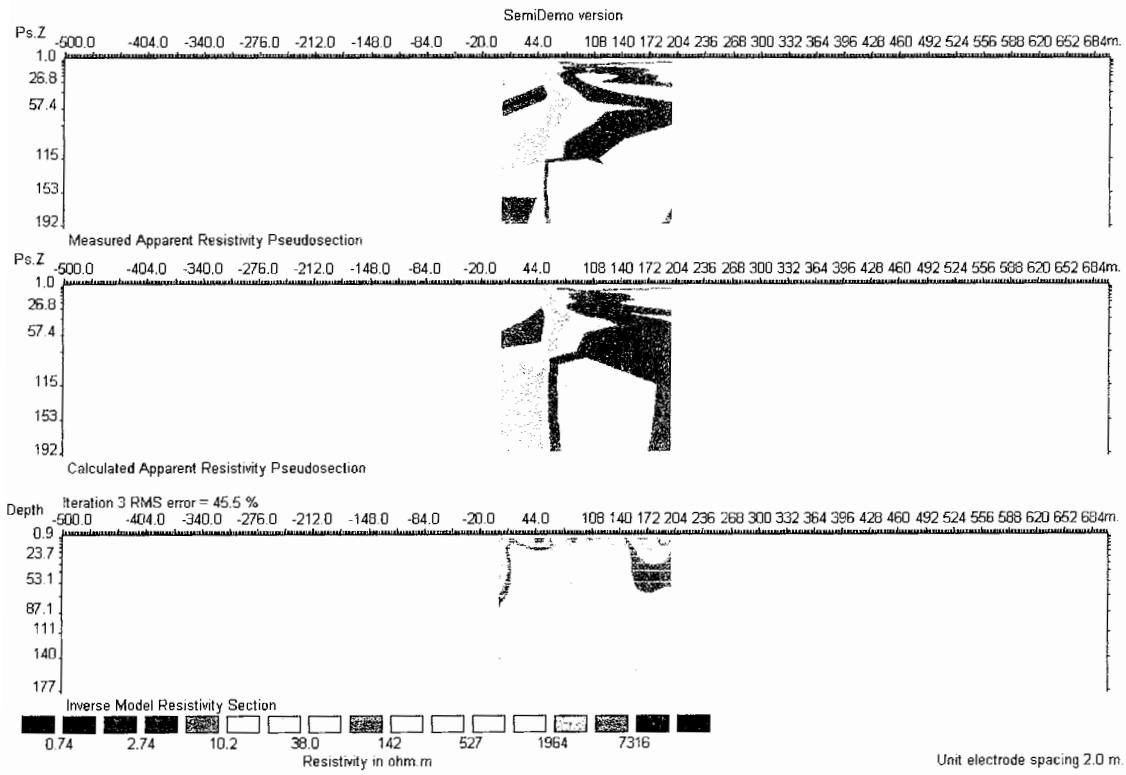
همان‌طور که از این شبه‌مقطع دیده می‌شود (شکل ۴-۱۸)، لایه آبدار در مرکز محدوده دیده نمی‌شود، ولی در سمت راست و چپ (نقاط P1، P2 و P3) لایه آبدار با مقاومت‌ویژه حدود ۱۵-۲۵ اهم-متر به چشم می‌خورد. این لایه آبدار از نظر عمقی تغییر زیادی پیدا کرده که با نتایج تفسیر مقاطع دوبعدی قبلی ذکر شده در این فصل، تطابق ندارد و علت آن نیز همان درصد بالای خطای محاسباتی نرم‌افزار است.



شکل ۴-۱۶- شبه مقطع مقاومت‌ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در اولین تکرار.



شکل ۴-۱۷- شبه مقطع مقاومت‌ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در دومین تکرار.



شکل ۴-۱۸ - شبه مقطع مقاومت ویژه منطبق بر پروفیل ۱ در سومین تکرار.

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

آب‌های زیرزمینی و ساختارهای زمین‌شناسی مانند سیستم گسل‌ها در یک منطقه معدنی ممکن است مشکلات زیادی در حین عملیات استخراج یا معدن‌کاری به وجود آورند. بنابراین، بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی و ساختارهای زمین‌شناسی قبل از آغاز عملیات معدن‌کاری در یک منطقه، امری الزامی است. آب زیرزمینی در معدن شماره ۱ گل‌گهر که در حین استخراج است، مشکلات بسیاری را پدید آورده است. در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن سنگ‌آهن گل‌گهر که در مرحله اکتشاف تفصیلی قرار دارد، علیرغم صرف هزینه‌های بسیار بالا و حفر گمانه‌های متعدد، سطح آب در هیچ‌کدام از این چاه‌ها اندازه‌گیری نشده است. پیش‌بینی می‌شود که مشکلات ناشی از وضعیت آب‌های زیرزمینی در آنومالی شماره ۳ در هنگام استخراج، مشابه مشکلات به‌وجود آمده در معدن شماره ۱ و حتی حادثه‌تر از آن باشد. با توجه به هزینه‌های پایین روش ژئوالکتریک و کاربرد موفقیت‌آمیز این روش در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و مهندسی، با انجام مطالعات ژئوالکتریک در این ناحیه، ضمن دستیابی به اهداف مورد نظر، صرفه‌جویی قابل توجهی در وقت و هزینه‌ها انجام شد.

البته وضعیت زمین‌شناسی پیچیده منطقه و وجود ماده معدنی به صورت لایه‌ای با لایه‌بندی نازک در میان باطله‌ها (به‌عنوان مثال، سیلیس، چرت و غیره) و همچنین شیب‌دار بودن لایه‌ها، تفسیر منحنی‌های سونداژ را با مشکل مواجه نمود که حتی در بعضی نقاط، تفسیر غیرممکن به نظر می‌رسید. به‌طور کلی، با تفسیر یک بعدی داده‌های سونداژ، عمق سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، بین ۴۰-۶۰ متر با ضخامت حدود ۲۰-۳۵ متر برآورد گردید. مقاومت‌ویژه لایه آبدار نیز در حدود ۱۵-۲۳ اهم-متر تخمین زده شد. پایین بودن مقاومت‌ویژه لایه آبدار به‌علت وجود املاح فراوان در آب و یا وجود رس به همراه لایه آبدار نسبت داده می‌شود. نتایج حاصل از بررسی مقاطع دوبعدی داده‌ها نیز، موارد مذکور را تأیید نموده است.

همچنین، بخش غربی منطقه مورد مطالعه فاقد لایه آبدار است. باتوجه به مشخصات ظاهری و شیب منطقه، امکان نفوذ آب حاصل از ریزش‌های جوی به داخل زمین در بخش غربی بسیار کم و شاید غیرممکن بوده و احتمال وجود لایه آبدار در این بخش را غیرممکن می‌سازد. لازم به ذکر است که توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در بخش غربی شدیدتر بوده و در نهایت به ارتفاعات برخورد می‌کند که البته جزو محدوده مورد مطالعه نبوده است.

۵-۲- پیشنهادات

بر اساس نتایج حاصل و برای ادامه مطالعات، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- برای کنترل دقیق تر تغییرات جانبی مقاومت ویژه و همچنین بررسی و تشخیص حضور گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه، چند برداشت پروفیل‌زنی مقاومت ویژه، انجام شود. باتوجه به نتایج حاصل از تفسیر با نرم‌افزار Ipi2win، پیشنهاد می‌گردد پروفیل‌های ۱، ۶ و ۸ در اولویت قرار گیرد.
- در اکثر نقاط برداشت شده، لایه‌های سطحی دارای مقاومت ویژه متغیری هستند که با انجام برداشت‌های SP، می‌توان دقت بررسی‌ها را افزایش داده و یا حتی علت متغیر بودن احتمالی مقاومت ویژه لایه‌های سطحی را مشخص نمود.
- روش پلاریزاسیون القایی نیز می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای کنترل صحت تفسیرهای انجام شده و رفع برخی ابهامات موجود (به‌عنوان مثال، وجود رس در لایه‌ها و به‌خصوص در لایه آبدار)، مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که در روش مقاومت ویژه، تشخیص وجود رس در لایه آبدار عملاً بسیار مشکل و یا غیرممکن است که با استفاده از روش IP به راحتی می‌توان وجود رس یا لایه رسی را تشخیص داد.

فهرست منابع

فهرست منابع

- ۱- محمدزاده، م.، ۱۳۸۰، ارزیابی شوری خاک و آب‌های زیرزمینی منطقه شکارآباد شاهرود با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، صفحه ۶۲-۶۶.
- ۲- مقدمه‌ای بر توده معدنی شماره ۳ گل‌گهر، ۱۳۸۰، شرکت سنگ‌آهن گل‌گهر، مدیریت امور معدن، مهندسین مشاور کوشامعدن، صفحه ۱-۷، ۲۳-۲۷.
- ۳- کامکار روحانی، ا.، ۱۳۷۹، طرح کاربرد مهندسی ژئوفیزیک در حل مسائل زیست محیطی (آلودگی خاک و آب)، گروه ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود، صفحه ۱-۶.
- ۴- نعمتی، م.، ۱۳۷۷، بررسی ساختاری دگرشکلی مکرر در مجموعه‌های دگرگونه گل‌گهر و خواجه (جنوب غرب سیرجان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی-تکتونیک، دانشگاه شیراز، صفحه ۱-۲۰.
- ۵- رادفر، ش.، ۱۳۷۳، گزارش مطالعات فاز ۱ طرح زهکشی معدن، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر.
- ۶- انصاری، ع.، رئوف، م.، ۱۳۷۰، تلفیق بررسی‌های ژئوالکتریک و حفاری در اکتشاف آب‌های زیرزمینی در منطقه معدنی سنگ‌آهن سنگان، مجموعه مقالات نخستین گردهمایی پژوهش‌های اکتشافی مواد خام موردنیاز صنعت فولاد، دانشکده علوم دانشگاه تهران، صفحه ۴۳۳-۴۶۷.

7- Kamkar Rouhani, A., 2001, Developments in Resistivity Methods for Detection of Subsurface Pollution, Proceedings of the 31st Congress of

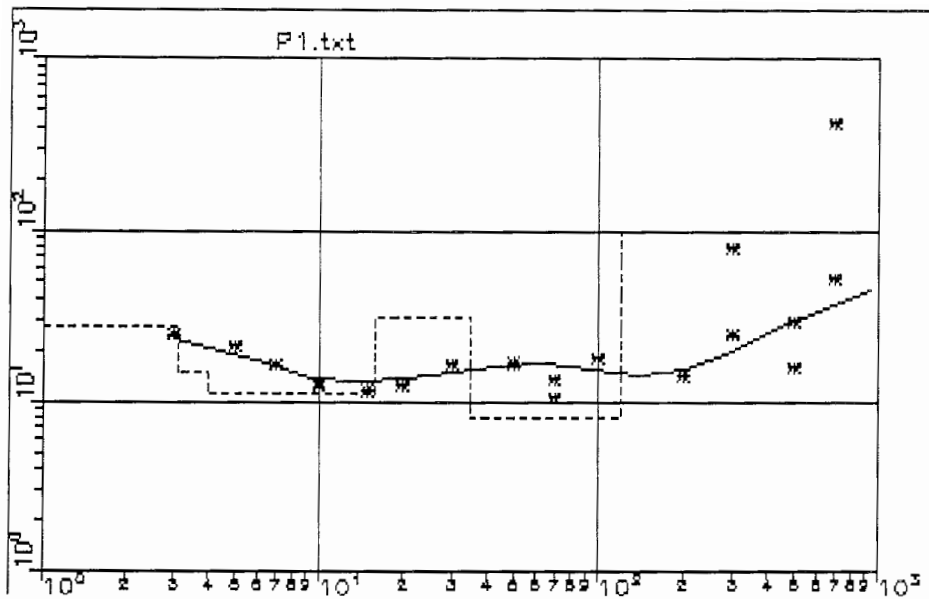
- International Association of Hydrogeologists (IAH).
- 8- Kamkar Rouhani, A, and Uren, N. F., 2000, development and application of electrical residual techniques to detect subsurface anomalous bodies: 62nd Ann. Internat. Mtg., Eur. Assn. Geosci. and Eng., Extended Abstracts.
 - 9- Loke, M.H., 1999, Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies; A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys, pp. 1-4.
 - 10- Reynolds, J. M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, pp. 418-459.
 - 11- Kamkar Rouhani, A, 1997, using multisystem surveys to differentiate the resistivity responses of multiple three dimensional subsurface bodies: Moscow'97 Internat. Geosci. Conf.
 - 12- Dahlin, T., 1996, 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications: First Break, 14, No. 7.
 - 13- Vogelsang, D., 1995, Environmental Geophysics, Springer-Verlag.
 - 14- White, P. A., 1994, electrode arrays for measuring groundwater flow direction and velocity: Geophysics.
 - 15- Zhdanov, M. S., and Keller, G. V., 1994, the geoelectrical methods in geophysical exploration: Elsevier Scientific Publishing Co.
 - 16- Kearey P., Brooks M., 1991, An introduction to geophysical exploration, second edition, (chapter 8, Electrical Surveying), pp. 1-7, 173-197.
 - 17- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics, second edition, Cambridge University Press, pp.522-539.
 - 18- Ward, S. H., 1990, Resistivity and Induced Polarization Methods, in Ward, S. H., Ed., Geotechnical and Environmental Geophysics: Soc. of Explor. Geophys, vol.1, pp.147-189.
 - 19- Milson, J., 1989, Field Geophysics, Geological Society of London Handbook Series, pp.90-97.
 - 20- Barker, R. D., 1981, The Offset System of Electrical Resistivity Sounding and Its Use with a Multicore Cable, Geophys. Prosp., 29, pp. 128-143.
 - 21- Griffiths, D. H., King, R. F., 1981, Applied Geophysics for Geologists and Engineers, Oxford, Pergamon Press.
 - 22- Mooney, H. M., 1980, Handbook of Engineering Geophysics; Electrical

- Electrical Resistivity, Bison Instruments, Inc.
- 23- Oldenburg, D. W., 1978, The Interpretation of Direct Current Resistivity Measurements: Geophysics, 43, pp. 610-625.
- 24- Roy, A., and Apparao, A., 1971, Depth of Investigation in Direct Current Resistivity Prospecting: Geophysics, 36, pp. 943-959.
- 25- Keller, G. V., and Frischknecht, F. C., 1966, Electrical Methods in Geophysical Prospecting: Pergamon Press.
- 26- Van Nostrand, R. G., and Cook, K. L., 1966, Interpretation of Resistivity Data: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 499.
- 27- Zonge Engineering and Research Organization, 1994, The Application of Surface Electrical Geophysics to Groundwater Problems, Electrical Geophysics Seminar Notes, Inc., pp. 2-15.
- 28- www.abem.com
- 29- www.kermoon.com

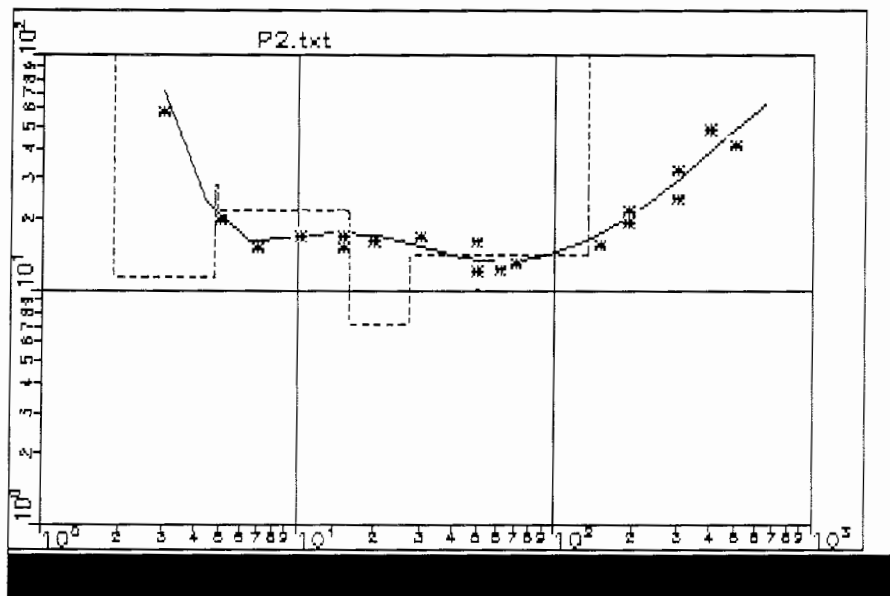
پیوست

پیوست الف: مدل‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار VES

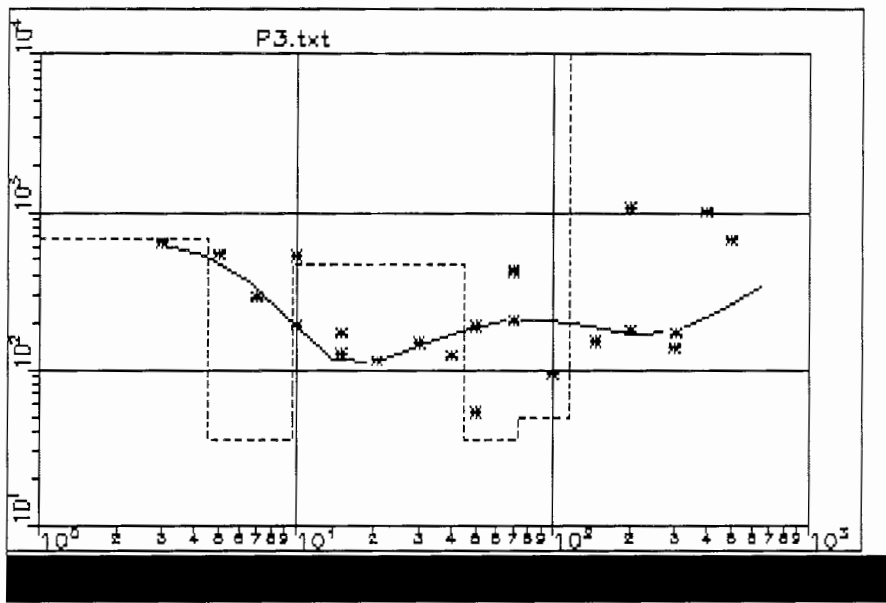
در این پیوست، منحنی‌های تطبیق داده شده با نرم‌افزار VES برای داده‌های سونداژهای مختلف از P1 تا P28 ارائه شده است.



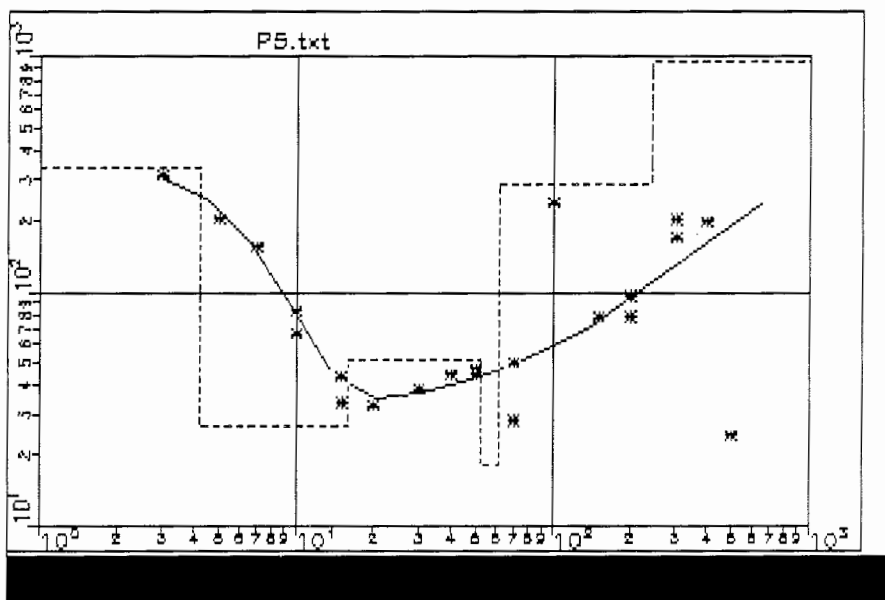
شکل الف-۱- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P1



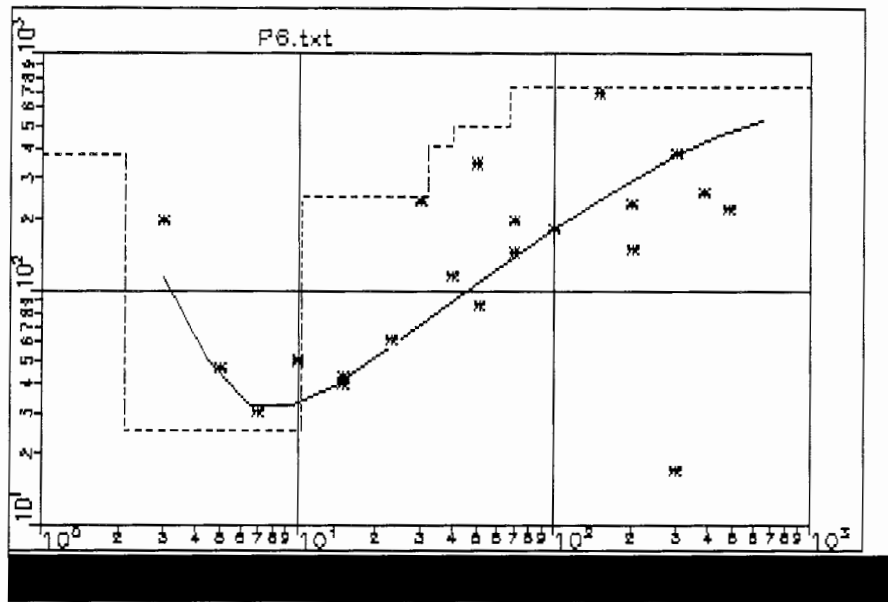
شکل الف-۲- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P2



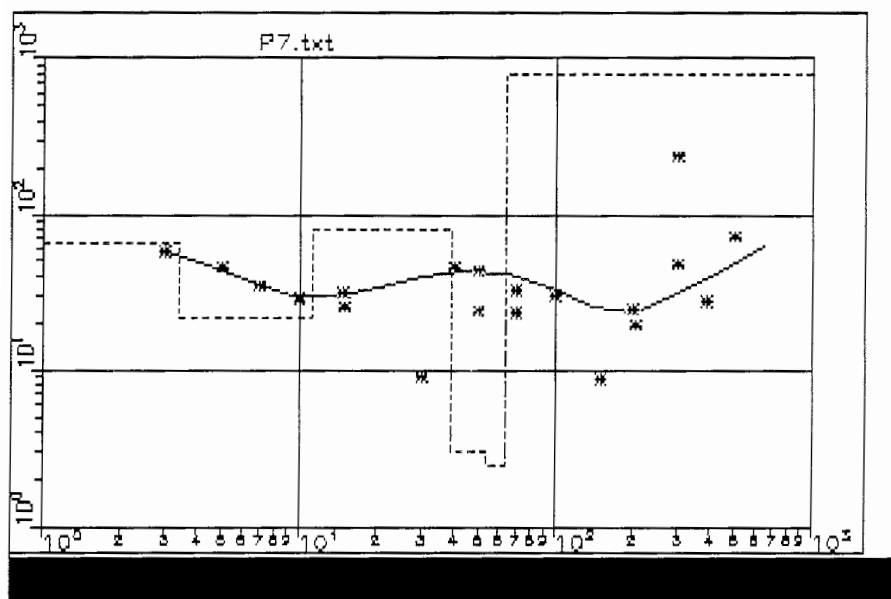
شکل الف-۳- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P3



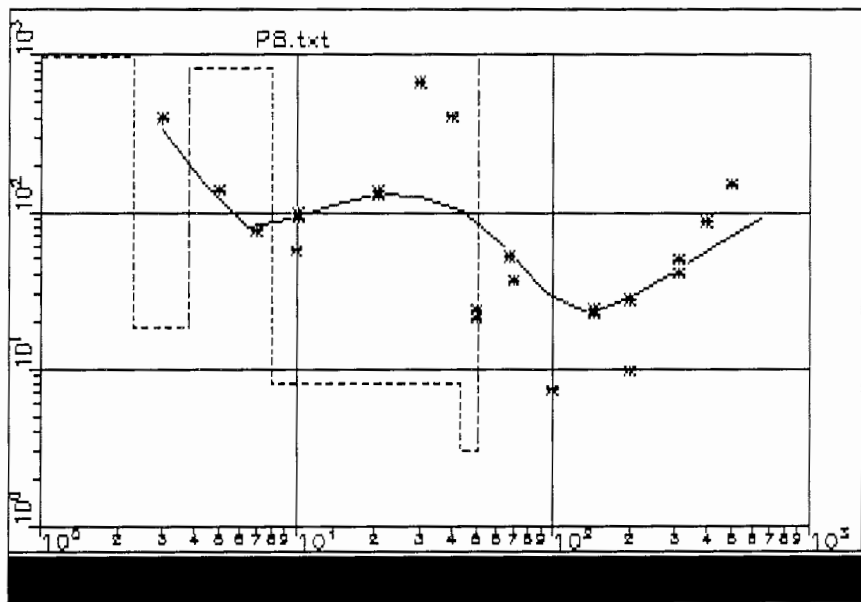
شکل الف-۴- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P5



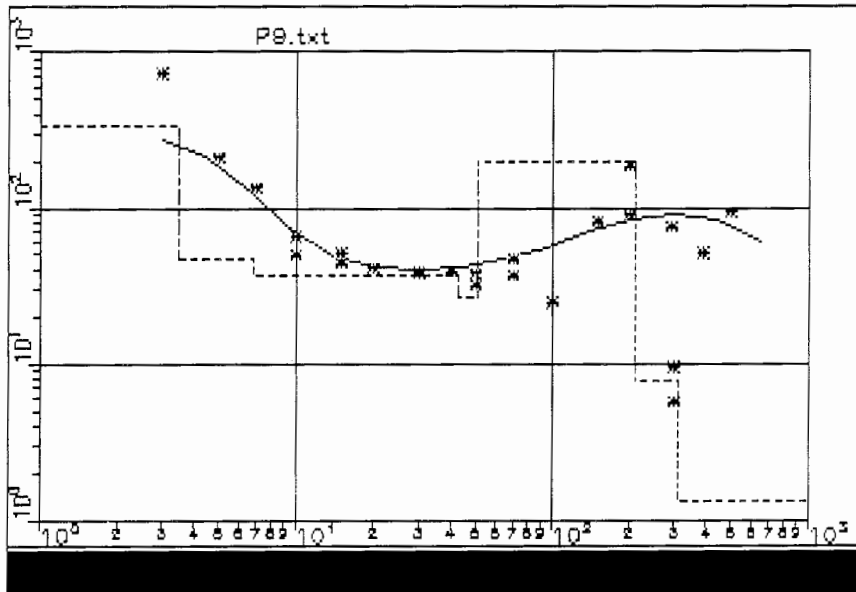
شکل الف-۵- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P6



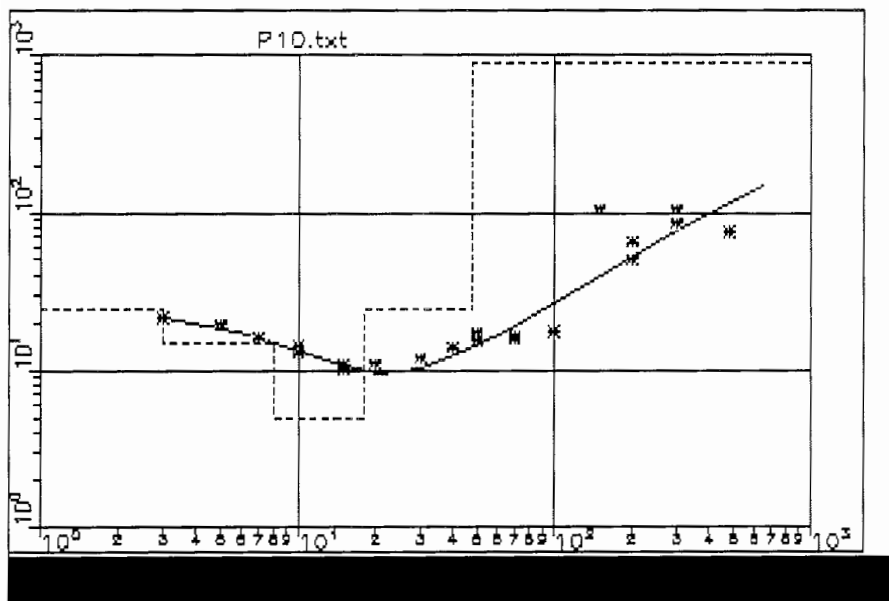
شکل الف-۶- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P7



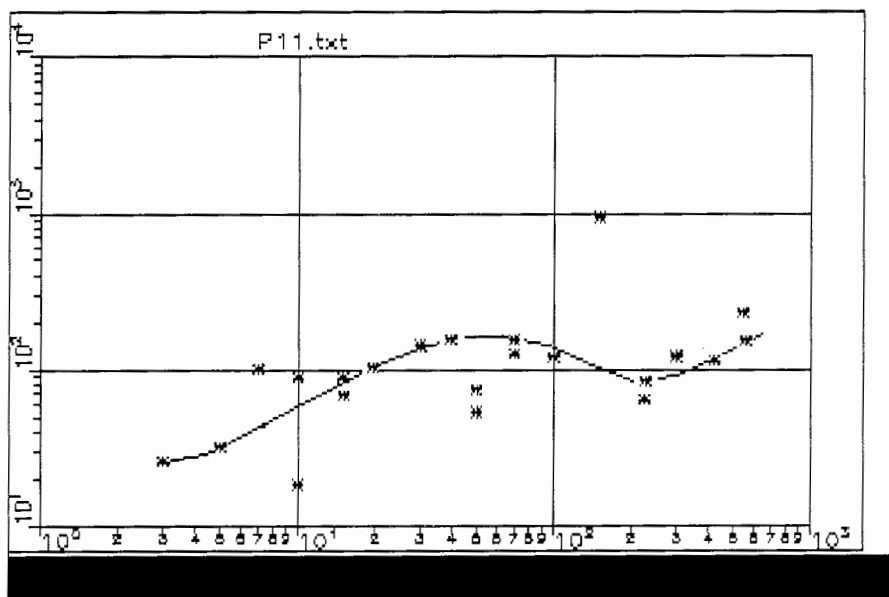
شکل الف-۷- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P8



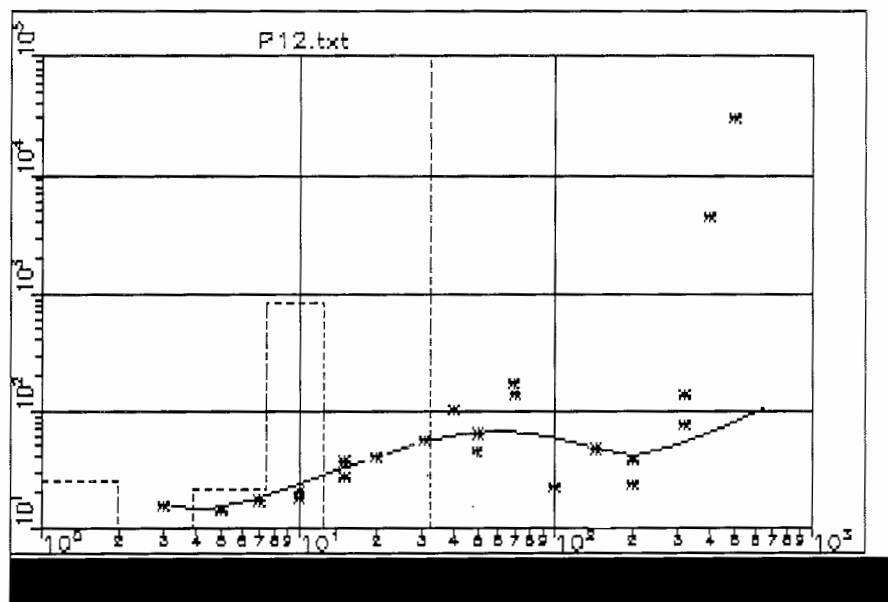
شکل الف-۸- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P9



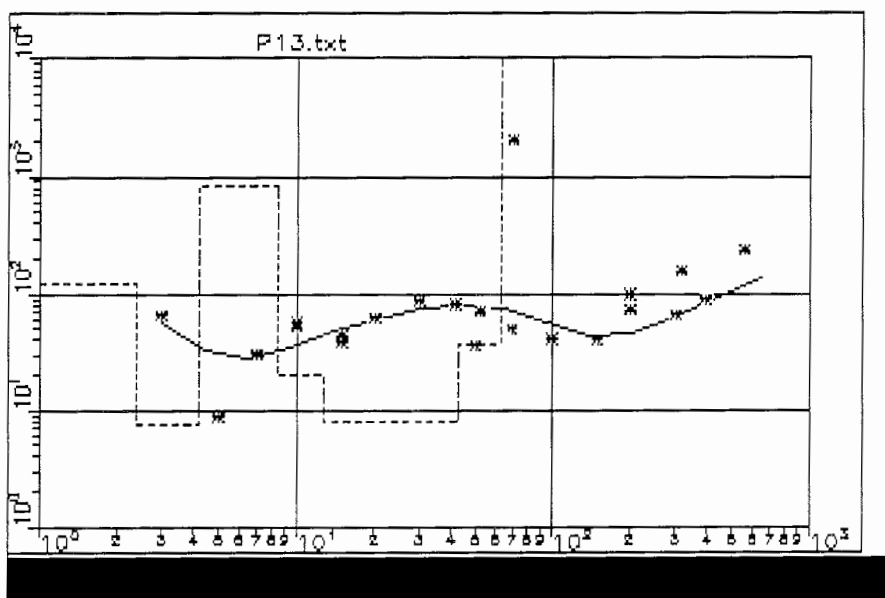
شکل الف-۹- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P10



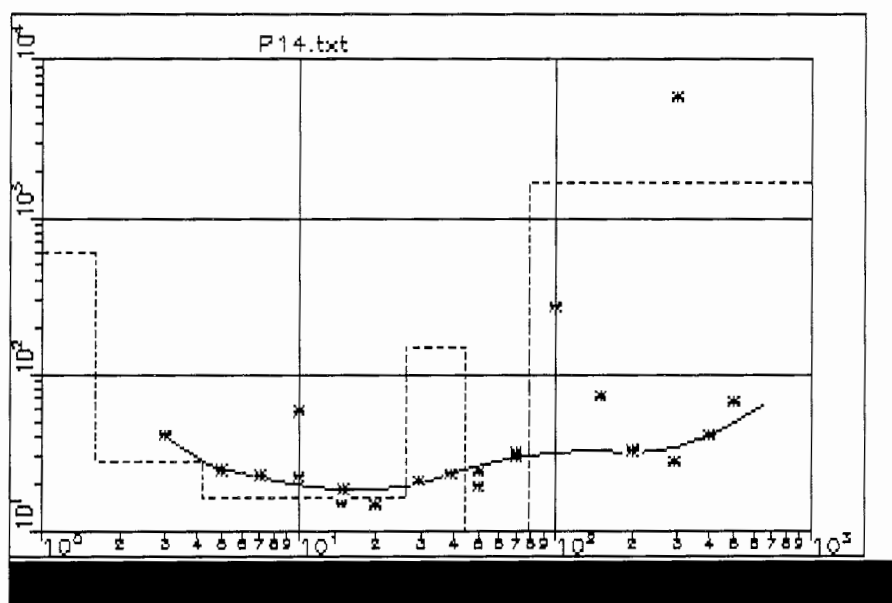
شکل الف-۱۰- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P11



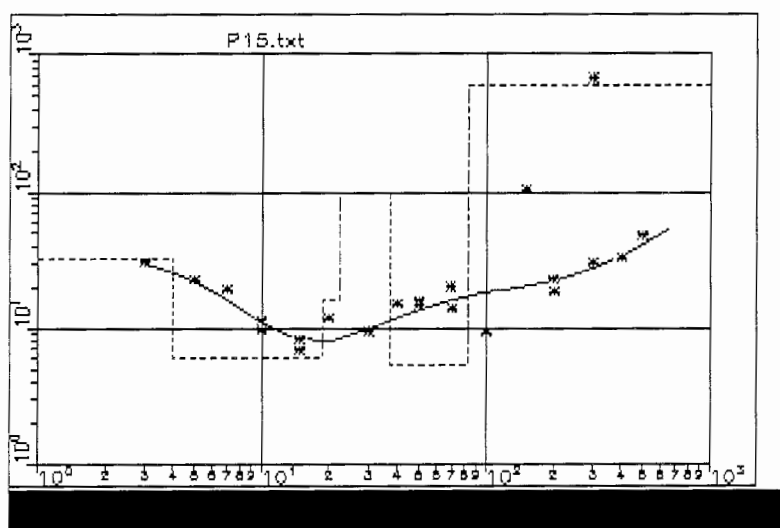
شکل الف-۱۱- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P12



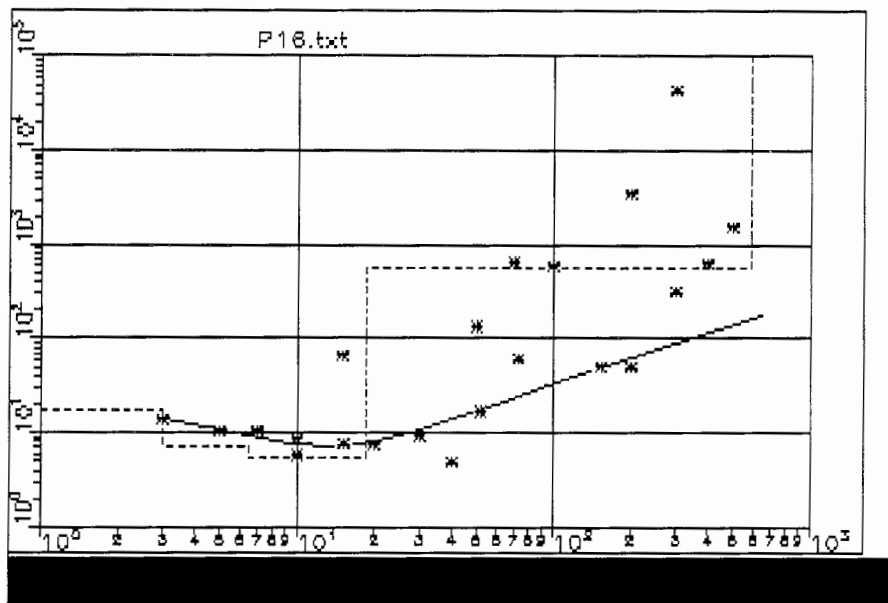
شکل الف-۱۲- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P13



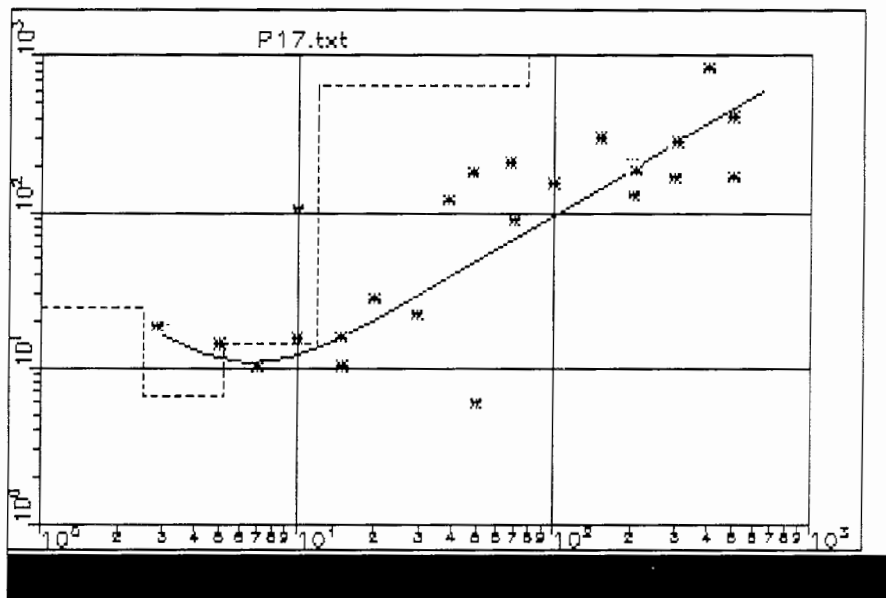
شکل الف-۱۳- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P14



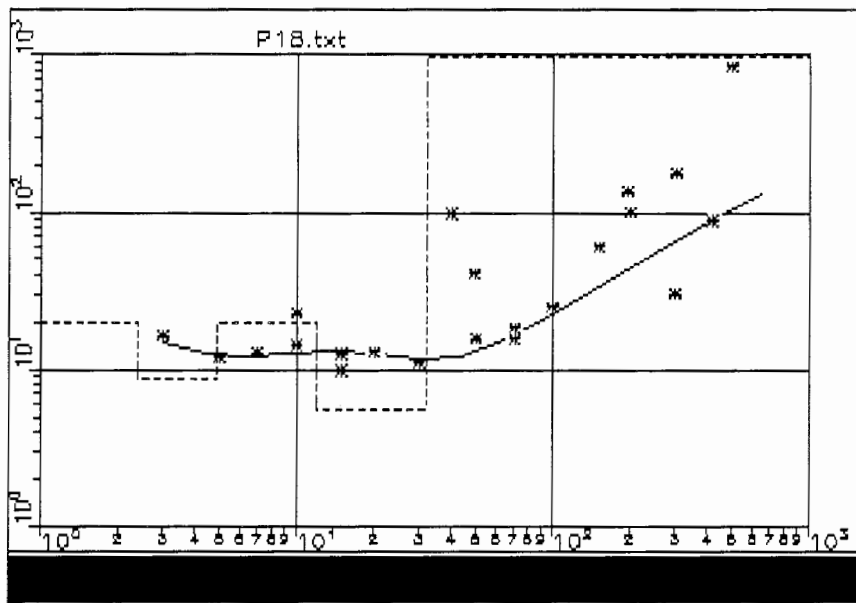
شکل الف-۱۴- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P15



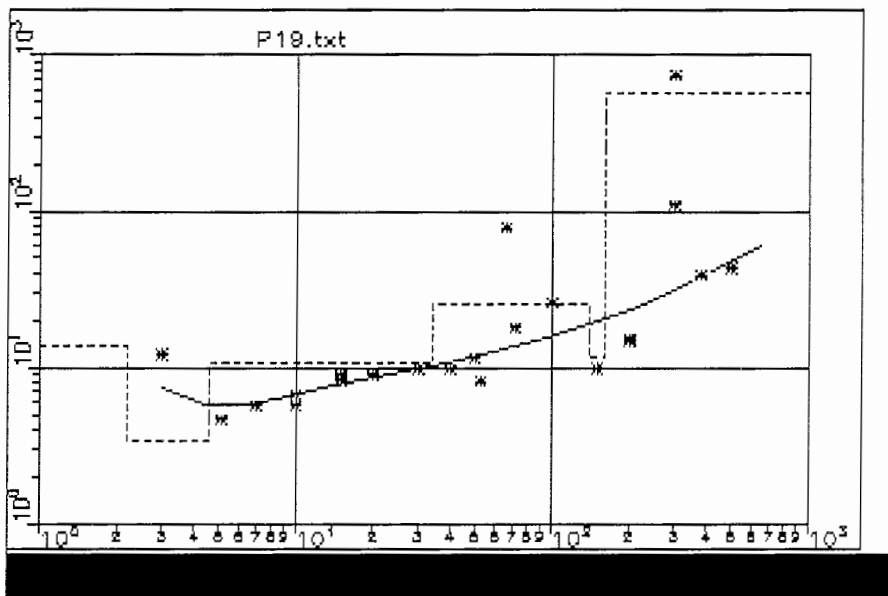
شکل الف-۱۵- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P16



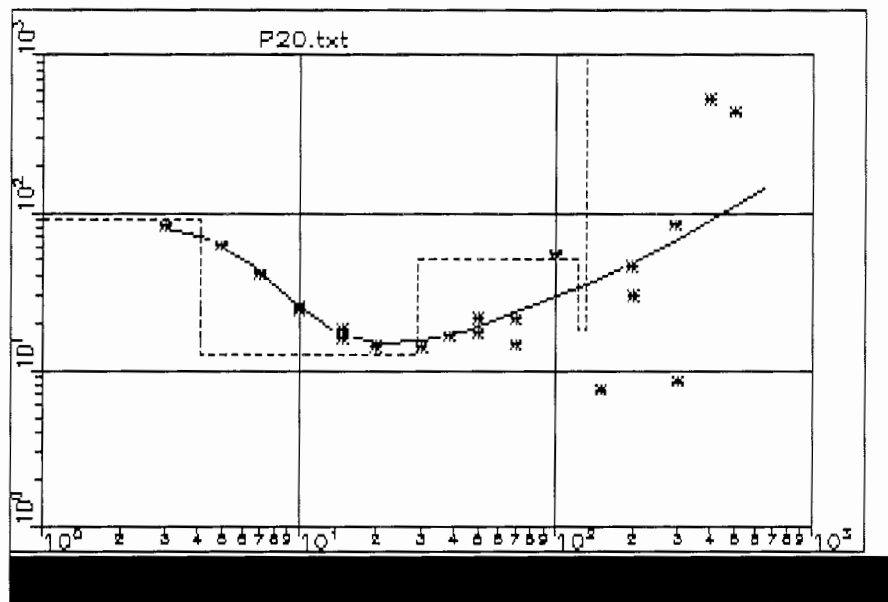
شکل الف-۱۶- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P17



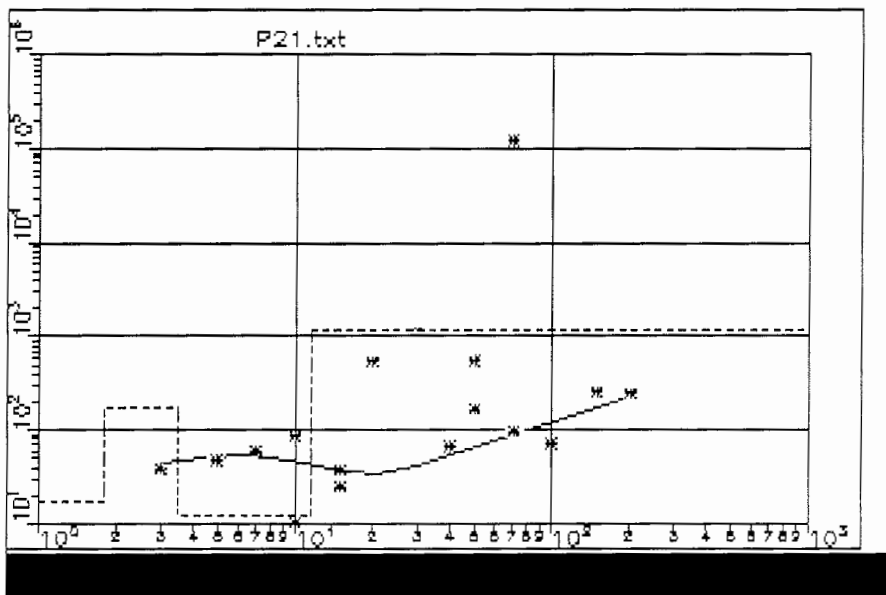
شکل الف-۱۷- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P18



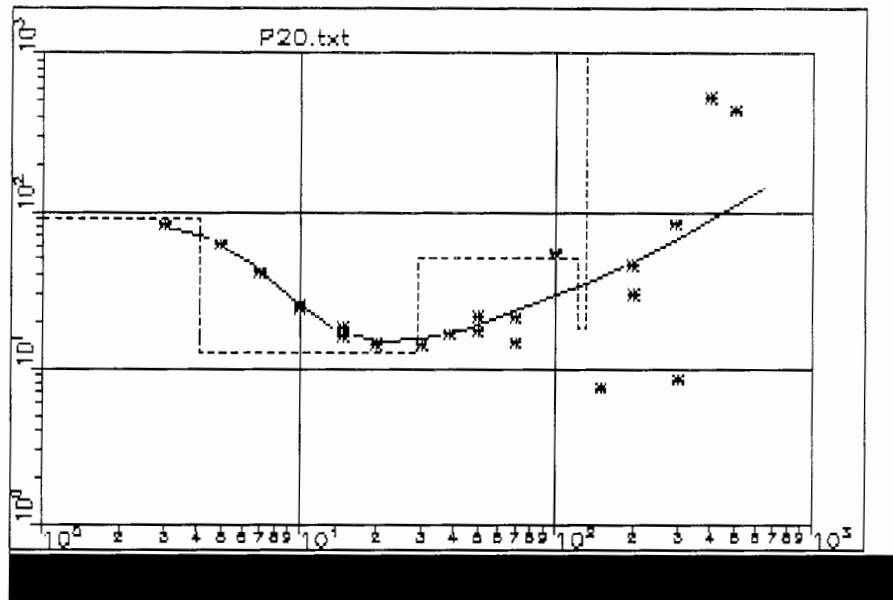
شکل الف-۱۸- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P19



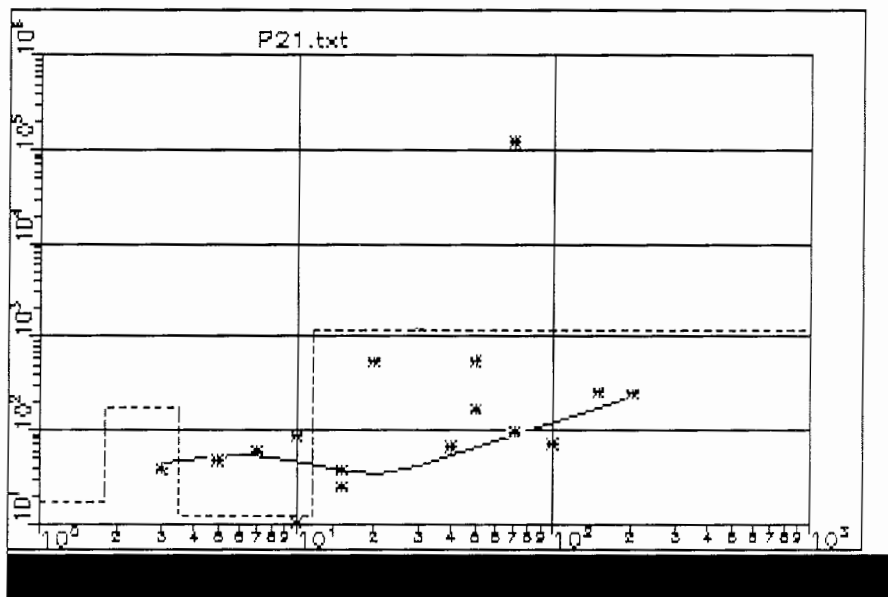
شکل الف-۱۹- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P20



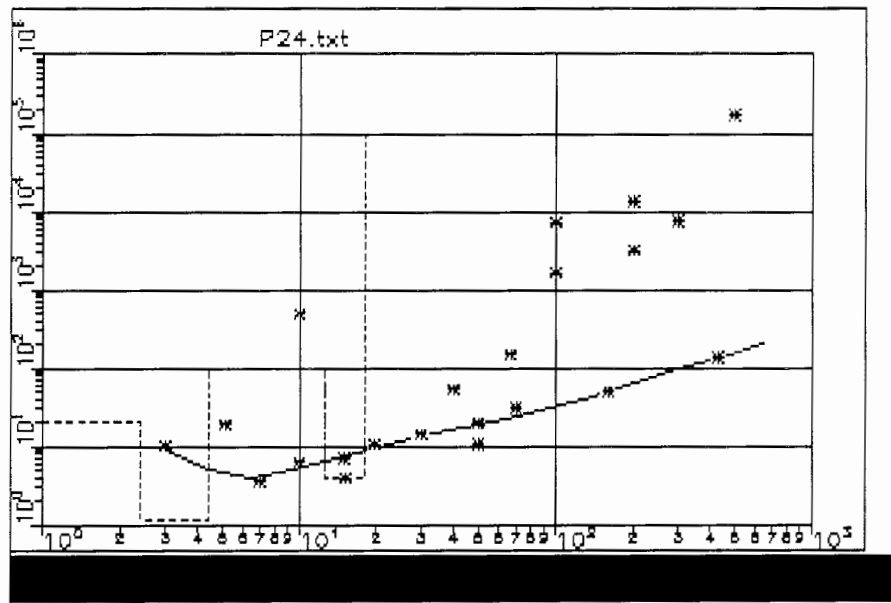
شکل الف-۲۰- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P21



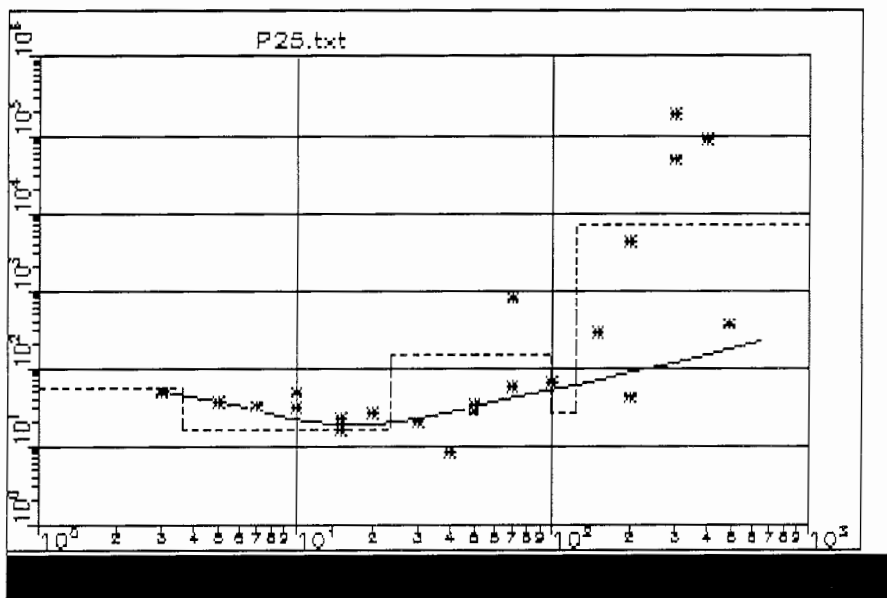
شکل الف-۲۱- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P22



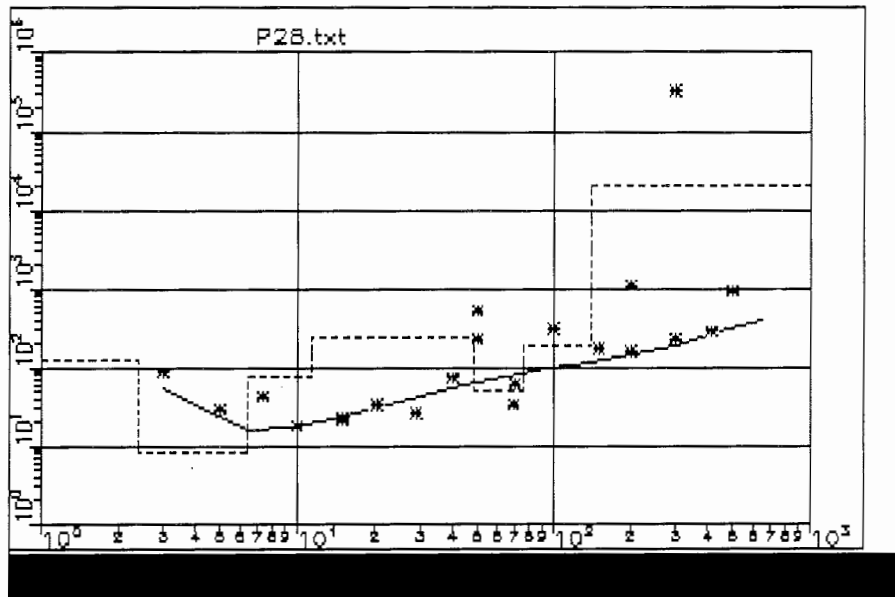
شکل الف-۲۲- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P23



شکل الف-۲۳- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P24



شکل الف-۲۴- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P25



شکل الف-۲۵- مدل منطبق شده بر داده های سونداژ P28

پیوست ب:

نمونه هایی از مقاطع زمین شناسی
تهیه شده مربوط به آنومالی شماره ۳

پیوست ب: نمونه هایی از مقاطع زمین شناسی تهیه شده مربوط به آنومالی شماره ۳

در این پیوست، چند نمونه از مقاطع طولی، عرضی و پلان های زمین شناسی تهیه شده
با استفاده از نتایج گمانه های حفاری ارائه شده است.

Abstract

Presence of underground water in mining activities is one of the main problems which reduces production efficiency. On the other hand, design of drilling and blasting patterns would be more complicated in such conditions. Various problems resulted from underground water in Gol-e-Gohar Iron Ore Mine has made engineers seek for suitable solutions. Besides, active faults and geological structures present in the area should be considered carefully.

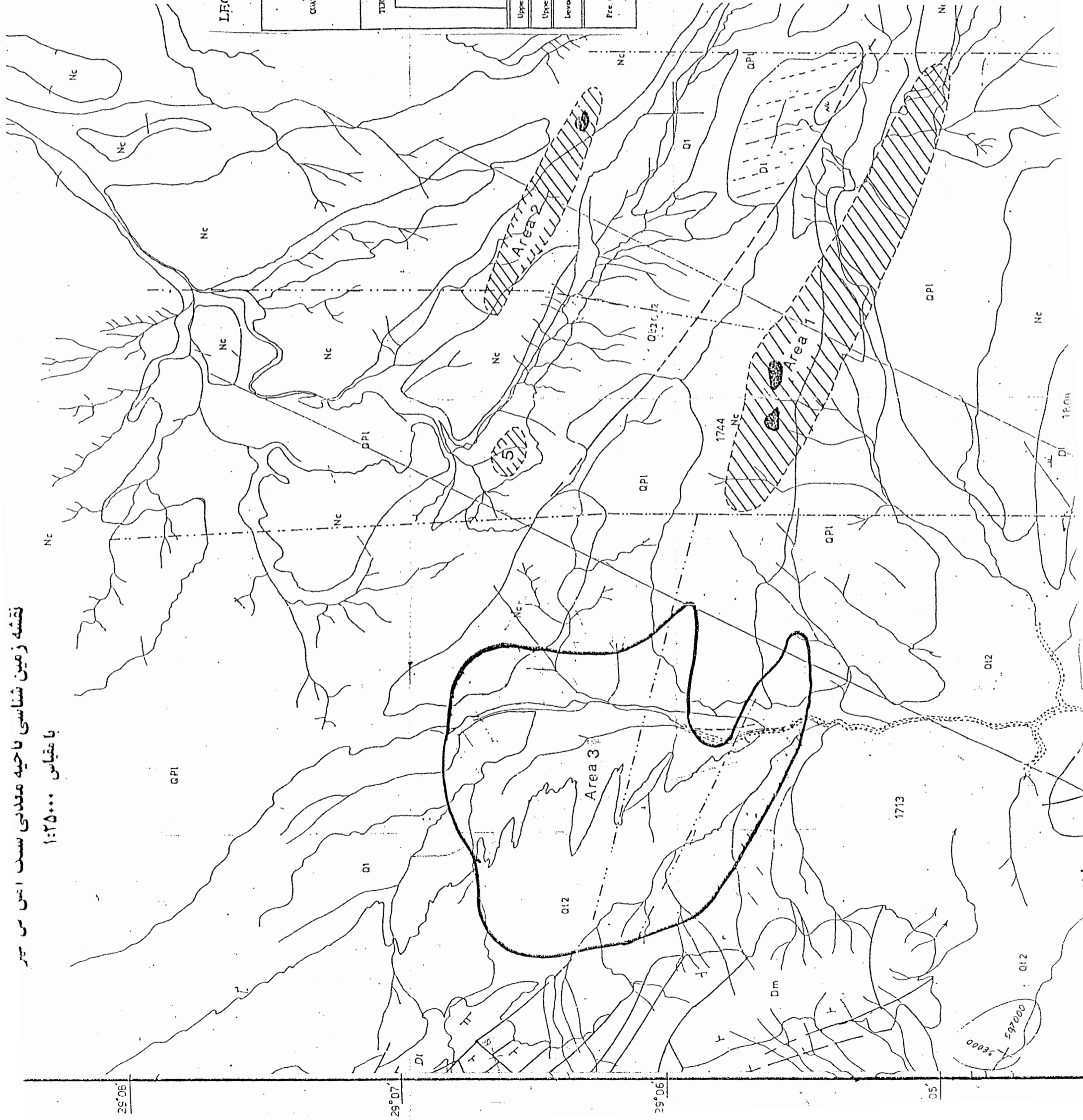
High speed, low cost and non-invasive geoelectrical methods, especially resistivity method, has been successfully used in groundwater and engineering applications. Alluvial overburden and topographic conditions in Area No.3 of Gol-e-Gohar Mine has made it possible to use resistivity method. Having measured the necessary data, the results were interpreted.

A square grid (500*500 m) was designed and schlumberger array with maximum electrode spacing of $AB/2=1400\text{m}$ was selected. 1-D interpretation of sounding data proves depth of groundwater to be 40-60m with the average thickness of 20-30m. The resistivity of groundwater is estimated about 15-23 Ωm which shows high concentrations of TDS or clay content. These results are confirmed by 2-D section interpretation.

To investigate lateral resistivity changes and faults, it is recommended to do geoelectrical profiling in 3 profiles. Using other geophysical methods such as induced polarization (IP) and self potential (SP) methods, ambiguities can be removed from the interpretations.

نقشه زمین شناسی ناحیه معدنی سسب اتمس س سیر

بامقیاس ۱:۲۵۰۰۰

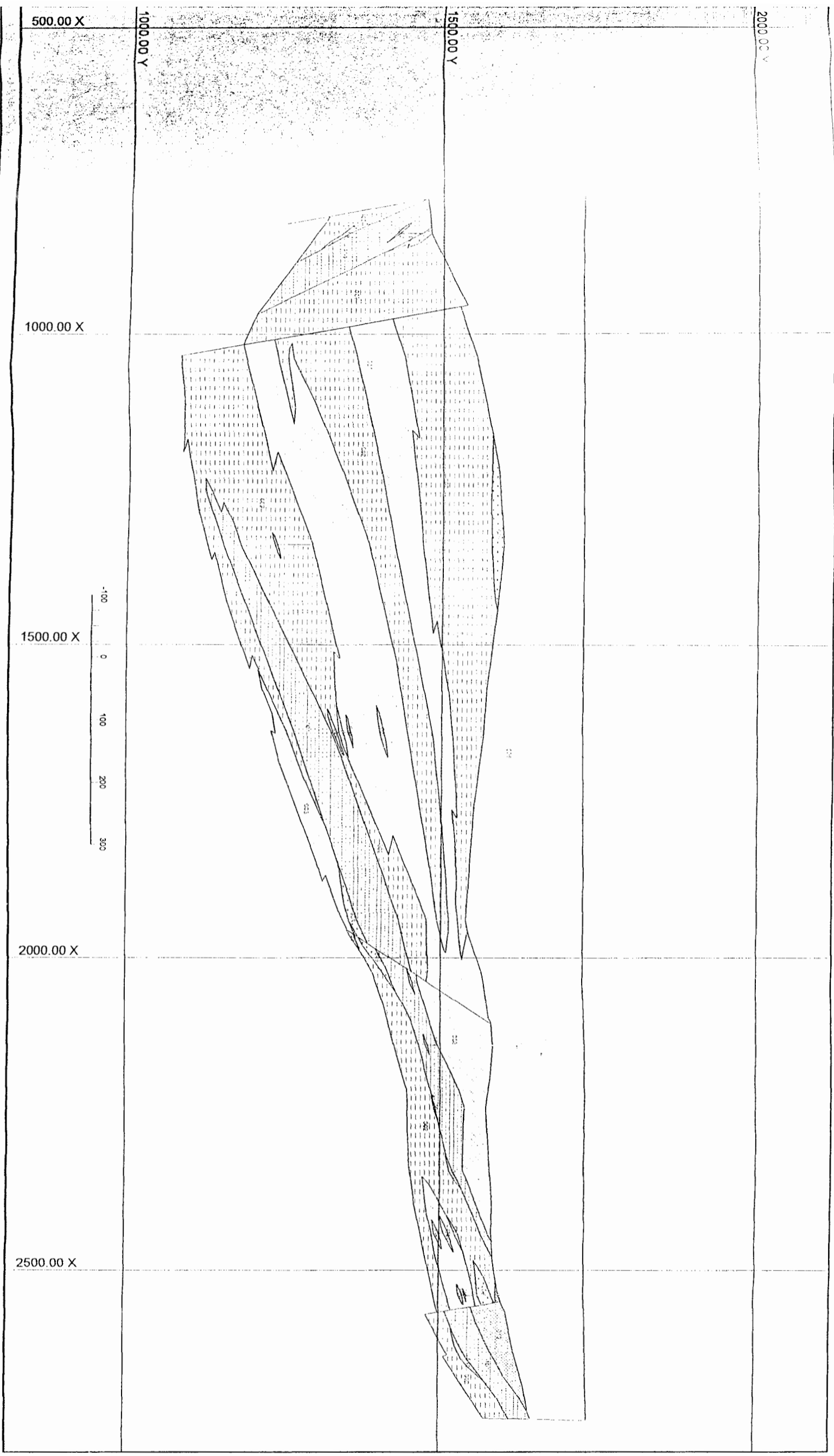


LEGEND

Q1	Q2	Q1	Q12	QPI	Nc	E1a	E1b	No	Ob	Ks	JK	Trm	D	Dm	DI	Db	Ch				
QUATERNARY		TERTIARY		TERTIARY		Eos-Olig		Mid. Eos		Kret.		Oligocene		Upper Jur.		Upper TRI.		Devonian		Pre devonian	

River channel sediment
Clay with gypsum
Clay ± salt
Aluvial fan sediment or terrace
Gypsiferous marl and conglomerate
Neogen conglomerate
Flysh with lithic of mammalite
Nummulitic limestone, light cream
Limestone with orbitoline, gray, with inoceramus limestone at the base
Bimolous limestone, dark with white calcite veins
Sandstone, green to brown
Cretaceous limestone, brown
Dolomite and rifal limestone
Dolomitic and oncolitic marble, greenish
Dark Massive and light cream dolomitic marble
Phyllite limestone and marble, cream to light brown
Amphibolite, mica-schist, garnet amphibolite, quartzite, and gneiss
Gneiss granite

- Iron orebody
- Iron ore outcrop
- Fault
- Reverse fault
- Probable fault
- Geophysical fault
- Seasonal stream
- Location of tent dweller
- Level from the sea
- Strike and dip of beds
- 0-30°
- 31-60°
- 61-85°
- 90°



Gol-E-Gohar Iron Ore Mine

Geology Section 98700

Scale 1:6500

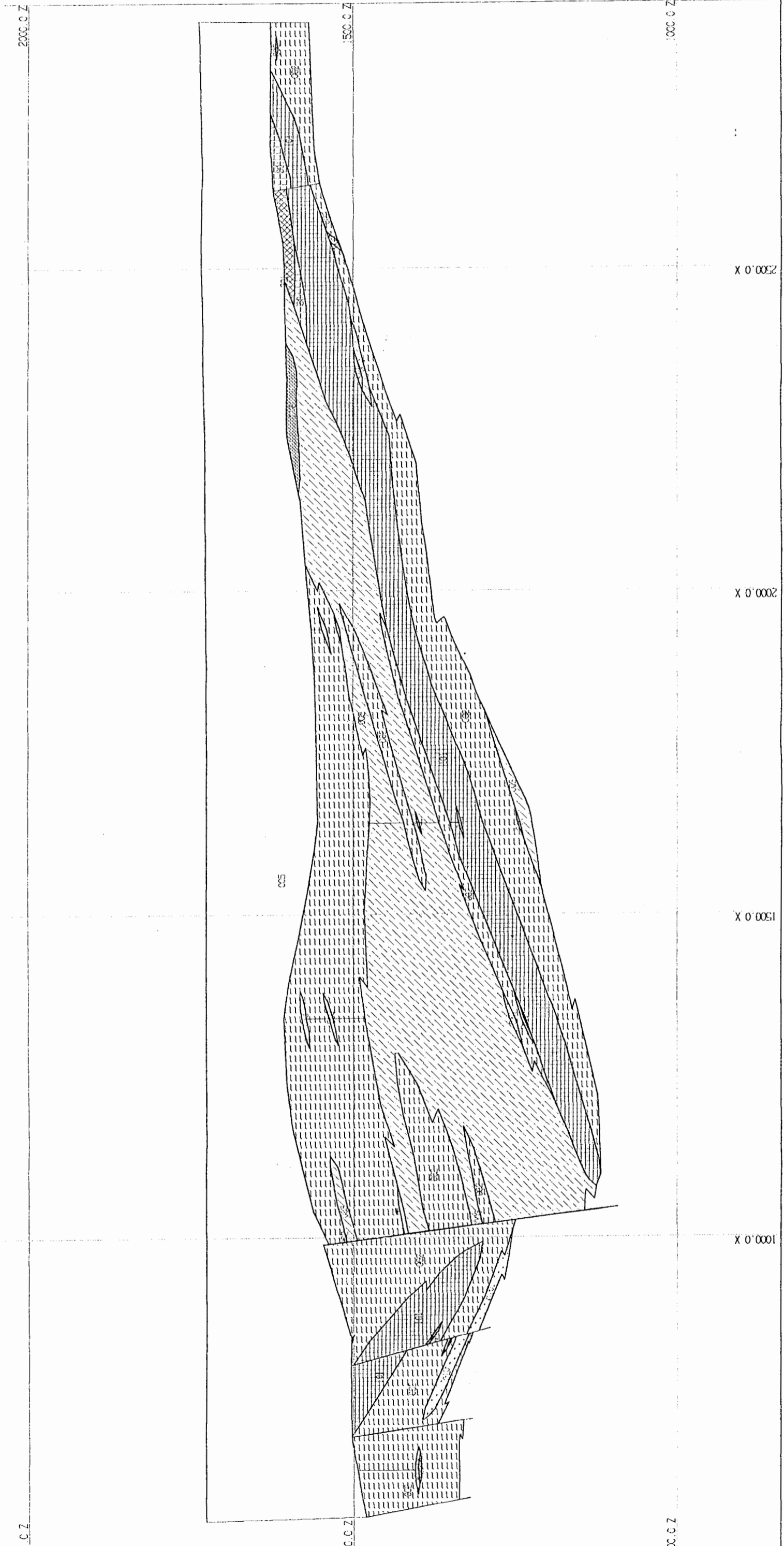
Mine Planning and Geology Office (KME)



Drawn By: Kusha Maadan Engineering Co.

Polygon Legend

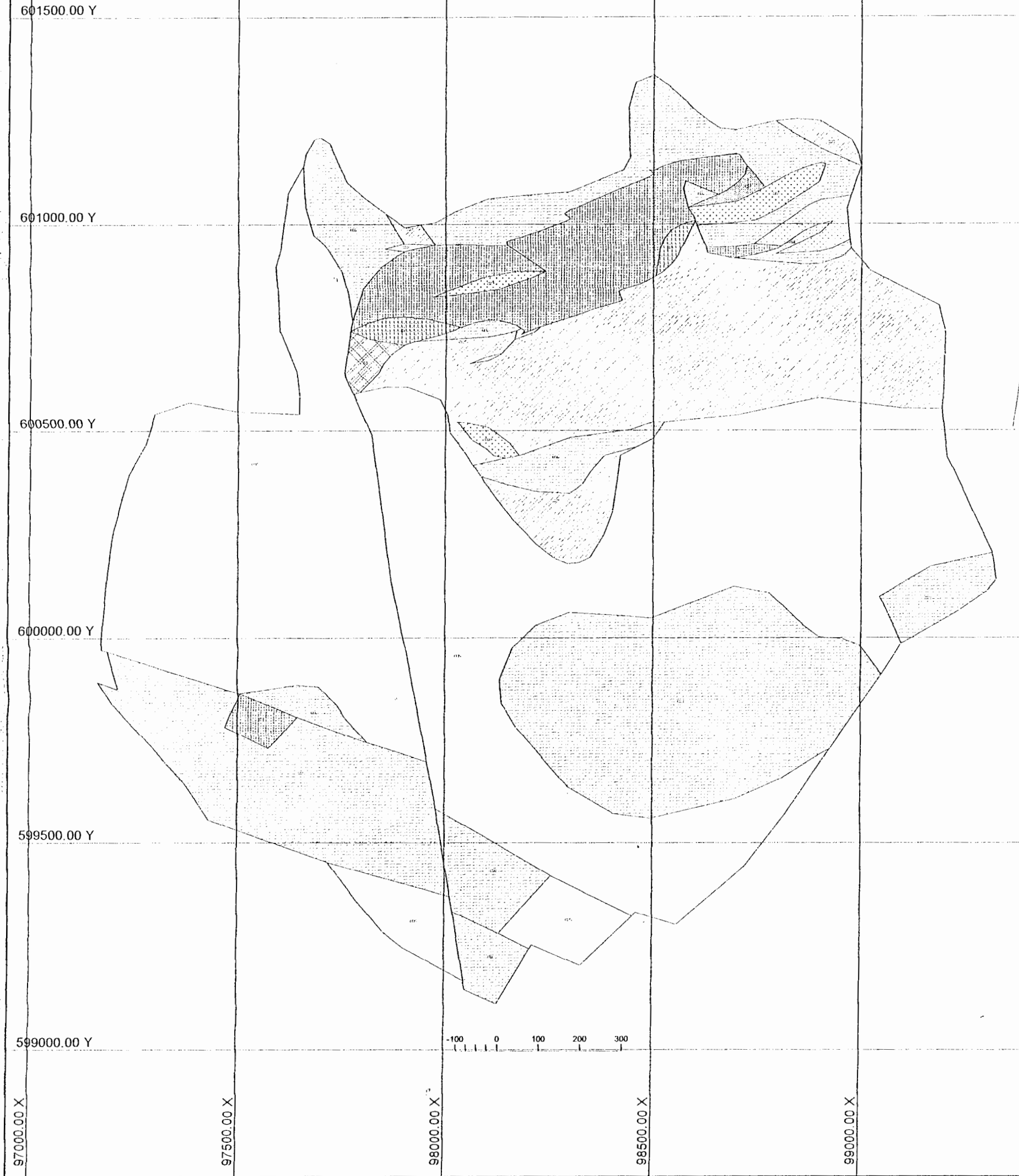
- (30) Top Waste
- (31) Waste



Section = 599346 / 2500
AREA3
SCALE 1:6000
KYE Co.

UNITS : METRES DATE : 03/07/24 TIME : 14:39:54

Software by Geomatics Software International



Gol-E-Gohar Iron Ore Mine

Geology Plan View 1567

Scale 1:10000

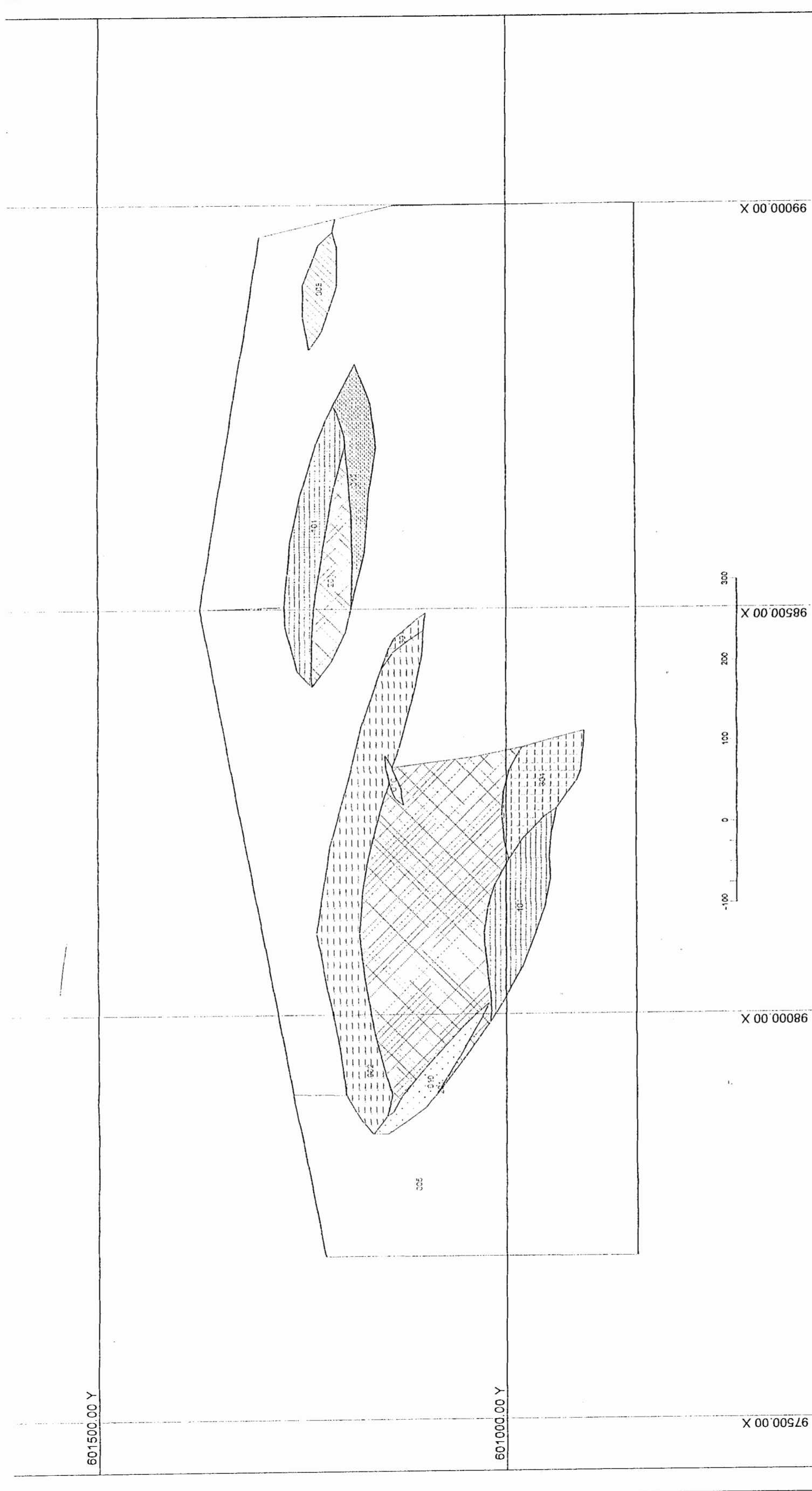
Mine Planning and Geology Office (KME)



Drawn By: Kisha Maadan
Engineering Co.

Polygon Legend

	(301) Top Magnesian
	(201) Gahzard C
	(101) Bottom Magnesian
	Others
	Waste



Gol-E-Gohar Iron Ore Mine

Geology Plan View 1627
 Scale 1:5000
 Mine Planning and Geology Office (KME)



Drawn By: Kousha Maadan Engineering Co.

Polygon Legend

- (301) Top Magnetite
- (201) Pyrite
- (101) Bottom Magnetite
- Waste
- Contours

Gol-E-Gohar Iron Ore Mine

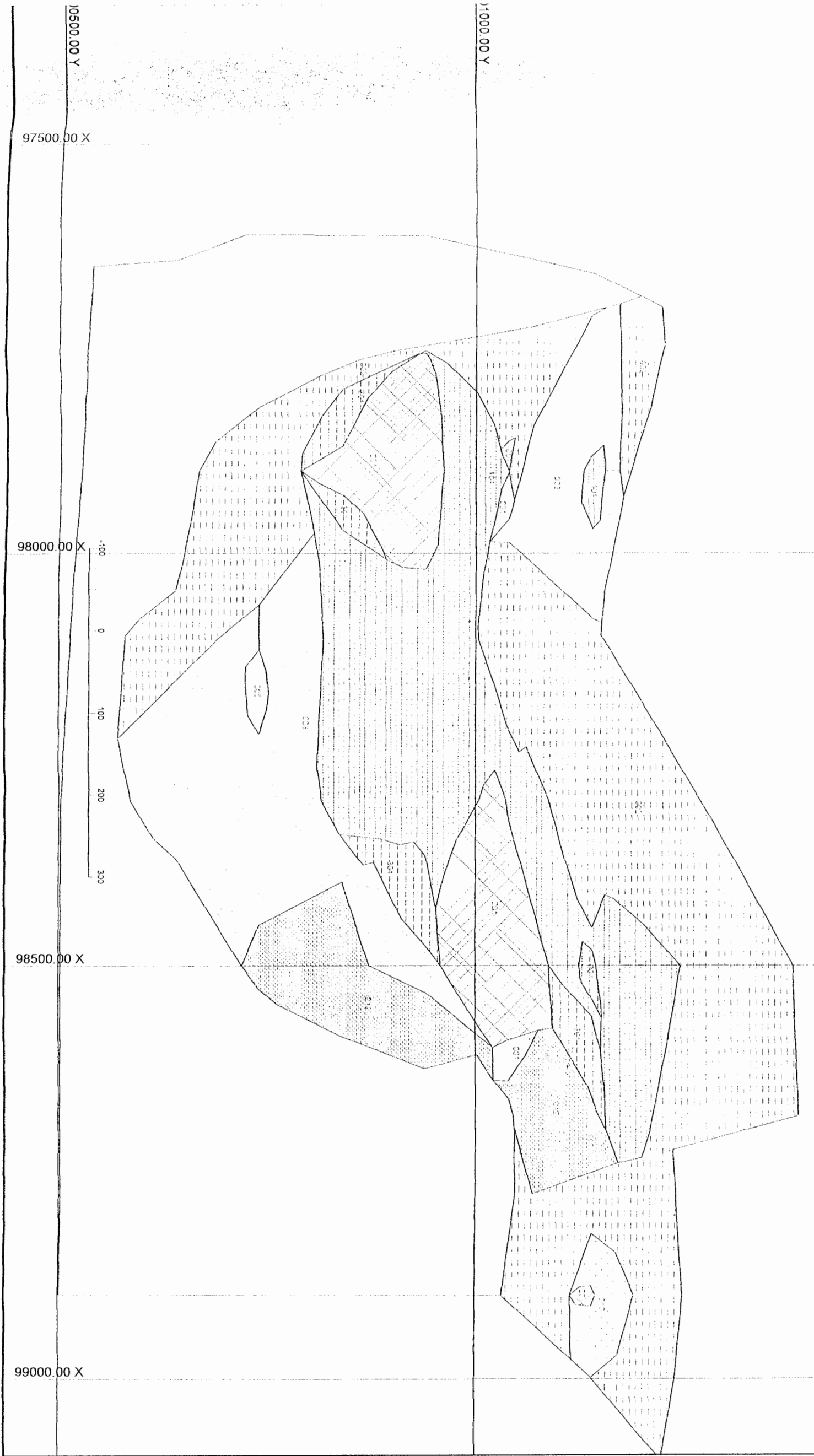
Geology Plan View 1597

Scale 1:5000

Mine Planning and Geology Office (KME)



Drawn By: Khusa Maadan
Engineering Co.



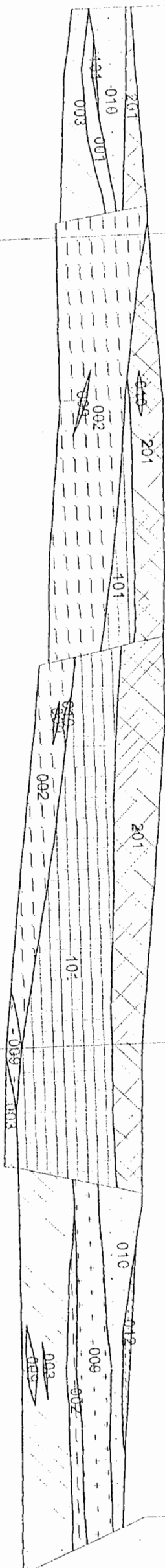
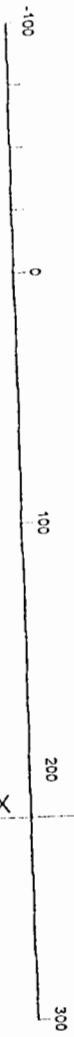
Polygon Legend

- 100: "Op" Magnetite
- 101: "Op" Magnetite
- 102: "Op" Magnetite
- 103: "Op" Magnetite
- 104: "Op" Magnetite
- 105: "Op" Magnetite
- 106: "Op" Magnetite
- 107: "Op" Magnetite
- 108: "Op" Magnetite
- 109: "Op" Magnetite
- 110: "Op" Magnetite
- 111: "Op" Magnetite
- 112: "Op" Magnetite
- 113: "Op" Magnetite
- 114: "Op" Magnetite
- 115: "Op" Magnetite
- 116: "Op" Magnetite
- 117: "Op" Magnetite
- 118: "Op" Magnetite
- 119: "Op" Magnetite
- 120: "Op" Magnetite
- 121: "Op" Magnetite
- 122: "Op" Magnetite
- 123: "Op" Magnetite
- 124: "Op" Magnetite
- 125: "Op" Magnetite
- 126: "Op" Magnetite
- 127: "Op" Magnetite
- 128: "Op" Magnetite
- 129: "Op" Magnetite
- 130: "Op" Magnetite
- 131: "Op" Magnetite
- 132: "Op" Magnetite
- 133: "Op" Magnetite
- 134: "Op" Magnetite
- 135: "Op" Magnetite
- 136: "Op" Magnetite
- 137: "Op" Magnetite
- 138: "Op" Magnetite
- 139: "Op" Magnetite
- 140: "Op" Magnetite
- 141: "Op" Magnetite
- 142: "Op" Magnetite
- 143: "Op" Magnetite
- 144: "Op" Magnetite
- 145: "Op" Magnetite
- 146: "Op" Magnetite
- 147: "Op" Magnetite
- 148: "Op" Magnetite
- 149: "Op" Magnetite
- 150: "Op" Magnetite
- 151: "Op" Magnetite
- 152: "Op" Magnetite
- 153: "Op" Magnetite
- 154: "Op" Magnetite
- 155: "Op" Magnetite
- 156: "Op" Magnetite
- 157: "Op" Magnetite
- 158: "Op" Magnetite
- 159: "Op" Magnetite
- 160: "Op" Magnetite
- 161: "Op" Magnetite
- 162: "Op" Magnetite
- 163: "Op" Magnetite
- 164: "Op" Magnetite
- 165: "Op" Magnetite
- 166: "Op" Magnetite
- 167: "Op" Magnetite
- 168: "Op" Magnetite
- 169: "Op" Magnetite
- 170: "Op" Magnetite
- 171: "Op" Magnetite
- 172: "Op" Magnetite
- 173: "Op" Magnetite
- 174: "Op" Magnetite
- 175: "Op" Magnetite
- 176: "Op" Magnetite
- 177: "Op" Magnetite
- 178: "Op" Magnetite
- 179: "Op" Magnetite
- 180: "Op" Magnetite
- 181: "Op" Magnetite
- 182: "Op" Magnetite
- 183: "Op" Magnetite
- 184: "Op" Magnetite
- 185: "Op" Magnetite
- 186: "Op" Magnetite
- 187: "Op" Magnetite
- 188: "Op" Magnetite
- 189: "Op" Magnetite
- 190: "Op" Magnetite
- 191: "Op" Magnetite
- 192: "Op" Magnetite
- 193: "Op" Magnetite
- 194: "Op" Magnetite
- 195: "Op" Magnetite
- 196: "Op" Magnetite
- 197: "Op" Magnetite
- 198: "Op" Magnetite
- 199: "Op" Magnetite
- 200: "Op" Magnetite
- Waste

1500.00 Y

1000.00 X

1500.00 X



Gol-E-Gohar Iron Ore Mine

Geology Section 601040

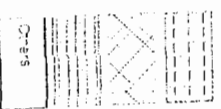
Scale 1:6500

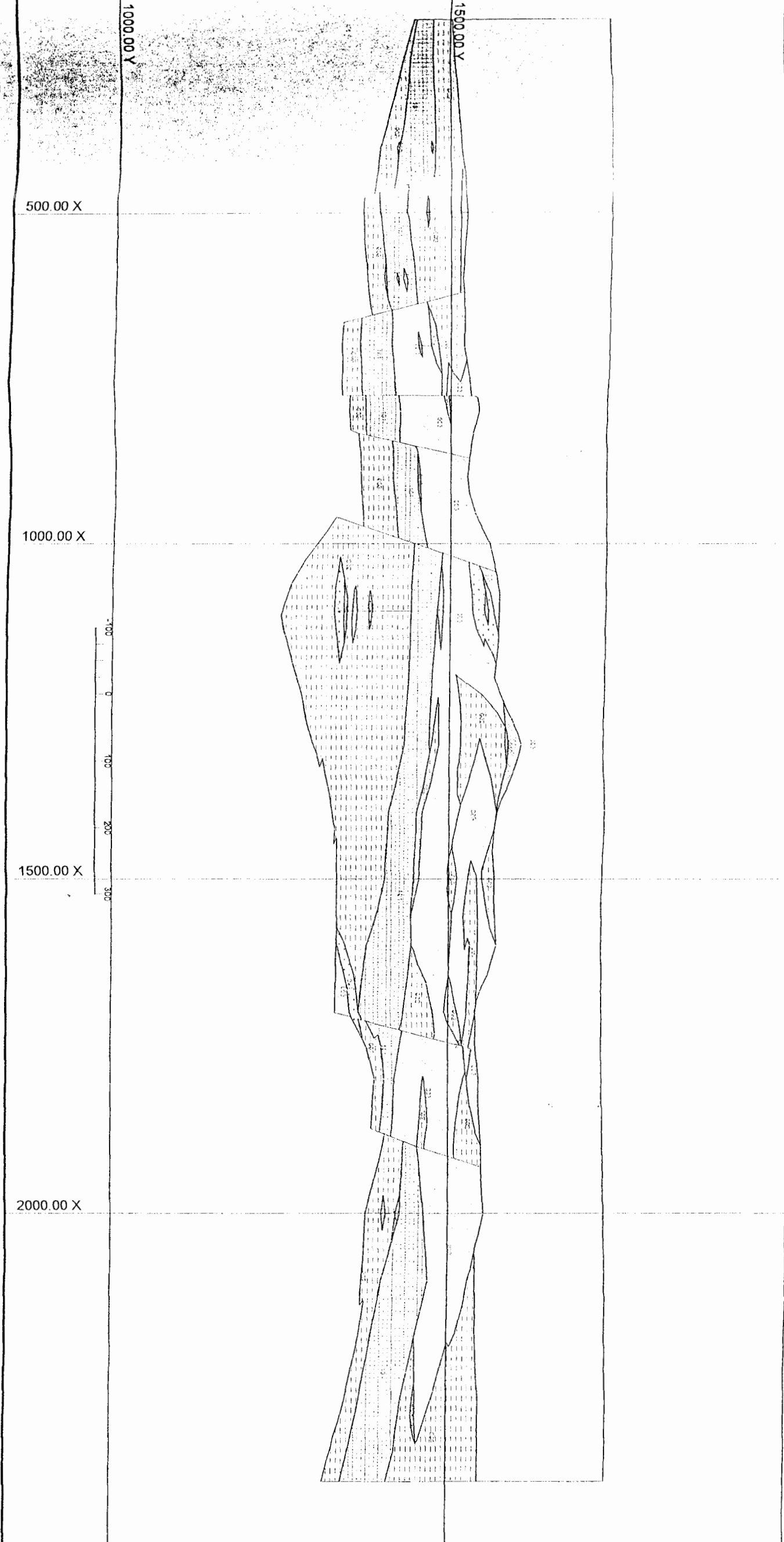
Mine Planning and Geology Office (KME)

Drawn By: Kusha Maadan
Engineering Co.



Polygon Leg





Gol-E-Gohar Iron Ore Mine





Geology Section 800440

Scale 1:5000

Mine Planning and Geology Office (KME)


 Drawn By: K.usha Maadan
 Engineering Co.

Polygon Legend

-  30% Sandstone
-  20% Sandstone
-  10% Sandstone
-  Waste

1000.0 X

1500.0 X

30.0 Z

300.0

