





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و لرزه نگاری انعکاسی به منظور شناسایی دقیق تر لایه های زیر

سطحی و مقایسه نتایج تفسیر هر دو روش در منطقه سدوز

محسن محمودی

استاد راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

دکتر امین روشندل کاهو

پایان نامه ارشد جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

وارستگی که هر آنچه در زندگی دارم از نعمت وجود آن هاست.

به امید آن که خورشید فروزان وجودشان بر پهنای دشت زندگی ام

همواره تابان بماند.

و تقدیم به:

تمام آنان که دوستان دارم...

تشکر و قدردانی

حال که به یاری خداوند متعال، این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود واجب و لازم می دانم تا از استادان ارجمند و کرامی جناب آقای دکتر کامکار روحانی و جناب آقای دکتر روشندل کاهو که با راهنمایی ها و حمایت های بی دریغ و دلسوزانه می خود را بهی بس دشوار را بر من هموار نمودند تشکری ویژه نمایم و آرزوی کامیابی بیش از پیش ایشان را داشته باشم. همچنین از زحمات بی دریغ آقای دکتر عرب امیری و خانم دکتر ابراهیمی که به عنوان اساتید داور در به اتمام رسیدن این پایان نامه نقش به سزایی داشته اند، صمیمانه قدردانی می نمایم.

به علاوه از زحمات آقایان دکتر ایرج پیروز، دکتر علی مرادزاده و دکتر فرامرز دولتی به عنوان اساتید ارجمند اینجانب در طول دوره کارشناسی ارشد، کمال تشکر را دارم.

سعی نبرده در این راه به جایی نرسی
مزد اگر می طلبی طاعت استاد ببر

و اما در این مدت از بهشتینی دوستانی بهره مند شدم که کمک های بی حصرشان راه گشای بسیاری از مشکلات بود. با پاس فراوان از آقایان مهندس رسول محبی، مهندس محمد حسین صادقی، مهندس سعید پیرقلی زاده و دیگر دوستانی که مرا یاری دادند.

مقام امن و می بخش و رفیق شفیق
کرت مدام میسر شود زهی توفیق

و در آخر برای آقایان شاه حسینی، رجبی و سایر پرسنل محترم دانشکده و نیز کارشناسان محترم شرکت مهندسین مشاور زمین کاو کستر به خصوص خانم مهندس یاسمی و آقای مهندس شفیع زاده آرزوی موفقیت دارم.

سراوات ما و آستان حضرت دوست
که هر چه بر سر ما می رود اراده اوست

چکیده :

مطالعات ژئوفیزیکی نیروگاه‌های جریانی دز به منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، برآورد ضخامت لایه‌ها و تعیین عمق سنگ کف در محدوده تله‌زنگ واقع در شمال شرقی شهرستان اندیمشک انجام گرفت. تعداد ۵۴ نقطه برای انجام عملیات سونداژ زنی مقاومت ویژه با استفاده از آرایه شلومبرژه در نظر گرفته شد. این نقاط بر روی ۵ خط پروفیل که دارای راستای شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد واقع شده‌اند. در این پایان‌نامه، تعبیر و تفسیر یک‌بعدی و دوبعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی انجام شده است. تعبیر و تفسیر یک‌بعدی با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم افزار IX1D صورت گرفته است. تعبیر و تفسیر دوبعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی نیز با استفاده از بسته‌های نرم افزاری مختلفی مانند Ipi2win و Res2dinv انجام شده است. باید توجه کنیم که این دو نرم افزار برای به دست آوردن مقاطع عرضی ژئوالکتریکی از منطقه مطالعاتی که تغییرات دوبعدی مقاومت ویژه الکتریکی را نشان می‌دهند، استفاده شده‌اند. نتایج تفسیر دوبعدی مقادیر بالاتر مقاومت ویژه الکتریکی را در شمال منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. همچنین برای مطالعات لرزه‌ای ۴ پروفیل که هر پروفیل شامل ۲۴ ژئوفون به فاصله ۸ یا ۱۰ متر می‌باشد و دارای راستای شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد، در نظر گرفته شد. به منظور مدل‌سازی دو بعدی داده‌های لرزه‌ای در این تحقیق از نرم‌افزار SeisImager/2DTM استفاده شده است. مدل‌سازی داده‌های لرزه‌ای به روش توموگرافی و با ۱۰ بار تکرار انجام شده است.

نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده بر روی داده‌های الکتریکی و لرزه‌ای نشان می‌دهد که لایه‌های زیر سطحی در منطقه مورد مطالعه به طور کلی از دو بخش آبرفت و سنگ کف تشکیل شده‌اند. آبرفت از رس، ماسه و همچنین از گراول‌های دانه متوسط تا دانه درشت تشکیل شده و ضخامت آن بسیار کم است. بخش سنگی نیز از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان می‌باشد.

کلمات کلیدی: مقاومت ویژه الکتریکی- تفسیر یک‌بعدی- تفسیر دوبعدی - مقطع عرضی

ژئوالکتریکي - شکست مرزي - توموگرافي لرزه‌اي - مدل سرعت

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- محمودی. م، کامکار روحانی. ا، روشندل کاهو. ا، ۱۳۸۹، تلفیق روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی و لرزه‌ای انکساری به منظور شناسایی سنگ کف سد دز در منطقه تله‌زنگ، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
- ۲- محمودی. م، کامکار روحانی. ا، روشندل کاهو. ا، ۱۳۸۹، بررسی ساختار زیر سطحی زمین با استفاده از روش لرزه‌نگاری انکساری در منطقه تله زنگ، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی و بیست هشتمین کنفرانس زمین شناسی ایران، ارومیه. (در حال بررسی)

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات.....	ف
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ روش‌های متداول در مهندسی ژئوفیزیک.....	۳
۱-۲-۱ خصوصیات روش مقاومت‌ویژه	۳
۲-۲-۱ خصوصیات روش لرزه‌نگاری انکساری.....	۴
۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان‌نامه حاضر	۵
۴-۱ ساختار پایان‌نامه.....	۶
فصل دوم: روش مقاومت‌ویژه	۷
۱-۲ مقدمه	۸
۲-۲ اساس روش مقاومت‌ویژه.....	۹
۳-۲ هدایت الکتریکی سنگ‌ها.....	۱۱
۴-۲ روش‌های اندازه‌گیری داده‌های مقاومت‌ویژه	۱۴
۵-۲ روش سونداژزنی الکتریکی.....	۱۵
۶-۲ روش پروفیل‌زنی الکتریکی.....	۱۶
۷-۲ آرایش الکترودی مورد استفاده	۱۷
۸-۲ آرایش شلومبرژه	۱۹
۹-۲ محدودیت‌های روش‌های ژئوالکتریکی	۲۰
۱۰-۲ پارامترهای ژئوالکتریکی	۲۱
۱۱-۲ تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی.....	۲۱
۱-۱۱-۲ مقاومت‌ویژه ظاهری	۲۱
۲-۱۱-۲ مدل‌سازی.....	۲۲
۳-۱۱-۲ یکتایی.....	۲۳
فصل سوم: روش لرزه‌نگاری انکساری	۲۴
۱-۳ مقدمه	۲۵
۲-۳ تاریخچه مختصر روش لرزه‌نگاری شکست مرزی.....	۲۵
۳-۳ روش‌های لرزه‌نگاری.....	۲۶
۴-۳ اساس روش لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی).....	۲۷
۵-۳ امواج لرزه‌ای	۲۸

قانون اسنل.....	۶-۳	۲۹.....
روابط مورد استفاده برای محاسبه عمق و ضخامت لایه‌ها در روش لرزه‌نگاری انکساری.....	۷-۳	۳۵.....
۱-۷-۳ محاسبه ضخامت لایه در مدل‌های دولایه.....		۳۵.....
۲-۷-۳ روابط محاسبه ضخامت در مدل‌های سه لایه.....		۳۷.....
۳-۷-۳ محاسبات ضخامت در مدل‌های چند لایه.....		۳۹.....
۳-۷-۴ روابط محاسبه عمق و ضخامت در لایه‌های شیب‌دار.....		۴۰.....
تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی.....	۸-۳	۴۳.....
۱-۸-۳ روش تفسیر ABC.....		۴۵.....
۲-۸-۳ روش تفسیر GRM.....		۴۶.....
توموگرافی لرزه‌ای.....	۹-۳	۴۸.....
فصل چهارم: خصوصیات زمین‌شناسی و عملیات صحرایی در منطقه مورد مطالعه.....		۴۹.....
مقدمه.....	۱-۴	۵۰.....
موقعیت جغرافیایی.....	۲-۴	۵۰.....
خصوصیات زمین‌شناسی منطقه.....	۳-۴	۵۱.....
۱-۳-۴ سازند کژدمی.....		۵۱.....
۲-۳-۴ سازند سروک.....		۵۱.....
۳-۳-۴ سازند سورگاه.....		۵۲.....
۴-۳-۴ سازند ایلام.....		۵۲.....
خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی دریاچه.....	۴-۴	۵۴.....
عملیات صحرایی.....	۵-۴	۵۵.....
دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده در برداشت‌های صحرایی.....	۶-۴	۵۷.....
فصل پنجم: مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه در منطقه مورد مطالعه.....		۵۹.....
مقدمه.....	۱-۵	۶۰.....
مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای الکتریکی.....	۲-۵	۶۰.....
تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی.....	۳-۵	۶۱.....
تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی.....	۴-۵	۶۱.....
تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه تله‌زنگ.....	۵-۵	۶۳.....
۱-۵-۵ سونداژ الکتریکی P_{0-1}		۶۳.....

٦٥.....	P ₀₋₂ سونداژ الکتریکی
٦٥.....	P ₀₋₃ سونداژ الکتریکی
٦٦.....	P ₀₋₄ سونداژ الکتریکی
٦٧.....	P ₀₋₅ سونداژ الکتریکی
٦٨.....	P ₀₋₆ سونداژ الکتریکی
٦٨.....	P ₀₋₇ سونداژ الکتریکی
٦٩.....	P ₁₋₁ سونداژ الکتریکی
٧٠.....	P ₁₋₂ سونداژ الکتریکی
٧١.....	P ₁₋₃ سونداژ الکتریکی
٧١.....	P ₁₋₄ سونداژ الکتریکی
٧٢.....	P ₁₋₅ سونداژ الکتریکی
٧٣.....	P ₁₋₆ سونداژ الکتریکی
٧٤.....	P ₁₋₇ سونداژ الکتریکی
٧٤.....	P ₁₋₈ سونداژ الکتریکی
٧٥.....	P ₁₋₉ سونداژ الکتریکی
٧٦.....	P ₁₋₁₀ سونداژ الکتریکی
٧٦.....	P ₁₋₁₁ سونداژ الکتریکی
٧٧.....	P ₁₋₁₂ سونداژ الکتریکی
٧٨.....	P ₂₋₁ سونداژ الکتریکی
٧٨.....	P ₂₋₂ سونداژ الکتریکی
٧٩.....	P ₂₋₃ سونداژ الکتریکی
٨٠.....	P ₂₋₄ سونداژ الکتریکی
٨١.....	P ₂₋₅ سونداژ الکتریکی
٨١.....	P ₂₋₆ سونداژ الکتریکی
٨٢.....	P ₂₋₇ سونداژ الکتریکی
٨٣.....	P ₂₋₈ سونداژ الکتریکی
٨٤.....	P ₂₋₉ سونداژ الکتریکی
٨٤.....	P ₂₋₁₀ سونداژ الکتریکی
٨٥.....	P ₃₋₁ سونداژ الکتریکی

۸۶.....	P ₃₋₂ سونداژ الکتریکی
۸۷.....	P ₃₋₃ سونداژ الکتریکی
۸۷.....	P ₃₋₄ سونداژ الکتریکی
۸۸.....	P ₃₋₅ سونداژ الکتریکی
۸۹.....	P ₃₋₆ سونداژ الکتریکی
۸۹.....	P ₃₋₇ سونداژ الکتریکی
۹۰.....	P ₃₋₈ سونداژ الکتریکی
۹۱.....	P ₃₋₉ سونداژ الکتریکی
۹۱.....	P ₃₋₁₀ سونداژ الکتریکی
۹۲.....	P ₃₋₁₁ سونداژ الکتریکی
۹۳.....	P ₄₋₁ سونداژ الکتریکی
۹۳.....	P ₄₋₂ سونداژ الکتریکی
۹۴.....	P ₄₋₃ سونداژ الکتریکی
۹۵.....	P ₄₋₄ سونداژ الکتریکی
۹۵.....	P ₄₋₅ سونداژ الکتریکی
۹۶.....	P ₄₋₆ سونداژ الکتریکی
۹۷.....	P ₄₋₇ سونداژ الکتریکی
۹۷.....	P ₄₋₈ سونداژ الکتریکی
۹۸.....	P ₄₋₉ سونداژ الکتریکی
۹۹.....	P ₄₋₁₀ سونداژ الکتریکی
۹۹.....	P ₄₋₁₁ سونداژ الکتریکی
۱۰۰.....	P ₄₋₁₂ سونداژ الکتریکی
۱۰۱.....	P ₄₋₁₃ سونداژ الکتریکی
۱۰۱.....	P ₄₋₁₄ سونداژ الکتریکی
۱۰۲.....	مدل سازی و تفسیر دوبعدی سونداژهای مقاومت ویژه.....
۱۰۳.....	۱-۶-۵ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P ₀
۱۰۵.....	۲-۶-۵ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P ₁
۱۰۷.....	۳-۶-۵ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P ₂
۱۰۹.....	۴-۶-۵ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P ₃

۵-۶-۵	مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P ₄	۱۱۱
۷-۵	مدل یا تصویر سه بعدی داده های مقاومت ویژه و تفسیر کیفی آن.....	۱۱۳
۸-۵	نتیجه گیری.....	۱۱۴
	فصل ششم: مدل سازی و تفسیر داده های لرزه نگاری انکساری در منطقه مورد مطالعه.....	۱۱۵
۱-۶	مقدمه.....	۱۱۶
۲-۶	مدل سازی و تفسیر دوبعدی داده های لرزه ای انکساری.....	۱۱۶
	۱-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.1.....	۱۱۷
	۲-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.2.....	۱۱۹
	۳-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.4.....	۱۲۱
	۴-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.5.....	۱۲۳
۳-۶	نتیجه گیری.....	۱۲۶
	فصل هفتم: مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی دوبعدی ژئوالکتریکی و لرزه ای.....	۱۲۷
۱-۷	مقدمه.....	۱۲۸
۲-۷	مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه ای در محل پروفیل ۱ لرزه ای.....	۱۲۸
۳-۷	مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه ای در محل پروفیل ۲ لرزه ای.....	۱۲۹
۴-۷	مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه ای در محل پروفیل ۴ لرزه ای.....	۱۲۹
۵-۷	مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه ای در محل پروفیل ۵ لرزه ای.....	۱۳۰
	فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۱۳۲
۱-۸	نتیجه گیری.....	۱۳۳
۲-۸	پیشنهادهات.....	۱۳۴۴
	ضمائم.....	۱۳۲
	پیوست الف : آشنایی با نرم افزار IX1D.....	۱۳۶
	پیوست ب: آشنایی با نرم افزار seismager/2.....	۱۴۰
	فهرست منابع.....	۱۴۴

فهرست جداول

فصل دوم: روش‌های ژئوالکتریک

جدول ۱-۲: مقاومت ویژه برخی از انواع آب، سنگ و رسوبات..... ۱۴

فصل سوم: روش‌های لرزه‌ای انکساری

جدول ۱-۳: سرعت موج P در مواد مختلف..... ۲۹

فصل پنجم: تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوالکتریک

جدول ۱-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-1}	۶۳
جدول ۲-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-2}	۶۴
جدول ۳-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-3}	۶۵
جدول ۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-4}	۶۶
جدول ۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-5}	۶۷
جدول ۶-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-6}	۶۸
جدول ۷-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-7}	۶۹
جدول ۸-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-1}	۷۰
جدول ۹-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-2}	۷۰
جدول ۱۰-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-3}	۷۱
جدول ۱۱-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-4}	۷۲
جدول ۱۲-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-5}	۷۳
جدول ۱۳-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-6}	۷۳
جدول ۱۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-7}	۷۴
جدول ۱۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-8}	۷۵
جدول ۱۶-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-9}	۷۵
جدول ۱۷-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-10}	۷۶
جدول ۱۸-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-11}	۷۷
جدول ۱۹-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{1-12}	۷۷
جدول ۲۰-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-1}	۷۸
جدول ۲۱-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-2}	۷۹
جدول ۲۲-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-3}	۸۰
جدول ۲۳-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-4}	۸۰
جدول ۲۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-5}	۸۱
جدول ۲۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-6}	۸۲
جدول ۲۶-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-7}	۸۳
جدول ۲۷-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{2-8}	۸۳

۸۴.....	جدول ۵-۲۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₂₋₉
۸۵.....	جدول ۵-۲۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₂₋₁₀
۸۶.....	جدول ۵-۳۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₁
۸۶.....	جدول ۵-۳۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₂
۸۷.....	جدول ۵-۳۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₃
۸۸.....	جدول ۵-۳۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₄
۸۸.....	جدول ۵-۳۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₅
۸۹.....	جدول ۵-۳۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₆
۹۰.....	جدول ۵-۳۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₇
۹۰.....	جدول ۵-۳۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₈
۹۱.....	جدول ۵-۳۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₉
۹۲.....	جدول ۵-۳۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₁₀
۹۲.....	جدول ۵-۴۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₃₋₁₁
۹۳.....	جدول ۵-۴۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁
۹۴.....	جدول ۵-۴۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₂
۹۴.....	جدول ۵-۴۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₃
۹۵.....	جدول ۵-۴۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₄
۹۶.....	جدول ۵-۴۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₅
۹۶.....	جدول ۵-۴۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₆
۹۷.....	جدول ۵-۴۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₇
۹۸.....	جدول ۵-۴۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₈
۹۸.....	جدول ۵-۴۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₉
۹۹.....	جدول ۵-۵۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁₀
۱۰۰.....	جدول ۵-۵۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁₁
۱۰۰.....	جدول ۵-۵۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁₂
۱۰۱.....	جدول ۵-۵۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁₃
۱۰۲.....	جدول ۵-۵۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P ₄₋₁₄

فهرست اشکال

فصل دوم: روش‌های ژئوالکتریکی

- شکل ۱-۲: آرایش چهار الکترودی..... ۱۰
- شکل ۲-۲: موقعیت الکترودهای جریان و پتانسیل را در آرایه شلومبرژه..... ۲۰

فصل سوم: روش‌های لرزه‌ای انکساری

- شکل ۱-۳: قانون اسنل (v_1 و v_2)..... ۳۰
- شکل ۲-۳: قانون اسنل (v_1 و v_2)..... ۳۲
- شکل ۳-۳: زاویه بحرانی..... ۳۲
- شکل ۴-۳: شکست با زاویه بحرانی..... ۳۳
- شکل ۵-۳: مسیر موج انکساری در یک مدل سه لایه..... ۳۴
- شکل ۶-۳: مسیر موج انکساری و زوایای بحرانی در یک مدل چندلایه..... ۳۵
- شکل ۷-۳: اصول اصلی لرزه‌نگاری انکساری..... ۳۶
- شکل ۸-۳: یک مدل سه لایه در لرزه‌نگاری انکساری..... ۳۸
- شکل ۹-۳: لایه شیب‌دار و منحنی زمان-مسافت مربوطه در لرزه‌نگاری انکساری..... ۴۱
- شکل ۱۰-۳: خروجی دیجیتالی اولین ورودی‌های ثبت شده..... ۴۴
- شکل ۱۱-۳: هندسه مسیر امواج شکست مرزی از دو چشمه متقابل و منحنی زمان-مسافت حاصل از اولین رسیدها..... ۴۶
- شکل ۱۲-۳: هندسه مسیر پرتوها به ازای یک مقدار دلخواه $XY=2a$ در روش GRM..... ۴۷

فصل چهارم: خصوصیات زمین‌شناسی و عملیات صحرایی

- شکل ۱-۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱/۴۰۰۰..... ۵۵
- شکل ۲-۴: موقعیت محل برداشت پروفیل‌های لرزه نگاری و شبکه برداشت سونداژهای الکتریکی در منطقه تله‌زنگ..... ۵۷

فصل پنجم: تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوالکتریک

- شکل ۱-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_0 ۱۰۴
- شکل ۲-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با مرحله تکرار برای پروفیل P_0 ۱۰۴
- شکل ۳-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_1 ۱۰۶
- شکل ۴-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با مرحله تکرار برای پروفیل P_1 ۱۰۶
- شکل ۵-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_2 ۱۰۸
- شکل ۶-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با مرحله تکرار برای پروفیل P_2 ۱۰۸

- شکل ۷-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_3 ۱۱۰
- شکل ۸-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_3 ۱۱۰
- شکل ۷-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_4 ۱۱۲
- شکل ۸-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_4 ۱۱۲
- شکل ۹-۵: تصویر سه بعدی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در منطقه با استفاده از نرم افزار Voxler ۱۱۴

فصل ششم: مدل سازی و تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی

- شکل ۶-۱: خروجی دیجیتالی اولین ورودی‌های ثبت شده ۱۱۸
- شکل ۶-۲: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل یک ۱۱۹
- شکل ۶-۳: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل یک ۱۲۰
- شکل ۶-۴: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل دو ۱۲۱
- شکل ۶-۵: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل دو ۱۲۲
- شکل ۶-۶: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل چهار ۱۲۳
- شکل ۶-۷: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل چهار ۱۱۳
- شکل ۶-۸: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل پنج ۱۲۴
- شکل ۶-۹: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل پنج ۱۲۵

فصل هفتم: مدل سازی و تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی

- شکل ۱۰-۱: نتیجه مدل سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۱ لرزه‌ای ۱۲۸
- شکل ۱۰-۲: نتیجه مدل سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۲ لرزه‌ای ۱۲۹
- شکل ۱۰-۳: نتیجه مدل سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۴ لرزه‌ای ۱۳۰
- شکل ۱۰-۴: نتیجه مدل سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۵ لرزه‌ای ۱۳۱

ضمائم

- شکل ۱: پنجره اصلی نمایش نقشه و موقعیت سونداژها ۱۳۶
- شکل ۲: نوار ابزار new.file menu ۱۳۷
- شکل ۳: پنجره انتخاب نوع آرایش و داده‌ها ۱۳۷
- شکل ۴: پنجره وارد کردن داده‌ها ۱۳۸
- شکل ۵: نحوه نمایش یک سونداژ ۱۳۹
- شکل ۶: الگوریتم روش معکوس سازی بخش زمانی ۱۴۱
- شکل ۷: الگوریتم فرایند روش معکوس سازی متقابل ۱۴۲
- شکل ۸: الگوریتم فرایند روش معکوس سازی توموگرافی ۱۴۳

فصل اول:

کلیات

کاوش‌های ژئوفیزیکی به منظور مطالعه ویژگی‌های تکتونیکی و زمین‌شناسی سازندها، تفکیک و بررسی لایه‌های زمین، تعیین ضرایب الاستیسیته لایه‌ها، برآورد پارامترهای دینامیکی لایه‌های زیرسطحی، بررسی رفتار لایه‌های زیرسطحی در مقابل زمین‌لرزه به منظور طراحی سازه‌ها و همچنین شناسایی و تعیین موقعیت ذخایر زیرزمینی از قبیل مخازن حاوی هیدروکربورها، معادن زیرسطحی، سفره‌های آب زیرزمینی و غیره صورت می‌گیرد. همان‌طور که می‌دانیم روش‌های مورد استفاده در کاوش‌های ژئوفیزیکی بر اساس اصول فیزیکی از قبیل قوانین جاذبه گرانشی، قوانین حاکم بر نحوه انتشار امواج الاستیک، نحوه تأثیر میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی و همچنین امواج الکترومغناطیس در مواد تشکیل‌دهنده زمین بنا شده‌اند؛ لذا کمیت‌های فیزیکی مورد بررسی تنها اطلاعاتی از خواص فیزیکی لایه‌های زمین به دست می‌دهند. بنابراین در صورتی که نتایج حاصل از انجام این روش‌ها به طور صحیح مورد تعبیر و تفسیر واقع شوند، می‌توانند اطلاعات مفید و با ارزشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه، همچنین محدوده تجمع نهشته‌های سودمند و ویژگی‌های کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی در اختیار متخصصین قرار دهند.

از آنجا که در مطالعات ژئوفیزیکی معمولاً شناسایی لایه‌های زمین با بررسی برخی از خواص فیزیکی ذاتی آنها و یا تأثیرشان بر کمیات فیزیکی در سطح زمین صورت می‌گیرد برداشت (تهیه) اطلاعات حاصل از انجام این مطالعات در مقایسه با روش‌های ژئوتکنیک مستلزم صرف زمان و هزینه به مراتب کمتری است. از طرفی افزایش توانایی رایانه‌ها در مدل‌سازی‌هایی که بر مبنای داده‌های صحرائی حاصل از انجام مطالعات ژئوفیزیکی انجام می‌شوند، نیز موجب استفاده روز افزون مطالعات ژئوفیزیکی در شناسایی زمین شده است [۱۶].

۲-۱ روش‌های متداول در مهندسی ژئوفیزیک

علاوه بر روش‌هایی که در مطالعات ژئوفیزیکی ذخایر بزرگ زیرزمینی مانند مخازن عظیم نفت و گاز در ابعاد وسیع و اعماق زیاد به کار برده می‌شوند، در مطالعات مهندسی نیز که معمولاً هدف شناسایی لایه‌های زمین تا عمق‌های کمتر از ۵۰۰ متر است از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌شود. این مطالعات شامل بررسی لایه‌های زمین از نظر نحوه قرار گرفتن آنها نسبت به یکدیگر، میزان ضخامت لایه‌ها و رسوبات آبرفتی، تشخیص محل ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌ها، تعیین عمق و ابعاد حفره‌ها، برآورد میزان خوردگی خاک، تعیین ضرایب الاستیسیته لایه‌های سطحی و پارامترهای دینامیکی خاک، بررسی‌های کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی، شناسایی جریان‌های آب زیرزمینی، مطالعه رفتار لایه‌های سطحی در مقابل زلزله‌ها به منظور طراحی سازه‌ها و مواردی از این قبیل می‌باشد. مهمترین روش‌های معمول در مهندسی ژئوفیزیک که از توانایی قابل توجهی در تشخیص ویژگی‌های لایه‌های زمین تا عمق‌های محدود برخوردارند، روش‌های لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی)، روش‌های لرزه‌ای درون‌چاهی، توموگرافی لرزه‌ای و روش‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی (ژئوالکتریک) می‌باشند [۱۶] که در این پایان‌نامه به معرفی روش‌های متداول در مطالعه ساختگاه‌ها، یعنی مقاومت‌ویژه الکتریکی و لرزه‌نگاری انکساری می‌پردازیم.

۱-۲-۱ خصوصیات روش مقاومت‌ویژه

روش مقاومت‌ویژه قابل مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی (مثل روش لرزه‌نگاری) و همچنین روش‌های اکتشاف مستقیم (مانند حفاری، ترانشه‌زنی و ...) می‌باشد. این روش نسبت به روش‌های اکتشاف مستقیم دارای خصوصیات زیر است:

- انعطاف‌پذیری
- سرعت بالا
- هزینه‌های پایین عملیات صحرایی

- سبک و قابل حمل بودن تجهیزات
 - امکان تفسیر مستقیم و کیفی داده‌ها
- در کنار این عوامل، محدودیت‌های روش مقاومت‌ویژه عبارتند از:
- امکان اختلاف مدل‌های ژئوالکتریکی با واقعیت‌های زمین‌شناسی
 - ابهام در مدل‌سازی داده‌ها باعث رسیدن به چندین مدل مختلف می‌شود که با مشاهدات تطابق داشته باشند
 - دقت تعیین عمق در مقایسه با روش‌های لرزه‌ای و یا حفاری، کمتر است
- یک جنبه مهم مقاومت‌ویژه این است که این روش در مقایسه با روش‌های لرزه‌ای و سایر روش‌های ژئوفیزیکی، دارای این مزیت است که به خصوصیات مختلفی از مواد از جمله محتوای آب و میزان املاح آب موجود در ساختارهای زیرزمینی به خوبی پاسخ می‌دهد [۱۹].

۲-۲-۱ خصوصیات روش لرزه‌نگاری انکساری

امروزه روش‌های ژئوفیزیکی نقش عمده‌ای را در اکتشافات منابع و معادن زیرزمینی دارا می‌باشند و انجام اغلب پروژه‌های بزرگ اکتشاف و پی‌جویی منابع زیرزمینی و نیز بررسی ساخت‌گاه سازه‌های بزرگ با کمک اکتشافات ژئوفیزیکی انجام می‌گیرد. در بین روش‌های ژئوفیزیکی، روش لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این روش جهت تعیین عمق، ضخامت و سرعت لایه‌های زیر سطح زمین و محاسبه ضرایب کشسان مواد تشکیل دهنده لایه‌ها به کار می‌رود و با توجه به دقت نسبتاً خوب و هزینه نسبتاً پایین، روش مناسبی جهت به دست آوردن اطلاعات لازم در مورد وضعیت زیرسطحی ساختگاه سازه‌های بزرگ می‌باشد.

اساس روش لرزه‌نگاری شکست مرزی برپایه زمان رسید سربوها در طول خط لرزه‌نگاری و تفسیر منحنی زمان - مسافت سربوها می‌باشد؛ که در نهایت به محاسبه سرعت انتشار موج در هریک از لایه‌ها و تعیین عمق و ضخامت هر لایه منجر می‌شود.

هرچند که در طی چندین سال و به مرور زمان اصلاحات و ابداعات فراوانی در رابطه با نحوه عملیات و روش‌های تفسیر لرزه‌نگاری شکست مرزی صورت گرفته و دقت کار این روش را بالا برده است، اما هنوز این روش بدون در نظر گرفتن فرض‌های زیر، با مشکلات و خطاهای جدی همراه است.

۱- افزایش سرعت با عمق، یعنی سرعت موج در هر لایه بایستی بیشتر از لایه بالایی باشد.

۲- وجود ضخامت کافی برای هر لایه، یعنی هر لایه برای ظاهر شدن در روی منحنی زمان - مسافت بایستی دارای ضخامت کافی باشد که مقدار آن به اختلاف سرعت لایه با لایه‌های مجاور و ضخامت لایه بالایی بستگی دارد.

بدون احراز دو شرط بالا، لایه توسط روش لرزه‌نگاری شکست مرزی قابل تشخیص نبوده و مسئله لایه پنهان (کور)^۱ پیش خواهد آمد. در نتیجه علاوه بر این که از وجود لایه فوق و مشخصات آن بی‌خبر خواهیم بود، عمق و ضخامت محاسبه شده برای لایه‌های پایین‌تر نیز با خطا همراه خواهد بود. لذا نمی‌توان در این گونه موارد عمق و ضخامت و سرعت دقیق لایه‌ها را به دست آورد.

از طرف دیگر عموماً اطلاعی از وجود یا عدم وجود شرایط فوق در دست نیست و لذا می‌توان انتظار داشت که نتایج به دست آمده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی است به علت وجود لایه پنهان، دقیق نبوده و با خطا همراه باشد [۴].

اگرچه حل مسئله لایه پنهان در تمام موارد امکان‌پذیر نمی‌باشد، ولی اغلب می‌توان اطلاعاتی را در این زمینه به دست آورد. حتی فقط تشخیص وجود چنین لایه‌ای بدون تعیین مشخصات آن می‌تواند باعث جلوگیری از وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیر گردد [۲۶].

۳-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان‌نامه حاضر

همان‌طور که می‌دانیم یکی از اساسی‌ترین ایراداتی که اغلب به اکتشافات با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی وارد می‌باشد عدم تطابق نتایج به دست آمده از این روش‌ها با واقعیت می‌باشد. از آن جایی

^۱ Hidden(blind) layer

که اساس این روش‌ها خواص فیزیکی مواد می‌باشد و با توجه به این که مواد مختلف، از لحاظ خواص مختلف فیزیکی، متفاوت می‌باشند؛ لذا استفاده از دو یا چند روش ژئوفیزیکی می‌تواند به نتایجی برسد که به واقعیت نزدیک‌تر باشند. در این پایان‌نامه نیز سعی شده با استفاده از دو روش مقاومت‌ویژه و لرزه‌نگاری انکساری در تعیین لایه‌های زیر سطحی به نتایج واقعی‌تری رسید.

به منظور جلوگیری از بروز مشکلاتی مانند مسئله لایه پنهان می‌توان از اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه همراه با برداشت‌های لرزه‌ای، به عنوان یک روش قدرتمند برای بررسی‌های مختلف استفاده کرد.

همچنین از اهداف دیگر مطالعه حاضر می‌توان به نشان دادن کاربرد روش لرزه‌نگاری انکساری همراه با تفسیر و مدل‌سازی^۱ به عنوان یکی از روش‌های با قدرت بالا در تعیین لایه‌های زیر سطحی و سنگ کف اشاره کرد.

۴-۱ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر شامل هشت فصل می‌باشد. در فصل اول به بیان مقدمات کلی و توضیحاتی درباره خصوصیات روش‌های مورد استفاده و همچنین هدف انجام این مطالعه پرداخته شده است. در فصل دوم و سوم به ترتیب اصول و جنبه‌های مهم روش‌های مقاومت‌ویژه و لرزه‌نگاری انکساری به‌طور خلاصه تشریح می‌شوند. در فصل چهارم درباره خصوصیات زمین‌شناسی و عملیات صحرایی در منطقه مورد مطالعه، مطالبی بیان شده است. در فصل پنجم به تفسیر و مدل‌سازی یک بعدی، دو بعدی و تصویر سه بعدی مقاومت‌ویژه الکتریکی پرداخته شده است و نتایج آن آورده شده است. در فصل ششم مدل‌سازی و تفسیر دو بعدی لرزه‌ای به تفصیل بیان شده است. در فصل هفتم مقایسه نتایج حاصل از دو روش آورده شده است. و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات در فصل هشتم که فصل آخر این پایان‌نامه می‌باشد، آورده شده است.

^۱ Modelling

فصل دوم:

روش مقاومت ویژه

۱-۲ مقدمه

ایده اکتشافات مواد معدنی با کمک اندازه‌گیری‌های الکتریکی در حدود سال‌های دهه ۱۸۰۰ ارائه شد، اما کاربرد عملی و نتیجه‌بخش این روش حدود یک قرن بعد میسر گردید. قدیمی‌ترین روش‌ها آن‌هایی بودند که در صدد آشکار کردن محل تمرکز مواد معدنی، که به طور طبیعی دارای قطب‌های الکتریکی هستند، می‌باشند. به‌زودی پس از این روش‌هایی با استفاده از قرار دادن الکترودهایی در سطح زمین و تولید جریان الکتریکی در داخل زمین، تکامل یافتند. در تمام روش‌های گوناگون الکتریکی برای اکتشافات ژئوفیزیکی از عبور جریان الکتریکی در داخل زمین استفاده می‌گردد [۴].

کاوش‌های الکتریکی با آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین سروکار دارند. در مقایسه با دیگر روش‌های ژئوفیزیک نظیر گرانی‌سنجی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آن‌ها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های الکتریکی از تنوع بیشتری نسبت به دیگر روش‌های ژئوفیزیکی برخوردارند. با به‌کارگیری روش‌های الکتریکی می‌توان پتانسیل‌ها، جریان‌ها و میدان‌های الکترومغناطیس را که به‌طور مصنوعی در آن‌ها ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری کرد. روش‌های الکتریک اغلب بر حسب نوع منبع انرژی مورد استفاده (طبیعی یا مصنوعی) طبقه‌بندی می‌شوند [۲].

هدف عمده روش‌های الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین است. در این روش‌ها برای این‌که یک ویژگی زیرسطحی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به‌طور بارزی متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روش‌های الکتریکی، به حالت‌هایی که یک تباین مقاومت ویژه^۱ وجود داشته باشد، محدود می‌شود [۱۹].

برداشت‌های الکتریکی در عملیات اکتشافی معدنی جایگاه مناسبی پیدا کرده است. در سال‌های

¹ Resistivity Contrast

اخیر آن‌ها نقش مهم رو به افزایشی در برداشت‌های مهندسی و آب‌های زیرزمینی ایفا کرده‌اند. حتی این روش‌ها در شناسایی اولیه پی‌جویی‌های نفت در حوزه‌های رسوبی تا حدی مورد استفاده واقع شده اما مشکلات در رسیدن به اعماق معمول برای اکتشافات نفت، کاربرد برداشت الکتریکی را محدود ساخته است [۴].

۲-۲ اساس روش مقاومت‌ویژه

هدف اصلی روش‌های ژئوالکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و سایر خصوصیات موجود، به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. این بدان معنی است که برای تفسیر مناسب داده‌های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات مکمل می‌باشد. در بعضی موارد هم اطلاعات کمکی بسیار پراکنده بوده و برای محدود کردن تفسیرهای ممکن برای داده‌های ژئوفیزیکی، مناسب نمی‌باشند. گاهی هم اطلاعات کمکی موجود به محدود کردن تفسیرها و انتخاب یک سری خصوصیات زمین‌شناسی با توجه به داده‌های الکتریکی، کمک می‌کنند [۳۳].

مقاومت ویژه ظاهری، پاسخ کلی مربوط به مواد اصلی سازند، تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌ها، ساختارهای موجود، مقدار سیالات درون حفره‌ای و میزان شوری آن‌ها و وجود کانی‌سازی و آلتراسیون در سنگ‌های زیرسطحی زمین است. هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت‌ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشند. مقاومت‌ویژه زمین، به عوامل مختلف زمین‌شناسی از قبیل مواد معدنی موجود، محتوای سیالات درون حفره‌ای، تخلخل و درجه اشباع سنگ‌ها بستگی دارد.

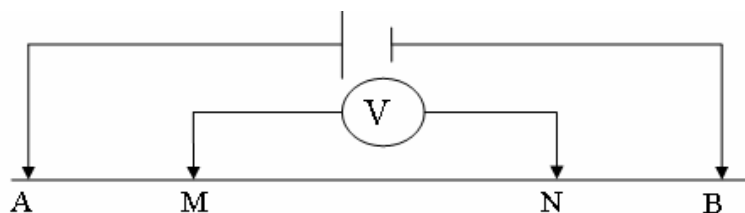
در اندازه‌گیری مقاومت ویژه، با تزریق جریان به زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه‌گیری ولتاژ یا اختلاف پتانسیل حاصل میان دو الکتروود پتانسیل، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی قابل

تخمین است.

در شکل ۱-۲ که یک آرایش چهار الکترودی را نشان می‌دهد، الکترودهای A و B الکترودهای جریان و الکترودهای M و N الکترودهای پتانسیل می‌باشند. معادله (۱-۲) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایش الکترودی است [۲].

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

در این رابطه، I شدت جریان ارسالی (بر حسب آمپر)، ΔV اختلاف پتانسیل قرائت شده (بر حسب ولت) و ρ_a مقدار مقاومت ویژه ظاهری^۱ (بر حسب اهم-متر) می‌باشد. همچنین عبارتی که در رابطه بالا با حرف k نمایش داده شده ضریب هندسی خوانده می‌شود، چراکه مقدار آن به موقعیت الکترودها نسبت به یکدیگر بستگی دارد.



شکل ۱-۲: آرایش چهار الکترودی

کمیتی که توسط رابطه فوق به دست می‌آید فقط در شرایطی که زمین کاملاً همگن و همسانگرد باشد مقاومت ویژه واقعی^۲ زمین خواهد بود و در این حالت اگر اندازه‌گیری‌ها به ازاء فواصل مختلف الکترودها تکرار شود، مقاومت ویژه الکتریکی همواره ثابت خواهد بود و تغییرات مقدار k با تغییر اختلاف پتانسیل جبران می‌شود به طوری که حاصل ضرب آن‌ها همواره ثابت می‌ماند. با این توضیح که جریان الکتریکی همواره ثابت باشد.

¹ Apparent Resistivity

² True Resistivity

اما همان‌طور که می‌دانیم برآورده شدن شرایط مفروض، در عمل بسیار بعید به نظر می‌رسد چرا که تنوع و تغییراتی که در جنس، دانه‌بندی، تراکم و رطوبت لایه‌های زمین وجود دارد، موجب عدم یکنواختی مقاومت ویژه زمین خواهد شد. از سویی با توجه به این‌که اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه به منظور تشخیص و تعیین ویژگی‌ها و ابعاد ساختارهای مختلف زمین و بر مبنای تغییرات عمقی و یا افقی مقاومت ویژه صورت می‌گیرد، بنابراین کمیتی که اندازه‌گیری می‌شود مقاومت ویژه ظاهری زمین است که با ρ_a نمایش داده می‌شود [۸]. رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و ظاهری رابطه‌ای پیچیده است. برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی ساختارهای زیر سطحی از روی مقادیر ظاهری آن، از روش‌های معکوس سازی توسط نرم افزارهای رایانه‌ای استفاده می‌شود [۲۳].

۳-۲ هدایت الکتریکی سنگ‌ها

برداشت‌های مقاومت ویژه تصاویری از تغییرات مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی در اختیار قرار می‌دهند. برای تبدیل این تصاویر به تصاویر زمین‌شناسی، اطلاعاتی در خصوص مقادیر مقاومت ویژه انواع ساختارهای زیر سطحی و همچنین زمین‌شناسی محیط تحت بررسی حائز اهمیت است. مقاومت ویژه برخی از مواد، سنگ‌ها، کانی‌ها و محیط‌های معمول زمین‌شناسی در جدول شماره ۱-۲ آورده شده است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با کمیت‌های فیزیکی که در دیگر روش‌های ژئوفیزیک محاسبه می‌شوند بسیار بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف از $10^{-6} \times 1/6$ اهم متر برای نقره خالص تا 10^{16} اهم متر برای گوگرد خالص متغیر است [۲]. سنگ‌های دگرگون و آذرین نوعاً دارای مقادیر با مقاومت ویژه بالا هستند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها اساساً وابسته به درجه شکستگی و درصد پرشدگی آن‌ها از آب زیر سطحی است. سنگ‌های رسوبی به علت تخلخل و به واسطه آن محتوی آب بیشتر، معمولاً دارای مقاومت ویژه پایین‌تری می‌باشند [۲۳]. خاک‌های مرطوب و آب‌های زیرزمینی شیرین، دارای مقاومت ویژه پایینی هستند. خاک‌های رسی از انواع ماسه‌ای آن

دارای مقاومت ویژه پایین‌تری می‌باشند. مقدار مقاومت ویژه آب دریا که برابر مقدار پایین ۰/۲ اهم-متر است، ناشی از میزان بالای نمک‌های محلول آن است. این مسأله مقاومت ویژه را به عنوان یک روش ایده‌آل برای آشکارسازی مرز آب‌های شور و شیرین در نواحی ساحلی مطرح می‌کند.

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 به ویژه هنگام بررسی انواع بخصوصی از مواد از قبیل گرافیت، مگنتیت، پیریت و ... اهمیت دارد. هر چند در بسیاری مواد و در بسیاری مطالعات مهندسی و هیدروژئولیکی، 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 (یا نفوذپذیری)
- درجه حرارت [۱۹].

سن زمین‌شناسی سنگ‌ها نیز بر مقاومت ویژه آن‌ها تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، مقاومت ویژه الکتریکی یک نمونه سنگ آتشفشانی دوره کواترنری ممکن است حدود $10-200 \Omega m$ باشد، در حالی که مقاومت ویژه 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، و در نتیجه کاهش تخلخل و نفوذپذیری قرار دارند [۳۰]. به‌طور کلی، فرایندهای زمین‌شناسی بر روی مقاومت ویژه سنگ‌ها تأثیر می‌گذارند. انحلال، گسلش، برش و هوازدگی معمولاً باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری سیالات شده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت ویژه می‌گردند. رسوب کربنات کلسیم و سیلیس باعث کاهش تخلخل و نفوذپذیری و در نتیجه افزایش مقاومت ویژه می‌شود. نفوذ آب‌های شور، باعث حضور یون‌های بیشتر برای هدایت جریان و در نتیجه کاهش مقاومت ویژه می‌شود [۳].

برخی کانی‌ها مثل پیریت، گالن و مگنتیت معمولاً در حالت توده‌ای، رساناهای ضعیفی هستند در حالی که 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 مقاومت‌ویژ 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، مقادیر مقاومت‌ویژه منعکس کننده نسبت‌های مختلفی از مواد تشکیل دهنده می‌باشند [۳۰].

همان‌طور که در جدول شماره ۱-۲ دیده می‌شود، مقاومت‌ویژه انواع سنگ‌ها و خاک‌ها دارای هم‌پوشانی است. این مطلب از آن‌جا ناشی می‌شود که مقاومت‌ویژه نمونه‌های خاصی از خاک و سنگ وابسته به چندین عامل مختلف است. عوامل مؤثر در مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها عبارتند از :

(۱) حجم خلل و فرج موجود در سنگ‌ها و میزان شکستگی‌ها

(۲) وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آن‌ها با یکدیگر

(۳) حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب باشد

(۴) هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ

(۵) جنس کانی‌های تشکیل دهنده سنگ

بنابراین مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه بستگی به وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دارد. به عبارت دیگر تفکیک لایه‌ها بر حسب جنس آن‌ها از نظر زمین‌شناسی تنها با به دست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها میسر نمی‌باشد و مقاومت ویژه الکتریکی سازندها و سنگ‌های موجود در هر منطقه باید به‌طور جداگانه تعیین شوند [۳].

جدول شماره ۲-۱: مقاومت ویژه برخی از انواع آب، سنگ و رسوبات [۱۶]

نوع سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب اهم متر
رس	۱-۱۰۰
شیل	۲۰-۲۰۰۰
آب زیرزمینی	۱۰-۱۰۰
آب دریا	۰/۲
ماسه سنگ - کوارتزیت	۳۰۰-۱۰۰۰۰
سنگ آهک	۵۰-۵۰۰۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شیرین	۵۰-۵۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شور	۵-۰/۵
آبرفت‌های دانه‌ریز	۵۰-۱۰۰
آبرفت‌های دانه‌متوسط	۱۰۰-۳۰۰
آبرفت‌های دانه‌درشت و کنگلومرا	۳۰۰-۱۰۰۰۰

۲-۴ روش‌های اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه

همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شد، عوارض و ساختارهای متنوع زمین‌شناسی باعث تغییرات مقاومت ویژه زمین در جهات مختلف می‌گردد. در روش‌های مقاومت ویژه بررسی اهداف موردنظر با اندازه‌گیری تغییرات افقی و یا عمقی مقاومت ویژه زمین صورت می‌گیرد. برای شناسایی ناهنجاری‌های جانبی، تغییرات افقی مقاومت ویژه ظاهری بررسی می‌شود. در این موارد با ثابت نگه‌داشتن فاصله الکترودها نسبت به یکدیگر متناسب با عمق موردنظر، اندازه‌گیری‌ها انجام می‌شود. توزیع نقاط اندازه‌گیری و همچنین فاصله الکترودها از یکدیگر متناسب با ویژگی‌های هدف مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

مطالعه عوارض عمقی زمین‌شناسی از قبیل تعیین ضخامت و تفکیک لایه‌های افقی زمین با بررسی تغییرات عمقی مقاومت ویژه ظاهری انجام می‌شود. با توجه به ارتباط عمق مورد مطالعه با فاصله الکترودها از یکدیگر، در صورتی که اندازه‌گیری‌ها به ازاء فواصل مختلف الکترودها در یک نقطه تکرار شود، می‌توان به نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری دست یافت.

بر اساس مطالب گفته شده، روش‌های مقاومت ویژه را به دو دسته روش‌های بررسی عوارض جانبی و افقی زمین (پروفیل‌زنی) و روش‌های مطالعه عوارض عمقی (سونداژزنی) می‌توان تقسیم کرد [۱۴].

۲-۵ روش سونداژزنی الکتریکی

مطالعه عوارض عمقی زمین‌شناسی که بارزترین نمونه آن‌ها لایه‌بندی‌های موازی با سطح افق می‌باشند، با بررسی تغییرات عمقی مقاومت ویژه ظاهری صورت می‌گیرند. این بررسی‌ها که تحت عنوان سونداژزنی الکتریکی مطرح شده است، با افزایش پی‌درپی فاصله الکترودهای جریان و تکرار اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه ظاهری در یک نقطه انجام می‌گیرد. در سونداژهای مقاومت‌ویژه، تغییرات عمقی مقاومت ویژه و لایه‌بندی‌های موجود، با استفاده از آرایش‌هایی که فاصله میان بعضی از الکترودها و یا همه آن‌ها به طور متقارن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شوند. محل سونداژهای الکتریکی در آرایه‌های متقارن در مرکز آرایه است.

همراه با افزایش فاصله الکترودها، عمق نفوذ جریان در زمین افزایش می‌یابد. بدین ترتیب مقاومت ویژه لایه‌های عمیق‌تر نیز بر مقدار مقاومت ویژه ظاهری تأثیر می‌گذارد چرا که مقاومت ویژه ظاهری بیانگر مقدار متوسط مقاومت ویژه محدوده‌ای از زمین است که به دو سطح هم‌پتانسیل که از محل الکترودهای پتانسیل می‌گذرند محدود می‌شود. عمق این محدوده برابر با عمق نفوذ مؤثر جریان الکتریکی است [۱۳].

مقادیر مقاومت ویژه با توجه به فاصله و بر روی نمودارهای لگاریتمی رسم می‌شوند. با مشخص

شدن نحوه تغییرات عمقی مقاومت ویژه ظاهری در نقطه مورد نظر و مقایسه این تغییرات با سر منحنی‌ها^۱ یا منحنی‌های مرجع (آباک)^۲ می‌توان ضخامت و مقاومت ویژه واقعی لایه‌های زمین را در محل سونداژ مشخص کرد. منحنی‌های مرجع بر اساس تغییرات مقاومت ویژه ظاهری مدل‌های دو لایه و سه لایه به ازاء نسبت‌های مختلف مقاومت‌ویژه و ضخامت لایه‌های افقی تهیه شده‌اند. در صورت در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به ضخامت و مقاومت‌ویژه لایه‌های زمین در نقاط مختلفی که در یک امتداد مشخص واقع شده‌اند و همچنین با توجه به توپوگرافی نقاط اندازه‌گیری، با انتخاب مقیاس افقی و عمقی مناسب می‌توان مقطع متناظر با امتداد نقاط مفروض را تهیه کرد. مقادیر مقاومت ویژه واقعی لایه‌ها و همچنین شواهد زمین‌شناسی منطقه، مفسر را در ارتباط دادن لایه‌های تفکیک شده به یکدیگر کمک می‌کند. مقطعی که به این ترتیب به دست می‌آید را مقطع ژئوالکتریکی می‌گویند. اگرچه روش‌هایی برای تفسیر شیب لایه‌ها نیز پیشنهاد شده، سونداژزنی مقاومت‌ویژه تنها در مواقعی که فصل مشترک لایه‌ها افقی باشد به خوبی جواب می‌دهد [۱۸].

۶-۲ روش پروفیل‌زنی الکتریکی

همان‌گونه که اشاره شد با ثابت نگه‌داشتن فاصله الکترودها و جابه‌جایی کل آرایه می‌توان تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظاهری را به موازات سطح زمین به دست آورد. این بررسی‌ها به دو صورت انجام می‌گیرد. در صورتی که نقاط اندازه‌گیری در یک راستای مشخص انتخاب شوند، بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در این راستای مشخص را پروفیل‌زنی مقاومت ویژه می‌گویند و در حالت دیگر اگر نقاط اندازه‌گیری را در یک محدوده در نظر بگیریم، آن‌گاه بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری را به نقشه درآوردن مقاومت ویژه ظاهری می‌گوییم. در حالت اول که نقاط اندازه‌گیری در یک راستای مشخص واقع شده‌اند، با بررسی منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب موقعیت

^۱ Master curves

^۲ Abacus

نقاط اندازه‌گیری، می‌توان ناهنجاری‌ها و ناپیوستگی‌های جانبی را در لایه‌های زمین شناسایی کرد. راستای اندازه‌گیری و فاصله الکترودها با توجه به شواهد زمین‌شناسی منطقه انتخاب می‌شوند و فاصله نقاط از یکدیگر به دقت مورد نظر بستگی دارد. بررسی روند تغییرات منحنی مقاومت ویژه ظاهری، از نحوه گسترش عمقی هدف مورد مطالعه اطلاعی به دست نمی‌دهد، به این منظور با تکرار اندازه‌گیری-ها به ازاء ۲ یا ۳ فاصله متفاوت برای الکترودهای جریان و مقایسه منحنی‌های مربوط به این فواصل می‌توان از نحوه گسترش عمقی هدف مورد مطالعه نیز اطلاعاتی به دست آورد [۱۷].

در روش پروفیل‌زنی، آرایش مورد استفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می‌مانند و الکترودها در طول خط پروفیل جابه‌جا می‌شوند و به این ترتیب می‌توان تغییرات جانبی لایه‌ها را در یک عمق معین بررسی کرد. برای نمایش داده‌های پروفیل زنی، محور افقی فواصل ایستگاهی و محور قائم مقادیر مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. محور افقی همواره خطی است ولی محور قائم می‌تواند خطی یا لگاریتمی باشد. از کاربردهای مهم این روش می‌توان به اکتشاف گسل‌ها، حفرات، رودخانه‌های مدفون و دیگر ساختارهای قائم یا با شیب زیاد اشاره کرد.

در مواقعی که احتیاج به تهیه شبه مقاطعی از مقاومت‌ویژه توده‌های زیرسطحی است، داده‌ها به صورت دو بعدی برداشت می‌شوند [۲۳].

۷-۲ آرایش الکتروودی مورد استفاده

آرایش‌های الکتروودی متنوعی وجود دارد که هر کدام، مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب آرایش مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایش به کار گرفته شده و سختی و کارایی آرایش و کاربرد در نظر گرفته شده بستگی دارد. همچنین، حساسیت آرایش‌ها به ناهمگنی‌های جانبی و فصل مشترک‌های شیبدار نیز از اهمیت به سزایی برخوردار است [۳۰]. در اصل خطی بودن آرایش انتخابی لزومی ندارد، اما در عمل تقریباً همیشه از آرایش‌های خطی (محوری) استفاده می‌شود زیرا در غیر این صورت تعبیر و تفسیر نتایج دشوار خواهد بود و عملیات صحرایی نیز وقت‌گیر و پیچیده می‌شود [۲].

برای اندازه‌گیری‌های داده‌های مقاومت‌ویژه آرایش‌های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهم‌ترین آرایش‌هایی که در روش مقاومت‌ویژه به کار برده می‌شوند، می‌توان به آرایش‌های ونر^۱، شلومبرژه^۲، دوقطبی- دوقطبی^۳، قطبی- دوقطبی^۴ و گرادیان^۵ اشاره کرد. پرکاربردترین این آرایش‌ها، آرایش ونر، شلومبرژه و دوقطبی-دوقطبی می‌باشند [۲۳].

در پروفیل‌زنی ژئوالکتریکی، کابل‌ها و الکترودها در فواصل طولانی بر روی خطوط برداشت جابه‌جا 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 [۱۸].

با توجه به این که 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 شلومبرژه که در آن عملاً و عمدتاً تنها دو الکترودها جابه‌جا می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علاوه، مقدار خطا و حساسیت این آرایش به تغییرات جانبی مقاومت ویژه نسبتاً کم و قدرت تفکیک‌پذیری عمودی آن بالاست. روش‌های تفسیر و منحنی‌های استاندارد مختلفی نیز برای این روش، در دسترس می‌باشند [۲۳].

آرایش ونر نیز برای سونداژزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته، معمولاً اختلاف میان منحنی‌های ونر و شلومبرژه در زیر سطح نوفه^۶ مشاهده‌ای قرار دارد.

اگرچه استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی برای سونداژزنی امکان‌پذیر است، اما در عمل این آرایش مورد استفاده قرار نمی‌گیرد [۱۸].

آرایش ونر در پروفیل‌زنی، آرایش شلومبرژه در سونداژزنی و آرایش دوقطبی- دوقطبی در تهیه

¹ Wenner

² Schelumberger

³ Dipole-dipole

⁴ Pole-dipole

⁵ Gradient

⁶ Noise

شبه مقاطع و برداشت های IP محبوبیت زیادی پیدا کرده اند [۲۳].

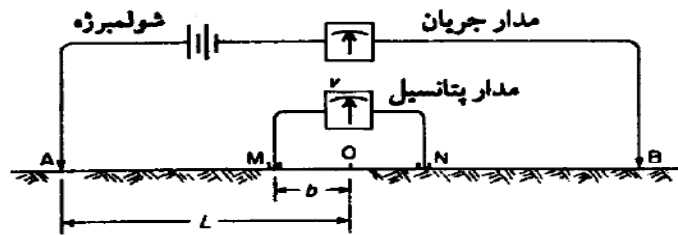
۸-۲ آرایش شلومبرژه

آرایش شلومبرژه از متداول ترین آرایش های الکترودی در انجام سونداژهای الکتریکی است. این آرایش در مقایسه با دیگر آرایش ها، از کارایی و دقت بیشتری در تفکیک لایه بندی های افقی زمین برخوردار است [۱۸]. این آرایش به طور گسترده در اکتشافات الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد. در انجام سونداژ الکتریکی با آرایش الکتریکی شلومبرژه با افزایش فاصله الکترودهای جریان، فاصله الکترودهای پتانسیل تا حد امکان ثابت نگه داشته می شود. تا آن جاکه مقادیر اختلاف پتانسیل الکتریکی دقت لازم را داشته باشند. هرگاه مقادیر اختلاف پتانسیل از حد دقت اندازه گیری دستگاه کوچک تر شدند، فاصله الکترودهای پتانسیل نیز افزایش می یابد. به طوری که همواره فاصله الکترودهای جریان را بیشتر از پنج برابر فاصله الکترودهای پتانسیل در نظر می گیرند [۵]. هنگام افزایش فاصله الکترودهای پتانسیل اندازه گیری مقاومت ویژه به ازاء همان فاصله الکترودهای جریان تکرار می شود. این عمل اپراتور را از صحت روند منحنی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری و یا عدم آن مطلع می سازد. بر اساس رابطه (۱-۲) و با توجه به فاصله الکترودها در آرایش شلومبرژه، مقادیر ضریب هندسی و مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه خواهند بود:

$$\rho_a = \frac{\pi AM \cdot AN}{MN} \cdot \frac{\Delta V}{I} = \frac{\pi(l^2 - b^2)}{2b} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2-2)$$

که در آن M و N الکترودهای پتانسیل و A و B الکترودهای جریان را نشان می دهند (شکل ۱-۲). همچنین همان طور که شکل ۲-۲ نشان می دهد $l = OA = OB = AB/2$ و

$$b = OM = ON = MN/2$$



شکل ۲-۲: موقعیت الکترودهای جریان و پتانسیل را در آرایه شلومبرزه [۴]

۹-۲ محدودیت‌های روش‌های ژئوالکتریکی

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 برداشت‌های 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 آشکار ساز کابل‌ها یا لوله‌ها، توصیه می‌شود. در مواردی که ساختمان‌ها، لوله‌های فلزی و کابل‌های موجود و یا خطوط راه‌آهن منطقه بررسی را قطع نمایند، اندازه‌گیری‌های ژئوالکتریکی محدود می‌شوند. علاوه بر موارد مذکور، نوفه‌های الکتریکی در نزدیکی مناطق صنعتی، اندازه‌گیری‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. فروکردن 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 مقاومت‌ویژه بسیار وقت‌گیر هستند. لایه‌های کم ضخامت ممکن است در منحنی‌های سونداژ الکتریکی قابل آشکارسازی نباشند [۲۹].

یک محدودیت بسیار مهم، ابهام در تفسیر داده‌هاست که باعث رسیدن به چندین مدل ژئوالکتریکی مختلف می‌شود که با مشاهدات تطبیق داشته باشند. در نتیجه احتمال وجود چندین تفسیر یا مدل ژئوالکتریکی مختلف ولی معادل برای یک منحنی سونداژ الکتریکی و همچنین مدل ژئوالکتریکی حاصل از تفسیر شامل زمین متشکل از ساختارهای ساده خواهد بود. تشخیص

ساختارهای پیچیده زمینی از روی تفسیر نتایج سونداژ، دشوار و حتی غیرممکن خواهد بود [۱۹].

توپوگرافی و تأثیرات مربوط به تغییرات مقاومت ویژه نزدیک به سطح نیز ممکن است باعث حذف و پوشیده شدن اثر تغییرات عمقی شود [۵].

در نهایت 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 یک کیلومتر تجاوز نمی‌کند [۱۵].

۲-۱۰ پارامترهای ژئوالکتریکی

یک مقطع زمین‌شناسی کلاً با یک مقطع ژئوالکتریک فرق دارد. مرز بین لایه‌های مختلف زمین‌شناسی ممکن است منطبق با مرز لایه‌های ژئوالکتریک باشد و یا نباشد. برای نمونه، موقعی که شوری آب زیرزمینی در یک نوع سنگ و یا رسوب معین (که از نظر لیتولوژیکی همگن می‌باشد) با عمق تغییر کند، چند لایه ژئوالکتریک ممکن است در داخل آن قابل تشخیص باشند. عکس این حالت موقعی است که چند لایه با لیتولوژی و یا سن متفاوت (یا هر دو حالت)، ممکن است مقاومت ویژه یکسانی داشته باشند و تشکیل یک لایه ژئوالکتریک را بدهند. بنابراین یک لایه ژئوالکتریک توسط دو پارامتر اساسی، یکی مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) و دیگری ضخامت (h) قابل توصیف می‌باشد [۵].

۲-۱۱ تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی

۲-۱۱-۱ مقاومت ویژه ظاهری

مقادیر قرائت شده توسط دستگاه‌ها (جریان و ولتاژ) معمولاً به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری تبدیل می‌شوند. مقاومت ویژه ظاهری در واقع مقاومت ویژه نیم فضای^۱ همگنی است که پاسخ دستگاهی مشاهده شده را به ازای فواصل الکترودی معین، نشان می‌دهد. مقاومت ویژه ظاهری، یک

^۱ Half Space

میانگین وزنی از مقاومت ویژه خاک‌ها و سنگ‌های محدوده عمقی تحت بررسی می‌باشد. برای داده‌های سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی، یک نمودار لگاریتمی شامل مقاومت ویژه ظاهری به ازای فاصله الکترودی است، ترسیم می‌گردد که اصطلاحاً منحنی سونداژ الکتریکی نامیده می‌شود.

نتیجه نهایی برداشت‌های مقاومت ویژه مستقیم، معمولاً یک مقطع عرضی ژئوالکتریکی^۱ است که مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌ها یا واحدهای ژئوالکتریکی را نشان می‌دهد. اگر داده‌های چاه‌پیمایی یا مدل زمین‌شناسی منطقه در دست باشند، آنگاه از ترکیب مدل زمین‌شناسی و مقطع ژئوالکتریکی می‌توان برای تشخیص حد اطمینان^۲ اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه الکتریکی استفاده کرد. یک مقطع ژئوالکتریکی دوبعدی ممکن است از ترکیب یک سری سونداژهای الکتریکی یک بعدی ایجاد شود و یا اینکه یک مقطع عرضی دوبعدی به هم پیوسته و یکپارچه باشد. نوع مقطع ژئوالکتریکی تولید شده، به نحوه به دست آوردن پارامترها و نوع پردازش صورت گرفته بر روی داده‌ها بستگی دارد [۱۲].

۲-۱۱-۲ مدل‌سازی

داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی معمولاً از طریق فرایند مدل‌سازی پردازش می‌شوند. یک مدل فرضی از زمین به همراه مقادیر مقاومت ویژه آن (مقطع ژئوالکتریکی) ایجاد می‌شود. سپس مقدار تئوری مقاومت ویژه الکتریکی آن مدل محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد، این پاسخ تئوری با پاسخ صحرایی مشاهده شده مقایسه می‌گردد و اختلافات موجود بین این دو، مورد توجه قرار می‌گیرد. سپس مدل زمینی فرضی آنقدر تعدیل می‌شود تا بیشترین برازش^۳ با داده‌های مشاهده شده ایجاد شود و در نهایت این مدل فرضی تعدیل یافته، به عنوان مدل مقاومت ویژه نهایی برگزیده می‌شود.

^۲ Geoelectric Cross Section

^۳ Level of Confidence

^۱ Fitting

هنگامی که این فرایند تکراری به صورت اتوماتیک انجام شود، آن را اصطلاحاً معکوس‌سازی تکراری^۱ یا بهینه‌سازی^۲ می‌نامیم [۱۲].

۲-۱۱-۳ یکتایی^۳

مدل‌های مقاومت ویژه الکتریکی معمولاً یکتا نیستند. تعداد زیادی از مدل‌های زمینی می‌توانند داده‌های مشاهده‌ای یا نمودارهای سونداژ مشابهی را تولید کنند. معمولاً روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی، مقاومت عرضی^۴ یا هدایت افقی^۵ لایه یا واحد چینه‌شناسی را مد نظر قرار می‌دهند که هر دو عامل، تابعی از مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌ها می‌باشند. بنابراین لایه‌های ضخیم با مقاومت ویژه کم و لایه‌های نازک با مقاومت ویژه زیاد، ممکن است پاسخ مشابهی را تولید کنند. این پدیده را اصطلاحاً اصل هم‌ارزی^۶ می‌نامیم. پس ایجاد قیدهایی بر روی مدل مذکور، می‌تواند تعبیر و تفسیر را ساده‌تر نماید [۱۲].

² Iterative Inversion

³ Optimization

⁴ Uniqueness

⁵ Traverse Resistance

⁶ Horizontal Conductance

⁷ Principle of Equivalence

فصل سوم:

روش لرزه نگاری انعکاسی

برداشت لرزه‌نگاری شکست مرزی یا انکساری یکی از قدرتمندترین روش‌های ژئوفیزیکی برای کشف ساختارهای زیر سطحی است. استفاده از کاوش‌های لرزه‌نگاری انکساری برای تعیین لایه‌بندی زمین، به دست آوردن سرعت انتشار موج در لایه‌ها و عمق و ضخامت آن‌ها جایگاه ویژه‌ای را در ژئوفیزیک اکتشافی دارا می‌باشد. در این روش به‌طور کلی فقط زمان‌های مربوط به سیرموج‌ها جهت کسب اطلاعات لازم به‌کار می‌روند. بنابراین در روش معمول لرزه‌نگاری انکساری در صورتی که انرژی به‌صورت اولین رسید از یک لایه به سطح زمین نرسد، آن لایه از طریق این روش قابل تشخیص نخواهد بود [۴]. در این فصل سعی شده توضیحات بیشتری درباره این روش ارائه گردد.

۲-۳ تاریخچه مختصر روش لرزه‌نگاری شکست مرزی

تاریخچه روش لرزه‌نگاری شکست مرزی به سال ۱۹۱۰ برمی‌گردد، زمانی که ژئوفیزیکدان آلمانی به‌نام مینتریوپ^۱ استفاده عملی از انتقال امواج لرزه‌ای در داخل زمین را خاطر نشان کرد. در سال ۱۹۱۹ مینتریوپ برای تهیه یک مقطع شکست مرزی لرزه‌ای جهت تعیین عمق و انواع تشکیلات زیرسطحی این روش را به‌کار برد. همزمان در آمریکا بر روی مبانی این روش کار شد و توسط شخصی به‌نام مک کالم^۲ به‌صورت عملی به‌کار گرفته شد. در سال ۱۹۲۵ روش لرزه‌نگاری شکست مرزی به عنوان یک روش کارآمد در ژئوفیزیک کاربردی ثبت شد [۲۸].

تا قبل از سال ۱۹۳۰ این روش در کاوش‌های نفتی و تعیین گنبد‌های نمکی مورد استفاده قرار می‌گرفت، سپس در کشورهای اسکندیناوی به‌طور اخص برای مهندسی عمران و در مواردی هم برای پی‌جویی آب‌های زیرزمینی و کارهای نفتی مورد استفاده قرار گرفت. روش شکست مرزی معمولاً در پروژه‌های مهندسی عمران مانند ساخت سد، محل ساختگاه نیروگاه‌های آبی و طرح‌های بزرگ سازه‌ای

¹ L.Mintrioop

² E.V.Mc Collum

برای شناسایی سنگ کف بکار می‌رود. کاربرد دیگر آن تعیین زون‌های خرد شده در ارتباط با پی‌جویی آب‌های زیر زمینی و یا تعیین مناسب‌ترین محل برای دفن زباله‌های هسته‌ای می‌باشد [۲۱].

۳-۳ روش‌های لرزه‌نگاری

در مطالعات مهندسی ژئوفیزیک، روش‌های لرزه‌نگاری را می‌توان به سه دسته عمده تقسیم نمود که عبارتند از: روش لرزه‌نگاری بازتابی (انعکاسی)، روش لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی) و روش‌های ویژه.

لرزه‌نگاری بازتابی بیشتر به جهت مطالعات زمین‌ساختی در مقیاس وسیع‌تر ناحیه‌ای به کار می‌رود، از جمله مطالعات ساختاری مخازن حاوی هیدروکربورها که تا عمق دو تا سه هزار متر این روش انجام می‌شود. در این روش امواج طولی توسط چشمه‌های انفجاری و یا مکانیکی با انرژی زیاد در سطح زمین ایجاد شده، بازتاب آنها از فصل مشترک لایه‌ها بوسیله تعداد زیادی گیرنده که در یک امتداد مشخص قرار می‌گیرند؛ ثبت می‌شوند. مهم‌ترین جنبه عملی در این روش، پردازش داده‌های حاصل و حذف نوفه‌های موجود است [۵].

روش‌های ویژه به روش‌هایی گفته می‌شود که به منظور کسب اطلاعات خاص و دقیق از یک محدوده در مقیاس کوچک استفاده می‌شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان روش توموگرافی لرزه‌ای، روش خرد لرزه‌نگاری (پتی سیزمیک)^۱، روش بادبزی^۲ و غیره را نام برد [۱۱].

روش لرزه‌نگاری شکست مرزی که در این مطالعات به کار برده شده است به طور مفصل در ادامه تشریح خواهد شد.

1

2

۳-۴ اساس روش لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی)

روش لرزه‌نگاری انکساری یا شکست مرزی از متداول‌ترین روش‌ها در اکتشافات ژئوفیزیک مهندسی می‌باشد. هزینه پائین، سادگی عملیات برداشت و همچنین تنوع روش‌های تفسیر باعث کاربرد روزافزون این روش در مطالعه ساخت‌گاه‌ها و در سایر سازه‌های مهندسی شده است. در این روش، اندازه‌گیری‌ها با ایجاد موج لرزه‌ای توسط چشمه‌های انرژی مصنوعی (انفجاری و یا مکانیکی) در یک نقطه و تعیین زمان رسیدن امواج شکسته شده در فصل مشترک لایه‌ها به یک سری گیرنده که معمولاً در امتداد یک خط مستقیم در سطح زمین قرار گرفته‌اند، صورت می‌گیرد. با آزاد شدن انرژی در زمین تا فاصله معینی از چشمه که به فاصله هم‌گذری^۱ موسوم است، اولین موج دریافتی گیرنده‌ها، موج مستقیم است که در لایه سطحی با سرعت V_1 حرکت می‌کند و زمان سیر آن از معادله زیر به دست می‌آید:

$$t_1 = X / V_1 \quad (4-1)$$

t_1 زمان رسیدن موج مستقیم، x فاصله محل ایجاد موج و گیرنده و V_1 سرعت موج در لایه سطحی می‌باشد. از این فاصله به بعد، امواج شکست مرزی که پس از شکست با زاویه بحرانی در سطح مشترک لایه اول و دوم با سرعت انتشار موج در لایه دوم حرکت می‌کنند، اولین موج دریافتی می‌باشند. در صورتی که با افزایش عمق سرعت انتشار موج در هر لایه افزایش یابد، رابطه زمان-مسافت برای این دسته از امواج در یک مدل ساده دولایه افقی بر طبق معادله زیر خواهد بود:

$$t_2 = \frac{X}{V_2} + \frac{2H_1 \cos \theta}{V_1} \quad ; \quad V_2 > V_1 \quad (5-1)$$

که در آن H_1 ضخامت لایه اول (لایه سطحی)، θ زاویه بحرانی، V_1 و V_2 به ترتیب سرعت انتشار موج در لایه‌های اول و دوم و t_2 زمان رسیدن موج انکساری (شکسته شده) می‌باشد. با رسم دو معادله فوق در صفحه مختصات زمان-مسافت، می‌توان دریافت که سرعت انتشار امواج

¹ Cross-overdistance

در محیط اول از عکس شیب منحنی امواج دریافتی مستقیم و در محیط دوم از عکس شیب منحنی امواج شکست مرزی به دست می‌آید.

با توجه به این که لایه‌بندی‌ها در طبیعت همواره به صورت افقی و مستقیم نبوده و اکثراً شیبدار و دارای ناهمواری و اعوجاج می‌باشند، برای آن که پوشش کاملی در امتداد پروفیل مورد بررسی داشته باشیم، اندازه‌گیری‌ها به ازاء فواصل معینی تکرار شده و ارسال موج به زمین به طور متقابل انجام می‌شود [۲۰].

۳-۵ امواج لرزه‌ای

امواج لرزه‌ای پیام‌آورانی هستند که اطلاعاتی درباره داخل زمین می‌دهند. اساساً این امواج میزان فشرده شدن (انقباض یا تراکم) یا کشیده شدن (انبساط) مواد را آزمایش می‌کنند. آن‌ها نوسان ذرات مواد را سبب می‌شوند و نشان می‌دهند که این ذرات به طور موقتی هنگامی که به جلو و عقب حرکت می‌کنند از موقعیت خودشان به خارج کشیده می‌شوند.

ظرفیت یک ماده که به طور موقتی به وسیله عبور امواج لرزه‌ای تغییر یابد می‌تواند با خصوصیات الاستیسیته تشریح شود. این خصوصیات فیزیکی می‌تواند برای تشخیص مواد مختلف استفاده شود، به طوری که سرعت‌های امواج لرزه‌ای از میان مواد مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۴]. در جدول بعد سرعت امواج لرزه‌ای طولی یا P در مواد مختلف نمایش داده شده است.

جدول ۳-۱: سرعت موج P در مواد مختلف [۲۸]

نوع سنگ	سرعت موج P بر حسب کیلومتر بر ثانیه
آبرفت	۰/۲ - ۱/۷
ماسه خشک	۰/۱ - ۲
ماسه سنگ	۰/۷ - ۳/۵
خاک رس	۰/۹ - ۵
آهک	۱/۷ - ۷
دولومیت	۲/۵ - ۶/۵
سنگ گچ	۲ - ۳/۵
شیل	۲ - ۴/۱
مارن	۱/۶ - ۲/۴

۳-۶ قانون اسنل^۱

از آنجایی که انتشار امواج لرزه‌ای، از جمله امواج شکست مرزی و نیز تشکیل آن‌ها از قانون اسنل پیروی می‌نماید، لذا در این جا به توضیح این قانون می‌پردازیم.

قانون اسنل نتیجه‌ای از اصل فرما^۲ می‌باشد و بیان می‌کند که یک آشفستگی الاستیکی جهت انتقال از نقطه‌ای به نقطه دیگر، از مسیری حرکت می‌نماید که به کمترین زمان نیاز داشته باشد. این مطلب اشاره بر این دارد که کوتاه‌ترین زمان سیر بین دو نقطه در صورتی که این نقاط در دو محیط مختلف دارای خواص فیزیکی مختلف قرار داشته باشند، لزوماً مسیر خط مستقیم بین دو نقطه نمی‌باشد.

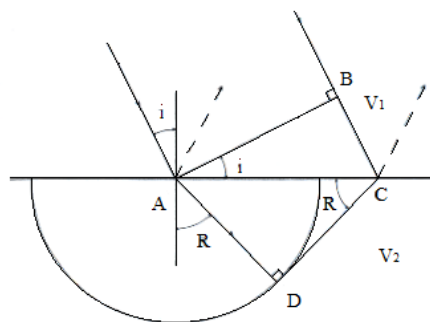
هنگامی که یک موج تابشی به سطح مشترک دو محیط برخورد می‌کند، هر نقطه‌ای در روی سطح مشترک به صورت چشمه‌ای برای یک موج نیم‌کره‌ای که در داخل محیط دوم و با سرعت آن

¹

² Ferma principle

محیط حرکت می‌کند، در می‌آید. در شکل ۱-۳ موج از لایه بالایی به صورت مایل به سطح مشترک بین دو لایه که دارای سرعت‌های v_1 و v_2 می‌باشند برخورد می‌کنند و فرض بر این است که v_1 کوچکتر از v_2 بوده و جبهه موج AB در محیط بالایی به صورت تخت می‌باشد. موج تابشی در سطح مشترک دو محیط به دو موج جدید تبدیل می‌شود. قسمتی از انرژی در محیط بالایی بازتابیده می‌شود. جبهه موج بازتابی (مسیر موج‌هایی که با خطوط بریده نشان داده شده‌اند) همان زاویه‌ای را با سطح مشترک می‌سازد، که موج تابشی با سطح مشترک ساخته است، در نتیجه مسیر موج تابشی و بازتابی، هر دو زاویه i را با خط عمود بر سطح مشترک می‌سازد. در محیط پایینی با توجه به اختلاف خواص دو محیط، موج جهت خود را عوض می‌کند و به عبارت دیگر موج شکست پیدا می‌کند.

اگر موج شکسته شده را بررسی کنیم، در شکل ۱-۳ قابل مشاهده است که هنگام برخورد جبهه موج هنگام برخورد جبهه موج به سطح مشترک در نقطه A، موقعیت آن بر روی شعاع دیگر و در محیط بالایی، نقطه B می‌باشد. در طی مدت زمان t که موج در محیط بالایی فاصله BC را، که برابر با $V_1 t$ است طی می‌کند، نقطه A به عنوان یک چشمه انرژی با جبهه موج نیم‌کره‌ای که در محیط دوم منتشر می‌شود عمل می‌نماید که شعاع نیم‌کره در هر زمان برابر با $V_2 t$ خواهد بود. مماسی از نقطه C بر نیم‌دایره رسم شده است و این خط مماس پوش موج‌هایی است که در طی مدت زمان t از نقاط مختلف بین A و C در روی سطح مشترک سرچشمه گرفته‌اند.



شکل ۱-۳: قانون اسنل (v_1 و v_2) [۲۸]

با توجه به چهارضلعی ABCD در شکل ۱-۳ می توان نوشت:

$$\sin i = \frac{BC}{AC}$$

$$\sin R = \frac{AD}{AC}$$

و

بنابراین:

$$\frac{\sin i}{\sin R} = \frac{BC}{AD} = \frac{V_1 t}{V_2 t} = \frac{V_1}{V_2} \quad (۱-۳)$$

معادله بالا به عنوان قانون اسنل یا قانون شکست^۱ شناخته شده است. زاویه R زاویه شکست و i زاویه تابش^۲ نامیده می شود. با توجه به این که در این حالت V₂ بزرگتر از V₁ است، لذا R نیز بزرگتر از i خواهد بود. وقتی که مقدار i را به تدریج افزایش دهیم، حالت خاصی وجود خواهد داشت که زاویه شکست R برابر ۹۰ درجه و در نتیجه $\sin R = 1$ خواهد بود. در این حالت ویژه خواهیم داشت:

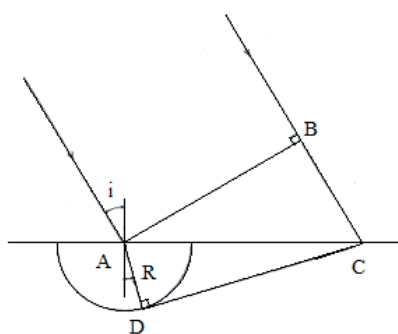
$$\sin i = \frac{V_1}{V_2} = \sin i_{12}$$

زاویه i₁₂ زاویه تابش بحرانی^۳ نامیده می شود، و برای زوایای تابش بزرگتر از زاویه بحرانی، قانون اسنل نمی تواند به کار برده شود، چون که در این حالت زاویه R از ۹۰ درجه بیشتر خواهد بود و در نتیجه زاویه یا موج R دیگر زاویه یا موج شکست نخواهد بود بلکه زاویه یا موج بازتاب خواهد بود. تحلیل بالا تا زمانی که سرعت هر لایه در یک سری از لایه ها بزرگتر از سرعت لایه بالایی باشد، کاربرد دارد. در حالتی که سرعت در لایه پایینی کمتر از لایه بالایی باشد، زاویه شکست R کوچکتر از زاویه تابش i خواهد بود. این حالت در شکل ۲-۳ نشان داده شده است [۲۸].

¹ Refraction

² Angle of incidence

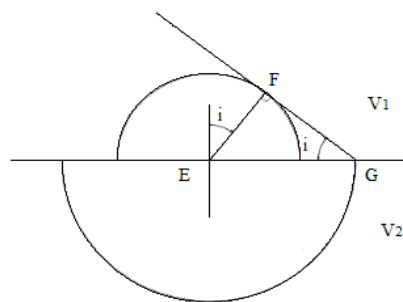
³ Critical angle



شکل ۳-۲: قانون اسنل (v_1 و v_2) [۲۸]

زمانی که موج در لایه بالایی فاصله BC را می‌پیماید، در محیط پایین فاصله کوتاه‌تر AD را خواهد پیمود و شعاع موج در لایه V_2 به طرف پایین منحرف خواهد شد [۲۸].

در شکل ۳-۱ هنگامی که زاویه تابش برابر i_{12} (زاویه بحرانی) باشد، زمان سیر مربوط به فاصله AC عبارت از زمان سیر در محیط پایینی می‌باشد. در این حالت جبهه موج در محیط پایینی عمود بر سطح مشترک بین دو محیط و در مجاورت سطح مشترک حرکت می‌کند. موجی که در قسمت بالایی محیط دوم حرکت می‌کند، در اثر نوسان تنش در سطح مشترک، موج دیگری را در محیط بالایی ایجاد می‌کند. این موضوع در شکل ۳-۳ و با فرض $V_2 > V_1$ ، نشان داده شده است. هنگامی که موج در محیط پایینی فاصله EG را می‌پیماید، نیم‌کره جبهه موج در محیط بالایی به شعاعی برابر با EF رسیده است و خط GF پوش تمام موج‌هایی است که از نقاط واقع بر روی خط EG تولید شده‌اند و عبارت از جبهه موج در محیط بالایی است. فاصله‌های EG و EF به ترتیب برابر $V_1 t$ و $V_2 t$ می‌باشند.



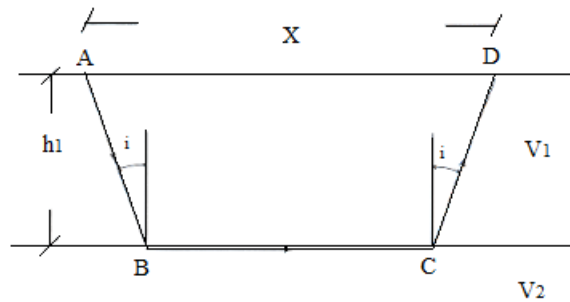
شکل ۳-۳: زاویه بحرانی [۲۸]

زاویه بین جبهه موج و سطح مشترک (زاویه i) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\sin i = \frac{EF}{EG} = \frac{V_1 t}{V_2 t} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2-3)$$

بنابراین زاویه i برابر با زاویه بحرانی i_{12} ذکر شده می‌باشد و در نتیجه پرتوهای موج زاویه i_{12} را با امتداد قائم بر سطح مشترک خواهند ساخت. حال باید دید که آیا مسیر پایه‌گذاری شده بر اساس زوایای بحرانی دارای کوتاه‌ترین زمان سیر هست یا نه؟

با مراجعه به شکل ۳-۴ ملاحظه می‌شود که کوتاه‌ترین زمان سیر از A تا D از طریق لایه دوم زمانی به دست می‌آید که زاویه تابش i برابر با زاویه بحرانی i_{12} باشد. توضیح این که زمان سیر کلی T_{AD} به سه قسمت مربوط می‌شود، به‌طوری که $AB = CD = h_1 / \cos i$ و $BC = X - 2h_1 \tan i$ می‌باشد.



شکل ۳-۴: شکست با زاویه بحرانی [۲۸]

بنابراین :

$$t_{AD} = \frac{2h_1}{v_1 \cos i} + \frac{X - 2h_1 \tan i}{v_2}$$

با مشتق‌گیری از T_{AD} نسبت به i خواهیم داشت:

$$\frac{dT_{AD}}{di} = \frac{2h_1 \sin i}{v_1 \cos^2 i} - \frac{2h_1}{v_2 \cos^2 i}$$

بنابراین زمانی که مسیر موج در لایه اول زاویه‌ای برابر با i_{12} با امتداد قائم بر سطح مشترک داشته باشد، زمان سیر A تا D از طریق لایه دوم دارای یک مقدار حداقل یا حداکثر می‌باشد. البته مشتق دوم ثابت می‌نماید که این زمان حداقل است [۲۸].

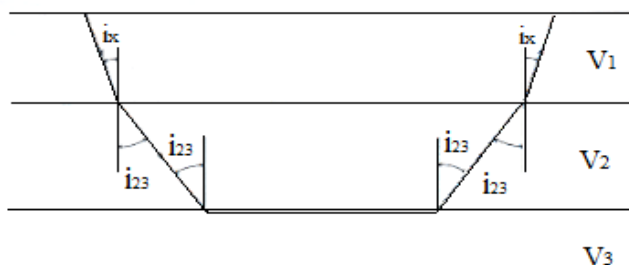
برای حالت‌های چند لایه نیز مسیرهای موج مربوط به کوتاهترین زمان از همان قانونی که برای حالت دو لایه ذکر شد، تبعیت می‌نماید. اما در این مورد شرایط قدری پیچیده‌تر خواهد شد. در شکل ۳-۵ زاویه بحرانی i_{23} با رابطه $\sin i_{23} = v_2/v_3$ مشخص می‌شود و زاویه نامعلوم i_x بر اساس قانون اسنل بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\sin i_x}{\sin i_{23}} = \frac{v_1}{v_2}$$

با جایگذاری $\sin i_{23}$ توسط v_2/v_3 رابطه فوق بصورت زیر درخواهد آمد:

$$\sin i_x = \frac{v_1 v_2}{v_2 v_3} = \frac{v_1}{v_3} \quad (3-3)$$

زاویه تابش در لایه بالایی معمولاً با i_{13} معین می‌شود که از رابطه $\sin i_{13} = v_1/v_3$ گرفته شده است.



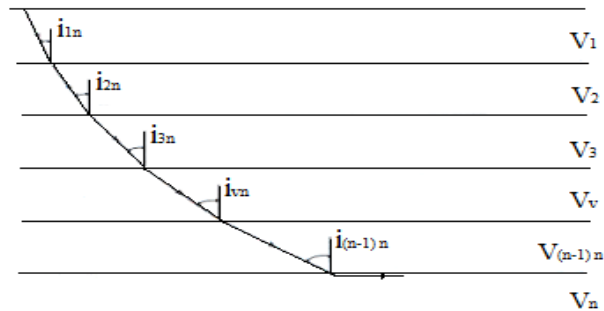
شکل ۳-۵: مسیر موج انکساری در یک مدل سه لایه [۲۸]

در حالت کلی بیان عمومی برای زاویه تابش در مورد حالت‌های چند لایه عبارت است از

$\sin i_{vn} = v_v/v_n$ و معادله زاویه بحرانی به صورت زیر می باشد [۲۸]:

$$\sin i_{(n-1)n} = \frac{v_{n-1}}{v_n} \quad (۴-۳)$$

مسیر موج و زوایای تابش در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: مسیر موج انکساری و زوایای بحرانی در یک مدل چندلایه [۲۸]

۷-۳ روابط مورد استفاده برای محاسبه عمق و ضخامت لایه ها در روش لرزه نگاری

انکساری

در این قسمت با توجه به مطالب بیان شده در قسمت قبل در مورد قانون اسنل روابط مربوط به محاسبه عمق و ضخامت لایه های تخت با استفاده از اطلاعات به دست آمده از منحنی زمان مسافت اولین رسیدها، به طور خلاصه ذکر می شود. در مورد محاسبات عمق و ضخامت لایه ها دو روش مختلف استفاده از زمان تقاطع و فاصله تقاطع به کار می روند، که روابط مربوط به هر کدام جداگانه بیان خواهد شد. ابتدا روابط محاسبه ضخامت لایه ها در مدل های دو لایه بیان می شود.

۱-۷-۳ محاسبه ضخامت لایه در مدل های دو لایه

شکل ۷-۳ را که عبارت از یک مدل دو لایه و منحنی زمان مسافت اولین رسیدهای مربوطه می باشد، در نظر گرفته و روابط مربوط به محاسبه عمق از دو روش زمان تقاطع و فاصله تقاطع به

شرح زیر بیان می‌شود.

الف) روش زمان تقاطع

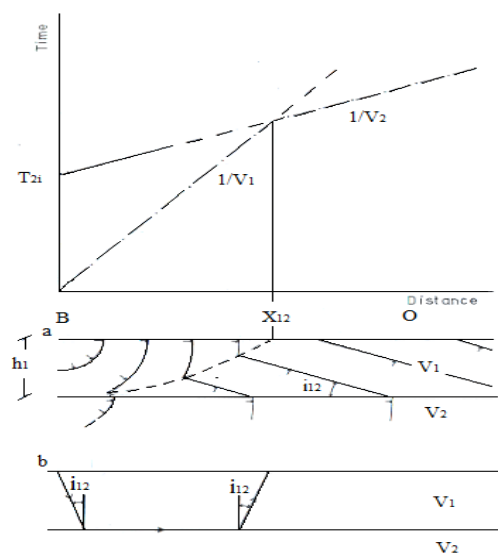
با توجه به معادلات زمان رسید موج مستقیم سطحی و زمان رسید امواج شکست مرزی از لایه

دوم می‌توان نوشت:

$$t_1 = \frac{x}{v_1}$$

$$t_2 = \frac{2h_1}{v_1 \cos i_{12}} + \frac{x - 2h_1 \tan i_{12}}{v_2} \quad (5-3)$$

$$t_2 = \frac{x}{v_2} + \frac{2h_1 \cos i_{12}}{v_1} \quad (6-3)$$



شکل ۳-۷: اصول اصلی لرزه‌نگاری انعکاسی [۲۸]

رابطه (۶-۳) یک خط راست با شیب $1/v_2$ و یک زمان تقاطع که عبارت از زمان مربوط به

مکان $x=0$ است، می‌باشد که زمان فوق برابر است با:

$$t_{2i} = \frac{2h_i \cos i_{12}}{v_1} \quad (7-3)$$

از رابطه (۷-۳) ضخامت لایه اول می‌تواند به صورت زیر به دست آورد:

$$h_1 = \frac{t_{2i} v_1}{2 \cos i_{12}} \quad (۸-۳)$$

یا

$$h_1 = \frac{t_{2i} v_1 v_2}{2 \sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \quad (۹-۳)$$

لازم به اشاره است که زمان تقاطع عبارت است از زمان کل منهای زمان x/v_2 که عبارت از فاصله BO می‌باشد.

(ب) روش فاصله تقاطع

فاصله تصویر محل تقاطع دو خط زمان-مسافت روی محور افقی تا مبدا در شکل ۷-۳ فاصله تقاطع می‌باشد که در آن نقطه، $t_1 = t_2$ می‌باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \frac{2h_1}{v_1 \cos i_{12}} + \frac{x_{12} - 2h_1 \tan i_{12}}{v_2} &= \frac{x_{12}}{v_1} \\ \frac{2h_1}{v_1 \cos i_{12}} - \frac{2h_1(1 - \cos^2 i_{12})}{v_1 \cos i_{12}} &= x_{12} \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \\ h_1 &= \frac{x_{12}(1 - \sin i_{12})}{2 \cos i_{12}} \end{aligned} \quad (۱۰-۳)$$

رابطه فوق بر اساس مقادیر سرعت لایه‌ها می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$h_1 = \frac{x_{12}}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \quad (۱۱-۳)$$

۲-۷-۳ روابط محاسبه ضخامت در مدل‌های سه لایه

برای محاسبه ضخامت لایه دوم در یک مدل سه لایه معادلات مربوط با توجه به شکل (۸-۳) به شرح زیر بیان می‌شوند:

الف) از طریق زمان تقاطع

معادله زمان رسید جبهه موج از نقطه B به نقطه O از طریق لایه سوم، t_3 ، به صورت زیر است:

$$t_3 = \frac{2h_1}{v_1 \cos i_{13}} + \frac{2h_2}{v_2 \cos i_{23}} + \frac{x - 2h_1 \tan i_{13} - 2h_2 \tan i_{23}}{v_3} \quad (۱۲-۳)$$

$$= \frac{2h_1 \cos i_{13}}{v_1} + \frac{2h_2 \cos i_{23}}{v_2} + \frac{x}{v_3} \quad (۱۳-۳)$$

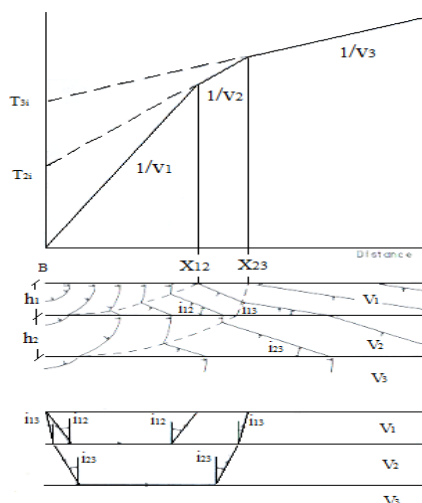
معادله بالا یک خط راست با شیب $1/v_3$ را برای t_3 نشان می‌دهد و زمان تقاطع مربوطه (زمانی

که $x=0$ است) برابر است با:

$$t_{3i} = \frac{2h_1 \cos i_{13}}{v_1} + \frac{2h_2 \cos i_{23}}{v_2} \quad (۱۴-۳)$$

ضخامت لایه دوم با حل معادله بالا نسبت به h_2 به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$h_2 = \frac{t_{3i} v_2}{2 \cos i_{23}} - \frac{v_2 h_1 \cos i_{13}}{v_1 \cos i_{23}} \quad (۱۵-۳)$$



شکل ۳-۸: یک مدل سه لایه در لرزه نگاری انکساری [۲۸]

ب) محاسبه از طریق فاصله تقاطع

محل تقاطع بین دو خط مستقیم t_2 در معادله (۶-۳) و t_3 در معادله (۱۳-۳) فاصله x_{23} در

شکل ۳-۸ را معین می‌نماید و با قرار دادن $t_2 = t_3$ ضخامت لایه دوم، h_2 ، می‌تواند به دست آید.

$$\frac{x_{23}}{v_3} + \frac{2h_1 \cos i_{13}}{v_1} + \frac{2h_2 \cos i_{23}}{v_2} = \frac{x_{23}}{v_2} + \frac{2h_1 \cos i_{12}}{v_1} \quad (۱۷-۳)$$

$$\frac{2h_2 \cos i_{23}}{v_2} = \frac{x_{23}(v_3 - v_2)}{v_2 v_3} - \frac{2h_1}{v_1} (\cos i_{13} - \cos i_{12})$$

با حل معادله (۱۷-۳) نسبت به h_2 ضخامت لایه دوم (h_2) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{x_{23}(v_3 - v_2)}{2v_3 \cos i_{23}} - \frac{h_1 v_2}{v_1 \cos i_{23}} (\cos i_{13} - \cos i_{12}) \\ &= \frac{x_{23}}{2} \frac{\sqrt{v_3 - v_2}}{\sqrt{v_3 + v_2}} - \frac{h_1 (\cos i_{13} - \cos i_{12})}{\cos i_{23} \sin i_{12}} \end{aligned} \quad (۱۸-۳)$$

و یا

$$h_2 = \frac{x_{23}(1 - \sin i_{23})}{2 \cos i_{23}} - \frac{h_1 (\cos i_{13} - \cos i_{12})}{\cos i_{23} \sin i_{12}} \quad (۱۹-۳)$$

۳-۷-۳ محاسبات ضخامت در مدل‌های چند لایه

روابط ذکر شده برای محاسبه ضخامت، در مورد حالت چند لایه نیز می‌توانند گسترش داده شوند به شرطی که سرعت هر لایه بیشتر از لایه بالایی بوده و لایه‌ها بر روی منحنی زمان-مسافت ثبت شده، وجود داشته باشند. روابط مربوط به صورت خلاصه و برای تعداد دلخواه لایه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

الف) از طریق زمان تقاطع

$$h_{(n-1)} = \frac{t_{ni} v_{(n-1)}}{2 \cos i_{(n-1)n}} - \frac{v_{(n-1)}}{\cos i_{(n-1)n}} \sum_{j=1}^{n-2} \frac{h_j \cos i_{jn}}{v_j} \quad (۲۰-۳)$$

یا

$$h_{(n-1)} = \frac{t_{ni} v_n v_{(n-1)}}{2\sqrt{v_n^2 - v_{(n-1)}^2}} - \frac{v_n v_{(n-1)}}{\sqrt{v_n^2 - v_{(n-1)}^2}} \sum_{j=1}^{n-2} h_j \sqrt{\frac{1}{v_j^2} - \frac{1}{v_n^2}} \quad (21-3)$$

ب) از طریق فاصله تقاطع

$$h_{(n-1)} = x_{(n-1)n} \frac{1 - \sin i_{(n-1)n}}{2 \cos i_{(n-1)n}} - \sum_{j=1}^{n-2} h_j \frac{\cos i_{jn} - \cos i_{j(n-1)}}{\cos i_{(n-1)n} \sin i_{j(n-1)}} \quad (22-3)$$

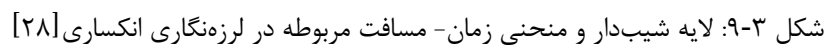
یا

$$h_{(n-1)} = \frac{x_{(n-1)n}}{2} \sqrt{\frac{v_n - v_{(n-1)}}{v_n + v_{(n-1)}}} - \sum_{j=1}^{n-2} h_j \frac{\cos i_{jn} - \cos i_{j(n-1)}}{\cos i_{(n-1)n} \sin i_{j(n-1)}} \quad (23-3)$$

۳-۷-۴ روابط محاسبه عمق و ضخامت در لایه‌های شیب‌دار

روابط ذکر شده در قسمت‌های پیشین مربوط به لایه‌های تخت افقی بود. برای محاسبات عمق و ضخامت و سرعت لایه‌ها در مورد لایه‌های شیب‌دار انجام انفجارهای متقابل ضروری است. در این قسمت روابط لازم جهت محاسبات عمق و ضخامت در مورد لایه‌های شیب‌دار به‌طور خلاصه ذکر می‌شود.

شکل ۳-۹ یک شکنای شیب‌دار که زاویه‌ای برابر φ_2 با سطح افقی زمین می‌سازد را نشان می‌دهد. در این شکل، Z_u و Z_d فاصله‌های بین چشمه انرژی و شکنا در نقاط A و D هستند. عمق قائم نیز با h_u و h_d معین می‌شوند.


$$t_{2d} = \frac{AB}{v_1} + \frac{BC}{v_2} + \frac{CD}{v_3}$$

$$= \frac{z_d}{v_1 \cos i_{12}} + \frac{x \cos \varphi_2 - z_d \tan i_{12} - (z_d + x \sin \varphi_2) \tan i_{12}}{v_2} + \frac{z_d + x \sin \varphi_2}{v_1 \cos i_{12}} \quad (24-3)$$
$$t_{2d} = \frac{2z_d \cos i_{12}}{v_1} + \frac{x}{v_1} \sin(i_{12} + \varphi_2) \quad (25-3)$$

به‌طور مشابهی با توجه به شکل ۳-۹، با جایگذاری Z_d توسط $z_u - x \sin \varphi$ در معادله (۳-۲۵)

۴۱

می‌توان معادله زمان-مسافت را برای حالت فراشیب^۱ (یعنی زمانی که نقطه D به عنوان محل چشمه و A به عنوان محل گیرنده فرض شود) نیز به دست آورد. نزدیکترین راه برای این منظور، با توجه به شکل ۳-۹، جایگذاری z_d با z_u و φ_2 با $-\varphi_2$ ، یعنی منفی بودن شیب، می‌باشد.

$$t_{2u} = \frac{2z_u \cos i_{12}}{v_1} + \frac{x}{v_1} \sin(i_{12} - \varphi_2) \quad (26-3)$$

در این حالت سرعت ظاهری، $v_2 \sin i_{12} / \sin(i_{12} - \varphi_2) = v_1 / \sin(i_{12} - \varphi_2)$ ، بزرگتر از سرعت واقعی خواهد بود.

شیب‌های خطوط مربوط به شکنا در منحنی زمان-مسافت شکل (۳-۹) عبارت است از $\sin(i_{12} + \varphi_2) / v_1$ و $\sin(i_{12} - \varphi_2) / v_1$ می‌باشند که عکس شیب‌های فوق سرعت‌های ظاهری بوده و به ترتیب با v_{2d} و v_{2u} نشان داده می‌شوند، بنابراین:

$$v_{2u} = v_1 / \sin(i_{12} - \varphi_2) \quad \text{و} \quad v_{2d} = v_1 / \sin(i_{12} + \varphi_2) \quad (27-3)$$

با حل معادلات (۲۷-۲) نسبت به i_{12} و φ_2 مقادیر زوایای فوق بصورت زیر به دست می‌آید:

$$i_{12} = \frac{1}{2} \left(\sin^{-1} \frac{v_1}{v_{2d}} + \sin^{-1} \frac{v_1}{v_{2u}} \right) \quad (28-3)$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{2} \left(\sin^{-1} \frac{v_1}{v_{2d}} - \sin^{-1} \frac{v_1}{v_{2u}} \right) \quad (29-3)$$

محل تقاطع خطوط مربوط به شکنا در روی منحنی زمان-مسافت با محور زمان برابر است با:

$$t_{2di} = 2z_d \cos i_{12} / v_1 \quad \text{و} \quad t_{2ui} = 2z_u \cos i_{12} / v_1 \quad (30-3)$$

$$z_d = t_{2di} v_1 / 2 \cos i_{12} \quad \text{و} \quad z_u = t_{2ui} v_1 / 2 \cos i_{12} \quad (31-3)$$

عمق‌های قائم h_u و h_d نیز با تقسیم z_u و z_d بر $\cos \varphi_2$ می‌توانند به دست آیند. در صورتی که فاصله تقاطع برای محاسبات مورد استفاده قرار گیرد، عمق‌های h_u و h_d توسط معادلات زیر تعیین می‌شوند:

¹ Up dip

$$h_d = x_{12} \frac{1 - \sin(i_{12} + \varphi_2)}{2 \cos \varphi_2 \cos i_{12}} \quad \text{و} \quad h_u = x_{12} \frac{1 - \sin(i_{12} - \varphi_2)}{2 \cos \varphi_2 \cos i_{12}} \quad (32-3)$$

سرعت واقعی شکنا نیز با استفاده از رابطه (3-27) می‌تواند از رابطه زیر تعیین شود:

$$v_2 = 2 \cos \varphi_2 \frac{v_{2u} v_{2d}}{v_{2u} + v_{2d}} \quad (33-3)$$

البته تخمین از سرعت لایه دوم، v_2 نیز می‌تواند با نادیده گرفتن عامل $\cos \varphi_2$ و با محاسبه

مقدار متوسط مقادیر v_{2u} و v_{2d} به دست آید. [28]

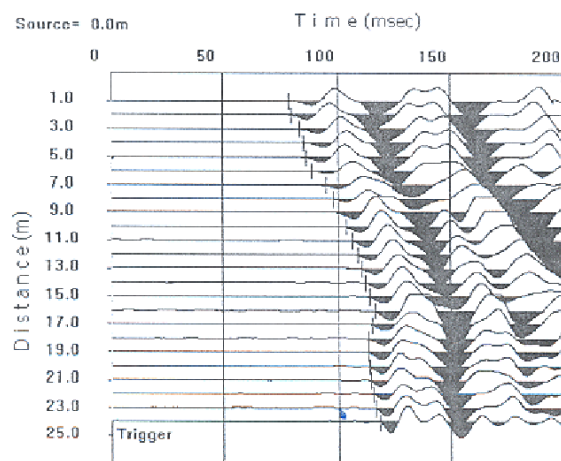
۳-۸ تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی

استخراج اطلاعات از داده‌های شکست مرزی اغلب بر مبنای زمان اولین رسیدهای امواج لرزه‌ای است. امروزه رکوردهای لرزه‌ای حاصل از این روش بصورت دیجیتالی ثبت می‌شوند. شکل ۱۰-۳ یک رکورد دیجیتالی با استفاده از ۲۴ گیرنده را نشان می‌دهد. اولین رسیدها در هر تریس^۱ به وسیله خط کوتاه عمودی علامت‌گذاری شده است. تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی با حذف لایه‌ها یکی پس از دیگری صورت می‌گیرد. بدین صورت که مسئله برای اولین شکنا حل می‌شود و بعد بخش‌هایی از منحنی زمان - مسافت برای سطح شکنای عمیق‌تر طوری محاسبه می‌شود که نتیجه‌ای را حاصل نماید که با نتایج حاصل از قرار گرفتن محل‌های چشمه و گیرنده‌ها در اولین سطح شکنای هماهنگی داشته باشد. این محاسبه متضمن تفریق کردن زمان‌های سیر در امتداد مسیر مورب از نقطه موقعیت چشمه رو به پایین تا سطح شکنای و به سوی بالا از سطح شکنای تا گیرنده‌ها، همچنین کم کردن دورافتادگی‌ها به اندازه مولفه‌های مسیرهای مورب به موازات سطح شکنای می‌باشد. به این طریق منحنی زمان - مسافت جدید برای سطح شکنای دوم حاصل می‌شود و حال می‌توان این مراحل را برای سطح شکنای عمیق‌تر انجام داد.

به منظور تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی به دست آمده از مناطق با توپوگرافی آرام، از

روش‌های متداول ترسیمی استفاده می‌گردد. هاگیوارا^۱ و مسودا^۲ به ترتیب روش‌هایی را برای تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی حاصل از زمین دو لایه و سه لایه ارائه داده‌اند [۱۵].

اسجگرن^۳ مجموعه‌ای از روش‌های پردازش و تفسیر ترسیمی و نحوه محاسبه عمق و سرعت لایه‌ها در مدل‌های زمین با حالت‌های مختلف دولایه، سه لایه، چند لایه، لایه افقی شیبدار، وجود تغییرات جانبی و گسل‌ها را ارائه داده است. این روش‌ها برای مناطقی که دارای لایه‌بندی پیچیده و پرشیب و توپوگرافی شدید باشند دارای دقت کافی نیستند و از طرف دیگر انجام محاسبات دستی و پردازش ترسیمی نیاز به زمان زیادی داشته و خسته کننده می‌باشد. برای فائق آمدن بر مشکلات و مسائل موجود در روش‌های ترسیمی و محاسبات دستی، روش‌های زمان تأخیر (هاگه دورن^۴)، روش معکوس تعمیم یافته (پالمر^۵) و پرتویابی (سرونی^۶) برای تفسیر داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی از سطوح شکنای نامنظم و غیر تخت ارائه گردیده است [۱۵]. این روش‌ها عموماً مبتنی بر برنامه‌های کامپیوتری می‌باشند.



شکل ۳-۱۰: خروجی دیجیتالی اولین ورودی‌های ثبت شده

¹ Hagivara
² Masouda
³ Sjogren
⁴ Hagedoorn
⁵
⁶

در ادامه از میان روش‌های مرسوم تفسیر امواج شکست مرزی، رایج‌ترین آن‌ها که عبارتند از روش ABC یا هاگیوارا و روش GRM یا معکوس تعمیم یافته (پالمر) بطور مختصر شرح داده می‌شوند.

۳-۸-۱ روش تفسیر ABC

در روش ABC که به روش هاگیوارا هم معروف است، از رکوردهای لرزه‌ای دو چشمه متقابل استفاده می‌شود. هندسه امواج شکست مرزی از دو چشمه متقابل A و C و منحنی‌های زمان-مسافت آن‌ها در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. در این‌جا زمان سیر موج از نقطه A تا C از طریق مسیر APQC برابر است با زمان سیر موج در جهت عکس از طریق CQPA، که در آن A و C، نقاط چشمه در دو طرف گیرنده‌ها می‌باشند. به آسانی می‌توان نشان داد که:

$$T_{APBD} + T_{CQEB} - T_{APQC} = T_{DB} + T_{EB} - T_{DE} = \frac{2z \cos(ic)}{V_1} \quad (3-34)$$

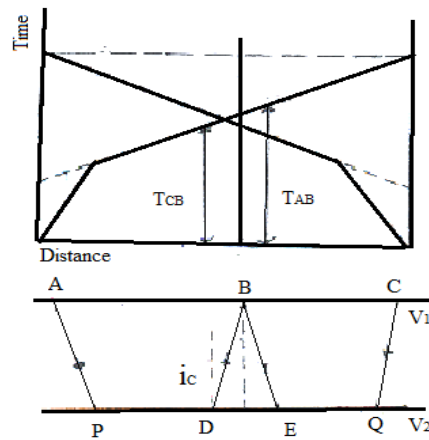
که در آن (ic) زاویه حد، Z ضخامت و V_1 سرعت لایه اول می‌باشد. با استفاده از این رابطه و با جایگزینی زاویه حد، سرعت لایه اول و زمان اولین رسیدهای ثبت شده، می‌توان عمق لایه مورد نظر را در زیر نقاط هر یک از گیرنده‌ها به دست آورد.

اگر دو نقطه چشمه متقابل A و B فرض شوند و T_{AC} زمان سیر موج شکست مرزی از چشمه A به گیرنده C، T_{BC} زمان سیر موج شکست مرزی از چشمه B به گیرنده C و T_{AB} زمان سیر موج شکست مرزی بین دو نقطه چشمه A و B باشد، در این صورت تابع زمان - عمق از رابطه (۳-۳۵) حاصل خواهد شد:

$$T_G = \frac{T_{AC} + T_{BC} - T_{AB}}{2} \quad (3-35)$$

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد تفسیر با این روش منوط به قرائت زمان اولین رسیدها می‌باشد

که معمولاً با خطا همراه است.



شکل ۳-۱۱: هندسه مسیر امواج شکست مرزی از دو چشمه متقابل و منحنی زمان-مسافت حاصل از اولین رسیدها [۲۶]

۲-۸-۳ روش تفسیر GRM

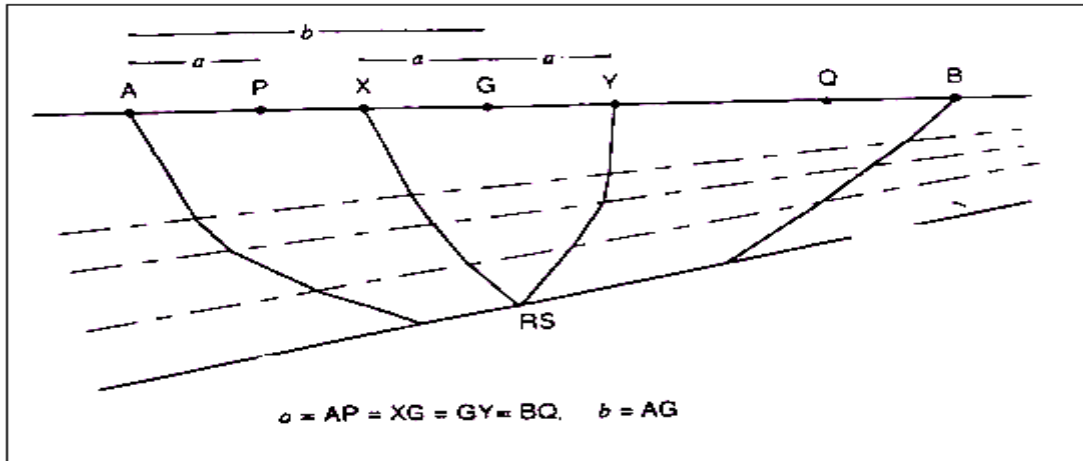
روش تفسیر GRM (پالمر) بر روی مدل زمین با سطوح شکنای غیر تخت و حداکثر شیب ۲۰ درجه قابل اجرا است. در این جا رکوردها بایستی از چشمه‌های متقابل بدست آمده باشند. با این روش می‌توان تغییرات جانبی سرعت در لایه‌ها را نیز تعیین نمود [۲۰].

روش GRM مبتنی بر محاسبه مقطع زمان - عمق و تابع تحلیل سرعت حاصل از زمان اولین رسید رکوردهای چشمه‌های متقابل است. زمان اولین رسیدهای جفت گیرنده‌هایی که دارای فاصله XY مشخص از هم می‌باشند، در محاسبه تابع تحلیل سرعت و مقطع زمان عمق استفاده می‌گردند. با انتخاب بهینه‌ترین فاصله جدایی XY، تابع تحلیل سرعت و مقطع زمان - عمق به دست آمده تقریب خوبی از زمین شناسی زیر سطح را ارائه می‌دهد. ضخامت لایه‌ها را نیز می‌توان از مقطع زمان - عمق و فاکتور تبدیل عمق به دست آورد. از مهم‌ترین مزایای این روش این است که بر خلاف سایر روش‌ها، هنگامی که سرعت انتشار موج در لایه‌های بالای سطح شکنا مشخص نباشند می‌توان مقدار تقریبی سرعت لایه شکنا را تخمین زد. با ملاحظه شکل ۳-۱۲ و در نظر گرفتن چشمه‌های متقابل در نقاط A

وB، تابع تحلیل سرعت توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$t_v = \frac{T_{AY} - T_{BX} + T_{AB}}{2} \quad (3-36)$$

مقدار این تابع به نقطه G که در فاصله میانی بین X و Y است، نسبت داده می‌شود.



شکل ۳-۱۲: هندسه مسیر پرتوها به ازای یک مقدار دلخواه $XY=2a$ در روش GRM

در این روش (GRM)، مقدار t_v برای XY های مختلف محاسبه و برحسب فاصله رسم می‌گردد. سپس منحنی بهترین XY ، انتخاب شده و سرعت سطح شکنا با احتساب عکس شیب خط برازش شده رابطه (۳-۳۷) بر بهترین XY محاسبه می‌گردد. توضیح این نکته لازم است که هر گاه مقدار XY برابر با صفر باشد، روش GRM همان روش هاگیوارا (ABC) خواهد بود.

$$\frac{d}{dx} t_v = \frac{1}{v_n} \quad (3-37)$$

تابع زمان - عمق (T_G) در نقطه G توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$t_G = \frac{[T_{AY} + T_{BX} - (T_{AB} + XY / V_n)]}{2} \quad (3-38)$$

که در آن v_n سرعت ظاهری سطح شکنا می‌باشد که از تابع تحلیل سرعت به دست آمده است.

این روش‌ها برای مدل‌های با لایه بندی بیشتر نیز قابل تعمیم می باشند [۲۰].

۳-۹ توموگرافی لرزه‌ای

معکوس سازی داده‌های لرزه‌ای انکساری به‌طور معمول برای محاسبه مدل عمق-سرعت در اعماق کم مورد استفاده قرار می‌گیرند. توموگرافی تکنیکی است که انرژی که در یک محیط پخش شده است را اندازه‌گیری می‌کند؛ سپس مؤلفه‌های این انرژی برای استنباط مشخصات محیطی که در آن پخش شده‌اند، به‌کار گرفته می‌شوند [۲۲].

توموگرافی لرزه‌ای یکی از روش‌های تفسیر داده‌های لرزه‌ای می‌باشد که در آن از روش‌های معکوس‌سازی بر روی یک شبکه، برای تعیین سرعت در سلول‌های دو بعدی در طول یک پروفیل، به منظور بدست آوردن مدل سرعت استفاده می‌شود؛ در نتیجه توموگرافی لرزه‌ای در بسیاری از موارد مدلی ارائه می‌دهد که از تفکیک پذیری و دقت بالایی برخوردار است. توموگرافی لرزه‌ای بهترین برآزش مدل سرعت را با تکرار مقایسه اختلاف سرعت ساختارها با داده‌های مشاهده شده ایجاد می‌کند [۲۷].

فصل چهارم:

خصوصیات زمین‌شناسی و عملیات صحرائی

در منطقه مورد مطالعه

۴-۱ مقدمه

در فصل‌های قبل، به بیان مطالب کلی در مورد اصول روش و نحوه برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش الکترودی شلومبرژه و همچنین تئوری‌های مربوط به نحوه انتشار امواج لرزه‌ای انکساری و تعیین ضخامت لایه‌ها و سرعت امواج در لایه‌های مختلف و همچنین پردازش، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری انکساری پرداخته شد. در این فصل، به شرح مختصری درباره مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه و همچنین نحوه برداشت داده‌ها و عملیات صحرائی می‌پردازیم.

مطالعات ژئوفیزیکی نیروگاه‌های جریانی دز در پاییز و زمستان سال ۱۳۸۶ بر اساس قرارداد منعقد بین شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران و شرکت زمین‌کاوگستر (بخش ژئوفیزیک شرکت زمین‌کاوگستر) اجرا گردیده است. این مطالعات که به منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، برآورد ضخامت لایه‌ها، تعیین عمق سنگ کف و نیز تعیین موقعیت بی‌هنجاری‌ها در شمال شرقی شهرستان اندیمشک انجام گرفته، در پنج محدوده مختلف انجام شده است. در پایان‌نامه حاضر، بخشی از داده‌های برداشت شده که مربوط به محدوده تله زنگ می‌باشد شامل ۵۴ نقطه برای انجام عملیات سونداژ زنی مقاومت ویژه با استفاده از آرایه شلومبرژه در نظر گرفته شده که این نقاط بر روی ۵ خط پروفیل واقع شده‌اند. همچنین برای مطالعات لرزه‌ای در محدوده فوق ۴ پروفیل فشاری (موج P) که هر پروفیل شامل ۲۴ ژئوفون می‌باشد، در نظر گرفته شده است [۷ و ۸].

پس از هماهنگی با شرکت فوق‌الذکر، اطلاعات و داده‌های لازم از شرکت مهندسين مشاور زمین‌کاوگستر دریافت و مطالعه و بررسی آن‌ها آغاز شد.

۴-۲ موقعیت جغرافیایی

مختصات جغرافیایی این منطقه بین $58^{\circ} 49' 32''$ تا $50^{\circ} 44' 32''$ عرض جغرافیایی $52''$

۵۴° ۴۴' تا ۵۴° ۴۵' ۱۴" طول جغرافیایی در شمال شرقی شهرستان اندیمشک واقع شده است [۷۸].

۳-۴ خصوصیات زمین شناسی منطقه

بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۴۰۰۰ که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس واقع شده است. به لحاظ زمین شناسی منطقه در سازندهای گروه بنگستان واقع شده است. این گروه به ترتیب سن از قدیم به جدید شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام است. سازند کژدمی از مارن و شیل وسازندهای دیگر گروه بنگستان از سنگ آهک های ضخیم لایه به وجود آمده اند.

۱-۳-۴ سازند کژدمی

نام این سازند از قلعه کژدمی در شمال گچساران انتخاب شده است. ضخامت آن ۳۳۰ متر و شامل شیل های قیری و آهک های رسی تیره رنگ و مارن است. سن آن آلبین تا سنومانین تعیین شده است. در قاعده این سازند رسوبات قرمز رنگ وجود دارد که نشانه خروج از آب، قبل از رسوب گذاری این سازند است [۱].

۲-۳-۴ سازند سروک

نام آن از تنگ سروک، در کوه بنگستان در منطقه خوزستان انتخاب شده است که در واقع شامل بیش از ۵۰۰ متر از رسوبات متفاوت است که از پایین به بالا شامل لایه های زیر است:

- آهک های رسی

- آهک های گل سفیدی با نودول های سیلیسی

- آهک‌های قهوه‌ای رودلدت‌دار

- آهک‌های هوازده قرمز رنگ و برشی

رسوبات فوق رخساره‌های کم عمق این سازند را تشکیل می‌دهند، در حالی که در منطقه لرستان و در حاشیه زاگرس مرتفع رخساره‌های عمیق این سازند شامل آهک‌های لایه نازک دانه‌ریز و تیره رنگ حاوی میکروفسیل‌های پلانکتونی فراوان است. سن سازند سروک از آلبین تا تورونین تعیین شده است [۱].

۳-۳-۴ سازند سورگاه

مقطع نمونه آن در کوه سورگاه واقع در انتهای شمال غرب کبیر کوه در ایلام انتخاب شده و اساساً شامل شیل‌های پیریت‌دار خاکستری رنگ و آهک لایه نازک زرد رنگ است. سن این سازند که عمدتاً در لرستان دیده می‌شود تورونین-سانتونین است [۱].

۴-۳-۴ سازند ایلام

مقطع نمونه این سازند در همان محل سازند سورگاه یعنی در انتهای شمال غربی کبیر کوه ایلام انتخاب شده و شامل دو رخساره متفاوت است. یکی رخساره پلاژیک نسبتاً عمیق که در لرستان وجود دارد و دیگری کم عمق که در فارس و خوزستان وجود دارد. ممکن است در نواحی اخیر یک ین هر دو رخساره کنار هم قرار گیرد که در این حالت باید بین آن‌ها حالت تداخل بین انگشتی برقرار باشد.

رخساره‌های پلاژیک سازند ایلام: ضخامت آن در مقطع نمونه ۱۹۰ متر و از نظر لیتولوژی شامل آهک‌های رسی دانه‌ریز خاکستری رنگ با لایه‌بندی منظم است و در آن لایه‌های نازک از شیل‌های سیاه رنگ هم دیده می‌شود. سن این سازند سانتونین تا کامپانین تعیین شده است.

رخساره‌های کم عمق سازند ایلام : این رخساره در فارس و خوزستان است و از نظر لیتولوژی شال آهک‌های قلوهای و در بسیاری از موارد از آهک‌های مشابه رخساره پلاژیک تشکیل شده است. سن آن نیز همانند رخساره نسبتاً عمیق سانتونین تا کامپنین به دست آمده است [۱].

ساختگاه بند و حوضچه آرامش نیروگاه جریانی دز بر روی آهک های گروه بنگستان قرار گرفته- اند. این سازند از آهک‌های نازک تا متوسط لایه تشکیل شده است. ساختگاه بند بر روی یال‌های یک چین موضعی قرار دارد. در کرانه راست شیب لایه‌بندی ۴۵ درجه به سمت شمال شرق و در کرانه چپ ۳۰ درجه به سمت جنوب غرب می باشد، درزه‌ها عموماً پر شده‌اند. این پرشدگی در بیشتر موارد با کلسیت و بعضاً توسط مواد ریزدانه صورت گرفته است. درزه ها در کرانه راست رودخانه از بازشدگی بیشتری نسبت به کرانه چپ برخوردار هستند.

عمق سنگ هوازده در محل محور حدود ۵ متر تخمین زده می شود. مقاومت سنگ بکر در این ناحیه زیاد و کیفیت عمومی توده سنگ متوسط ارزیابی می‌شود.

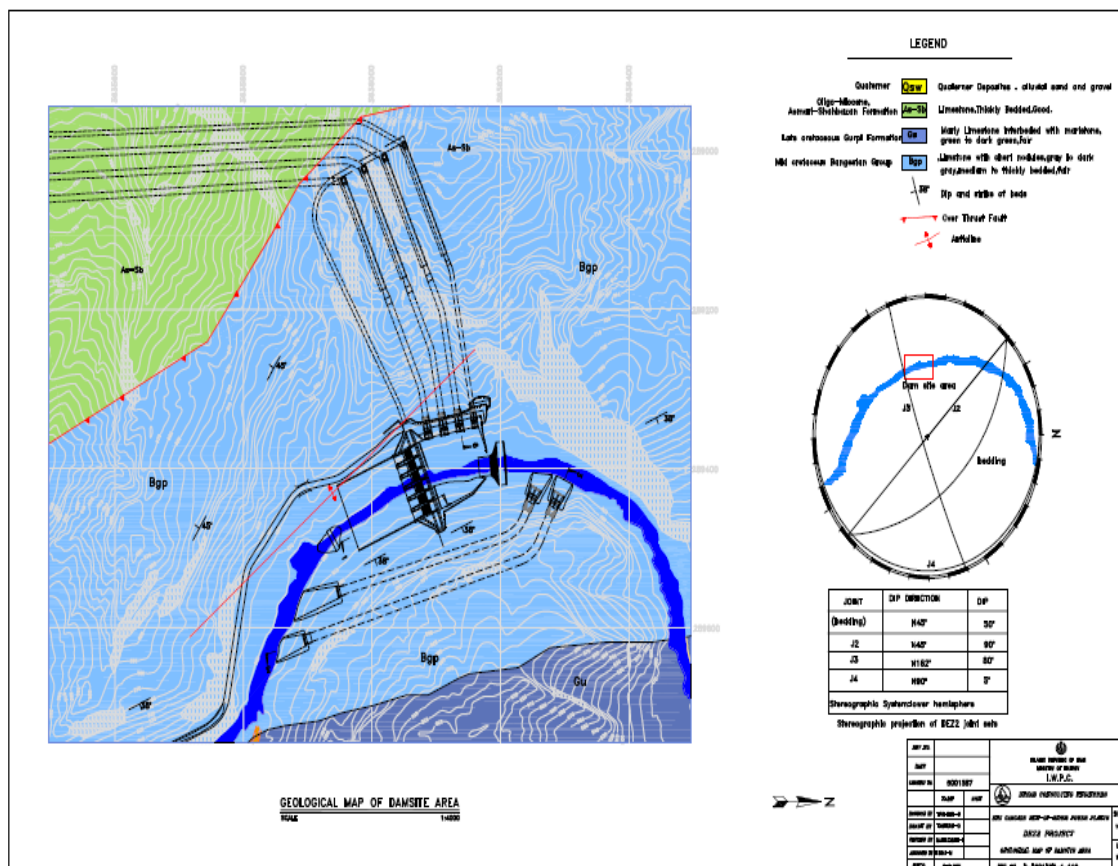
یک آبراهه فرعی در پایین دست محل محور در کرانه راست رودخانه وجود دارد. بلوک‌های سنگی بزرگی از دامنه‌های مشرف به این آبراهه به بستر آن سقوط کرده و به تدریج به سوی محل اتصال آن با رودخانه دز حمل شده‌اند. انباشته شدن این بلوک‌ها در این محل و پیشروی آن‌ها به داخل کانال اصلی رودخانه می‌تواند شرایط هیدرولیکی پایین دست حوضچه آرامش را تحت تاثیر قرار دهد. با احداث بندهای رسوب‌گیر در داخل این آبراهه می توان از حرکت تدریجی این بلوک‌ها به سوی دره رودخانه دز جلوگیری نمود.

تونل‌های آب‌بر بخش زیادی از مسیر خود به سوی نیروگاه را از میان لایه های آهکی متوسط تا ضخیم لایه سازندهای ایلام- سروک، آسماری - شهبازان و تله زنگ می پیمایند. کیفیت عمومی توده سنگ در این بخش‌ها متوسط تا خوب ارزیابی می‌شود. تونل‌های آب‌بر نیروگاه امتداد این گسل را در طول مسیر خود به سوی نیروگاه قطع خواهند کرد. به نظر می‌رسد که عملکرد گسل توده سنگ نواحی

اطراف آن را تحت تأثیر قرار داده و به‌طور نسبی منجر به تضعیف پارامترهای مقاومتی مربوطه شده است. تمهیدات لازم باید برای عبور مطمئن تونل‌های آب بر نیروگاه از این ناحیه اندیشیده شود. تونل‌های آب‌بر بخش انتهایی مسیر خود به سوی نیروگاه را از میان کنگلومرا و ماسه سنگ-های سازند کشکان و سنگ‌های شیلی و مارنی سازند پابده خواهند پیمود. وجود میان لایه‌های آهک مارنی تا حدودی موجب ارتقاء مشخصات مهندسی توده سنگ در محدوده گسترش سازند پابده شده است. کیفیت عمومی توده سنگ در این بخش‌ها ضعیف تا متوسط ارزیابی شده است [۶].

۴-۴ خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی دریاچه

دریاچه در محدوده گسترش سازندهای گورپی و گروه بنگستان واقع شده است. در بخش‌های زیادی از مخزن با توجه به ریخت دره و وجود مارن‌های گورپی، امکان فرار آب به پایین دست از طریق دیواره‌های مخزن کم است. در بخش‌های انتهایی دریاچه جریان آب می‌تواند از طریق امتداد لایه‌بندی وارد آهک‌های بنگستان تکیه‌گاه چپ سد شده و در پایین دست محور مجدداً به رودخانه تخلیه گردد. برای مسدود کردن مسیرهای احتمالی جریان در کرانه چپ دره، پرده تزریق باید به اندازه لازم در داخل تکیه‌گاه امتداد یابد. با توجه به وجود چند چشمه در پایین دست محل سد که آبدهی قابل توجهی دارند، بررسی زمین‌شناسی این ناحیه در مراحل بعدی مطالعات لازم به نظر می‌رسد.



شکل ۴-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱/۴۰۰۰ [۶]

۴-۵ عملیات صحرایی

پس از انجام مطالعات اولیه و بازدید مقدماتی از منطقه مطالعاتی توسط مهندسين مشاور زمین‌کاوغستر، نقاط اجرای سونداژهای الکتریکی بر روی ۵ پروفیل که در جهت شمال غربی- جنوب شرقی و تقریباً به موازات مسیر رودخانه دز طراحی شده‌اند، مشخص شده است. همچنین به منظور برداشت داده‌های لرزه‌ای انکساری ۴ پروفیل طراحی شده است. پروفیل ۱ لرزه‌ای با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی قرار گرفته و در راستای این پروفیل از ۲۴ ژئوفون با فواصل یکسان ۱۰ متر استفاده شده است. همچنین پروفیل‌های ۲، ۴ و ۵ لرزه‌ای نیز با راستای شمال غربی- جنوب شرقی در نظر گرفته شده است. در راستای این پروفیل‌ها از ۲۴ ژئوفون با فواصل یکسان ۸ متر استفاده شده است. نقشه نشان داده شده در شکل ۴-۲ محل برداشت پروفیل‌های لرزه نگاری و همچنین شبکه

برداشت سونداژهای الکتریکی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه مذکور با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شده است [۷۸].

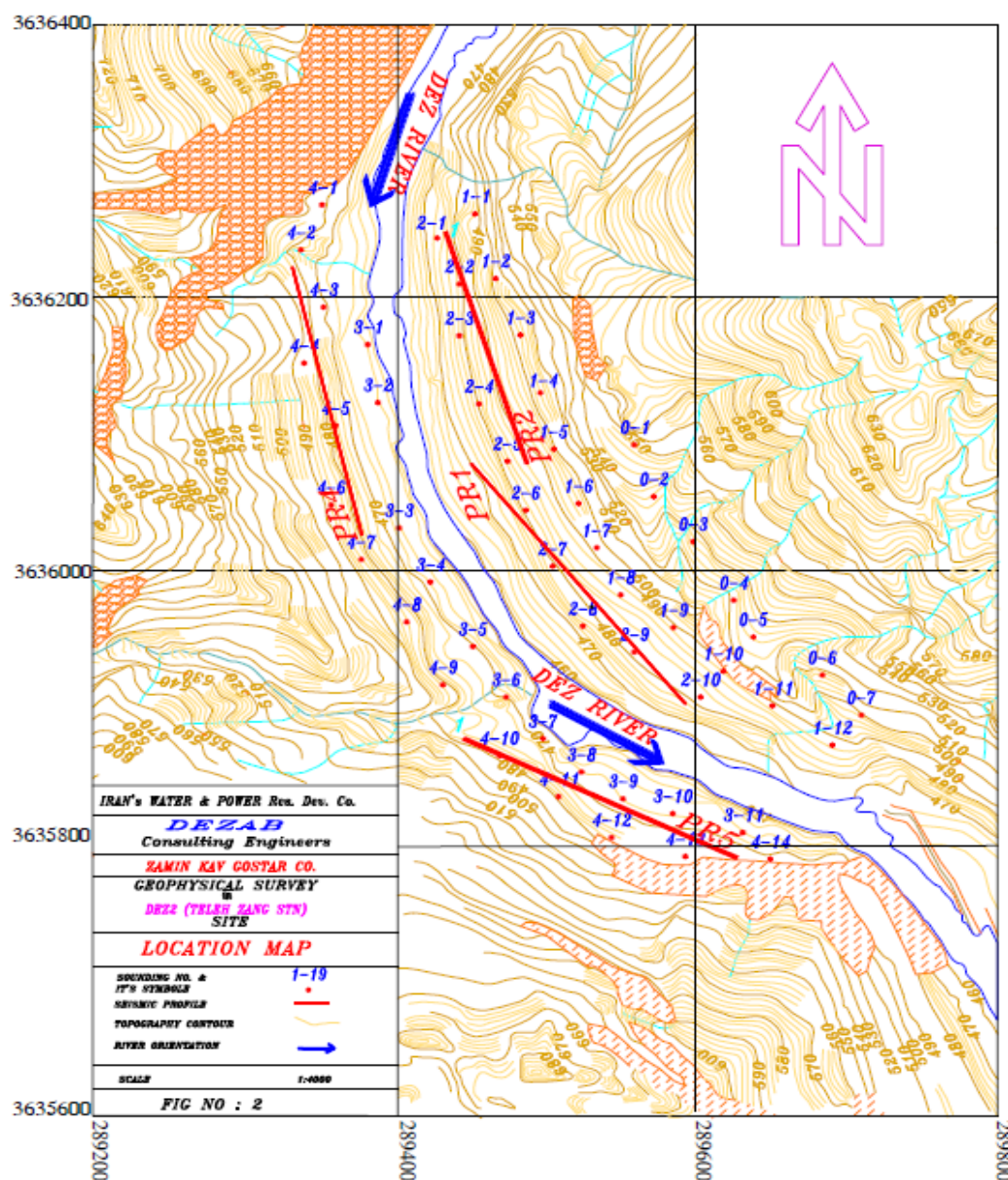
همان‌طور که در شکل ۴-۲ هم مشاهده می‌شود، موقعیت پروفیل‌های لرزه‌ای و الکتریکی نسبت به هم به شرح زیر می‌باشد:

پروفیل یک لرزه‌ای به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل شماره دو ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۶ تا ۱۰ منطبق است.

پروفیل دو لرزه‌ای به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل شماره دو ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۱ تا ۵ منطبق است.

پروفیل چهار لرزه‌ای به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل شماره چهار ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۲ تا ۷ منطبق است.

پروفیل پنج لرزه‌ای به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل شماره چهار ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۱۰ تا ۱۳ منطبق است.



شکل ۴-۲: موقعیت محل برداشت پروفیل‌های لرزه نگاری و شبکه برداشت سونداژهای الکتریکی در منطقه تله‌زنگ [۸]

۴-۶ دستگاهها و تجهیزات مورد استفاده در برداشت‌های صحرایی

در برداشت‌های صحرایی سونداژهای مقاومت‌ویژه الکتریکی، اندازه‌گیری‌هایی با استفاده از دستگاه برداشت الکتریکی مدل SAS300c ساخت شرکت سوئدی ABEM مجهز به بوستر تقویت جریان الکتریکی مدل SAS1000 انجام شده است. دستگاه برداشت الکتریکی مورد نظر، قابلیت اندازه‌گیری

اختلاف پتانسیل حداقل ۱۰ میکرو ولت با دقت ۱ میکرو ولت را داشته و اندازه‌گیری نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان الکتریکی در آن با دقت ۰/۰۵ میلی اهم انجام می‌گیرد. در این دستگاه پتانسیل الکتریکی طبیعی (SP) زمین به صورت نرم‌افزاری و با ارسال جریان الکتریکی پله‌ای که جهت آن به طور متناوب تغییر می‌کند، حذف می‌شود.

برداشت پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی با استفاده از ژئوفون‌های موج P با فرکانس طبیعی ۱۴/۵ هرتز برای ثبت امواج طولی انجام شده است. در برداشت‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی از دستگاه لرزه نگار MK3 ساخت شرکت سوئدی ABEM استفاده شده است. به طور معمول، امواج دریافتی توسط ژئوفون‌ها، به صورت سیگنال الکتریکی از طریق کابل به دستگاه لرزه‌نگار منتقل می‌شود. سیگنال دریافتی به وسیله آمپلی‌فایر (تقویت کننده) مربوط به هر کانال تقویت شده، از طریق مدارهای A/D هشت بیتی در حافظه یک کیلوبایتی ذخیره می‌شوند. در این دستگاه فیلترهای آنالوگ (قیاسی) همزمان با ثبت امواج برای حذف امواج مزاحم (نوفه) بکار برده شده‌اند. برخی از مراحل پردازش سیگنال دیجیتال ذخیره شده در حافظه دستگاه مستقیماً در محل عملیات صحرایی امکان‌پذیر است. مراحل از قبیل فیلتر دیجیتال، تعیین زمان رسید، AGC و ... فاصله زمان نمونه‌برداری در این دستگاه تا حداقل ۰/۰۴۸ میلی‌ثانیه قابل تنظیم است. امواج ذخیره شده در حافظه دستگاه به صورت دیجیتال (رقومی) بر روی دیسکت ثبت می‌شود [۷ و ۸].

فصل پنجم:

مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه

در منطقه مورد مطالعه

۵-۱ مقدمه

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

۵-۲ مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای الکتریکی

در ابتدا ممکن است برای به دست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه مورد مطالعه، تفسیر به صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری به دست آمده از نقشه‌ها و مقاطع مربوط به آن، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. برای به دست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید به صورت کمی انجام پذیرد. در نتیجه تفسیر کمی داده‌های مقاومت ویژه ظاهری، یک سری پارامترهای فیزیکی شامل مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها تعیین می‌شوند. برای به دست آوردن تفسیر دقیق‌تر، باید نتایج حاصله را با سایر داده‌های حاصل از زمین‌شناسی، حفاری و غیره تلفیق نمود [۳۰].

در تفسیر کمی، برای به دست آوردن مقادیر مقاومت ویژه حقیقی یا واقعی و ضخامت لایه‌ها، از منحنی‌های استاندارد و نرم افزارهای IX1D (Version 3) و Ipi2win استفاده شده است. منحنی‌های سونداژ الکتریکی برداشت شده به کمک آرایش شلومبرژه در ابتدا با استفاده از منحنی‌های استاندارد یا سرمحنی‌ها و منحنی‌های کمکی دولایه‌ای شلومبرژه و سپس با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری مذکور، مدل‌سازی و تفسیر شده‌اند.

معمولاً داده‌های خام به دست آمده از سونداژهای الکتریکی، بر روی یک نمودار با محورهای لگاریتمی ارائه می‌شوند. در این نمودارها، مقدار ρ به صورت تابعی از فاصله الکترودی (در آرایش

شلومبرژه، طول AB/2) رسم می‌شود. با استفاده از سیستم محورهای لگاریتمی، تفسیر نتایج به کمک منحنی‌های استاندارد یا آباک‌ها آسان‌تر می‌گردد [۳۰].

۳-۵ تفسیر کیفی سونداژهای الکتریکی

به طور کلی، آنچه که در تعبیر و تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می‌گیرد، نقاط ماکزیمم و مینیمم بر روی این منحنی است. وجود هر ماکزیمم یا مینیمم بر روی منحنی (برای طبقات افقی)، می‌تواند معرف وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت باشد. البته باید در نظر داشت که این قاعده، کلی نیست و برای آنکه یک لایه بتواند خود را بر روی منحنی نشان دهد، باید دارای ضخامت کافی و تباین مقاومت ویژه^۱ 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 پایین‌رونده و مسائلی از این قبیل می‌تواند هر یک شامل اطلاعات کیفی در رابطه با تغییرات مقاومت ویژه در یک منطقه باشد [۲].

۴-۵ تفسیر کمی سونداژهای الکتریکی

مجموعه وسیعی از منحنی‌های استاندارد (آباک‌ها) برای طبقات افقی دو تا چهار لایه‌ای تهیه شده‌اند. این منحنی‌های سونداژ الکتریکی به صورت گروه‌هایی طبقه‌بندی شده‌اند و در نتیجه می‌توان به راحتی، منحنی‌های استاندارد را که مشابه منحنی سونداژ الکتریکی به دست آمده می‌باشند، مشخص نمود و مشخصات لایه‌های مربوط به سونداژ مذکور را تعیین کرد. برای اینکه یک منحنی سونداژ الکتریکی، منحصراً مربوط به طبقات افقی باشد، باید شرایط زیر برای آن صادق باشد:

۱- شیب قسمت بالارونده منحنی نباید از ۴۵ درجه بیشتر باشد.

¹ Resistivity Contrast

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 پایین‌رونده منحنی سونداژ الکتریکی و شعاع انحنای آن در نزدیکی نقطه مینیمم، محدودیت‌هایی مانند قسمت‌های ۱ و ۲ و حتی شدیدتر وجود دارد.

بعد از 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 الکترودی، مشخص کننده مقاومت ویژه لایه اول 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 نموده، مختصات این نقطه به دست آید. طول این نقطه معادل با ضخامت و عرض آن معادل با مقاومت ویژه لایه اول می‌باشد [۱۹].

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 لایه‌های اول و سوم زیاد باشد، منحنی سونداژ الکتریکی به مقدار حقیقی مقاومت ویژه لایه دوم نمی‌رسد. در این حالت، با استفاده از منحنی‌های استاندارد اصلی و کمکی و با تطبیق جزء به جزء منحنی سونداژ الکتریکی با منحنی استاندارد، می‌توان مشخصات لایه‌ها را به راحتی تعیین نمود [۲].

ارزیابی یک منحنی سونداژ الکتریکی ممکن است چندین پاسخ هم‌ارز داشته باشد. وظیفه متخصصین ژئوفیزیک، انتخاب نتیجه‌ای است که بهترین تطابق را با ساختارهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی شناخته شده در منطقه داشته باشد. راه دیگر برای انتخاب پاسخ مناسب، مقایسه پاسخ هر سونداژ با سونداژ مجاور است. باید امکان وصل کردن نشانه‌های یک لایه در یک عمق اندازه

گیری 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 مغزه گیرهای حفاری و مغزه‌گیری) می‌توان مرز و یا ضخامت لایه‌های مجاور را ثبت کرد؛ با این تفاوت که در این جا به جای جنس سنگ، مقاومت ویژه واقعی لایه‌ها بیان می‌گردد [۲۹].

۵-۵ تفسیر سونداژهای الکتریکی برداشت شده در منطقه تله‌زنگ

برای به دست آوردن اطلاعات مورد نظر از منطقه مورد مطالعه، ۵۴ سونداژ الکتریکی که موقعیت آن‌ها در شکل ۴-۲ 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 نرم افزارهای یک‌بعدی نتیجه IX1D و Ipi2win نیز منحنی‌های سونداژ مزبور، مدل‌سازی و تفسیر شدند. نتایج به دست آمده توسط نرم‌افزار Ipi2win به علت تغییرات زیاد مقاومت ویژه ظاهری برداشت شده که به علت وجود آهک در منطقه می‌باشد قابل قبول نبودند، لذا یک نمونه را نشان داده و از آوردن بقیه خودداری شد. در این قسمت، نتایج مدل‌های به دست آمده از تفسیر یک‌بعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی توسط منحنی‌های استاندارد (تفسیر دستی) و نرم افزار IX1D برای سونداژهای P_{0-1} تا P_{4-14} ، به ترتیب در جداول ۵-۱ تا ۵-۵ ارائه شده است. همچنین در پیوست الف توضیح مختصری در مورد نرم‌افزار IX1D ارائه شده است. بنابراین، نتایج تفسیر انجام شده در مورد هر سونداژ به طور مختصر شرح داده می‌شود.

۵-۵-۱ سونداژ الکتریکی P_{0-1}

خط برداشت P_0 شرقی‌ترین خط برداشت موجود در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۲-۴). سونداژ الکتریکی P_{0-1} شمالی‌ترین سونداژ موجود بر روی این خط برداشت می‌باشد. در زیر محل این

سونداژ با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵-۱ که نتایج تفسیر این سونداژ با استفاده از منحنی‌های استاندارد و نرم افزارهای IX1D و Ipi2win را نشان می‌دهد وجود ۴ لایه قابل تشخیص است. لازم به ذکر است که در این جدول و جداولی که در ادامه تفسیر سونداژها آورده شده، t نشان دهنده ضخامت و ρ مقاومت ویژه واقعی لایه‌ها هستند. با توجه به زمین‌شناسی منطقه می‌توان گفت که:

- لایه سطحی از رسوبات دانه متوسط تا عمدتاً دانه درشت و نیز واریزه تشکیل شده است.

- لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است.

- لایه سوم نیز که احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت درصد مارن بیشتر و یا وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین و بالایی خود نشان می‌دهد.

- لایه آخر نیز به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت تراکم بیشتر مقاومت الکتریکی بیشتری از خود نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P_{0-1}

تفسیر با نرم افزار IPI2Win		تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵۸	۱۲۳	۲/۷۸	۱۶۷	۴	۱۵۰	۱
۲۰/۷	۹۴۸	۲۲/۰۱	۱۰۵۷۰	۱۵	۳۴۰۰	۲
۲۵/۵	۱۲۵۵۳	۱۲/۷۳	۱۹۴۹	۱۳	۱۶۰۰	۳
∞	۲۵/۶	∞	۳۹۸۲	∞	۴۰۰۰	۴
۸/۱۹		۱۰/۵۲۲				RMS

۵-۵-۲ سونداژ الکتریکی P₀₋₂

- در زیر محل این سونداژ، با توجه به جدول ۵-۲، وجود ۳ لایه قابل تشخیص است که با توجه به زمین‌شناسی منطقه به ترتیب از سطح به عمق شامل:
- لایه اول از جنس روباره و واریزه و احتمالاً رسوبات دانه متوسط تا عمدتاً دانه درشت می‌باشد.
 - لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های بنگستان با تراکم کمتر و یا درصد مارن بیشتر است.
 - لایه آخر نیز از جنس آهک‌های بنگستان با تراکم بیشتر می‌باشد.

جدول ۵-۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₂

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۸/۱	۶۱۲/۵	۵/۵	۵۵۰	۱
۳۱/۸	۳۲۳۵/۸	۳۹/۵	۲۱۰۰	۲
∞	۴۷۸۴/۴	∞	۳۸۰۰	۳
۸/۰۵				RMS

۵-۵-۳ سونداژ الکتریکی P₀₋₃

- با توجه به جدول ۵-۳، می‌توان وجود ۵ لایه ژئوالکتریکی را در زیر محل این سونداژ تشخیص داد که با توجه به زمین‌شناسی منطقه به شرح زیر است:
- سه لایه اول از جنس واریزه‌ها و روباره و رسوبات دانه متوسط تا عمدتاً دانه درشت می‌باشند که به دلیل تغییر دانه بندی و یا تراکم از مقاومت الکتریکی متفاوتی برخوردارند.
 - لایه چهارم از جنس آهک‌های گروه بنگستان با تراکم کمتر و یا وجود درزه و شکافهای حاوی آب می‌باشد.
 - لایه پنجم که از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشد.

جدول ۵-۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₃

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۳	۲۷۹	۱/۵	۳۴۰	۱
۱/۷	۳۴۲/۵	۲	۲۵۰	۲
۱۲/۸	۴۱۰/۶	۹/۷	۴۸۰	۳
۳۰/۱	۱۹۳۸/۱	۴۶/۳	۱۴۰۰	۴
∞	۵۷۸۵/۵	∞	۳۷۰۰	۵
۱۲/۳۲۴				RMS

۵-۴-۵ سونداژ الکتریکی P₀₋₄

جدول ۵-۴، وجود ۴ لایه ژئوفیزیکی را در زیر محل این سونداژ به ما نشان می‌دهد. با توجه به زمین‌شناسی منطقه می‌توان گفت:

- دو لایه اول که شامل روباره می‌باشند و از جنس واریزه‌های آهکی و احتمالاً رسوبات دانه درشت‌تر در سطح و رسوبات دانه متوسط در عمق هستند.

- لایه سوم از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشد که همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد به دلیل تراکم کمتر و یا وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب و یا وجود مارن از مقاومت الکتریکی کمتری نسبت به لایه آخر برخوردار است.

- لایه چهارم از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشد.

جدول ۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₄

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۴	۱۱۷۴	۳/۷۵	۱۳۰۰	۱
۱۷	۲۰۶/۳	۸/۵	۲۸۰	۲
۳۵	۴۲۱۶/۷	۶۰	۱۹۰۰	۳
∞	۳۳۰۸/۵	∞	۳۶۰۰	۴
۱۳/۵۴				RMS

۵-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₀₋₅

جدول ۵-۵ وجود ۴ لایه ژئوالکتریکی در زیر محل این سونداژ را برای ما تایید می کند که با

توجه به زمین شناسی منطقه به شکل زیر تشریح می کنیم:

- دو لایه اول شامل رسوبات دانه متوسط و واریزه های آهکی است.

- لایه سوم از جنس آهک های گروه بنگستان با تراکم کمتر و یا درصد مارن بیشتر می باشد.

- لایه چهارم آهک های گروه بنگستان با تراکم بیشتر و یا درصد مارن کمتر مربوط به لایه

چهارم تشکیل شده است.

جدول ۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₅

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۴	۸۳/۵	۳/۲	۷۰	۱
۱۳	۲۶۰/۸	۱۱/۳	۳۱۰	۲
۴۲/۹	۱۷۸۷/۹	۵۵/۳	۱۵۰۰	۳
∞	۵۶۴۷/۶	∞	۴۰۰۰	۴
۸/۴۵				RMS

۵-۵-۶ سونداژ الکتریکی P₀₋₆

نتایج تفسیر یک بعدی سونداژ فوق که در جدول ۵-۶ نشان داده شده است نشان می‌دهد که زمین از ۴ لایه ژئوالکتریکی تشکیل شده است. با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی می‌توان گفت:

- دو لایه اول شامل رسوبات متوسط دانه و واریزه‌های آهکی می‌باشند.

- لایه سوم از جنس آهک‌های مارنی می‌باشد.

- چهارمین لایه از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشد.

جدول ۵-۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₆

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲/۵	۳۹۷/۵	۳	۵۰۰	۱
۷/۲	۱۵۸	۶/۳	۲۴۰	۲
۴۲/۲	۱۴۷۷/۴	۴۹/۵	۱۲۰۰	۳
∞	۳۸۰۹/۹	∞	۳۳۰۰	۴
۱۷/۹۴۷		RMS		

۵-۵-۷ سونداژ الکتریکی P₀₋₇

جدول ۵-۷ نشان دهنده نتایج تفسیر یک بعدی سونداژ فوق می‌باشد. این سونداژ که آخرین سونداژ از پروفیل P₀ می‌باشد شامل ۴ لایه ژئوالکتریکی است. زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که:

- دو لایه اول روباره‌ها هستند که شامل رسوبات دانه متوسط و واریزه‌های آهکی می‌باشند.

- لایه سوم می‌تواند متشکل از آهک‌های گروه بنگستان با تراکم کمتر و همچنین درزه‌های

حاوی آب باشد.

- لایه چهارم هم از همان آهک‌های گروه بنگستان ولی احتمالاً با تراکم بیشتر و یا افزایش

درصد مارن تشکیل شده است.

جدول ۵-۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₀₋₇

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۵	۷۰/۲	۳/۵	۶۰	۱
۶/۷	۳۹۹/۵	۱۰	۳۸۰	۲
۳۰/۵	۱۹۶۲/۴	۳۶/۵	۱۳۰۰	۳
∞	۳۴۶۹/۱	∞	۲۶۰۰	۴
۵/۴۳			RMS	

۵-۵-۸ سونداژ الکتریکی P₁₋₁

پروفیل P₁ دومین خط برداشت ما در منطقه می باشد که در غرب پروفیل P₀ قرار دارد. سونداژ P₁₋₁ اولین سونداژ این پروفیل می باشد. این سونداژ همان طور که در جدول ۵-۸ نشان داده شده است متشکل از ۵ لایه ژئوفیزیکی است که دو لایه اول روبرو می باشد که شامل واریزه های آهکی و رسوبات درشت دانه می باشند. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک های گروه بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک های متراکم گروه بنگستان است. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₁

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۴	۱۳۴۰/۶	۲	۱۱۰۰	۱
۱/۵	۲۳۲۵/۹	۲	۱۳۰۰	۲
۱۰/۵	۲۷۰۷/۳	۸/۵	۲۵۰۰	۳
۵۱/۱	۲۸۶۴/۳	۴۷/۵	۳۸۰۰	۴
∞	۳۳۲۱	∞	۲۷۰۰	۵
۱۸/۲۳۲				RMS

۹-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₁₋₂

سه لایه ژئوفیزیکی که در این سونداژ قابل تشخیص می‌باشند در جدول ۹-۵ آمده‌اند. این لایه‌ها به ترتیب از روباره که خود از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده است، آهک‌های گروه بنگستان که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود دارند و در نهایت آهک‌های متراکم گروه بنگستان متشکل شده‌اند.

جدول ۹-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₂

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳/۱	۲۴۶/۹	۳/۵	۳۸۰	۱
۶/۸	۱۲۸۸/۲	۷/۵	۱۴۰۰	۲
∞	۳۳۲۱/۸	∞	۳۴۰۰	۳
۷/۱۵۶				RMS

۵-۵-۱۰ سونداژ الکتریکی P₁₋₃

در این سونداژ همان‌گونه که در جدول ۵-۱۰ مشاهده می‌شود، ۵ لایه ژئوفیزیکی قابل تشخیص می‌باشد. دو لایه اول شامل روباره و از جنس رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی می‌باشند. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₃

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D		لایه
ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	
۸۲۰	۱	۹۸۱/۶	۱/۲	۱
۴۴۰	۱/۵	۴۰۳/۵	۱/۷	۲
۱۳۵۰	۸/۵	۱۲۹۸/۸	۵/۹	۳
۴۶۰۰	۸۲/۵	۵۴۱۰/۵	۷۵/۷	۴
۲۹۰۰	∞	۲۵۵۷/۷	∞	۵
RMS		۷/۶۵۴		

۵-۵-۱۱ سونداژ الکتریکی P₁₋₄

این سونداژ همان‌طور که در جدول ۵-۱۱ نشان داده شده است متشکل از ۵ لایه ژئوفیزیکی است که دو لایه اول روباره می‌باشد که شامل واریزه‌های آهکی و رسوبات درشت دانه می‌باشند. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. لایه آخر هم به

احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₄

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۲۵	۵۰۱/۲	۱/۵	۵۱۰	۱
۲/۳	۲۴۱/۳	۲/۵	۲۶۰	۲
۷/۶	۷۵۲	۸/۵	۷۰۰	۳
۸۳	۴۴۱۶/۵	۸۷/۵	۳۷۰۰	۴
∞	۱۸۲۰/۱	∞	۲۲۰۰	۵
۷/۸۳		RMS		

۵-۵-۱۲ سونداژ الکتریکی P₁₋₅

در این سونداژ همان‌گونه که در جدول ۵-۱۲ مشاهده می‌شود، ۴ لایه ژئوفیزیکی قابل تشخیص می‌باشد. لایه اول شامل روباره و از جنس رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی می‌باشد. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₅

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۵/۴	۵۳۹/۷	۴	۱۷۰	۱
۳/۹	۸۸۴/۳	۷	۱۱۰۰	۲
۴۶/۵	۱۳۵۴۰	۷۵	۴۹۰۰	۳
∞	۱۱۳۱/۸	∞	۲۵۰۰	۴
۹/۷۶		RMS		

۵-۵-۱۳ سونداژ الکتریکی P₁₋₆

این سونداژ نیز همان طور که در جدول ۵-۱۳ نشان داده شده است متشکل از ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول روباره می باشد که از جنس واریزه های آهکی و رسوبات درشت دانه است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم هم به احتمال زیاد از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان است. در نهایت لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₆

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳	۵۳۹/۷	۳	۵۲۰	۱
۹/۸	۲۲۶۹/۸	۱۰	۱۷۰۰	۲
۸۶/۸	۳۳۲۹/۲	۸۲	۳۷۰۰	۳
∞	۱۹۹۳/۴	∞	۲۰۰۰	۴
۳/۹۳		RMS		

۵-۵-۱۴ سونداژ الکتریکی P₁₋₇

در این سونداژ همان‌گونه که در جدول ۵-۱۴ مشاهده می‌شود، ۴ لایه ژئوفیزیکی قابل تشخیص می‌باشد. لایه اول شامل روباره و از جنس رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی می‌باشد. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₇

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۳	۳۸۹/۶	۴	۳۶۰	۱
۴/۶	۲۱۵۱/۱	۷	۱۸۰۰	۲
۷۹/۸	۴۰۵۸	۸۱	۳۹۰۰	۳
∞	۲۴۸۱/۳	∞	۲۳۰۰	۴
۸/۳۸		RMS		

۵-۵-۱۵ سونداژ الکتریکی P₁₋₈

این سونداژ نیز همان‌طور که در جدول ۵-۱۵ نشان داده شده است متشکل از ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول روباره می‌باشد که از جنس واریزه‌های آهکی و رسوبات درشت دانه است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. و در

نهایت لایه آخر که به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₈

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D	
لایه	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)
۱	۳۸۰	۳	۳۵۹/۶
۲	۱۶۰۰	۹	۲۴۲۱/۳
۳	۴۰۰۰	۷۲	۴۵۰۸/۴
۴	۲۳۰۰	∞	۲۲۹۱/۸
RMS		۶/۲۴۷	

۵-۵-۱۶ سونداژ الکتریکی P₁₋₉

سه لایه ژئوفیزیکی که در این سونداژ قابل تشخیص می‌باشند در جدول ۵-۱۶ آمده‌اند. این لایه‌ها به ترتیب از روباره که خود از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده است، آهک‌های سازند بنگستان که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود دارند و در نهایت آهک‌های متراکم سازند بنگستان متشکل شده‌اند.

جدول ۵-۱۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₉

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D	
لایه	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)
۱	۳۵۰	۴/۵	۳۶۲/۳
۲	۱۲۰۰	۸	۱۳۷۱
۳	۳۰۰۰	∞	۲۶۴۲/۷
RMS		۷/۲۲	

۵-۵-۱۷ سونداژ الکتریکی P₁₋₁₀

این سونداژ نیز همان‌طور که در جدول ۵-۱۷ نشان داده شده است متشکل از ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول روباره می‌باشد که از جنس واریزه‌های آهکی و رسوبات درشت دانه است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. و در نهایت لایه آخر که به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₁₀

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم‌افزار IX1D		
لایه	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)
۱	۲۰۰	۳/۵	۲۳۵	۲
۲	۸۰۰	۶/۵	۱۱۰۰	۴
۳	۳۸۰۰	۴۵/۵	۴۲۲۰	۴۰
۴	۱۸۰۰	∞	۱۵۰۰	∞
RMS		۱۲/۳۲۴		

۵-۵-۱۸ سونداژ الکتریکی P₁₋₁₁

این سونداژ همان‌طور که در جدول ۵-۱۸ نشان داده شده است متشکل از ۵ لایه ژئوفیزیکی است که لایه اول روباره می‌باشد که شامل واریزه‌های آهکی و رسوبات درشت دانه می‌باشند. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به‌علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه چهارم به احتمال زیاد از

جنس آهک‌های مارنی می‌باشد. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که کاهش مقدار مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₁₁

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳/۵	۶۵۰	۳	۸۱۸	۱
۴	۲۸۰۰	۴	۳۳۵۸	۲
۱۲/۵	۴۰۰۰	۱۰	۳۷۰۷	۳
۳۰	۱۱۰۰	۲۷	۱۰۶۱	۴
∞	۲۴۰۰	∞	۲۸۴۳	۵
RMS		۱۶/۸۷۸		

۵-۵-۱۹ سونداژ الکتریکی P₁₋₁₂

این سونداژ نیز همان‌طور که در جدول ۵-۱۹ نشان داده شده است متشکل از ۵ لایه ژئوفیزیکی است. دو لایه اول روبره می‌باشد که از جنس واریزه‌های آهکی و رسوبات درشت دانه است لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های مارنی می‌باشد. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که کاهش مقدار مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۱۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₁₋₁₂

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳	۶۵۰	۳	۷۳۵	۱
۴/۵	۳۶۰	۳	۲۱۳	۲
۱۰	۳۱۰۰	۲۱	۴۹۹۵	۳
۲۶/۵	۱۲۰۰	۳۲	۹۸۴	۴
∞	۲۵۰۰	∞	۳۲۴۷	۵
RMS		۱۴/۹۲۵		

۵-۵-۲۰ سونداژ الکتریکی P₂₋₁

این سونداژ نیز همان‌طور که در جدول ۵-۲۰ نشان داده شده است، متشکل از ۵ لایه ژئوفیزیکی است. دو لایه اول آبرفتی است و از رسوبات دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد.

لایه چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه آخر هم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₁

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۶۰۵	۲	۵۲۰	۱
۲	۱۷۲	۲	۲۵۰	۲
۳/۵	۱۱۲۴	۶	۱۰۰۰	۳
۲۸/۵	۱۱۱۲۰	۲۷	۴۴۰۰	۴
∞	۱۷۰۰	∞	۲۳۰۰	۵
۱۹/۲۶۶		RMS		

۵-۵-۲۱ سونداژ الکتریکی P₂₋₂

این سونداژ که در جدول ۵-۲۱ نشان داده شده است، متشکل از ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول آبرفتی است و از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد.

لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان می‌باشد. لایه آخر هم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₂

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۶	۶۳۷/۱	۳	۵۵۰	۱
۴	۷۲۴/۴	۶/۵	۱۱۰۰	۲
۲۶/۱	۸۲۸۵/۲	۳۸	۵۵۰۰	۳
∞	۱۹۴۹/۴	∞	۲۵۰۰	۴
۱۰/۹۰۳				RMS

۵-۵-۲۲ سونداژ الکتریکی P₂₋₃

سونداژ فوق که در جدول ۵-۲۲ نشان داده شده است، متشکل از ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول آبرفتی است و از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و یا به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم نیز احتمالاً از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان می‌باشد. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₃

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲	۲۰۹	۴	۲۱۰	۱
۵	۱۵۴۷	۸	۱۰۰۰	۲
۴۲	۴۵۰۶	۴۶	۴۰۰۰	۳
∞	۲۱۲۱	∞	۲۵۰۰	۴
۱۸/۰۶۲		RMS		

۵-۵-۲۳ سونداژ الکتریکی P₂₋₄

در این سونداژ که در جدول ۵-۲۳ نشان داده شده است، حضور ۴ لایه ژئوفیزیکی مشهود است. لایه اول که آبرفتی است و از رسوبات دانه درشت و واریزه های آهکی تشکیل شده است. لایه دوم که احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است و به علت تغییر در تراکم سنگ ها و یا به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم هم احتمالاً از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد. و در نهایت لایه آخر که به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₄

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۳	۵۲۰/۵	۴	۴۸۰	۱
۷/۵	۱۳۴۷	۶/۵	۱۲۰۰	۲
۷۴/۵	۴۳۴۵	۶۹	۴۳۰۰	۳
∞	۲۵۱۵	∞	۲۳۰۰	۴
۸/۸۲۱		RMS		

۵-۵-۲۴ سونداژ الکتریکی P₂₋₅

در این سونداژ که در جدول ۵-۲۴ نشان داده شده است، حضور ۴ لایه ژئوفیزیکی مشهود است. لایه اول که مقاومت ویژه نسبتاً بالایی دارد و در این جا از جنس تشکیلات سنگی می باشد. لایه دوم که احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است و به علت تغییر در تراکم سنگ ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد. و نهایتاً لایه آخر که به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₅

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳/۹	۱۵۵۳	۳/۵	۱۵۰۰	۱
۷/۹	۸۵۶	۷	۱۰۰۰	۲
۷۷/۳	۷۵۱۹	۷۵/۵	۵۸۰۰	۳
∞	۲۵۴۸	∞	۲۷۰۰	۴
۶/۴۸۲				RMS

۵-۵-۲۵ سونداژ الکتریکی P₂₋₆

همان طور که در جدول ۵-۲۵ مشاهده می کنیم، سونداژ فوق شامل ۴ لایه ژئوفیزیکی است. لایه اول آبرفتی می باشد و از رسوبات دانه درشت و واریزه های آهکی تشکیل شده است. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است که به علت تغییر در تراکم سنگ ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم به احتمال زیاد از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد. لایه آخر هم

احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₆

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲	۵۸۸	۳/۵	۵۰۰	۱
۱۳/۵	۱۸۶۴	۱۰	۱۸۰۰	۲
۹۱	۳۹۰۲	۸۴/۵	۴۸۰۰	۳
∞	۳۱۹۹	∞	۲۸۰۰	۴
۱۰/۵۲۳				RMS

۵-۵-۲۶ سونداژ الکتریکی P₂₋₇

در این سونداژ نیز همان‌طور که در جدول ۵-۲۶ می‌بینیم، ۵ لایه ژئوفیزیکی قابل تشخیص است. لایه اول آبرفتی بوده و از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده اند. لایه دوم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشد که به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه سوم و چهارم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان می‌باشند. اختلاف مقاومت بین این دو لایه احتمالاً به علت تغییر تراکم می‌باشد. لایه آخر هم احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشد که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی شده است.

جدول ۵-۲۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₇

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۵	۶۷۸	۴	۴۷۰	۱
۱۰	۲۸۱۵	۱۰	۲۵۰۰	۲
۲۰/۵	۳۱۰۰	۲۱	۳۳۰۰	۳
۴۵	۲۲۲۵	۴۵	۲۳۰۰	۴
∞	۲۲۶۸	∞	۲۲۰۰	۵
۱۶/۸۳۹		RMS		

۵-۵-۲۷ سونداژ الکتریکی P₂₋₈

در این سونداژ که در جدول ۵-۲۷ نشان داده شده است، حضور ۵ لایه ژئوفیزیکی مشهود است. دو لایه اول که به نظر آبرفتی هستند و از رسوبات دانه درشت و واریزه‌های آهکی تشکیل شده‌اند. لایه سوم، احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشد و به علت تغییر در تراکم سنگ‌ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه چهارم هم احتمالاً آهک‌های متراکم سازند بنگستان می‌باشد. لایه آخر هم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی می‌باشد.

جدول ۵-۲۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₈

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲	۴۸۳	۲/۵	۵۵۰	۱
۱/۵	۳۲۰	۱/۵	۴۲۰	۲
۷	۱۵۰۰	۱۱	۱۶۰۰	۳
۴۶	۷۳۲۵	۵۵/۵	۴۴۰۰	۴
∞	۱۵۵۵	∞	۲۳۰۰	۵
۹/۶۸۲		RMS		

۵-۵-۲۸ سونداژ الکتریکی P₂₋₉

در این سونداژ که در جدول ۵-۲۸ نشان داده شده است، حضور ۴ لایه ژئوفیزیکی مشهود است. لایه اول که مقاومت ویژه نسبتاً بالایی دارد و در این جا از جنس تشکیلات سنگی می باشد. لایه دوم، احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است و به علت تغییر در تراکم سنگ ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم هم که احتمالاً از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد. و در نهایت لایه آخر که به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش فوقانی می باشد.

جدول ۵-۲۸: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₉

تفسیر با منحنی های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D		
لایه	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)
۱	۱۸۰۰	۴/۵	۱۵۵۶	۶
۲	۱۲۰۰	۷	۱۳۱۰	۱۳/۵
۳	۴۲۰۰	۵۳	۴۹۵۱	۷۲
۴	۲۱۰۰	∞	۱۸۰۴	∞
RMS		۹/۰۹۱		

۵-۵-۲۹ سونداژ الکتریکی P₂₋₁₀

در این سونداژ که آخرین سونداژ پروفیل ۲ می باشد همان طور که در جدول ۵-۲۹ مشاهده می کنیم، حضور ۴ لایه ژئوفیزیکی مشهود است. لایه اول که احتمالاً آبرفتی است و از رسوبات دانه درشت و واریزه های آهکی تشکیل شده است. لایه دوم، احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد و به علت تغییر در تراکم سنگ ها مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه سوم آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد. لایه آخر هم که احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش

فوقانی می‌باشد.

جدول ۵-۲۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₂₋₁₀

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۳	۸۳۰	۳/۵	۸۰۰	۱
۳/۵	۹۶۴	۴/۵	۱۱۰۰	۲
۲۵	۴۹۹۲	۴۲	۴۷۰۰	۳
∞	۱۹۱۲	∞	۲۱۰۰	۴
۱۳/۴۸۱				RMS

۵-۳۰-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₁

پروفیل P₃ که در مجاورت رودخانه برداشت شده، با طول حدود ۵۰۰ متر از ۱۱ سونداژ الکتریکی تشکیل شده است. سونداژ P₃₋₁ اولین سونداژ این پروفیل می‌باشد که ۴ لایه ژئوفیزیکی را برای ما آشکار می‌کند. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه سوم که احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف-های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالائی شده است.

جدول ۵-۳۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₁

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۱	۱۰۶۶	۳/۵	۱۶۰۰	۱
۲/۵	۱۴۲۷۷	۳/۵	۸۰۰۰	۲
۱۲/۵	۵۱۰	۲۱	۱۱۰۰	۳
∞	۶۰۳۹	∞	۴۱۰۰	۴
۱۱/۸		RMS		

۵-۳۱ سونداژ الکتریکی P₃₋₂

همان طور که در شکل ۵-۳۱ مشاهده می کنیم این سونداژ شامل ۴ لایه ژئوفیزیکی می باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد. لایه سوم که احتمالاً از جنس آهک های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می دهد. لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالائی شده است.

جدول ۵-۳۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₂

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۴/۵	۵۳۵	۵	۴۷۰	۱
۸/۵	۱۳۴۱	۵	۱۶۰۰	۲
۱۴	۸۷۵	۱۲	۷۵۰	۳
∞	۳۵۶۰	∞	۳۹۰۰	۴
۱۵/۷۳۶		RMS		

۳۲-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₃

همان‌طور که در شکل ۳۲-۵ مشاهده می‌کنیم این سونداژ شامل ۴ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه سوم که احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالائی شده است.

جدول ۳۲-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₃

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۵	۱۶۹۲	۴	۱۴۰۰	۱
۶	۵۰۸۶	۵	۳۳۰۰	۲
۲۲/۵	۱۲۵۲	۲۳	۱۲۵۰	۳
∞	۴۷۹۵	∞	۴۰۰۰	۴
۶/۷۰۲				RMS

۳۳-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₄

این سونداژ همان‌طور که در شکل ۳۳-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۵ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستانی- باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۳-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₄

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲	۱۲۵۰	۴	۱۲۰۰	۱
۳	۳۱۱۴۰	۳/۵	۲۳۰۰	۲
۷	۶۲۵	۷/۵	۱۰۰۰	۳
۱۵	۳۲۰۰	۱۸	۲۱۰۰	۴
∞	۳۴۰۰	∞	۳۳۰۰	۵
۱۱/۲۵۷				RMS

۳۴-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₅

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۳۴-۵ مشاهده می‌شود شامل ۴ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه سوم که احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالایی شده است.

جدول ۳۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₅

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۴	۲۷۰۰	۴	۲۲۰۰	۱
۳	۳۲۰۰	۳	۳۶۰۰	۲
۳۸	۲۲۰۰	۳۵	۱۹۰۰	۳
∞	۳۱۰۰	∞	۳۴۰۰	۴
۹/۱۸۹				RMS

۳۵-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₆

این سونداژ همان‌طور که در شکل ۳۵-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۳۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₆

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۳/۵	۲۸۹۰	۳/۵	۲۳۰۰	۱
۴	۲۸۳۰	۴	۳۷۰۰	۲
۵/۵	۱۶۰۰	۶/۵	۱۰۰۰	۳
۱۱	۳۶۶۰	۹/۵	۱۱۰۰	۴
۴۶	۱۲۰۰	۳۳/۵	۱۳۰۰	۵
∞	۳۵۶۰	∞	۳۳۰۰	۶
۷/۸۸۵		RMS		

۳۶-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₇

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۳۶-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۳۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₇

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۲/۵	۹۰۰	۴	۹۵۰	۱
۵	۳۳۰۰	۷	۲۵۰۰	۲
۷	۹۰۰	۶/۵	۱۰۰۰	۳
۱۵	۱۴۲۵	۱۲	۱۱۰۰	۴
۱۹	۸۷۰	۱۴/۵	۱۳۰۰	۵
∞	۲۴۲۰	∞	۲۳۰۰	۶
۶/۷۳		RMS		

۵-۳۷ سونداژ الکتریکی P₃₋₈

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۵-۳۷ مشاهده می‌شود شامل ۴ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است. لایه سوم که احتمالاً از جنس آهک‌های سازند بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالائی شده است.

جدول ۵-۳۷: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₈

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۱۰۱۰	۵	۱۰۰۰	۱
۱۹/۵	۲۴۰۰	۸/۵	۲۶۰۰	۲
۶۱	۸۶۰	۴۸	۹۵۰	۳
∞	۳۶۷۵	∞	۲۲۰۰	۴
۹/۲۸۳		RMS		

۳۸-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₉

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۳۸-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۵ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از رسوبات دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۳۸-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₉

تفسیر با منحنی‌های استاندارد		تفسیر با نرم افزار IX1D		
لایه	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)
۱	۷۷۰	۴	۸۱۰	۳
۲	۱۳۰۰	۱۰	۱۳۵۰	۱۰/۵
۳	۲۵۰۰	۱۵	۲۴۵۰	۱۴/۵
۴	۱۰۰۰	۱۶/۵	۹۰۰	۱۸
۵	۲۳۰۰	∞	۲۵۰۰	∞
RMS		۹/۵۰۱		

۳۹-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₃₋₁₀

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۳۹-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۷ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از رسوبات دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۳۹: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₁₀

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۱	۵۸۵	۲/۵	۹۰۰	۱
۲	۳۷۰۰	۲/۵	۲۴۰۰	۲
۳	۷۵۵	۳	۱۲۰۰	۳
۵/۵	۱۵۰۰	۷/۵	۱۷۰۰	۴
۱۴	۴۲۰۰	۱۸	۲۳۰۰	۵
۳۰	۵۰۰	۲۸	۹۰۰	۶
∞	۸۲۰۰	∞	۲۴۰۰	۷
۱۲/۹۸۳				RMS

۵-۴۰ سونداژ الکتریکی P₃₋₁₁

این سونداژ که آخرین سونداژ پروفیل سه می‌باشد، همان‌طور که در شکل ۵-۳۷ مشاهده می‌شود شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. دو لایه اول از رسوبات دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف آن شده است.

جدول ۵-۴۰: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₃₋₁₁

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۱	۷۰۰	۲	۴۵۰	۱
۲	۱۵۵	۳	۱۸۰	۲
۵	۵۰۰	۶	۴۲۰	۳
۱۱	۱۱۵۰	۱۱	۸۵۰	۴
۲۲	۴۱۰	۲۱/۵	۴۸۰	۵
∞	۲۸۵۰	∞	۲۰۰۰	۶
۱۲/۸۲۴				RMS

۴۱-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₁

پروفیل ۴ که بر روی جاده قدیمی ماشین‌رو برداشت گردیده، به طول حدود ۷۰۰ متر از ۱۴ سونداژ الکتریکی تشکیل شده است. سونداژ P₄₋₁ اولین سونداژ این پروفیل می‌باشد که ۴ لایه ژئوفیزیکی را برای ما آشکار می‌کند. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان است. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌هایی با مقدار رس بسیار پایین بوده و لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است.

جدول ۴۱-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₄₋₁

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲	۵۵۰	۳	۹۵۰	۱
۱۱	۵۰۰۰	۹	۳۲۰۰	۲
۳۰	۵۶۶۰	۳۳	۵۵۰۰	۳
∞	۳۹۰۰	∞	۳۳۰۰	۴
۸/۳۰۵				RMS

۴۲-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₂

این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۴۲-۵ مشاهده می‌کنیم، ۴ لایه ژئوفیزیکی را برای ما آشکار می‌کند. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشد. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌هایی با مقدار رس بسیار پایین بوده و لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است.

جدول ۵-۴۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-2

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲	۶۰۰	۳	۸۷۰	۱
۱۷	۳۷۵۰	۱۴	۳۰۰۰	۲
۵۱	۴۶۰۰	۴۷	۵۲۰۰	۳
∞	۴۵۰۰	∞	۳۴۰۰	۴
۸/۰۳۵				RMS

۵-۵-۴۳ سونداژ الکتریکی P4-3

سونداژ فوق همان طور که در شکل ۵-۴۳ مشاهده می کنیم، ۴ لایه ژئوفیزیکی را برای ما آشکار می کند. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک های سازند بنگستان می باشد. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک هایی با مقدار رس بسیار پایین بوده و لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان است.

جدول ۵-۴۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-3

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲	۲۵۰	۳	۳۰۰	۱
۶	۱۶۵۰	۹	۱۵۰۰	۲
۱۷	۱۱۵۰	۲۷	۴۹۰۰	۳
∞	۲۱۵۰	∞	۲۵۰۰	۴
۱۳/۹۶۷				RMS

۴۴-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₄

در این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۴۴-۵ مشاهده می‌کنیم، وجود ۴ لایه ژئوفیزیکی برای ما مشهود است. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه دوم به احتمال زیاد از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشد. لایه سوم احتمالاً از جنس آهک‌هایی با مقدار رس بسیار پایین بوده و لایه آخر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم سازند بنگستان است.

جدول ۴۴-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₄₋₄

تفسیر با نرم‌افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳	۱۰۵۸	۳/۵	۱۰۰۰	۱
۶	۲۸۴۱	۸	۲۴۰۰	۲
۲۳	۹۴۲۲	۲۳	۶۲۰۰	۳
∞	۲۳۵۰	∞	۴۵۰۰	۴
۱۰/۱۰۷				RMS

۴۵-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₅

این سونداژ، همان‌طور که در شکل ۴۵-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۵ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. دو لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده‌اند. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۴۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₄₋₅

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۲۹۰۰	۲	۳۱۰۰	۱
۱/۸	۲۴۰۰	۲	۲۲۰۰	۲
۶	۳۵۰۰	۷/۵	۳۶۰۰	۳
۲۶	۷۲۰۰	۳۲/۵	۶۵۰۰	۴
∞	۵۰۰۰	∞	۴۵۰۰	۵
۵/۹۶۱				RMS

۵-۴۶ سونداژ الکتریکی P₄₋₆

سونداژ فوق همان‌طور که در شکل ۵-۴۶ مشاهده می‌کنیم شامل ۵ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. در این‌جا نیز دو لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده‌اند و لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۴۶: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₄₋₆

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱	۱۵۰۰	۱/۵	۱۲۰۰	۱
۱/۵	۷۵۰	۲	۹۰۰	۲
۶	۱۴۰۰	۸/۵	۱۷۰۰	۳
۱۷	۷۲۰۰	۴۷/۵	۴۳۰۰	۴
∞	۳۵۰۰	∞	۳۴۰۰	۵
۸/۰۹۳				RMS

۴۷-۵-۵ سونداژ الکتریکی P4-7

سونداژ فوق همان‌طور که در شکل ۴۷-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است و لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۴۷-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-7

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۳/۵	۹۵۰	۳/۵	۹۰۰	۱
۶/۵	۱۷۵۰	۱۰/۵	۲۴۰۰	۲
۳۰	۶۵۰۰	۵۰	۴۵۰۰	۳
۱۷	۱۸۵۰	۱۵/۵	۳۰۰۰	۴
۱۵	۳۲۰۰	۱۵/۵	۴۲۰۰	۵
∞	۳۸۰۰	∞	۳۰۰۰	۶
۹/۹۸۴		RMS		

۴۸-۵-۵ سونداژ الکتریکی P4-8

سونداژ فوق همان‌طور که در شکل ۴۸-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۷ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. دو لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده اند و لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۴۸-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-8

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۱۸۵۰	۲	۲۰۰۰	۱
۱/۵	۱۳۵۰	۲	۱۲۰۰	۲
۴/۵	۱۸۵۵	۵/۵	۲۲۰۰	۳
۳	۱۲۰۰	۳	۱۳۰۰	۴
۱۶/۵	۴۷۵۰	۱۷	۳۵۰۰	۵
۳۱	۱۴۰۰	۳۰	۱۸۰۰	۶
∞	۳۳۰۰	∞	۳۰۰۰	۷
۷/۴۲۲				RMS

۴۹-۵-۵ سونداژ الکتریکی P4-9

سونداژ فوق همان‌طور که در شکل ۴۶-۵ مشاهده می‌کنیم شامل ۵ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. در این‌جا نیز دو لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده‌اند و لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۴۹-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-9

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۱۷۵۰	۲	۱۵۰۰	۱
۲	۷۵۰	۲	۱۱۰۰	۲
۵	۴۳۰۰	۹	۲۵۰۰	۳
۱۲	۷۰۰	۲۷	۱۲۵۰	۴
∞	۲۶۰۰	∞	۲۶۰۰	۵
۶/۶۲۷				RMS

۵-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₁₀

در این سونداژ نیز همان طور که در شکل ۵-۴۶ مشاهده می‌کنیم وجود ۵ لایه ژئوفیزیکی مشهود می‌باشد. در این جا نیز لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده اند و لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۵: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P₄₋₁₀

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲/۵	۷۶۵	۳	۹۵۰	۱
۱/۵	۱۲۰۰	۱/۵	۸۰۰	۲
۱۹/۵	۱۵۲۰	۱۷/۵	۱۵۰۰	۳
۲۳	۷۵۵	۲۵	۹۵۰	۴
∞	۱۲۵۰	∞	۱۵۰۰	۵
۸/۱۱۷				RMS

۵-۵-۵ سونداژ الکتریکی P₄₋₁₁

سونداژ فوق همان طور که در شکل ۵-۵۱ مشاهده می‌کنیم شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۵۱: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-11

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۴/۵	۲۲۰۰	۴	۱۳۰۰	۱
۶	۱۹۰۰	۶/۵	۲۴۰۰	۲
۱۱	۱۳۸۰	۱۱/۵	۱۱۵۰	۳
۹	۱۵۳۰	۹/۵	۱۸۰۰	۴
۱۲/۵	۱۴۵۰	۱۳	۱۳۵۰	۵
∞	۱۶۴۰	∞	۱۷۵۰	۶
۴/۱۲		RMS		

۵-۵-۵۲ سونداژ الکتریکی P4-12

در این سونداژ نیز همان‌طور که در شکل ۵-۵۲ مشاهده می‌کنیم، ۵ لایه ژئوفیزیکی مشهود می‌باشد. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک-های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۵۲: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-12

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۱/۵	۸۲۰	۴	۹۵۰	۱
۲۴	۲۵۵۰	۱۷	۲۵۰۰	۲
۳۰	۹۰۰	۳۲	۱۲۵۰	۳
۸۶	۳۵۸۰	۸۷	۲۲۰۰	۴
∞	۱۱۰۰	∞	۱۶۰۰	۵
۳/۹۱		RMS		

۵-۵-۵۳ سونداژ الکتریکی P4-13

در این سونداژ که در شکل ۵-۵۳ نشان داده شده است ۵ لایه ژئوفیزیکی مشاهده می‌شود. لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده است. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۵۳: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-13

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	لایه
۲	۱۴۲۵	۴	۱۲۵۰	۱
۲۳	۳۲۵۰	۲۲/۵	۳۴۰۰	۲
۳۹	۱۳۵۰	۳۸	۱۶۰۰	۳
۷۸	۴۱۳۰	۶۶/۵	۲۹۰۰	۴
∞	۱۸۵۴	∞	۱۵۰۰	۵
۱۱/۱۴۶				RMS

۵-۵-۵۴ سونداژ الکتریکی P4-14

این سونداژ که در شکل ۵-۵۴ نشان داده شده است، آخرین سونداژ این پروفیل می‌باشد و شامل ۶ لایه ژئوفیزیکی می‌باشد. دو لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده اند. لایه‌های دیگر از جنس آهک‌های سازند بنگستان می‌باشند، که تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، باعث تغییر مقاومت‌ویژه در لایه‌های مختلف شده است.

جدول ۵-۴: نتایج حاصل از تفسیر سونداژ P4-14

تفسیر با نرم افزار IX1D		تفسیر با منحنی‌های استاندارد		لایه
t (m)	ρ (ohm.m)	t (m)	ρ (ohm.m)	
۳	۱۶۵۰	۵	۲۱۰۰	۱
۷/۵	۱۳۲۰	۱۰	۱۳۰۰	۲
۱۱	۲۰۳۰	۱۲	۱۵۰۰	۳
۱۷/۵	۱۹۷۰	۲۳	۲۰۰۰	۴
۴۶/۵	۶۴۶۰	۵۰	۳۶۰۰	۵
∞	۱۰۲۰	∞	۱۵۰۰	۶
۹/۹۵		RMS		

۵-۶ مدل سازی و تفسیر دوبعدی سونداژهای مقاومت ویژه

یکی از محدودیت‌های روش سونداژزنی مقاومت ویژه، عدم پاسخ مناسب آن به تغییرات افقی مقاومت ویژه الکتریکی در زیر سطح زمین است. با مدل سازی دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی، می‌توان تصویر دقیق‌تری را از تغییرات آن، هم در امتداد قائم و هم در امتداد افقی، در طول خط بررسی تهیه نمود. در اکثر مواقع، خصوصاً در هنگام بررسی ساختارهای طویل زمین شناسی، این روش مدل سازی، روشی مناسب و منطقی می‌باشد [۳۳].

در این تحقیق به منظور مدل سازی دوبعدی داده‌های الکتریکی از نرم افزار Res2dinv استفاده شده است. این نرم افزار به صورت اتوماتیک، یک مدل مقاومت ویژه دوبعدی برای زیر سطح زمین، با استفاده از داده‌های به دست آمده از برداشت‌های الکتریکی صحرایی ایجاد می‌نماید. در Res2dinv برای مدل سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی، از روش بهینه سازی کمترین مربعات^۱ غیرخطی استفاده می‌شود. از این برنامه برای مدل سازی داده‌های حاصل از برداشت با آرایش‌های وئر، قطبی-قطبی، دوقطبی، وئر-شلومبرژه و دوقطبی-دوقطبی استوایی استفاده می‌شود [۲۴].

^۱ Least Square

مدل لایه‌ای پروفیل‌ها توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر، با استفاده از نتایج تفسیر یک بعدی سونداژهای ژئوالکتریکی و با در نظر گرفتن زمین‌شناسی منطقه و به کمک نرم‌افزار Autocad ترسیم شده است. در این تحقیق ما برای مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی در طول هر پروفیل از نرم افزار RES2dinv با ۵ مرحله تکرار استفاده کرده و نتایج یا مدل‌های دو بعدی بدست آمده را با مدل‌های لایه‌ای حاصل از تفسیر یک بعدی سونداژهای مزبور مقایسه شده‌اند.

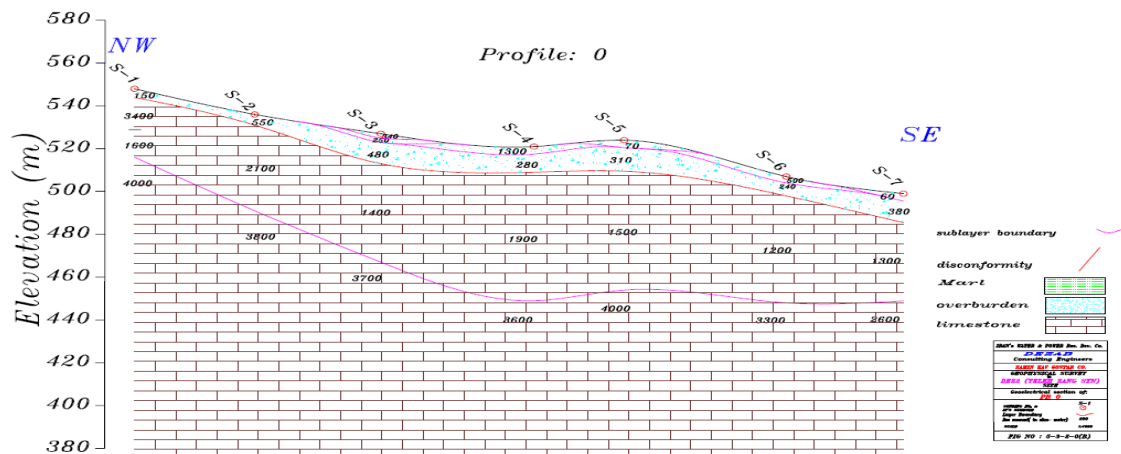
۵-۶-۱ مدل‌سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر پروفیل P_0

پروفیل P_0 ، از هفت سونداژ الکتریکی با فواصل حدود ۵۰ متر از یکدیگر تشکیل شده و طول آن نزدیک به ۳۰۰ متر است و در آن لایه‌های متعدد به لحاظ اختلاف مقاومت ویژه قابل تشخیص است که در زیر تشریح شده است. با توجه به مدل لایه‌ای زمینی در محل این پروفیل که در شکل ۵-۱ نشان داده شده و شبه مقاطع و مقاطع مدل‌سازی شده معکوس حاصل از نرم افزار Res2dinv که در شکل ۵-۲ آورده شده، می‌توان لایه‌های زیر را تشخیص داد:

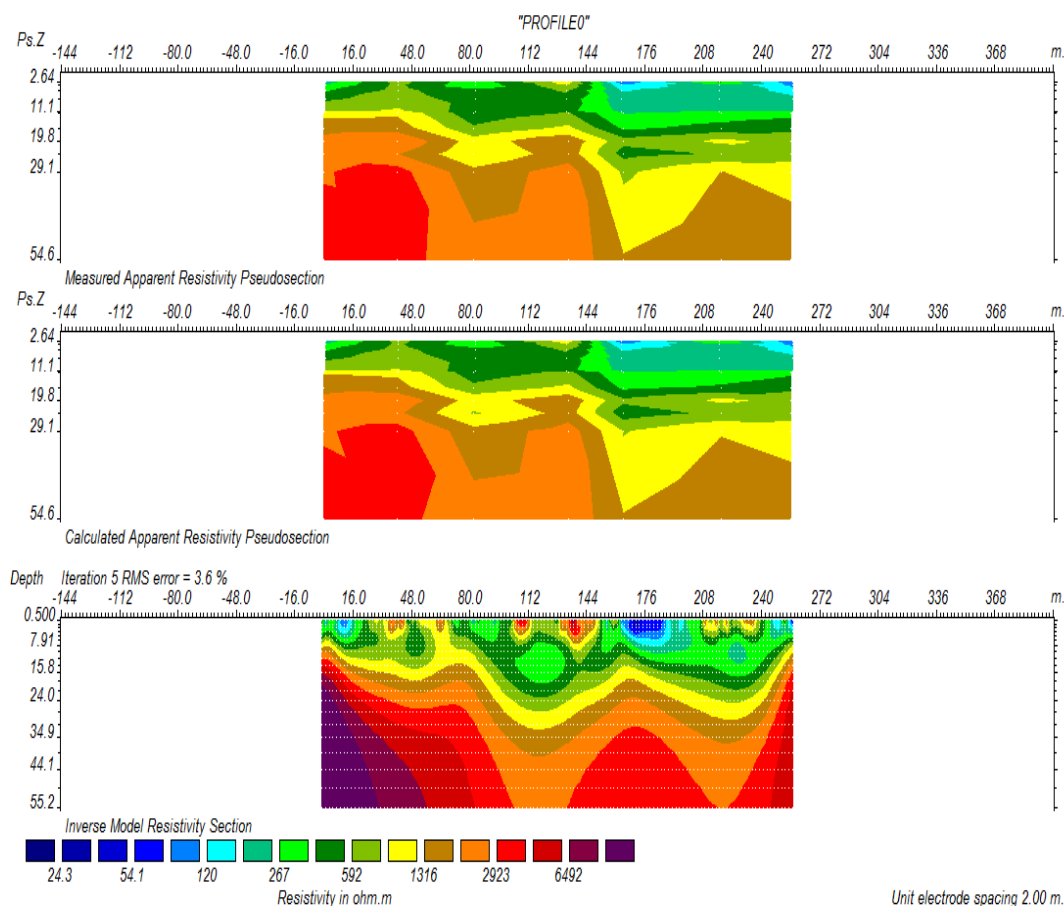
- لایه‌های سطحی از رسوبات دانه متوسط تا عمدتاً دانه درشت و نیز واریزه تشکیل شده‌اند که دارای مقاومت ویژه حداقل ۶۰ اهم‌متر در محل سونداژ ۷ و حداکثر ۱۳۰۰ اهم‌متر در محل سونداژ ۴ بوده و ضخامت آن ۳ تا ۱۵ متر به دست آمده است. همچنین این لایه در محل بعضی از سونداژها به دو یا سه زیر لایه تقسیم شده است.

- لایه بعدی با مقاومت ویژه ۱۲۰۰ تا ۳۴۰۰ اهم متر و ضخامت ۲۹ تا ۶۰ متر دیده می‌شود که احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت درصد مارن بیشتر و یا وجود درزه و شکاف-های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود (لایه آخر) نشان می‌دهد. وجود چشمه در پایین دست این پروفیل نیز می‌تواند این موضوع را تأیید کند. این لایه در محل سونداژ ۱ به دو زیر لایه تقسیم شده است.

- لایه آخر با عمق حداقل ۳۴ متر در محل سونداژ یک و حداکثر ۷۲ متر در محل سونداژ ۴ و با مقاومت ویژه ۲۶۰۰ تا ۴۰۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است [۷].



شکل ۵-۱: مدل لایه‌ای پروفیل P_0 [۷]



شکل ۵-۲: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_0

۵-۶-۲ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P_1

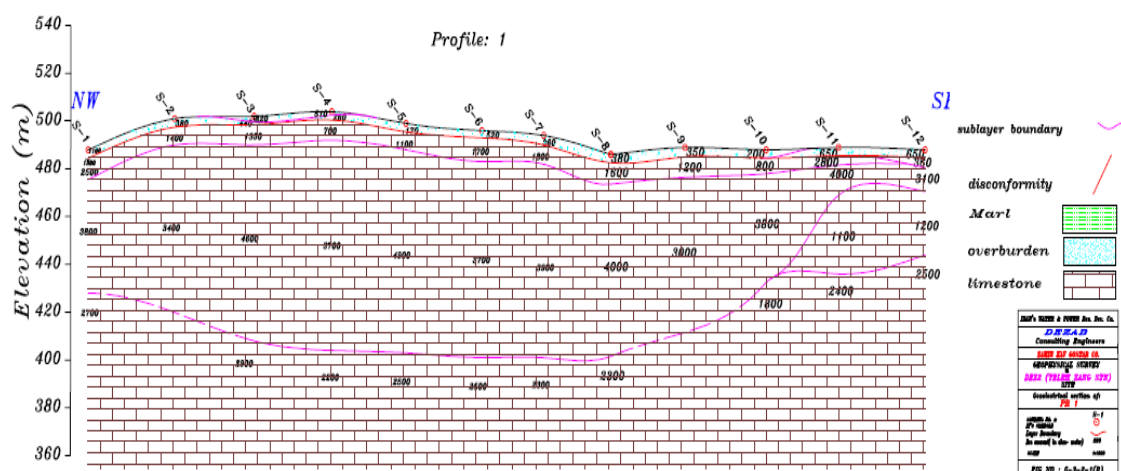
پروفیل P_1 به طول حدود ۵۰۰ متر از ۱۲ سونداژ الکتریکی تشکیل شده است. مدل لایه‌ای زمینی برای این پروفیل در شکل ۵-۳ نشان داده شده است. همچنین شبه مقاطع و مقطع مدل سازی شده دو بعدی معکوس با ۵ مرحله تکرار توسط نرم افزار Res2dinv برای پروفیل ۱ در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نرم افزار Res2dinv ناهمگنی‌های جانبی را به شکل توده‌ای نشان می‌دهد. از این رو در مدل لایه‌ای زمینی و شبه مقاطع و مقطع مدل سازی شده دوبعدی ارائه شده توسط نرم افزار Res2dinv تفاوت‌های جزئی می‌باشد. لایه‌بندی پروفیل ۱ را با توجه به تفاوت از نظر تغییر مقاومت ویژه می‌توان به صورت زیر شرح داد:

- لایه آبرفتی از رسوبات دانه درشت و واریزه تشکیل شده، دارای مقاومت ویژه ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم متر بوده و ضخامت آن حدود ۳ متر به دست آمده است.

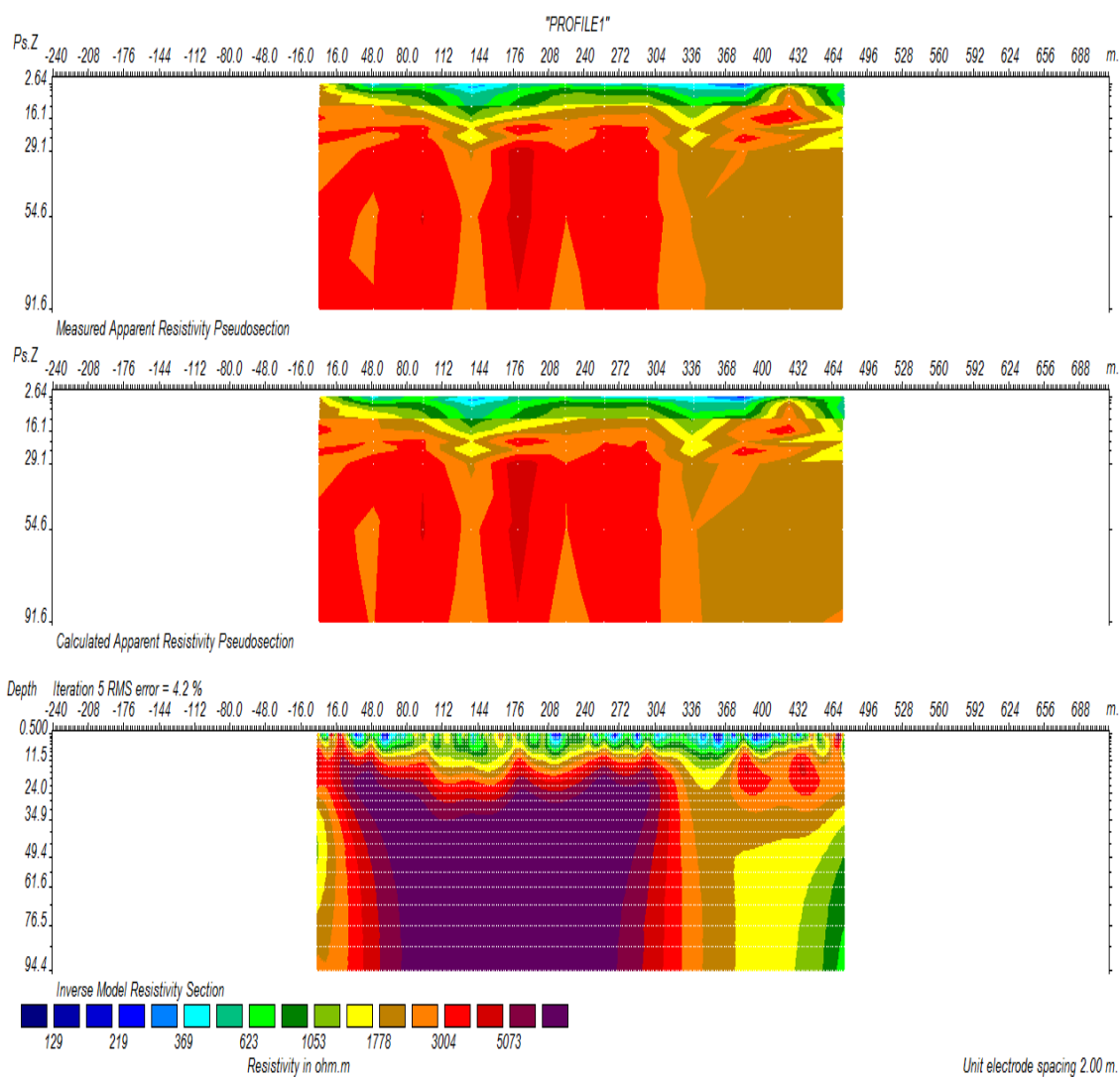
- لایه بعدی با مقاومت ویژه ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ اهم متر و ضخامت ۶ تا ۱۰ متر وجود دارد که احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد.

- لایه سوم با ضخامت حداقل ۱۰ متر در محل سونداژ ۱۲ و حداکثر ۹۰ متر در محل سونداژ شماره ۴ و با مقاومت ویژه ۳۰۰۰ تا ۴۹۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. در زیر محل سونداژهای ۱۱ و ۱۲ میان لایه ای با ضخامت حدود ۳۰ متر و مقاومت ویژه ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ اهم متر دیده می‌شود که به احتمال زیاد از جنس آهک‌های مارنی است.

- لایه آخر با عمق حداقل ۴۴ متر در محل سونداژ ۱۲ و حداکثر ۱۰۰ متر در محل سونداژ شماره ۴ و با مقاومت ویژه ۱۸۰۰ تا ۲۹۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش بالایی شده است.



شکل ۳-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_1



شکل ۴-۵: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار

Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_1

۵-۶-۳ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P_2

پروفیل P_2 از ۱۰ سونداژ الکتریکی به فاصله حدود ۵۰ متر تشکیل شده است. طول این سونداژ نزدیک به ۴۵۰ متر است. مدل لایه‌ای زمینی در محل این پروفیل که در شکل ۵-۵ نشان داده شده و شبه مقاطع و مقاطع مدل سازی شده معکوس یا وارون حاصل از نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار که در شکل ۵-۶ آورده شده نشان می‌دهد که رسوبات آبرفتی و سنگ کف به لحاظ اختلاف مقاومت ویژه از چند قسمت تشکیل می‌شوند که در زیر تشریح شده است:

- لایه آبرفتی در محل سونداژهای ۱ تا ۴، ۶ تا ۸ و ۱۰ از رسوبات دانه درشت و واریزه و در محل سایر سونداژها از تشکیلات سنگی تشکیل شده‌اند که دارای مقاومت ویژه ۲۱۰ تا ۱۸۰۰ اهم متر بوده و ضخامت آن حدود ۳ تا ۵ متر به دست آمده است.

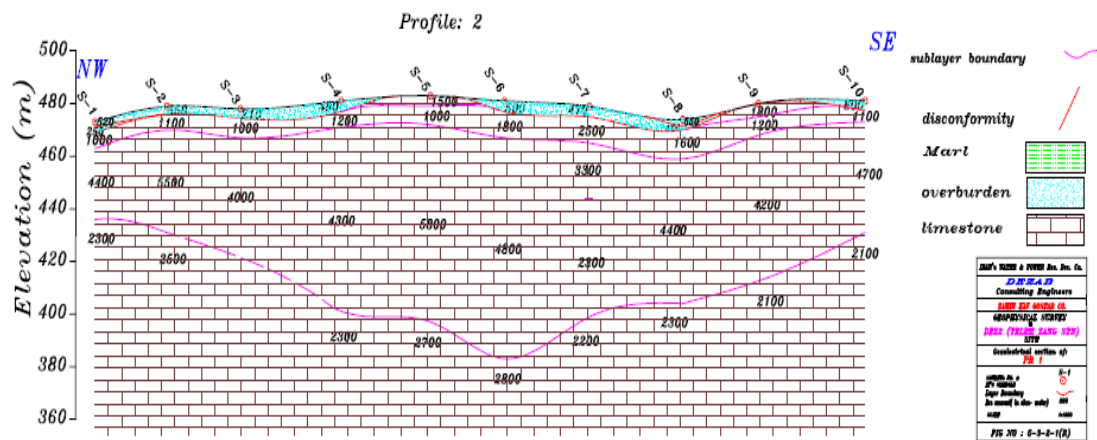
- لایه بعدی با مقاومت ویژه ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ اهم متر و ضخامت ۵ تا ۱۰ متر وجود دارد که احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد.

- لایه سوم با ضخامت حداقل ۲۷ متر در محل سونداژ یک و حداکثر ۸۴ متر در محل سونداژ شماره ۶ و با مقاومت ویژه ۲۳۰۰ تا ۵۸۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. این لایه در محل سونداژ ۷ به دو لایه تقسیم شده است.

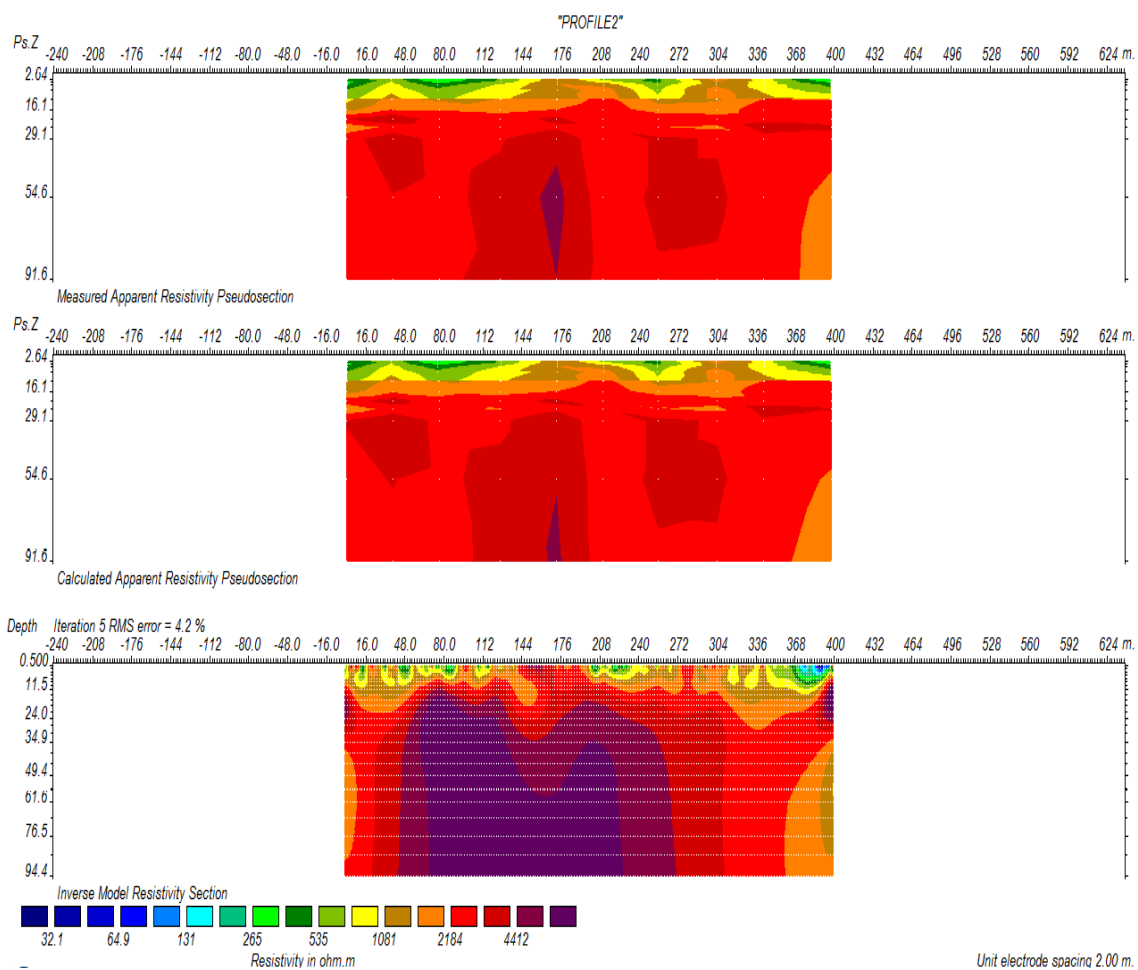
- لایه آخر با عمق حداقل ۳۷ متر در محل سونداژ یک و حداکثر ۹۸ متر در محل سونداژ شماره ۶ و با مقاومت ویژه ۲۱۰۰ تا ۲۸۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که افزایش مقدار مارن موجب کاهش مقاومت ویژه آن نسبت به بخش بالایی شده است.

تفاوت‌هایی که در شبه مقاطع و مقطع مدل سازی شده توسط نرم افزار Res2dinv با مدل لایه‌ای وجود دارد به علت این مسئله می‌باشد که نرم افزار Res2dinv ناهمگنی‌های جانبی را به شکل توده‌ای

نشان می دهد.



شکل ۵-۵: مدل لایه‌ای پروفیل P_2 [۷]



شکل ۵-۶: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار

Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_2

۵-۶-۴ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P_3

طول این پروفیل حدود ۵۰۰ متر و از ۱۱ سونداژ الکتریکی تشکیل شده است. با توجه به مدل لایه‌ای زمینی در محل این پروفیل که در شکل ۵-۷ نشان داده شده و شبه مقاطع و مقاطع مدل سازی شده معکوس یا وارون حاصل از نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار که در شکل ۵-۸ آورده شده است، لایه‌های زیر به لحاظ اختلاف مقاومت ویژه قابل تشخیص می‌باشند:

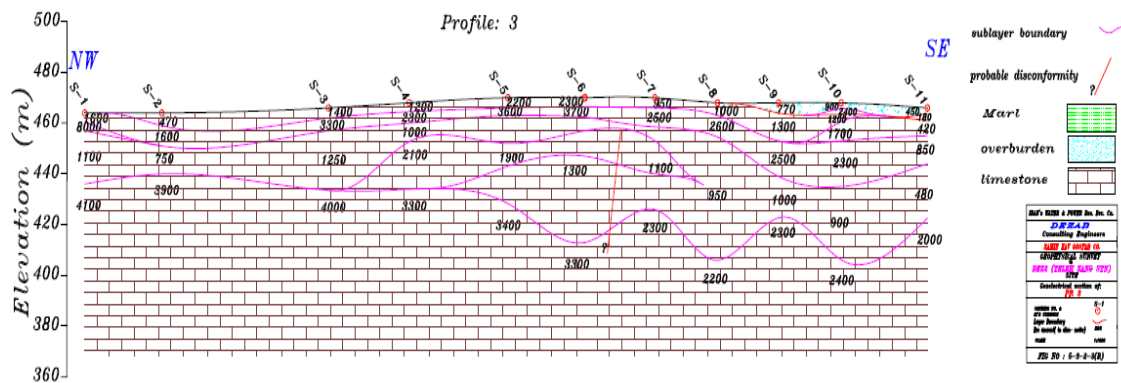
- لایه اول در محل سونداژهای ۹ تا ۱۱ از رسوبات دانه درشت و واریزه و در محل سایر سونداژها از تشکیلات سنگی تشکیل شده است که دارای مقاومت ویژه ۱۸۰ تا ۲۴۰۰ اهم متر می‌باشد و ضخامت آن حدود ۳ تا ۶ متر به دست آمده است.

- لایه دوم با ضخامت حداقل ۳ متر در محل سونداژهای ۴ تا ۶ و حداکثر ۱۸ متر در محل سونداژ شماره ۱۰ و با مقاومت ویژه ۸۵۰ تا ۳۷۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است.

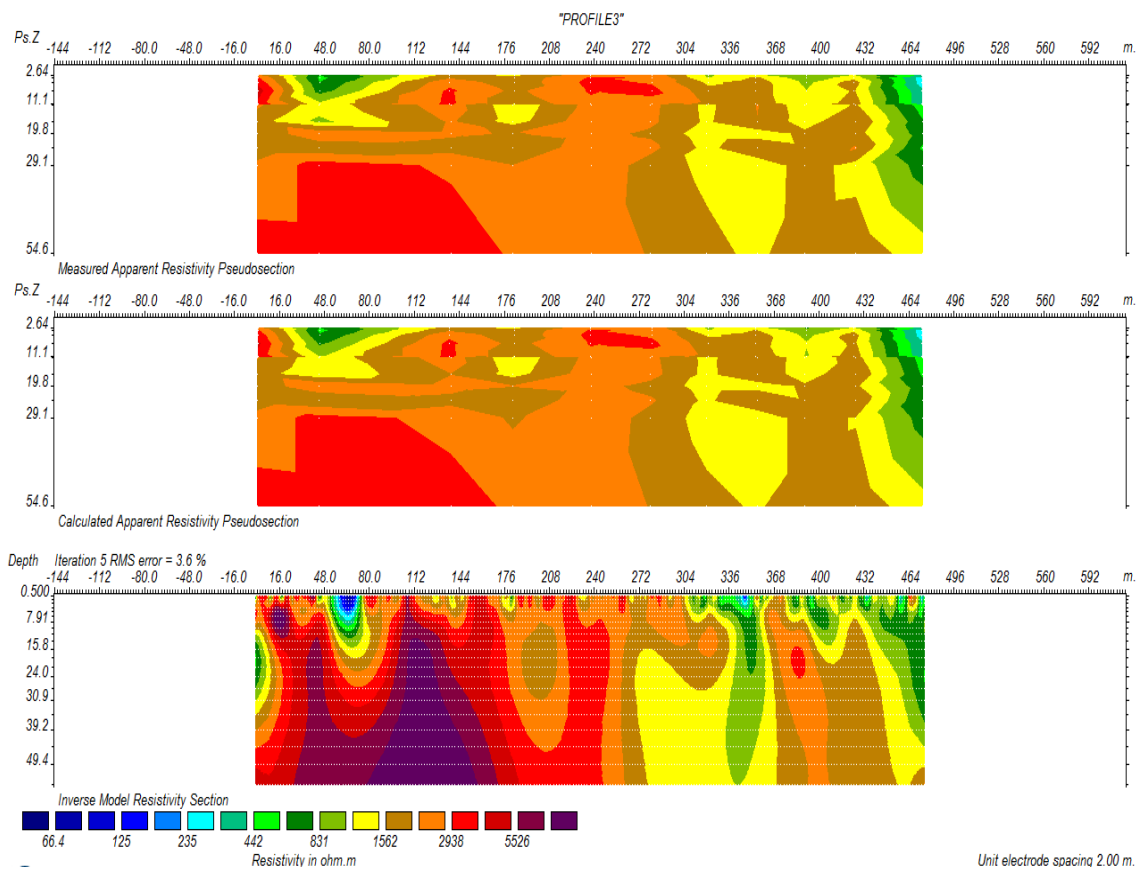
- لایه بعدی با مقاومت ویژه ۴۸۰ تا ۲۹۰۰ اهم متر و ضخامت ۱۱ تا ۵۰ متر وجود دارد که احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که بعلاوه تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. توضیح این که در حدفاصل محل برداشت سونداژهای ۶ و ۷ این پدیده می‌تواند بدلیل وجود ناپیوستگی باشد. این لایه در محل بعضی از سونداژها به دو یا سه لایه تقسیم شده است.

- لایه آخر با عمق حداقل ۲۴ متر در محل سونداژ ۲ و حداکثر ۶۲ متر در محل سونداژهای شماره ۸ و ۱۰ و با مقاومت ویژه ۲۰۰۰ تا ۴۱۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است که کاهش درصد مارن موجب افزایش مقاومت ویژه آن نسبت به لایه بالائی شده است. ناپیوستگی اشاره شده در لایه قبل در این لایه نیز ادامه داشته است.

در این جا نیز مانند آنچه در مورد پروفیل‌های دیگر گفته شد از آن جایی که نرم افزار Res2dinv ناهمگنی‌ها را به شکل توده‌ای نمایش می‌دهد لذا شبه مقاطع و مقطع مدل‌سازی شده دوبعدی به دست آمده توسط نرم افزار Res2dinv با مدل لایه‌ای زمینی تفاوت‌هایی دارد.



شکل ۵-۷: مدل لایه‌ای پروفیل P_3



شکل ۵-۸: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار

Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_3

۵-۶-۵ مدل سازی و تفسیر دو بعدی سونداژهای واقع بر روی پروفیل P₄

پروفیل P₄ آخرین خط برداشت داده‌های مقاومت ویژه در منطقه می‌باشد. این پروفیل که بر روی جاده قدیمی ماشین روبرداشت گردیده، به طول حدود ۷۰۰ متر از ۱۴ سونداژ الکتریکی تشکیل شده است و همان‌طور که مدل لایه‌ای زمینی که در شکل ۵-۹ آورده شده و شبه مقاطع و مقطع مدل سازی شده وارون توسط نرم افزار Res2dinv با ۵ مرحله تکرار که در شکل ۵-۱۰ آورده شده است نشان می‌دهند، پنج لایه متفاوت از نظر تغییر مقاومت ویژه را شامل می‌شود:

- لایه اول از تشکیلات سنگی آهکی هوازده تشکیل شده، دارای مقاومت ویژه ۳۰۰ تا ۳۱۰۰ اهم متر بوده و ضخامت آن حدود ۳ تا ۱۵ متر به دست آمده است.

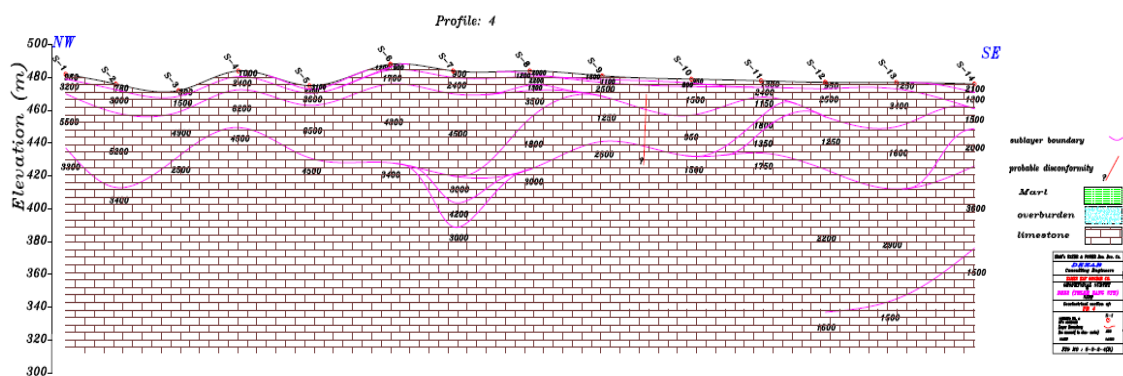
- لایه دوم با ضخامت حداقل ۶ متر در محل سونداژ ۱۱ و حداکثر ۲۴ متر در محل سونداژ شماره ۱۳ و با مقاومت ویژه ۱۵۰۰ تا ۳۶۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های گروه بنگستان است. در حد فاصل محل برداشت سونداژهای ۹ و ۱۰ بدلیل وجود ناپیوستگی شاهد تغییر قابل توجه در مقاومت ویژه هستیم.

- لایه بعدی در محل سونداژهای ۱ تا ۸ با مقاومت ویژه ۳۵۰۰ تا ۶۵۰۰ اهم متر و ضخامت ۱۸ تا ۸۰ متر احتمالاً از جنس آهک‌هایی با مقدار رس بسیار پایین بوده و در محل سونداژهای ۸ تا ۱۴ نیز احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان است که به علت تغییر در درصد مارن، تغییر در تراکم سنگ‌ها و به احتمال کمتر وجود درزه و شکاف‌های حاوی آب، مقاومت ویژه کمتری نسبت به لایه زیرین خود نشان می‌دهد. در این لایه نیز مابین محل برداشت سونداژهای ۹ و ۱۰ شاهد تغییر قابل توجه در مقاومت ویژه هستیم که می‌تواند ناشی از ادامه ناپیوستگی اشاره شده در لایه فوقانی باشد. این لایه در محل بعضی از سونداژها به دو یا سه لایه تقسیم شده است.

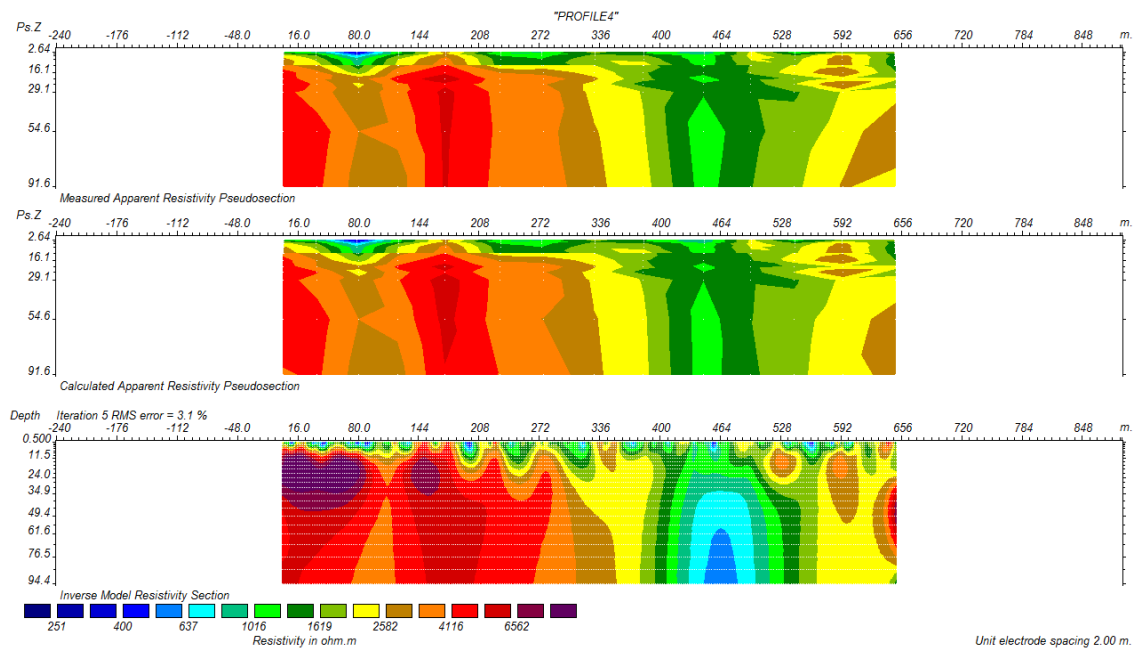
- لایه آخر با عمق حداقل ۳۵ متر در محل سونداژ ۴ و حداکثر ۹۵ متر در محل سونداژ شماره ۷ و با مقاومت ویژه ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ اهم متر به احتمال زیاد از جنس آهک‌های متراکم گروه بنگستان است. در زیر محل سونداژهای ۱۲ تا ۱۴ و در عمق ۱۰۰ تا ۱۴۰ متر لایه‌ای با مقاومت ویژه ۱۵۰۰ تا

۱۶۰۰ اهم‌تر به دست آمده که از آهک‌های با درصد بالای مارن ساخته شده است. ناپیوستگی ذکر شده در لایه‌های فوقانی این ناحیه را نیز تحت تاثیر قرار داده است.

همان‌طور که در شکل ۵-۱۰ مشاهده می‌کنیم، از آنجایی که نرم‌افزار Res2dinv ناهمگنی‌های جانبی را به شکل توده‌ای نشان داده می‌دهد، لذا تفاوت‌های میان مدل لایه‌ای زمینی و شبه مقاطع و مقطع مدل‌سازی شده دوبعدی ارائه شده توسط نرم‌افزار Res2dinv وجود دارد. در این جا تغییرات جانبی در مدل لایه‌ای به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۵-۹: مدل لایه‌ای پروفیل P_4 [۷]



شکل ۵-۱۰: شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و مدل دوبعدی مقاومت ویژه به دست آمده توسط نرم افزار

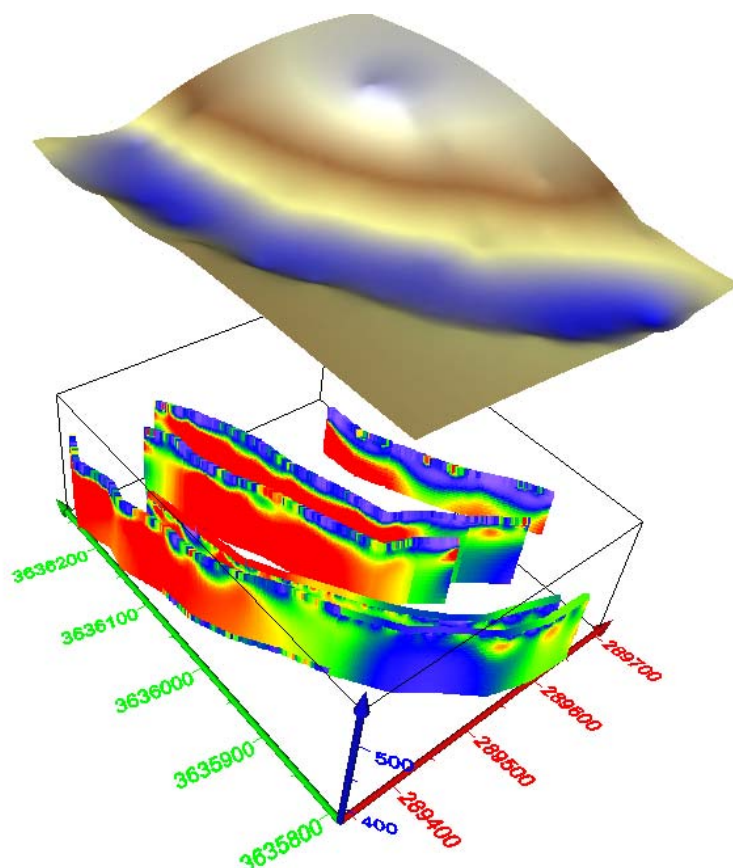
Res2dinv با ۵ مرحله تکرار برای پروفیل P_4

۵-۷ مدل یا تصویر سه بعدی داده‌های مقاومت ویژه و تفسیر کیفی آن

در این تحقیق به منظور نمایش دادن تصویر سه بعدی از تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در منطقه مورد نظر از نرم‌افزار Voxler استفاده شد.

ابتدا با استفاده از گزینه Save data in Surfer format در نوار ابزار display نرم‌افزار Res2dinv، x (مکان)، z (ارتفاع) و ρ_a (مقاومت ویژه) برای همه نقاط مدل شده را ذخیره نمودیم. از آنجایی که برای نمایش سه بعدی نیاز به مقادیر y نیز می‌باشد و با توجه به این که مقادیر y فقط برای نقاط سونداژها معلوم بود، لذا به کمک نرم‌افزار Matlab برای بقیه نقاط نیز که تعداد آن‌ها حدود ۳۰۰۰ عدد بود مقدار y را به دست آوردیم. سپس با داشتن مقادیر x، y، z و ρ_a برای همه نقاط توانستیم با استفاده از نرم‌افزار Voxler، یک تصویر سه بعدی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی را در منطقه مورد به دست آوریم. این تصویر سه بعدی در شکل ۵-۱۱ آورده شده است.

همان‌طور که از روی شکل ۵-۱۱ به وضوح مشاهده می‌شود، به ویژه در محل پروفیل صفر و ۱ و ۳ در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، ضخامت روباره کمتر از بخش‌های جنوبی می‌باشد. البته نکته قابل توجه این است که کاهش مقاومت ویژه در بخش جنوبی که در این شکل می‌بینیم احتمالاً به معنای حضور سنگ بستر در عمق پایین‌تر نمی‌باشد، بلکه سنگ بستر ما که از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشد در قسمت‌های جنوبی به علت افزایش درصد مارن و یا تغییر در تراکم سنگ‌ها از مقاومت ویژه کمتری برخوردار است.



شکل ۵-۱۱: تصویر سه بعدی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در منطقه با استفاده از نرم افزار Voxler

۵-۸ نتیجه گیری

همان طور که از نتایج حاصل از تفسیر یک بعدی و مدل سازی دوبعدی و تصویر سه بعدی که به طور کامل در این فصل توضیح داده شده بر می آید، می توان گفت که در مجموع در شمال منطقه مقاومت ویژه بالاتری را مشاهده می کنیم و این می تواند بدلیل وجود آهک های متراکم گروه بنگستان در عمق کمتر باشد. همچنین لایه های زیر سطحی در منطقه مورد مطالعه به طور کلی از دو بخش آبرفت و سنگ کف تشکیل شده اند که آبرفت از رس، ماسه و همچنین از گراول های دانه متوسط تا دانه درشت تشکیل شده و ضخامت آن بسیار کم است. بخش سنگی نیز از جنس آهک های متراکم گروه بنگستان می باشد.

فصل ششم:

مدل سازی و تفسیر داده های لرزه نگاری انعکاسی

در منطقه مورد مطالعه

۱-۶ مقدمه

همان‌طور که دیدیم در فصل‌های قبل راجع به مشخصات منطقه مورد مطالعه و هدف از برداشت‌ها و همچنین تفسیر و مدل‌سازی یک بعدی و دو بعدی و نمایش سه بعدی ژئوالکتریکی بحث شد. در این فصل، مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی داده‌های برداشت شده لرزه‌ای انکساری و نتایج حاصل ارائه شده است.

۲-۶ مدل‌سازی و تفسیر دوبعدی داده‌های لرزه‌ای انکساری

به منظور مدل‌سازی دو بعدی داده‌های لرزه‌ای در این تحقیق از نرم افزار $\text{SeisImager}/2\text{D}^{\text{TM}}$ استفاده شده است. در پیوست ب نرم‌افزار $\text{SeisImager}/2\text{D}^{\text{TM}}$ به طور خلاصه تشریح شده است. این نرم افزار یک برنامه اصلی شامل چهار بخش Plotrefa ، PickWin ، Wave Eq و Geoplot به منظور تحلیل داده‌های امواج شکست مرزی و امواج سطحی می‌باشد. Plotrefa و Pickwin بخشی هستند که برای تحلیل داده‌های امواج شکست مرزی استفاده می‌شوند که اولی مربوط به پیک کردن اولین شکست‌ها به منظور محاسبه زمان رسید و پردازش داده‌ها و دومی مربوط به محاسبه مدل سرعت می‌باشد.

در این نرم‌افزار از سه روش مجزای معکوس سازی که شامل روش جملات زمانی^۱، روش متقابل^۲ و توموگرافی^۳ است استفاده می‌شود.

روش جملات زمانی و روش متقابل بر مبنای زمان تأخیر می‌باشند، با این تفاوت که در روش جملات زمانی نحوه محاسبه زمان تأخیر با یک تکنیک معکوس‌سازی کمترین مربعات خطی و به صورت خودکار انجام می‌شود؛ ولی در روش متقابل زمان تأخیر بصورت دستی محاسبه می‌شود [۲۴].

¹ Time-term method

² Reciprocal method

³ Tomography method

در مورد روش توموگرافی در این نرم افزار هیچ کنترلی روی فواصل مش بندی شده وجود ندارد. در عوض این نرم افزار مدلی با ابعاد سلول متغیر ایجاد می کند که سلول های کوچکتر در سطح و سلول های بزرگتر در عمق قرار می گیرند. این تغییر ابعاد باعث کاهش زمان پردازش و همچنین جلوگیری از خطای ناشی از کمبود پوشش امواج در اعماق بیشتر می شود [۲۵].

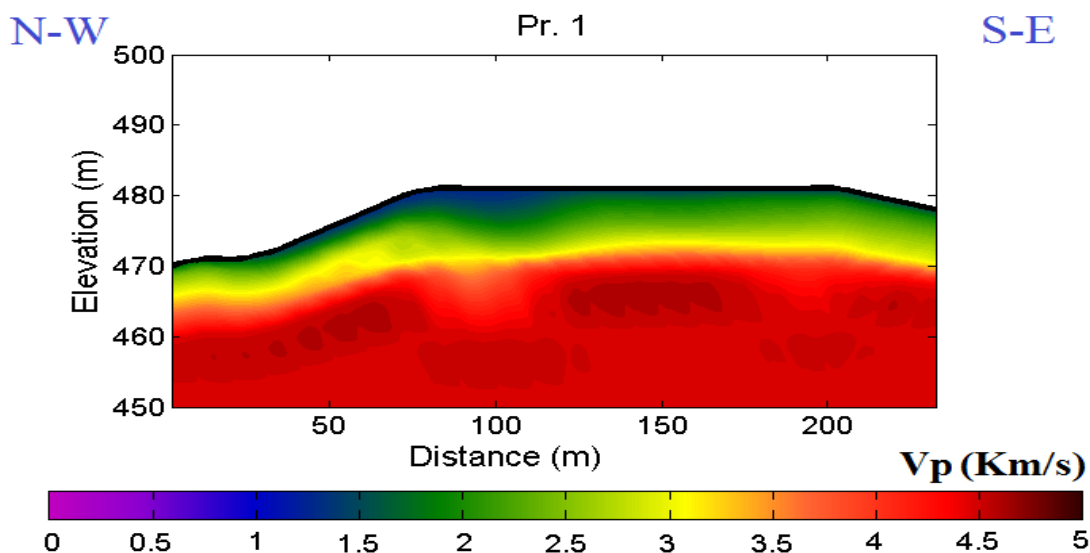
برای ایجاد مدل اولیه در این روش دو راه وجود دارد. راه اول استفاده از الگوریتم معکوس سازی جملات زمانی برای تولید یک مدل لایه ای ساده می باشد. در مرحله بعد یک مدل مش بندی شده جایگزین این مدل لایه ای می شود. این روش یک روش مفید برای داده های ساده می باشد که می تواند گرادین های مشخص را به منکسر کننده های مجزا اختصاص دهد. در راه دوم یک مدل شبه مدرج شده بر اساس ویژگی های سرعت و تعداد لایه ها ساخته می شود و از این مدل به عنوان مدل اولیه استفاده می شود.

در این پایان نامه به منظور مدل سازی داده های لرزه ای از روش توموگرافی استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا با استفاده از الگوریتم جملات زمانی یک مدل لایه ای ساده ساخته می شود. سپس مدل فوق را به عنوان مدل اولیه برای استفاده در روش توموگرافی استفاده شد و در نهایت معکوس سازی به روش توموگرافی با ۱۰ تکرار انجام دادیم که در ادامه مدل بدست آمده برای هر پروفیل آمده است.

۶-۲-۱ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.1

این پروفیل در محدوده تله زنگ به صورت شمال غربی- جنوب شرقی برداشت شده است. در راستای این پروفیل از ۲۴ ژئوفون با فواصل یکسان ۱۰ متر استفاده شده است. شکل ۶-۲ مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM را برای پروفیل یک نشان می دهد. لایه اولی که در مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای

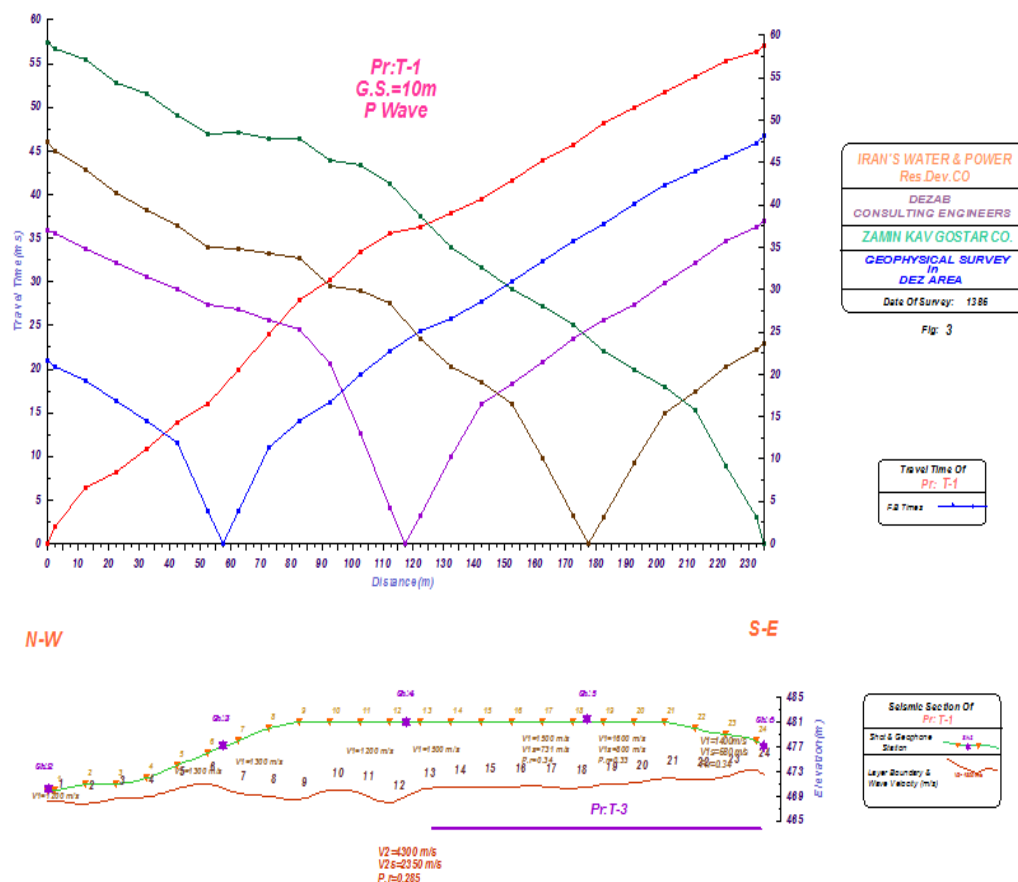
پروفیل فوق قابل تشخیص می‌باشد، مربوط به سرعت‌های کمتر از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد که با رنگ آبی مایل به سبز نشان داده شده است و احتمالاً از واریزه‌های دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه‌های بعد که در آن‌ها سرعت امواج P بیشتر از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشند، که همان‌طور که می‌بینیم با افزایش عمق احتمالاً به علت افزایش تراکم، سرعت امواج فشاری افزایش می‌یابد. همچنین در این مدل در قسمت میانی و پایانی پروفیل ناپیوستگی به شکل افتادگی در عمق تقریبی ۲۰ متری مشاهده می‌شود که می‌تواند نشان دهنده شکستگی یا گسل‌های لاله‌ای در آن قسمت باشد.



شکل ۶-۲: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم‌افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل یک

در این جا نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر در شکل ۶-۳ آورده شده است. سرعت انتشار امواج P در اولین لایه حدود ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ متر بر ثانیه است. این لایه احتمالاً از واریزه‌های دانه درشت تشکیل شده است. ضخامت این لایه از حداقل حدود ۲ متر در ابتدای پروفیل، تا حداکثر ۱۲ متر در قسمت‌های میانی آن تغییر می‌کند. دومین لایه در امتداد این پروفیل با مقادیر سرعت انتشار امواج فشاری ۴۳۰۰ متر بر ثانیه حاکی از آهک‌های کم تراکم گروه

بنگستان است [۲۴].



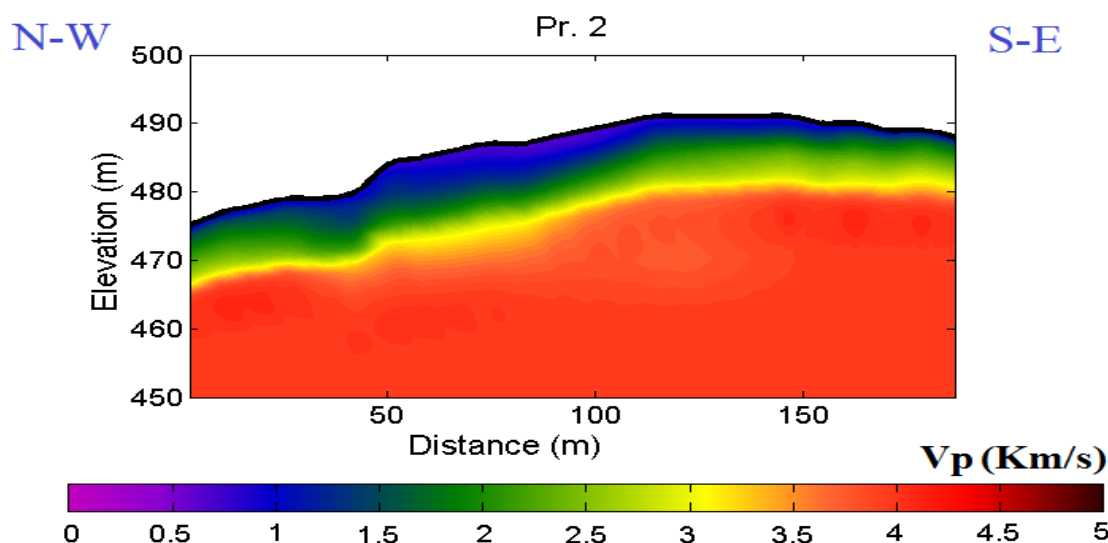
شکل ۳-۶: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل یک [۸]

۲-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.2

این پروفیل نیز در محدوده تله زنگ به صورت شمال غربی- جنوب شرقی برداشت شده است. در راستای این پروفیل از ۲۴ گیرنده امواج فشاری با فواصل یکسان ۸ متر استفاده شده است. در شکل ۴-۶ مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM را برای پروفیل دو مشاهده می کنیم.

در این پروفیل، لایه اولی که در مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM قابل تشخیص می باشد مربوط به سرعت های کمتر از ۱۵۰۰ متر بر ثانیه می باشد

که با رنگ آبی و کمی مایل به سبز نشان داده شده است و احتمالاً از واریزه های دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. لایه های بعد که در آن ها سرعت امواج P بیشتر از ۱۵۰۰ متر بر ثانیه می باشد احتمالاً از جنس آهک های گروه بنگستان می باشند، که همان طور که می بینیم با افزایش عمق احتمالاً به علت افزایش تراکم سرعت امواج فشاری افزایش می یابد.

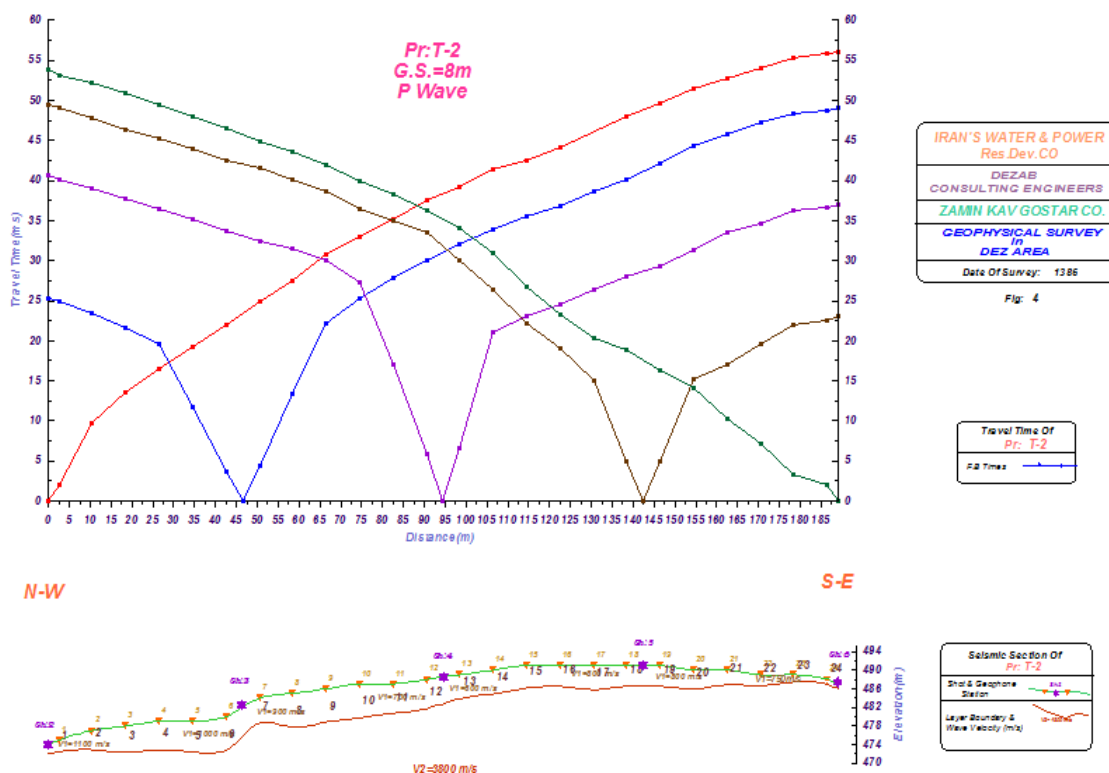


شکل ۴-۶: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل دو

نتایج مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاوگستر که در شکل ۵-۶ آمده است نشان می دهد که سرعت انتشار امواج P در اولین لایه این پروفیل که با وضوح بیشتری از لایه دوم قابل تفکیک است، نسبتاً یکنواخت بوده و بین ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ متر بر ثانیه است. ۱/۴ ابتدایی پروفیل دارای سرعت تقریباً بیشتری نسبت به سایر قسمت های پروفیل است. این لایه نیز از واریزه های دانه درشت و واریزه تشکیل شده است. ضخامت این لایه حدود ۲ متر تا حداکثر ۸ متر تغییر می کند و حداقل ضخامت در محل گیرنده های ۲۲ تا ۲۴ مشاهده شده است.

دومین لایه در امتداد این پروفیل دارای سرعت انتشار ۳۸۰۰ متر بر ثانیه می باشد که این لایه نیز از آهک های گروه بنگستان تشکیل شده است. با این تفاوت که تراکم آهک های مذکور نسبت به

پروفیل قبلی کمتر است. [۸]

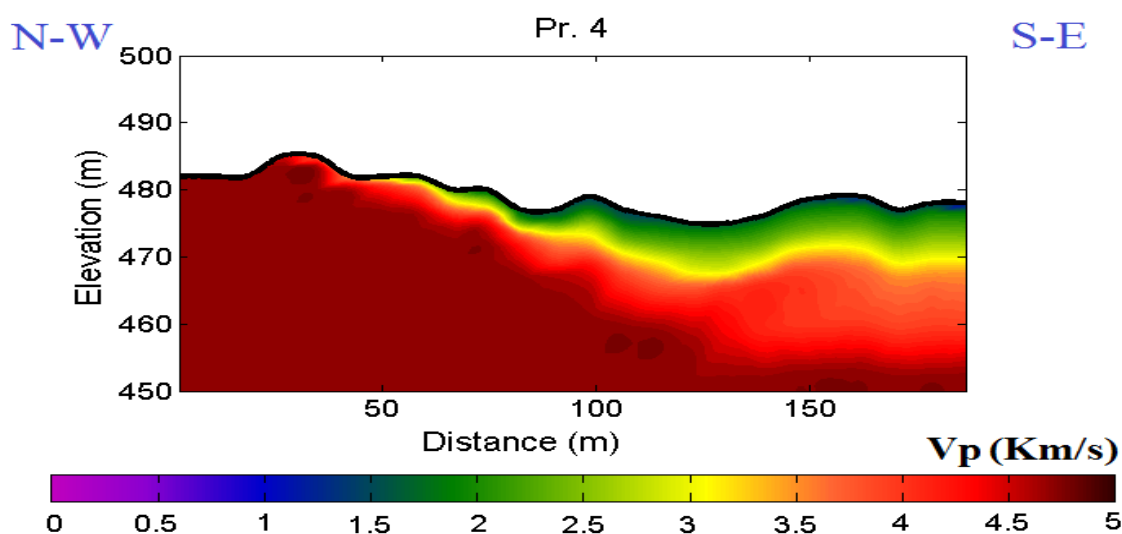


شکل ۵-۶: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل دو [۸]

۳-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.4

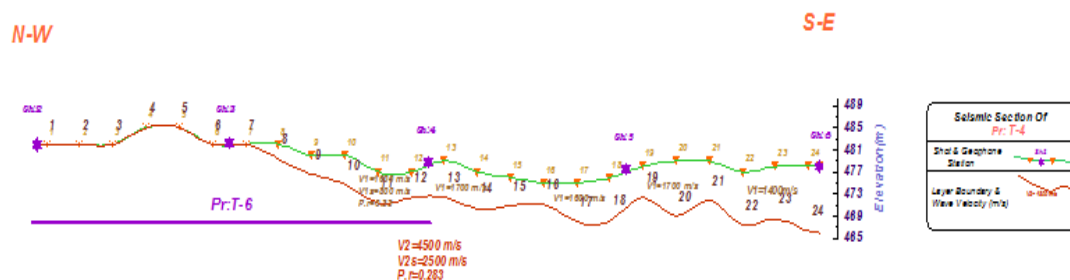
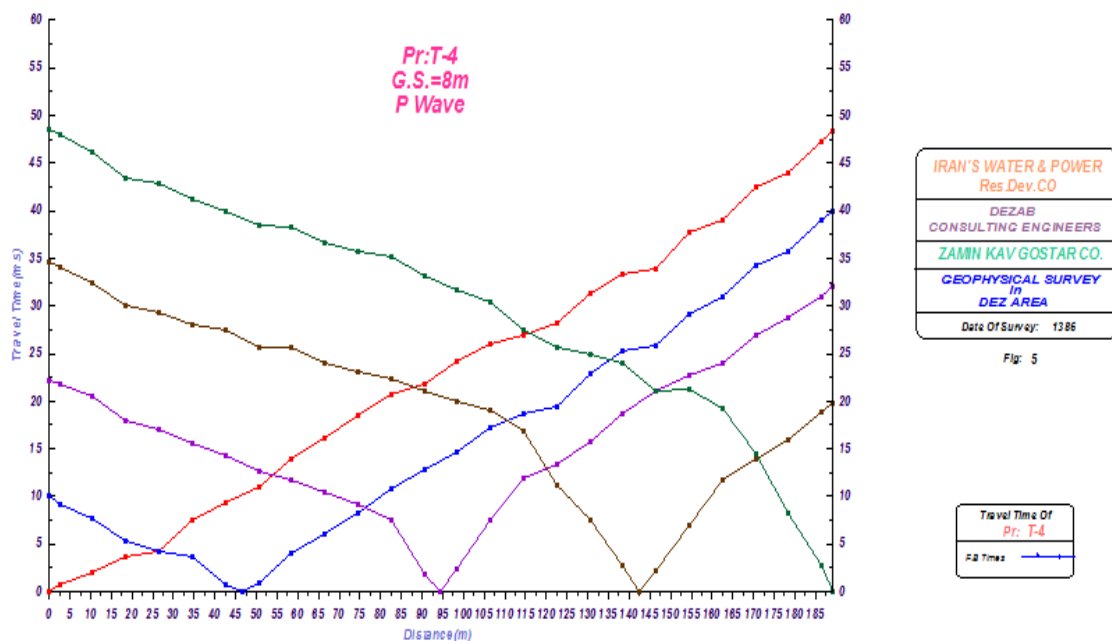
این پروفیل در محدوده تله زنگ به صورت شمال غربی- جنوب شرقی برداشت شده است. در راستای این پروفیل از ۲۴ گیرنده امواج فشاری با فواصل یکسان ۸ متر استفاده شده است. در شکل ۶-۶ مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM را برای پروفیل چهار مشاهده می کنیم. در این پروفیل نیز لایه اولی که در مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم افزار SeisImager/2DTM قابل تشخیص می باشد مربوط به سرعت های کمتر از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه می باشد که با رنگ آبی مایل به سبز و تا حدودی سبز نشان داده شده است و احتمالاً از واریزه های

دانه درشت و در برخی موارد تشکیلات آهکی مارنی تشکیل شده است. ۱/۴ ابتدایی پروفیل تقریباً بر روی تشکیلات سنگی واقع شده است. لایه‌های بعد که در آن‌ها سرعت امواج P بیشتر از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشند، همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عمق احتمالاً به علت افزایش تراکم سرعت امواج P افزایش می‌یابد که این افزایش سرعت با تغییر رنگ از سبز به زرد و بعد قرمز نشان داده شده است.



شکل ۶-۶: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم‌افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل چهار

همچنین همان‌طور که در شکل ۶-۷ می‌بینیم نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر نشان می‌دهد سرعت انتشار امواج P در اولین لایه حدود ۱۴۰۰ تا ۱۷۰۰ متر بر ثانیه است. همانگونه که از مقطع متناظر با این پروفیل مشخص است. ۱/۴ ابتدایی پروفیل تقریباً بر روی تشکیلات سنگی واقع شده است و در بقیه قسمت‌های پروفیل ضخامت لایه اول حدود ۳ تا ۱۱ متر است. به‌طور کلی لایه اول از روباره‌های درشت دانه و در برخی موارد تشکیلات آهکی مارنی تشکیل شده است. دومین لایه در امتداد این پروفیل با سرعت انتشار امواج P ۴۵۰۰ متر بر ثانیه حاکی از آهک‌های بسیار متراکم گروه بنگستان است. [۸]



شکل ۶-۷: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل چهار [۸]

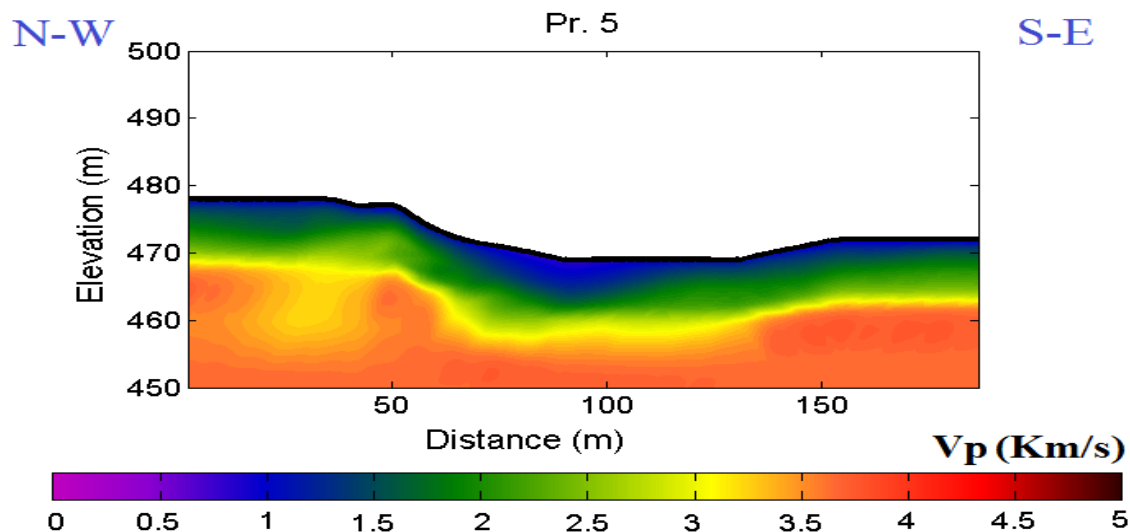
۴-۲-۶ مدل دوبعدی لرزه ای Pr.5

این پروفیل نیز در محدوده تله زنگ به صورت شمال غربی- جنوب شرقی و تقریباً بر روی جاده دسترسی مسیر ماشین رو مسیر راه آهن برداشت شده است.

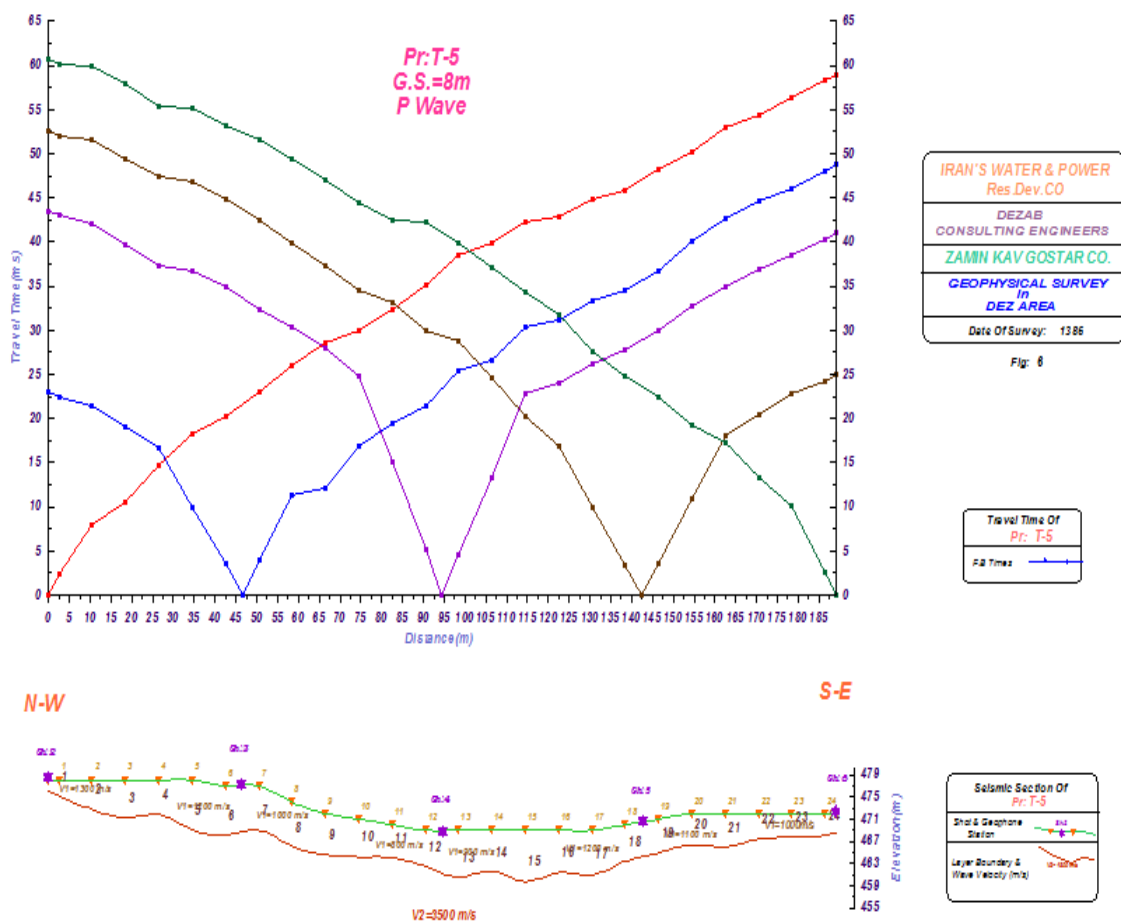
در راستای این پروفیل از ۲۴ گیرنده امواج P با فواصل یکسان ۸ متر استفاده شده است. در توپوگرافی سطح زمین در راستای پروفیل مذکور تغییرات کمی دیده می شود به نحوی که

قسمت‌های میانی پروفیل دارای ارتفاع کمتری از سایر قسمت‌ها می باشد. در شکل ۶-۸ مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم‌افزار SeisImager/2DTM را برای پروفیل پنج مشاهده می‌کنیم.

در این پروفیل، لایه اولی که در مدل سرعت امواج P به دست آمده توسط نرم‌افزار SeisImager/2DTM قابل تشخیص می‌باشد مربوط به سرعت‌های کمتر از ۱۵۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد که با رنگ آبی و کمی مایل به سبز نشان داده شده است و احتمالاً از تشکیلات سنگی هوا زده به همراه واریزه‌های درشت دانه تشکیل شده است. لایه‌های بعد که در آن‌ها سرعت امواج P بیشتر از ۱۵۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد احتمالاً از جنس آهک‌های گروه بنگستان می‌باشند، که همان‌طور که می‌بینیم با افزایش عمق احتمالاً به علت افزایش تراکم سرعت امواج P افزایش می‌یابد. همچنین ناپیوستگی‌هایی که در عمق ۱۰ متری می‌بینیم احتمالاً درزه و شکاف‌هایی است که در سازند آهکی وجود دارد.



شکل ۶-۸: مدل سرعت امواج فشاری به دست آمده توسط نرم‌افزار SeisImager/2DTM برای پروفیل پنج



شکل ۶-۹: مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر برای پروفیل پنج [۸]

همان طور که در شکل ۶-۹ می بینیم، نتایج مدل سازی انجام شده توسط کارشناسان شرکت زمین کاو گستر نشان می دهد که در راستای پروفیل مذکور لایه ابتدایی با ضخامت حدود ۳ تا ۹ متر از لایه دوم مجزا شده است. امواج P در این لایه دارای سرعتی بین ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ متر بر ثانیه می باشند. این لایه احتمالاً از تشکیلات سنگی هوا زده به همراه واریزه های درشت دانه تشکیل شده است. در دومین لایه در امتداد این پروفیل امواج P با سرعتی حدود ۳۵۰۰ متر بر ثانیه انتشار می یابند. مقادیر تقریبی سرعت در این لایه نشانگر آهک های کم تراکم گروه بنگستان است که درزه و شکاف هایی نیز در آن ها مشاهده خواهد شد. [۸]

۳-۶ نتیجه‌گیری

با توجه به مدل‌های سرعت ارائه شده برای پروفیل‌های لرزه‌ای انکساری در مجموع می‌توان گفت که سرعت امواج P در مناطق جنوبی منطقه در مقایسه با مناطق شمالی از مقادیر کمتری برخوردار می‌باشند که این خود می‌تواند نشان دهنده وجود آهک‌های متراکم در عمق بیشتر و یا وجود درزه و شکاف و هوازدگی در آهک‌های سطحی‌تر باشد.

فصل هفتم:

مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی دوبعدی

ژئوالکتریکی و لرزه ای

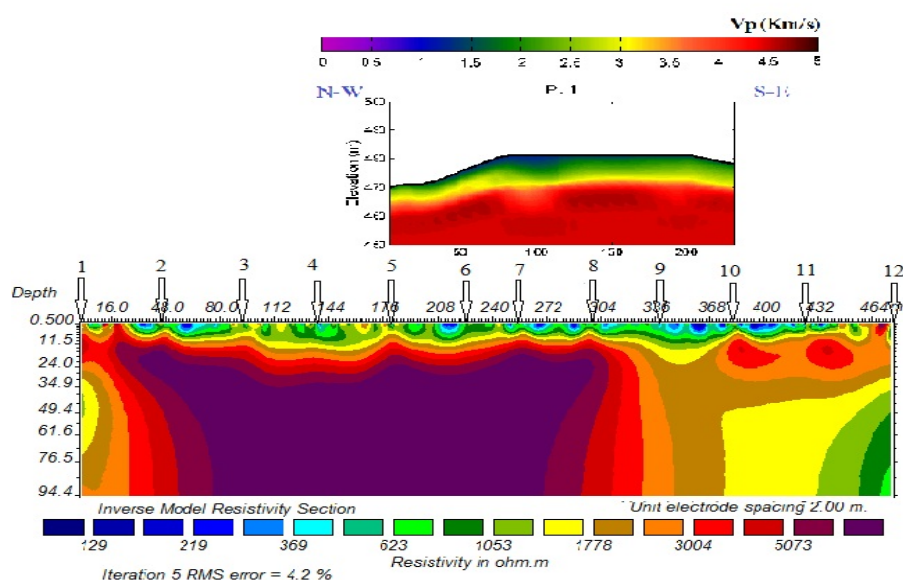
۱-۷ مقدمه

در فصل‌های قبل نتایج مدل‌سازی دوبعدی بر روی داده‌های مقاومت ویژه و لرزه‌ای انکساری به طور کامل شرح داده شد. از آنجایی که یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعه حاضر مقایسه نتایج دو روش می‌باشد لذا در این فصل به بررسی این مهم می‌پردازیم.

۲-۷ مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه‌ای در محل پروفیل ۱

لرزه‌ای

همان‌طور که در فصل ۴ گفته شد (شکل ۴-۲)، پروفیل یک لرزه‌ای را می‌توان به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل شماره دو ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۵ تا ۱۰ منطبق دانست. در شکل ۱-۷ نتیجه مدل‌سازی بدست آمده از هر دو روش نشان داده شده است. مدل لرزه‌ای بدست آمده نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق بین ۲ تا ۱۲ متری و مدل ژئوالکتریکی ما در این قسمت نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق ۳ تا ۵ متری می‌باشد.

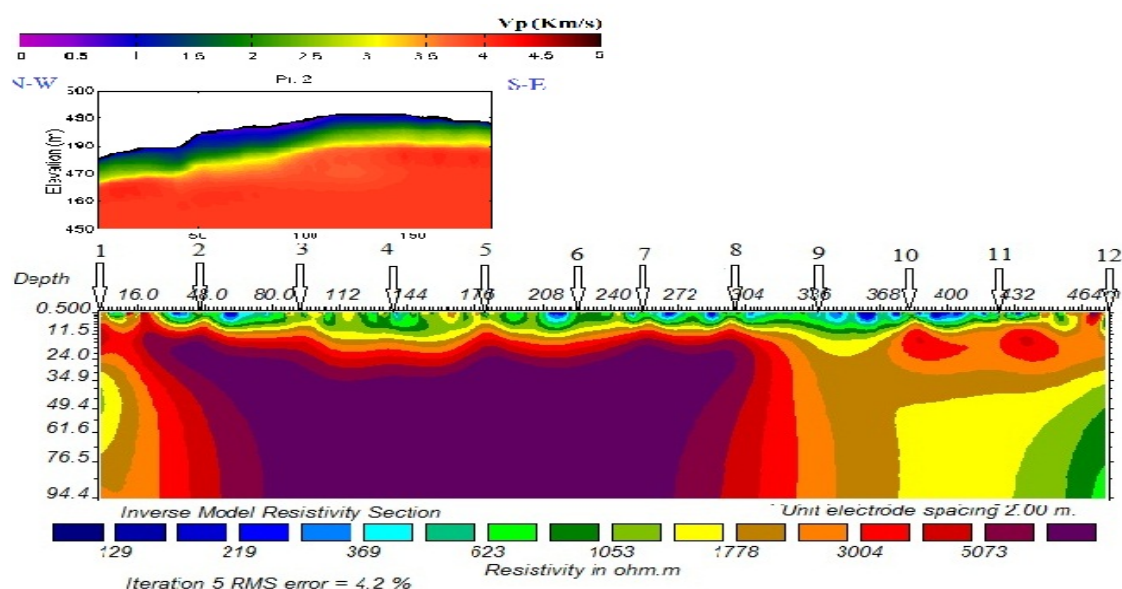


شکل ۱-۷: نتیجه مدل‌سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۱ لرزه‌ای

۳-۷ مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه‌ای در محل پروفیل ۲

لرزه‌ای

پروفیل ۲ لرزه‌ای به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل ۲ ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۱ تا ۵ منطبق است. همان طور که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، مدل لرزه‌ای بدست آمده برای این پروفیل نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق بین ۲ تا ۸ متری و مدل ژئوالکتریکی نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق ۳ تا ۵ متری می‌باشد.



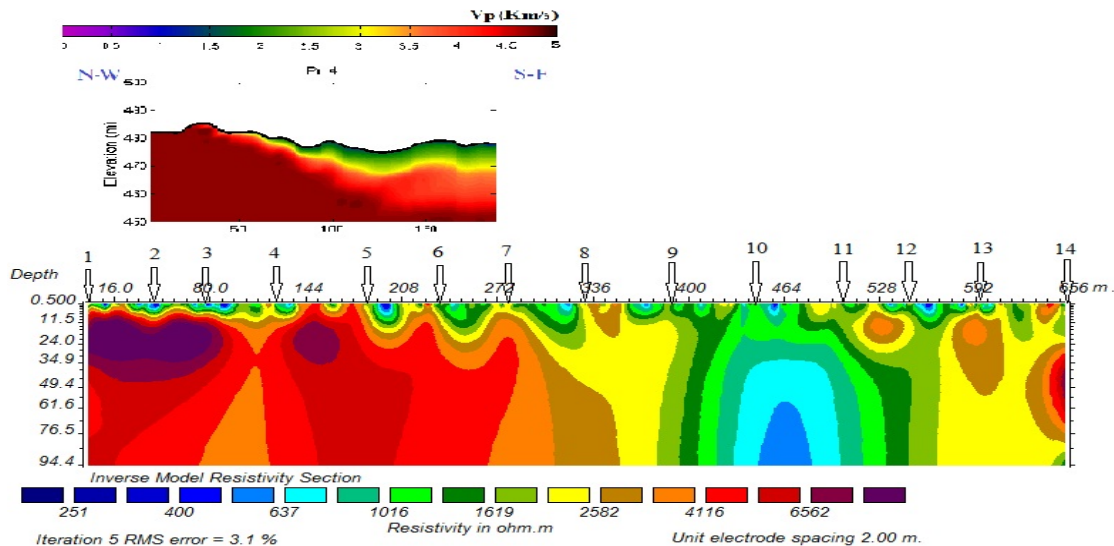
شکل ۲-۷: نتیجه مدل‌سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۲ لرزه‌ای

۴-۷ مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه‌ای در محل پروفیل ۴

لرزه‌ای

پروفیل ۴ لرزه‌ای نیز به طور تقریبی بر قسمتی از پروفیل ۴ ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۲ تا ۷ منطبق است. شکل ۳-۷ نتیجه مدل‌سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل

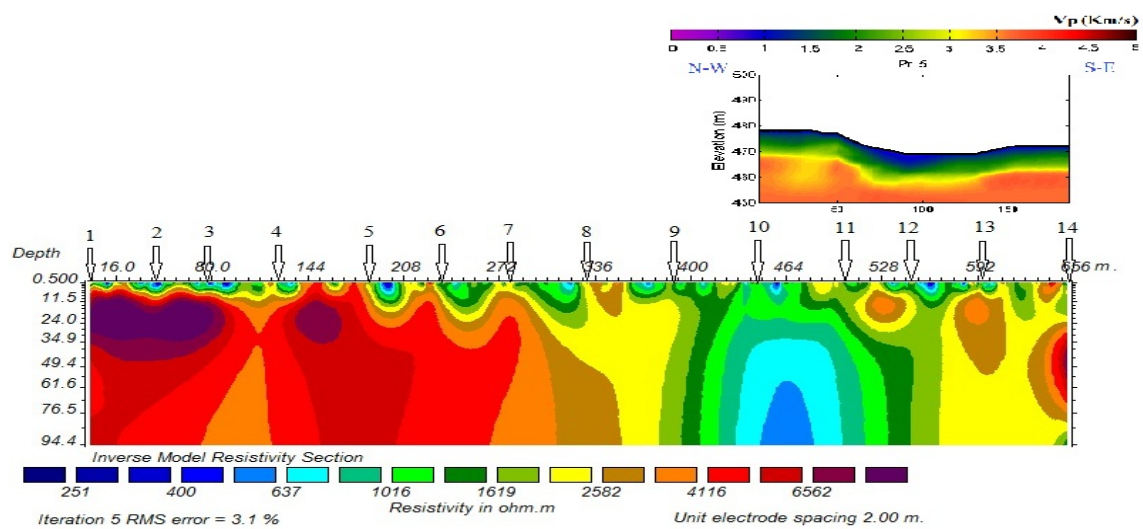
۴ لرزه‌ای را نشان می‌دهد. مدل لرزه‌ای بدست آمده نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق بین ۳ تا ۱۱ متری و مدل ژئوالکتریکی ما در این قسمت نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق ۲ تا ۵ متری می‌باشد.



شکل ۳-۷: نتیجه مدل‌سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۴ لرزه‌ای

۵-۷ مقایسه مدل دوبعدی ژئوالکتریکی با مدل دوبعدی لرزه‌ای در محل پروفیل ۵ لرزه‌ای

در مورد پروفیل ۵ لرزه‌ای با تقریب کمتر می‌توان گفت که بر قسمتی از پروفیل ۴ ژئوالکتریکی شامل سونداژهای شماره ۱۰ تا ۱۴ منطبق است. در شکل ۴-۷ هر دو مدل نشان داده شده‌اند. مدل لرزه‌ای بدست آمده نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق بین ۳ تا ۹ متری و مدل ژئوالکتریکی ما در این قسمت نشان دهنده حضور سنگ بستر در عمق ۳ تا ۱۵ متری می‌باشد.



شکل ۴-۷: نتیجه مدل سازی بدست آمده از هر دو روش در محل پروفیل ۵ لرزه‌ای

فصل هشتم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۸- نتیجه گیری

۱- نتایج مدل سازی های انجام شده بر روی داده های الکتریکی و لرزه ای نشان می دهد که لایه های زیر سطحی در منطقه مورد مطالعه به طور کلی از دو بخش آبرفت و سنگ کف تشکیل شده اند. آبرفت از رس، ماسه و همچنین از گراول های دانه متوسط تا دانه درشت تشکیل شده و ضخامت آن بسیار کم است. بخش سنگی نیز از جنس آهک های متراکم سازند بنگستان می باشد.

۲- همان طور که در فصل چهار ذکر شد، پروفیل های لرزه ای و الکتریکی کاملاً بر هم منطبق نیستند از این رو نمی توان مقاطع به دست آمده از هر دو روش را دقیقاً با هم مقایسه کرد ولی در مجموع روند کلی که هر دو روش برای سنگ بستر نشان می دهند حاکی از این است که سنگ بستر آهکی در قسمت شمالی منطقه در عمق کمتری نسبت به جنوب منطقه قرار دارد.

۳- نتایج بدست آمده از هر دو روش، همان طور که در فصل هفتم نشان داده شد از تطابق قابل قبولی برخوردار می باشند.

۸-۲ پیشنهادات

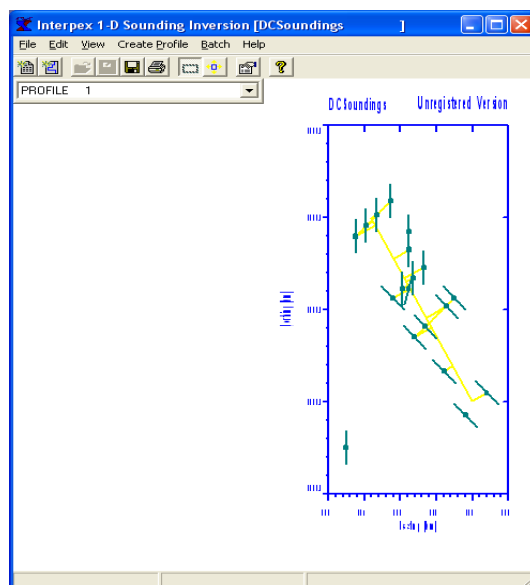
- در ادامه به منظور تعیین و شناخت دقیق تر لایه ها پیشنهاداتی مطرح می شود که عبارتند از:
- ۱- استفاده از روش گمانه زنی و نمونه برداری می تواند در تعیین و شناخت لایه های زیر سطحی بسیار مؤثر باشد.
 - ۲- اگر خط برداشت داده های لرزه ای انکساری دقیقاً منطبق بر خط برداشت داده های مقاومت ویژه الکتریکی باشد می توان نتایج دقیق تری بدست آورد.
 - ۳- از آن جایی که سنگ بستر در عمق نسبتاً کمی قرار دارد استفاده از روش GPR نیز می تواند در تعیین لایه بندی و همچنین شناخت لایه ها مؤثر باشد.

ضمائم

پیوست الف : آشنایی با نرم افزار IX1D

IX1D یک برنامه معکوس سازی به منظور تفسیر یک بعدی داده های سونداژهای مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، مگنتوتلوریک و الکترومغناطیس است. این برنامه قابلیت تفسیر داده های سونداژ مقاومت ویژه که با آرایش های مختلف از جمله ونر، شلومبرژه، دوقطبی- دوقطبی، قطبی- قطبی و قطبی- دوقطبی برداشت شده اند، را دارد.

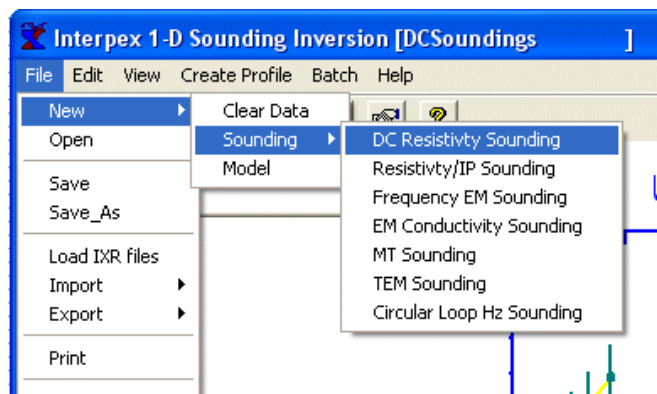
همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، پنجره اصلی نمایش نقشه و نمایش موقعیت همه سونداژها می باشد. سونداژهایی که در فواصل معین نسبت به هم قرار دارند؛ در این فاصله ها روی نقشه قابل نمایش می باشند. همچنین آزمون گسترش سونداژها در این نقشه قابل نمایش است.



شکل ۱: پنجره اصلی نمایش نقشه و موقعیت سونداژها

برای وارد کردن داده ها در نوار ابزار file menu، new، و سپس new model را انتخاب می کنیم.

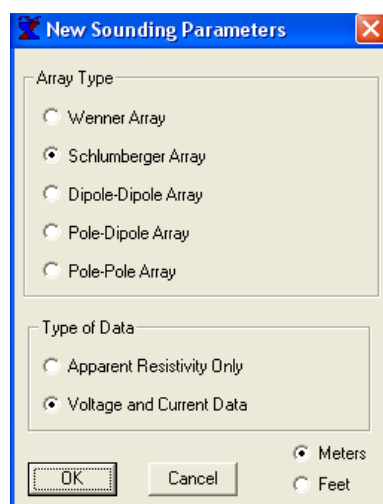
مانند آن چه در شکل ۲ می بینیم.



شکل ۲: نوار ابزار file menu، new

حال برای سونداژهای مقاومت ویژه DC باید نوع آرایش و همچنین نوع داده ها را انتخاب کرد.

(شکل ۳)



شکل ۳: پنجره انتخاب نوع آرایش و داده ها

پس از فراخوانی داده ها برای ایجاد یک مدل از نوار ابزار file، new و سپس new model را انتخاب کرده و جدولی که در شکل ۴ آورده شده است مشاهده می شود. ارتفاع از سطح و fitting error در قسمت بالایی نشان داده می شوند. همچنین گزینه های وجود دارد که در صورت انتخاب از عمق به- جای ضخامت استفاده می شود. در جدول فوق مقاومت ویژه و ضخامت (یا عمق یا ارتفاع) مدلی که می خواهیم ایجاد کنیم را وارد می کنیم.

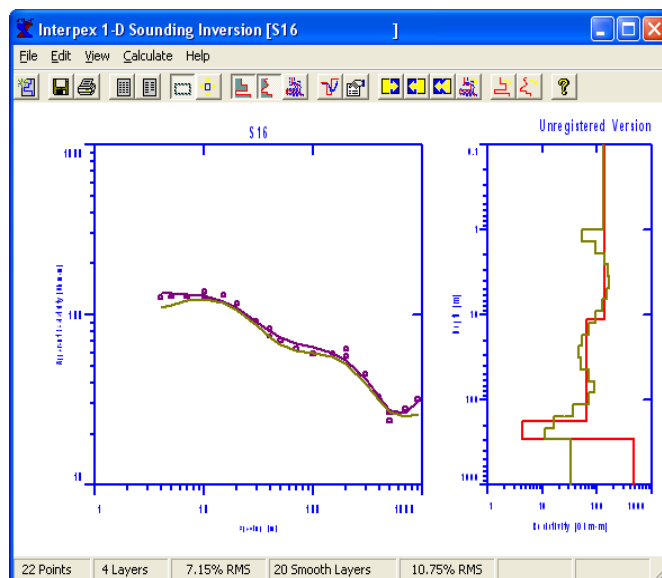
#	Rho	Fix?	Thick	Depth	Elev	Fix?
1	0.000	☒				☐
2		☐				☐
3		☐				☐
4		☐				☐
5		☐				☐
6		☐				☐
7		☐				☐
8		☐				☐
9		☐				☐
10		☐				☐
11		☐				☐
12		☐				☐

شکل ۴: پنجره وارد کردن داده‌ها

پنجره منو سونداژها:

با استفاده از menu یا toolbar می‌توانیم برای یک سونداژ کارهای زیر را انجام بدهیم:

- تصحیحات گرافیکی روی مدل
 - مدل‌سازی پیشرو و مقایسه منحنی‌ها با داده‌ها
 - مدل‌سازی معکوس برای بهبود برآزش مدل لایه‌ای و داده‌ها
 - تخمین خودکار یک مدل لایه‌ای برای داده‌های مقاومت ویژه
 - تخمین خودکار یک مدل هموار
 - تحلیل هم ارزی برای مدل لایه‌ای
- نمایش استاندارد سونداژ نشان می‌دهد که داده‌ها در قسمت چپ و مدل در قسمت راست قرار می‌گیرد. محور عمودی مقاومت ویژه ظاهری و محور افقی فاصله الکترودی را نشان می‌دهد.
- در شکل ۵ تصویری از نحوه نمایش یک سونداژ نشان داده شده است.



شکل ۵: نحوه نمایش یک سونداژ

در نسخه جدید این نرم افزار (IX1D version 3) در مقایسه با نسخه‌های قبلی قابلیت نمایش پروفیل به روش‌های زیر امکان پذیر شده است:

- به وسیله فراخوانی فایل داده‌ها از نوار ابزار XYZ یا USF.
- با کشیدن یک خط روی نقشه نمایش داده شده و تعیین موقعیت سونداژها بر روی این خط.
- با کشیدن یک کادر روی نقشه نمایش داده شده و ایجاد یک پروفیل شامل همه سونداژها درون این کادر که می‌تواند با drag کردن سونداژها یا انتخاب کردن آن‌ها انجام شود.

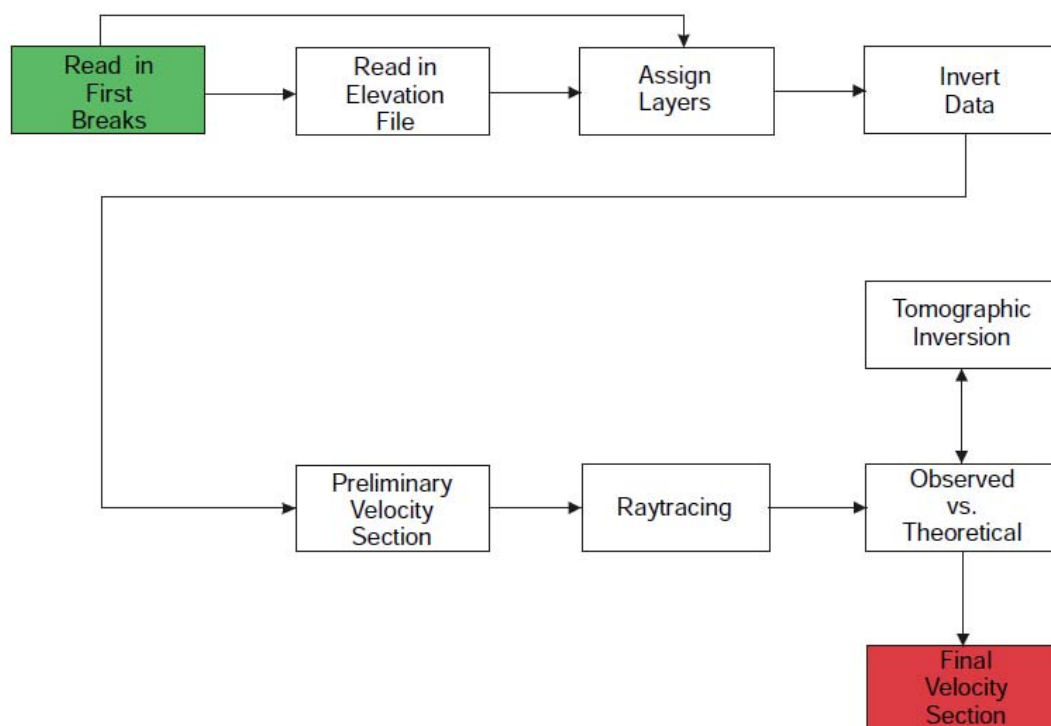
پیوست ب: آشنایی با نرم افزار seisImager/2D

بخش plotrefa در این نرم افزار مربوط به تفسیر داده‌ها می‌باشد. در این بخش خروجی‌های بخش pickwin (که مربوط به انتخاب اولین شکست‌ها می‌باشد) به عنوان ورودی دریافت می‌شوند و با استفاده از سه روش تفسیر موجود در این نرم افزار، مقطع سرعت تهیه می‌شود. این نرم‌افزار شامل ابزارهای مفیدی برای تسهیل داده‌ها می‌باشد.

تکنیک معکوس‌سازی جملات زمانی:

روش جملات زمانی ترکیبی از کمترین مربعات خطی است و تحلیل زمان تأخیر را برای تبدیل اولین ورودی‌ها برای بخش سرعت به کار می‌برد. این روش، روش خوبی برای استفاده در پیمایش‌های شکست مرزی ساده است و جزئیات شکناها در مقایسه با سرعت توده و عمق آن از اهمیت کمتری برخوردار است.

این روش می‌تواند روش مناسبی برای پروژه‌های ساده باشد. پیمایش‌هایی که در آن‌ها از ۱۲ یا ۲۴ کانال و حداقل ۲ انفجار در طول پروفیل استفاده می‌شود. ضمناً ضرورتی ندارد که نتایج با جزئیات بیان شود. در ادامه الگوریتم فرایند این روش آمده است:



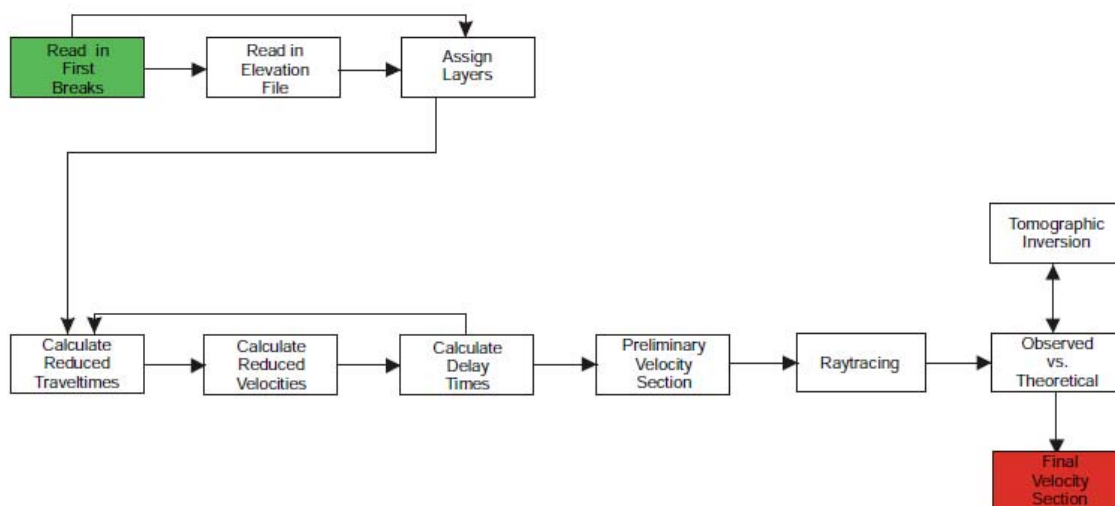
شکل ۶: الگوریتم روش معکوس سازی بخش زمانی

روش معکوس سازی متقابل:

روش تفسیر متقابل یک روش قدرتمند برای حل مسائل انکساری با پیچیدگی بیشتر می باشد. این روش با استفاده از داده های بیشتر، بهتر کار می کند و مفسر نیاز به تعداد داده های بیشتری در مقایسه با روش تفسیر بخش زمانی دارد. (داده های بیشتر شامل انفجار بیشتر و یا تعداد کانال های بیشتر برای هر انفجار). این روش با بدست آوردن زمان تأخیر برای هر گیرنده می تواند یک عمق برای شکنا در زیر آن گیرنده بدست آورد. در عوض این روش نیاز به یک هم پوشانی برای محاسبه زمان تأخیر برای یک شکنای بخصوص در زیر هر گیرنده دارد. در اینجا ما باید از شکنا داده هایی که در مسیر مخالف برداشت شده است داشته باشیم و این به این مفهوم است که در برداشت داده ها باید از دو انفجار در دو طرف گیرنده ها استفاده شود.

همچنین لازم به ذکر است که این روش بسیار وقت گیر است؛ ولی اگر سعی در آشکارسازی

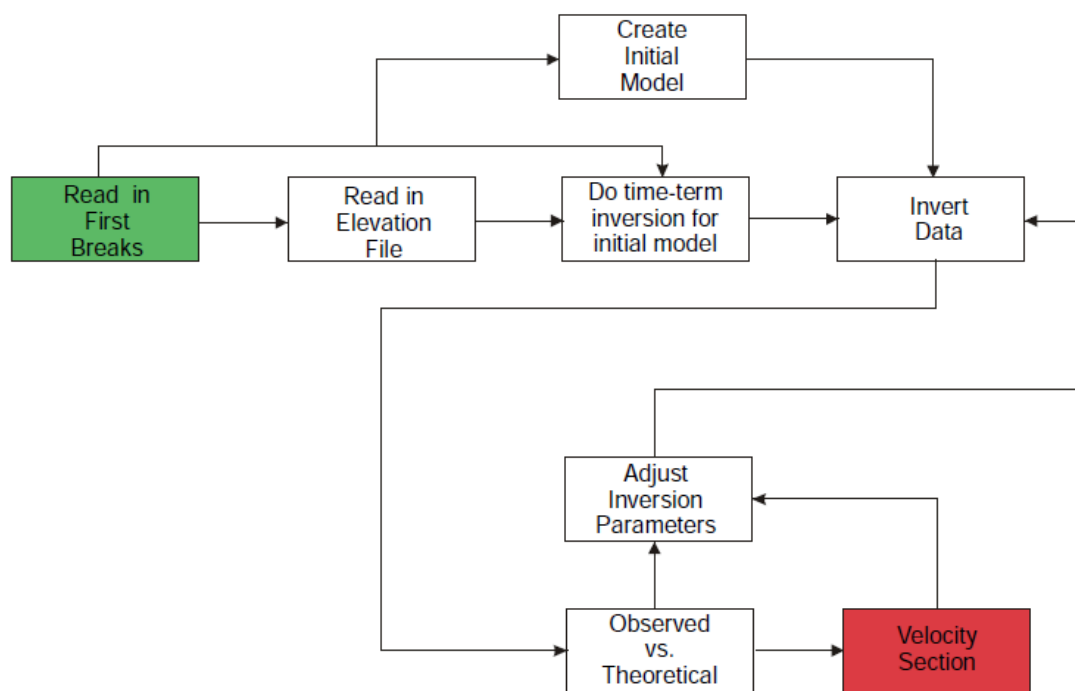
یک گسل یا یک کانال مدفون باشد، این روش اغلب منجر به نتیجه بسیار خوبی می‌شود. در شکل ۷ فرایند انجام شده توسط این روش به شکل الگوریتم آمده است.



شکل ۷: الگوریتم فرایند روش معکوس سازی متقابل

روش معکوس سازی توموگرافی:

روش معکوس سازی توموگرافی، سومین روش تفسیر در بخش plotrefa می‌باشد. در این روش از یک مدل سرعت اولیه برای آغاز کار استفاده می‌شود که معمولاً این مدل اولیه توسط یک معکوس ساز بخش زمانی تولید می‌شود. در روش معکوس سازی توموگرافی ردیابی امواج با هدف کمینه سازی خطای جذر میانگین مربعات، از طریق مدل، بین زمان سیر مشاهده شده و محاسبه شده به صورت تکرار روند انجام می‌شود. این روش معکوس سازی معمولاً زمانی که تباین سرعت پیوسته باشد و یا تغییرات سرعت افقی زیاد و یا تغییرات توپوگرافی شدید باشد؛ در مقایسه با دو روش قبلی منجر به نتایج بهتری می‌شود. در شکل ۸ الگوریتم فرایند این روش نشان داده شده است.



شکل ۸: الگوریتم فرایند روش معکوس سازی توموگرافی

فهرست منابع

- ۱- آقاباتی س. ع.، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۸۳. ص ۵۸۶
- ۲- تلفورد، دبلیو. ام.، جلدارت، ال. پی.، شریف، آر. ای.، کیز، دی. ا.، ۱۳۷۵، ژئوفیزیک کاربردی، جلد اول، حاجب حسینی، ح.، زمردیان، ح.، چاپ دوم: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- جهانبین، م.، ۱۳۸۶، تعیین موقعیت و شیب گسل پنهان شاهرود، واقع در محل کال قرنو با استفاده از دو آرایش قطبی - دو قطبی متقارن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۴- رابینسون، ای. اس. کورو، اس.، ۱۳۸۴، مبانی اکتشاف ژئوفیزیک، حیدریان شهری. م. ر.، چاپ اول: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- کلاگری ع. ا.، (۱۳۷۱) " اصول اکتشافات ژئوفیزیکی " جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، صص ۱۸۰.
- ۶- گزارش میانکار نیروگاه های دز ۱، دز ۲ و دز ۳، "مطالعات توجیهی نیروگاههای جریانی زنجیره ای رودخانه دز"، کارفرما، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ناظر، شرکت مهندسين مشاور دزآب، اسفند ماه ۱۳۸۵.
- ۷- گزارش نهایی مطالعات ژئوالکتریک نیروگاههای جریانی دز، ناظر: شرکت مهندسين مشاور دزآب، مشاور: شرکت زمین کاوگستر، تاریخ اجرا: پاییز و زمستان ۸۶.
- ۸- گزارش نهایی مطالعات لرزه‌نگاری نیروگاههای جریانی دز، ناظر: شرکت مهندسين مشاور دزآب، مشاور: شرکت زمین کاوگستر، تاریخ اجرا: زمستان ۸۶.
- ۹- محمدی ویژه، م.، ۱۳۸۷، برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های رادار نفوذی به زمین (GPR) در منطقه شاهرود و مقایسه نتایج آن با نتایج ژئوالکتریک در منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

منابع انگلیسی

- 10- Barker, R. D., 1981, The Offset System of Electrical Resistivity Sounding and Its Use with a Multicore Cable, Geophys. Prosp., 29, pp. 128-143.
- 11- Berryman, j.G., 1990, Lecture notes on nonlinear inversion and tomography, Earth Resources Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.

- 12- Corvallis, O. R., 2000, D.C. Resistivity methods, Northwest Geophysical Associates, Inc.
- 13- Dahlin, T., 1996, 2D Resistivity Surveying for Environmental and Engineering Applications: First Break, 14, No. 7.
- 14- Griffiths, D. H., King, R. F., 1981, Applied Geophysics for Geologists and Engineers, Oxford, Pergamon Press.
- 15- Kearey P., Brooks M., 1991, An Introduction to Geophysical Exploration, second edition, pp. 173-197.
- 16- Keller, G. V., and Frischknecht, F. C., 1966, Electrical Methods in Geophysical Prospecting: Pergamon Press.
- 17- 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.
- 18- Milson, J., 1989, Field Geophysics, Geological Society of London Handbook Series., pp. 90-97.
- 19- Mooney, H. M., 1980, Handbook of Engineering Geophysics: Vol.2: Electrical Resistivity, Bison Instruments, Inc.(ʘ)
- 20- Palmer,D.,1980. "The Generalized Method of Seismic Refraction Interpretation".Champan and Hall, London.
- 21- Parasnis, D.S., 1986, Principal of applied Geophysics, Champan and Hall, London.
- 22- Pullammanappallil, S. K. and J. N. Louie, 1994, A generalized simulated-annealing optimization for inversion of first arrival times, Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, n. 5, p. 1397- 1409.
- 23- Reynolds, J. M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, pp. 418-459.
- 24- SeisImager Manual,Version 3.2, December 2006.
- 25- Sheehan R.Jacob., An Evaluation of Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography Analysis, JEEG, March 2005, Volume 10, Issue 1, pp. 21–34.
- 26- Sheriff, Robert E. and Geldart,Lloyd P., 1995, Exploration Seismology.

- 27- Shin, ch., 1999, Refraction Tomography Parameterization, Journal Of Seismic Exploration 8, 143-156.
- 28- Sjogren, B., 1984, Shallow refraction seismic, Champan and Hall, London.
- 29- Vogelsang, D., 1995, Environmental Geophysics, Springer-Verlag.
- 30- 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.
- 31- White, P. A., 1994, Electrode Arrays for Measuring Groundwater Flow Direction and Velocity: Geophysics.
- 32- www.ngdir.com
- 33- Zonge Engineering and Research Organization, 1994, The application of Surface Electrical Geophysics to groundwater problems, Electrical Geophysics Seminar notes., pp. 2-15.

Abstract

Geophysical studies for power stations of Dez dam were carried out to investigate the geological characteristics, the thicknesses of the layers, the depth of the bedrock and also the locations of the subsurface anomalies in Telehzang area, situated northeast of the Andimeshk city. A sum of 54 locations on 5 lines, having northwest-southeast trend, was considered for resistivity sounding surveys using the Schlumberger array. In this research thesis, one-dimensional (1-D) interpretation of the resistivity sounding data has been carried out using IX1D software. Moreover, two-dimensional (2-D) interpretation of the resistivity sounding data has been carried out using IPI2Win and Res2dinv software packages, in which geoelectric cross-sections of the study area have been shown. The results of the 2-D interpretation of the resistivity data indicate higher resistivity values in the northern parts of the study area. Furthermore, in the study area, 4 seismic profile lines, having northwest-southeast trend, were considered in which each profile contained 24 geophones with an equal distance of 8 or 10 meters between successive geophones. For 2-D modeling of the seismic tomography data, SeisImager/2DTM software was used. This 2-D seismic tomography data modeling was made using 10 iterations.

The results of the electrical and seismic data modeling indicate that, in general, the subsurface layers in the study area are composed of two parts: alluvium and bedrock. The alluvium part, having a small thickness, consists of clay, sand and medium- to coarse-grained gravels. The bedrock part is also composed of massive limestone of Bangestan formation.

Keywords: Electrical resistivity, One-dimensional (1-D) interpretation, Two-dimensional (2-D) interpretation, Geoelectric cross-sections, Seismic refraction, Seismic tomography, Velocity model



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Modeling and interpretation of resistivity and refraction
seismic data for accurate recognition of subsurface layers
and the comparison of their results in Dez dam area**

M. Mahmoodi

Supervisor:

Dr. A. Kamkar Rouhani

Advisor:

Dr. A. Roshandel kahoo

Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

July 2010