



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

مدلسازی معکوس ژئوالکتریکی لب‌بندی برای تعیین هندسه  
زمین لغزش در کیلومتر  $200+52$  بزرگراه قزوین - رشت

ارائه کننده:

عبدالاحد هلاکوئی

اساتید راهنما:

دکتر ایرج پیروز

دکتر ناصر حافظی مقدس

استاد مشاور:

دکتر علی مراد زاده

۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶

تقديم به خانوالده عزيزم

## تقدیر و تشکر

وظیفه خود می دانم که از کسانی که در انجام این پروژه همکاری صمیمانه داشته اند تقدیر و تشکر کنم:

جناب آقای دکتر ایرج پیروز.....استاد راهنمای اول  
جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس.....استاد راهنمای دوم  
جناب آقای دکتر علی مراد زاده.....استاد مشاور  
جناب آقای دکتر رضا کاکایی.....ریاست محترم دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک  
جناب آقای دکتر فرامرز دولتی.....مدیر گروه اکتشاف و ژئوفیزیک  
جناب آقای دکتر جعفر کیمیا قلم.....شرکت مهندسين مشاور زمین فیزیک  
جناب آقای مهندس یوسفی.....شرکت مهندسين مشاور زمین فیزیک  
جناب آقای مهندس احمد رحیمی.....مسئول عملیات صحرایی شرکت مهندسين مشاور زمین فیزیک  
جناب آقای مهندس رهنما.....شرکت هراز راه (بخش زمین شناسی)  
جناب آقای مهندس محمدی.....شرکت ایتوک ایران  
جناب آقای مهندس حمید سرخیل.....مسئول آزمایشگاه ژئوفیزیک دانشکده

و همچنین لازم است از هیئت داوران بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین در اسفند ۱۳۸۵، در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، قدردانی کنم که مقاله اینجانب را برای سخنرانی برگزیده اند و از نظرات اساتیدی چون دکتر محمد علی ریاحی و دکتر وحید ابراهیم زاده اردستانی و... (اعضای هیئت رئیسه گروه ژئوفیزیک گردهمایی علوم زمین) در جهت هر چه پربارتر شدن این اثر بهره مند شدم.

در پایان هم، از اساتیدی که داوری این اثر را بر عهده داشته اند تشکر و قدردانی می کنم.

## چکیده

پدیده زمین لغزش که باعث رانش زمین و ایجاد ترک‌هایی در سطح زمین می‌گردد، منجر به تخریب کامل برخی از سازه‌ها از قبیل منازل مسکونی، جاده‌ها، پل‌ها، تونل‌ها و ... می‌گردد و در نتیجه شرایط دشوار و خطرناکی را ایجاد می‌کند. بزرگراه در حال احداث در مسیر قزوین- رشت، در محدوده ۵۲ کیلومتر، بعلت عبور از منطقه تکتونیزه و نامقاوم، متحمل ناپایداری شده است. ارائه راهکار اجرایی مقابله با لغزش و پایدارسازی آن، مستلزم شناسایی ابعاد توده لغزش، از جمله عمق دقیق سطح لغزش می‌باشد. برای رسیدن به این هدف از دو روش مستقیم و غیر مستقیم بهره می‌گیرند. در روش مستقیم، وضعیت زمین لغزش با حفاری چاه‌های اکتشافی مطالعه می‌شود که بسیار پرهزینه بوده و از نظر عملیات اجرایی نیز بدلیل شیب ناپایدار، بسیار مشکل می‌باشد. به همین دلیل از روش‌های غیر مستقیم از جمله روش‌های ژئوفیزیکی سطحی، جهت کسب اطلاعات در مورد سطح لغزش، استفاده می‌شود. در این پروژه، از روش مقاومت ویژه الکتریکی، که روشی سریع و ارزان قیمت می‌باشد، جهت ارزیابی اولیه وضعیت لغزش زمین استفاده شده است و با تهیه نقشه‌های لازم، مناسب‌ترین محل‌ها برای گمانه‌های اکتشافی انتخاب گردیدند. جهت دستیابی به هدف فوق‌الذکر، شرکت مهندسین مشاور زمین فیزیک اقدام به برداشت داده‌های ژئوالکتریکی در محدوده زمین لغزش مذکور نمود که اینجانب نیز در برداشت داده‌ها مشارکت داشتم. نخست، داده‌های حاصله مورد تفسیر کیفی قرار گرفتند و سپس به منظور تعیین مقاومت ویژه واقعی و ضخامت دقیق لایه‌ها، داده‌های مقاومت ویژه صحرایی، توسط روش مدلسازی معکوس دوبعدی، مورد پردازش قرار گرفتند.

## فهرست مطالب

| صفحه | عناوین مطالب                                         |
|------|------------------------------------------------------|
| ا    | تقدیم                                                |
| ب    | تقدیر و تشکر                                         |
| پ    | چکیده                                                |
| ت    | فهرست مطالب                                          |
| خ    | فهرست شکل ها                                         |
| ر    | فهرست جداول                                          |
| ز    | فهرست علائم و اختصارات                               |
| ۱    | فصل اول: مقدمه و کلیات                               |
| ۱    | ۱-۱ مقدمه                                            |
| ۶    | ۲-۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه توپوگرافی منطقه          |
| ۶    | ۳-۱ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت انجام تحقیق      |
| ۸    | ۴-۱ اهداف پایان نامه                                 |
| ۸    | ۵-۱ روش انجام تحقیق                                  |
| ۹    | ۶-۱ ساختار پایان نامه                                |
| ۱۱   | فصل دوم: زمین لغزش ها و اطلاعات زمین شناسی منطقه     |
| ۱۱   | ۱-۲ زمین لغزشها                                      |
| ۱۲   | ۱-۱-۲ حرکات دامنه ایی (زمین لغزش)                    |
| ۱۲   | ۱-۱-۱-۲ لغزش                                         |
| ۱۳   | ۲-۱-۱-۲ جریان                                        |
| ۱۴   | ۳-۱-۱-۲ ریزش                                         |
| ۱۵   | ۴-۱-۱-۲ واژگونی                                      |
| ۱۵   | ۵-۱-۱-۲ خزش                                          |
| ۱۵   | ۶-۱-۱-۲ گسترش جانبی                                  |
| ۱۶   | ۲-۱-۲ شناسایی لغزشهای قدیمی                          |
| ۱۷   | ۳-۱-۲ مشخصات ژئومورفولوژیکی زمین لغزش                |
| ۱۸   | ۱-۳-۱-۲ اجزاء مختلف یک زمین لغزش                     |
| ۱۹   | ۲-۳-۱-۲ ابعاد زمین لغزش                              |
| ۲۰   | ۴-۱-۲ علل و عوامل وقوع زمین لغزش ها                  |
| ۲۳   | ۵-۱-۲ طبقه بندی زمین لغزش ها                         |
| ۲۳   | ۱-۵-۱-۲ طبقه بندی بر مبنای نوع حرکت و مواد جابجا شده |
| ۲۳   | ۲-۵-۱-۲ طبقه بندی بر مبنای سرعت لغزش                 |
| ۲۴   | ۳-۵-۱-۲ طبقه بندی بر مبنای میزان فعالیت              |
| ۲۵   | ۴-۵-۱-۲ طبقه بندی بر مبنای عمق سطح لغزش              |
| ۲۵   | ۵-۵-۱-۲ طبقه بندی بر مبنای شکل سطح لغزش              |

|    |                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۶ | ۶-۱-۵ طبقه بندی بر مبنای سن                                                      |
| ۲۶ | ۶-۱-۲ تثبیت و پایدارسازی زمین لغزش ها                                            |
| ۲۶ | ۶-۱-۲ رفتار پوشش گیاهی در پایداری دامنه ها                                       |
| ۲۶ | ۶-۱-۲ روشهای تثبیت و پایدار سازی زمین لغزش ها                                    |
| ۲۷ | ۲-۲ اطلاعات زمین شناسی منطقه لغزشی در بزرگراه قزوین- رشت                         |
| ۲۷ | ۱-۲-۲ چینه شناسی منطقه                                                           |
| ۳۰ | ۲-۲-۲ زمین شناسی ساختمانی منطقه                                                  |
| ۳۰ | ۱-۲-۲-۲ گسل های محلی                                                             |
| ۳۰ | ۲-۲-۲-۲ درزه ها                                                                  |
| ۳۱ | ۳-۲-۲ زمین ریخت شناسی                                                            |
| ۳۱ | ۴-۲-۲ لرزه خیزی منطقه                                                            |
| ۳۱ | ۱-۴-۲-۲ آمار زمین لرزه های منطقه                                                 |
| ۳۲ | ۲-۴-۲-۲ گسلهای فعال منطقه                                                        |
| ۳۳ | ۵-۲-۲ میزان بارندگی در منطقه                                                     |
| ۳۳ | ۶-۲-۲ ترانشه های خروجی تونل دوقلو                                                |
| ۳۵ | <b>فصل سوم : روش مقاومت ویژه الکتریکی، اندازه گیری داده ها و تفسیر کیفی آنها</b> |
| ۳۵ | ۱-۳ روش مقاومت ویژه الکتریکی                                                     |
| ۳۶ | ۱-۱-۳ اساس تئوری مقاومت ویژه                                                     |
| ۳۹ | ۲-۱-۳ عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه مواد زمین                                        |
| ۳۹ | ۳-۱-۳ خواص الکتریکی مواد                                                         |
| ۴۱ | ۴-۱-۳ آرایش های الکترودی                                                         |
| ۴۱ | ۱-۴-۱-۳ انتخاب آرایشهای الکترودی                                                 |
| ۴۳ | ۲-۴-۱-۳ آرایش الکترودی شلومبرگر                                                  |
| ۴۴ | ۳-۴-۱-۳ آرایش الکترودی نیم شلومبرگر متقارن                                       |
| ۴۵ | ۵-۱-۳ تصحیح کلاچ                                                                 |
| ۴۶ | ۶-۱-۳ اثرات توپوگرافی بر روی داده های مقاومت ویژه                                |
| ۴۸ | ۷-۱-۳ اصل هم ارزی یا برابری                                                      |
| ۴۹ | ۸-۱-۳ تفسیر کیفی و کمی داده های صحرائی                                           |
| ۴۹ | ۲-۳ داده های اندازه گیری شده                                                     |
| ۴۹ | ۱-۲-۳ پروفیلهای CRP                                                              |
| ۵۱ | ۲-۲-۳ پروفیل های طولی و عرضی سونداژها                                            |
| ۵۱ | ۳-۳ تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی CRP                                           |
| ۵۳ | ۱-۳-۳ پروفیل CRP.I                                                               |
| ۵۴ | ۲-۳-۳ پروفیل CRP.II                                                              |
| ۵۵ | ۳-۳-۳ پروفیل CRP.III                                                             |
| ۵۷ | ۴-۳ تفسیر کیفی داده های سونداژ الکتریکی                                          |
| ۵۸ | ۱-۴-۳ پروفیل طولی A                                                              |

|    |                                                              |
|----|--------------------------------------------------------------|
| ۶۰ | ۲-۴-۳ پروفیل طولی B                                          |
| ۶۱ | ۳-۴-۳ پروفیل طولی C                                          |
| ۶۳ | ۴-۴-۳ پروفیل طولی D                                          |
| ۶۴ | ۵-۴-۳ پروفیل طولی E                                          |
| ۶۶ | ۶-۴-۳ پروفیل طولی F                                          |
| ۶۷ | ۷-۴-۳ پروفیل طولی G                                          |
| ۶۹ | ۸-۴-۳ پروفیل طولی H                                          |
| ۷۰ | ۹-۴-۳ پروفیل عرضی P                                          |
| ۷۱ | ۱۰-۴-۳ پروفیل عرضی Q                                         |
| ۷۳ | ۱۱-۴-۳ پروفیل عرضی R                                         |
| ۷۴ | ۱۲-۴-۳ پروفیل عرضی S                                         |
| ۷۵ | ۵-۳ نقشه های هم مقاومت ویژه ظاهری                            |
| ۷۸ | <b>فصل چهارم : مدلسازی معکوس و تفسیر کمی داده ها</b>         |
| ۷۸ | ۱-۴ مقدمه                                                    |
| ۸۰ | ۲-۴ مدلسازی مستقیم یا پیشرو                                  |
| ۸۰ | ۳-۴ مدلسازی معکوس                                            |
| ۸۱ | ۱-۳-۴ اساس تئوری مدلسازی معکوس                               |
| ۸۴ | ۴-۴ نرم افزارهای مورد استفاده برای مدلسازی معکوس             |
| ۸۴ | ۱-۴-۴ نرم افزار ResixIP                                      |
| ۸۴ | ۲-۴-۴ نرم افزار Res2Dinv و تئوری استفاده شده برای معکوس سازی |
| ۸۶ | ۵-۴ نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی                              |
| ۸۸ | ۱-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ B2                        |
| ۸۸ | ۲-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ C2                        |
| ۸۹ | ۳-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ D5                        |
| ۸۹ | ۴-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ F4                        |
| ۸۹ | ۵-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ G6                        |
| ۸۹ | ۶-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ H7                        |
| ۹۰ | ۶-۴ نتایج مدلسازی معکوس دو بعدی                              |
| ۹۱ | ۱-۶-۴ نتایج مدلسازی معکوس دو بعدی پروفیل های CRP             |
| ۹۱ | ۱-۱-۶-۴ مقطع قائم پروفیل CRP.I                               |
| ۹۲ | ۲-۱-۶-۴ مقطع قائم پروفیل CRP.II                              |
| ۹۳ | ۳-۱-۶-۴ مقطع قائم پروفیل CRP.III                             |
| ۹۴ | ۲-۶-۴ نتایج مدلسازی معکوس دو بعدی پروفیل های طولی و عرضی     |
| ۹۴ | ۱-۲-۶-۴ مقطع قائم پروفیل طولی A                              |
| ۹۶ | ۲-۲-۶-۴ مقطع قائم پروفیل طولی B                              |
| ۹۷ | ۳-۲-۶-۴ مقطع قائم پروفیل طولی C                              |
| ۹۹ | ۴-۲-۶-۴ مقطع قائم پروفیل طولی D                              |

|     |                                                                                                            |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۰۰ | ۴-۶-۲-۵ مقطع قائم پروفیل طولی E                                                                            |
| ۱۰۲ | ۴-۶-۲-۶ مقطع قائم پروفیل طولی F                                                                            |
| ۱۰۳ | ۴-۶-۲-۷ مقطع قائم پروفیل طولی G                                                                            |
| ۱۰۵ | ۴-۶-۲-۸ مقطع قائم پروفیل طولی H                                                                            |
| ۱۰۶ | ۴-۶-۲-۹ مقطع قائم پروفیل عرضی P                                                                            |
| ۱۰۷ | ۴-۶-۲-۱۰ مقطع قائم پروفیل عرضی Q                                                                           |
| ۱۰۸ | ۴-۶-۲-۱۱ مقطع قائم پروفیل عرضی R                                                                           |
| ۱۱۰ | ۴-۶-۲-۱۲ مقطع قائم پروفیل عرضی S                                                                           |
| ۱۱۱ | ۴-۷ مقایسه مقاطع قائم حاصل از پروفیل‌های عرضی و CRP                                                        |
| ۱۱۲ | ۴-۷-۱ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی P و CRP.III                                                   |
| ۱۱۳ | ۴-۷-۲ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی S و CRP.II                                                    |
| ۱۱۴ | ۴-۷-۳ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی X و CRP.I                                                     |
| ۱۱۴ | ۴-۷-۴ نتیجه مقایسه مقاطع قائم پروفیل‌ها                                                                    |
| ۱۱۶ | <b>فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>                                                                    |
| ۱۱۶ | ۵-۱ نتیجه گیری                                                                                             |
| ۱۱۸ | ۵-۲ پیشنهادات                                                                                              |
| ۱۱۹ | <b>منابع</b>                                                                                               |
| ۱۲۲ | <b>پیوست</b>                                                                                               |
| ۱۲۳ | پیوست الف: اجزاء و ابعاد یک زمین لغزش و عکسهایی از زمین لغزش مورد مطالعه                                   |
| ۱۲۷ | پیوست ب: داده های مختصات جغرافیایی سونداژها و پروفیلها و موقعیت سونداژها بر روی پروفیلها                   |
| ۱۳۰ | پیوست پ: داده های CRP                                                                                      |
| ۱۳۴ | پیوست ت: داده های اندازه گیری شده سونداژها با آرایش شلومبرگر                                               |
| ۱۳۹ | پیوست ث: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در طول پروفیل‌های CRP و شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه ظاهری آنها |
| ۱۴۲ | پیوست ج: نمودار شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری                                                  |
| ۱۴۷ | پیوست چ: نقشه های هم مقاومت ویژه                                                                           |
| ۱۵۰ | پیوست ح: مدل‌های حاصل از معکوس سازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار ResixIP                                |
| ۱۵۴ | پیوست خ: مدل‌های هم ارز در مدلسازی معکوس یک بعدی با نرم افزار ResixIP                                      |
| ۱۵۸ | پیوست د: طریقه ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2Dinv                                                |
| ۱۶۸ | <b>Abstract</b> (چکیده پایان نامه به زبان انگلیسی)                                                         |



## فهرست شکل ها

| صفحه | فهرست شکل ها                                                                                     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۶    | شکل ۱-۱: نقشه منطقه و موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه لغزشی مورد مطالعه                   |
| ۷    | شکل ۲-۱: نقشه توپوگرافی منطقه لغزشی و موقعیت تونل واقع در مسیر بزرگراه قزوین- رشت                |
| ۱۲   | شکل ۱-۲: تجزیه نیروی وزن بر روی دامنه                                                            |
| ۱۳   | شکل ۲-۲: شکل سطح لغزش در لغزشهای (الف): چرخشی (ب): انتقالی                                       |
| ۱۴   | شکل ۳-۲: (سمت راست) جریان گل (گلروانه) و (سمت چپ) جریان واریزه ایی                               |
| ۱۵   | شکل ۴-۲: حرکت خزشی و کج شدن درختان، حصارها و جاده ها                                             |
| ۱۶   | شکل ۵-۲: چگونگی حرکت مواد در گسترش جانبی                                                         |
| ۱۷   | شکل ۶-۲: نمایی از اجزا و ابعاد لغزش                                                              |
| ۲۵   | شکل ۷-۲: سطح گسیختگی قوسی شکل یا دایروی                                                          |
| ۳۶   | شکل ۱-۳: تعریف مقاومت ویژه                                                                       |
| ۳۷   | شکل ۲-۳: فرم کلی یک آرایش                                                                        |
| ۴۳   | شکل ۳-۳: نحوه قرار گیری الکترودها در آرایش شلومبرگر                                              |
| ۴۵   | شکل ۴-۳: نمایش دو آرایش متقارن نیم شلومبرگر                                                      |
| ۴۶   | شکل ۵-۳: تصحیح کلاچ در آرایش شلومبرگر (الف) قبل از تصحیح (ب) بعد از تصحیح                        |
| ۴۷   | شکل ۶-۳: تاثیر توپوگرافی روی خطوط جریان و پتانسیل                                                |
| ۵۰   | شکل ۷-۳: موقعیت سونداژها و پروفیل ها در روی نقشه توپوگرافی منطقه لغزشی                           |
| ۵۴   | شکل ۸-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله $OA=30m$                    |
| ۵۵   | شکل ۹-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.II برای فاصله $OA=50m$                   |
| ۵۶   | شکل ۱۰-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.III برای فاصله $OA=30m$                 |
| ۵۹   | شکل ۱۱-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی A |
| ۶۱   | شکل ۱۲-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی B |
| ۶۲   | شکل ۱۳-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی C |
| ۶۴   | شکل ۱۴-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی D |
| ۶۵   | شکل ۱۵-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی E |
| ۶۷   | شکل ۱۶-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی F |
| ۶۸   | شکل ۱۷-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی G |
| ۷۰   | شکل ۱۸-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی H |
| ۷۱   | شکل ۱۹-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی P |
| ۷۲   | شکل ۲۰-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی Q |
| ۷۳   | شکل ۲۱-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی R |
| ۷۴   | شکل ۲۲-۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب $AB/2$ برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی S |
| ۷۶   | شکل ۲۳-۳: نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۱۰ متر                 |
| ۷۶   | شکل ۲۴-۳: نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۵۰ متر                 |
| ۸۷   | شکل ۱-۴: نمونه ای از مدلسازی یک بعدی سونداژها ( سونداژ E8 )                                      |
| ۸۷   | شکل ۲-۴: نمونه ای از مدلهای هم ارز سونداژها ( سونداژ E8 )                                        |

|     |                                                                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۹۲  | شکل ۳-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل CRP.I                              |
| ۹۳  | شکل ۴-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل CRP.II                             |
| ۹۴  | شکل ۵-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل CRP.III                            |
| ۹۵  | شکل ۶-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل A                                  |
| ۹۷  | شکل ۷-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل B                                  |
| ۹۸  | شکل ۸-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل C                                  |
| ۱۰۰ | شکل ۹-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل D                                  |
| ۱۰۱ | شکل ۱۰-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل E                                 |
| ۱۰۲ | شکل ۱۱-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل F                                 |
| ۱۰۴ | شکل ۱۲-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل G                                 |
| ۱۰۵ | شکل ۱۳-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل H                                 |
| ۱۰۷ | شکل ۱۴-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل P                                 |
| ۱۰۸ | شکل ۱۵-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل Q                                 |
| ۱۰۹ | شکل ۱۶-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل R                                 |
| ۱۱۰ | شکل ۱۷-۴: مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی پروفیل S                                 |
| ۱۱۲ | شکل ۱۸-۴: موقعیت پروفیل عرضی P در روی پروفیل CRP.III                                   |
| ۱۱۳ | شکل ۱۹-۴: موقعیت پروفیل عرضی S در روی پروفیل CRP.II                                    |
| ۱۱۵ | شکل ۲۰-۴: موقعیت پروفیل عرضی X در روی پروفیل CRP. I                                    |
| ۱۱۵ | شکل ۲۱-۴: موقعیت عمق بررسی تقریبی مقطع قائم CRP. I در مقطع قائم پروفیل عرضی X          |
| ۱۱۷ | شکل ۱-۵: نقشه هم عمق سطح لغزش                                                          |
| ۱۲۳ | شکل الف-۱-۱: نمایی از تاج لغزش                                                         |
| ۱۲۳ | شکل الف-۱-۲: پرتگاه اصلی (تصویر سمت راست) قله (تصویر سمت چپ)                           |
| ۱۲۳ | شکل الف-۱-۳: سر (تصویر سمت راست) افتگاه های فرعی (تصویر سمت چپ)                        |
| ۱۲۳ | شکل الف-۱-۴: توده اصلی (تصویر سمت راست) پای لغزش، نوک لغزش و پنجه (تصویر سمت چپ)       |
| ۱۲۴ | شکل الف-۱-۵: سطح گسیختگی                                                               |
| ۱۲۴ | شکل الف-۱-۶: پنجه سطح گسیختگی (تصویر سمت راست) سطح جدایش (تصویر سمت چپ)                |
| ۱۲۴ | شکل الف-۱-۷: توده جابجا شده                                                            |
| ۱۲۴ | شکل الف-۱-۸: پهنه تهی شدگی (تصویر سمت راست) پهنه تجمع (تصویر سمت چپ)                   |
| ۱۲۵ | شکل الف-۱-۹: تهی شدگی (تصویر سمت راست) تجمع مواد جابجا شده (تصویر سمت چپ)              |
| ۱۲۵ | شکل الف-۱-۱۰: توده تهی شده (تصویر سمت راست) طول صفحه گسیختگی (تصویر سمت چپ)            |
| ۱۲۵ | شکل الف-۱-۱۱: طول توده جابجا شده (تصویر سمت راست) و طول کلی لغزش (تصویر سمت چپ)        |
| ۱۲۵ | شکل الف-۱-۱۲: عمق صفحه گسیختگی (تصویر سمت راست) و عمق توده جابجا شده (تصویر سمت چپ)    |
| ۱۲۶ | شکل الف-۱-۲: عکسی از محدوده جنوبی زمین لغزش مورد مطالعه واقع در بزرگراه قزوین- رشت     |
| ۱۲۶ | شکل الف-۲-۲: عکسی از محدوده شمال شرقی زمین لغزش مورد مطالعه واقع در بزرگراه قزوین- رشت |
| ۱۳۹ | شکل ث-۱: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله OA=20m            |
| ۱۳۹ | شکل ث-۲: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله OA=50m            |
| ۱۳۹ | شکل ث-۳: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I                                  |

|         |                                                                                   |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۴۰     | شکل ث- ۴: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. II برای فاصله $OA=20m$  |
| ۱۴۰     | شکل ث- ۵: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. II برای فاصله $OA=30m$  |
| ۱۴۰     | شکل ث- ۶: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. II                          |
| ۱۴۱     | شکل ث- ۷: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. III برای فاصله $OA=20m$ |
| ۱۴۱     | شکل ث- ۸: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. III برای فاصله $OA=50m$ |
| ۱۴۱     | شکل ث- ۹: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. III                         |
| ۱۴۲     | شکل ج- ۱: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی A                           |
| ۱۴۲     | شکل ج- ۲: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی B                           |
| ۱۴۳     | شکل ج- ۳: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی C                           |
| ۱۴۳     | شکل ج- ۴: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی D                           |
| ۱۴۴     | شکل ج- ۵: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی E                           |
| ۱۴۴     | شکل ج- ۶: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی F                           |
| ۱۴۵     | شکل ج- ۷: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی G                           |
| ۱۴۵     | شکل ج- ۸: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی H                           |
| ۱۴۵     | شکل ج- ۹: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی P                           |
| ۱۴۶     | شکل ج- ۱۰: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی Q                          |
| ۱۴۶     | شکل ج- ۱۱: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی R                               |
| ۱۴۶     | شکل ج- ۱۲: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی S                               |
| ۱۴۷     | شکل چ- ۱: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۵ متر         |
| ۱۴۷     | شکل چ- ۲: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۱۵ متر        |
| ۱۴۸     | شکل چ- ۳: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۳۰ متر        |
| ۱۴۸     | شکل چ- ۴: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۱۰۰ متر       |
| ۱۴۹     | شکل چ- ۵: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان $(AB/2)$ برابر ۱۵۰ متر       |
| ۱۵۰-۱۵۳ | شکلهای پیوست خ: مدلهای حاصل از معکوس سازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار ResixIP |
| ۱۵۴-۱۵۸ | شکلهای پیوست خ: مدلهای هم ارز در مدلسازی معکوس یک بعدی با نرم افزار ResixIP       |

## فهرست جداول

| صفحه | فهرست جداول                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۴   | جدول ۱-۲: تقسیم بندی زمین لغزش ها بر مبنای طبقه بندی وارانز (۱۹۷۸)                  |
| ۲۴   | جدول ۲-۲: تقسیم بندی انواع مواد جابجا شده در یک زمینلغزش                            |
| ۴۰   | جدول ۱-۳: مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی                                    |
| ۵۲   | جدول ۲-۳: مشخصات پروفیل های سونداژها                                                |
| ۸۸   | جدول ۱-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ B2           |
| ۸۸   | جدول ۲-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ C2           |
| ۹۰   | جدول ۳-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ D5           |
| ۹۰   | جدول ۴-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ F4           |
| ۹۰   | جدول ۵-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ G6           |
| ۹۰   | جدول ۶-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ H7           |
| ۹۱   | جدول ۷-۴: خطای RMS در مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیلها                                 |
| ۱۲۷  | جدول ب-۱: داده های مختصات جغرافیایی و ارتفاع محل سونداژها و پروفیلها                |
| ۱۲۹  | جدول ب-۲: موقعیت سونداژها بر روی پروفیل های طولی و عرضی                             |
| ۱۳۰  | جدول پ-۱: داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.I                                         |
| ۱۳۱  | جدول پ-۲: داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.II                                        |
| ۱۳۲  | جدول پ-۳: داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.III                                       |
| ۱۳۴  | جدول ت-۱: گسترش طولی الکترودها در سونداژ زنی با استفاده از آرایش شلومبرگر           |
| ۱۳۴  | جدول ت-۲: داده های اندازه گیری شده سونداژها با آرایش شلومبرگر                       |
| ۱۵۹  | جدول د-۱: نمونه فایل ورودی داده ها برای نرم افزار Res2dinv، برای سونداژهای پروفیل G |
| ۱۶۳  | جدول د-۲: نمونه فایل ورودی داده ها برای نرم افزار Res2dinv، برای پروفیل CRP.III     |

## فهرست علائم و اختصارات

| علائم و اختصارات | عناوین                                                 |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| CRP              | Combined Resistivity Profiling                         |
| IAEG             | انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی                     |
| Lr               | طول صفحه گسیختگی (The length of the rupture surface)   |
| Ld               | طول توده جابجاشده (Length of the displaced mass)       |
| L                | طول کلی لغزش (Total length)                            |
| Wr               | پهنای صفحه گسیختگی (Width of the rupture surface)      |
| Wd               | پهنای توده جابجا شده (Width of the displaced mass)     |
| Dr               | عمق صفحه گسیختگی (The depth of the rupture surface)    |
| Dd               | عمق توده جابجا شده (Depth of the displaced mass)       |
| R                | مقاومت بین دو سطح هم پتانسیل                           |
| $\rho$           | مقاومت ویژه                                            |
| $\rho_a$         | مقاومت ویژه ظاهری                                      |
| $\sigma$         | رسانندگی محیط                                          |
| j                | چگالی جریان                                            |
| E                | شدت میدان الکتریکی                                     |
| V                | پتانسیل الکتریکی                                       |
| I                | شدت جریان الکتریکی                                     |
| $\delta$         | تابع دلتای دیراک                                       |
| A & B            | الکترودهای جریان                                       |
| AB               | فاصله بین الکترودهای جریان                             |
| M & N            | الکترودهای پتانسیل                                     |
| MN               | فاصله بین الکترودهای پتانسیل                           |
| K                | فاکتور هندسی                                           |
| $\Omega m$       | واحد مقاومت ویژه الکتریکی                              |
| $\rho_w$         | مقاومت ویژه سیال پرکننده فضاهای خالی سنگ در قانون آرچی |
| $\phi$           | تخلخل سنگ                                              |
| s & n            | سیگنال و نویز                                          |
| S                | قابلیت هدایت افقی و یا هدایت کلی در اصل هم ارزی        |
| R                | مقاومت عرضی در اصل هم ارزی                             |
| H(m)             | ارتفاع از سطح تراز دریا بر حسب متر                     |
| y                | مجموعه داده های مشاهده شده                             |
| f                | پاسخ مدل                                               |
| q                | پارامترهای مدل                                         |
| g                | بردار اختلاف                                           |
| J                | ماتریس ژاکوبین مشتقات جزئی                             |
| $J^T$            | ترانپاده ماتریس ژاکوبین مشتقات جزئی                    |
| $\lambda$        | فاکتور تعدیل یا فاکتور مارکوارت - لونبرگ               |
| $f_x$            | فیلتر تخت افقی                                         |
| $f_z$            | فیلتر تخت قائم                                         |

## فصل اول:

### مقدمه و کلیات

#### ۱-۱ مقدمه

زمین لغزش<sup>۱</sup> عبارت است از حرکت و جابجایی بخشی از مواد دامنه در امتداد یک سطح گسیختگی<sup>۲</sup> مشخص که بطور طبیعی و تحت تأثیر عوامل مختلفی بخصوص نیروی جاذبه زمین، در دامنه های شیبدار انجام می شود و عوامل متعدد دیگری از جمله بارانهای سیل آسا و زلزله باعث تشدید و تحریک آن می شوند [۶].

بلایای طبیعی به عنوان بزرگترین دشمن طبیعی انسان باعث کشته و مجروح شدن سالانه صدها هزار تن و بی خانمان شدن میلیون ها نفر در سراسر جهان می شود. از این رهگذر، زمین لغزش به عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان، که همواره در سراسر جهان باعث تلفات سالانه هزاران نفر و وارد آمدن خسارات سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می شود، دارای اهمیت

---

<sup>۱</sup> - Landslide

<sup>۲</sup> - Failure

خاصی می باشد؛ خصوصاً با افزایش جمعیت و اسکان در مناطقی که مستعد رویداد زمین لغزش هستند، آمارهای جهانی تلفات و خسارات مالی ناشی از این پدیده، پیوسته در حال افزایش می باشد، البته خسارتها و تلفات ناشی از وقوع آن، بسته به وسعت و نزدیکی آنها به مناطق مسکونی و تاسیسات مختلف می تواند متفاوت باشد.

با توجه به این نکته که زمین لغزش ها نسبت به سایر بلایای طبیعی مثل سیل، آتشفشان، زلزله و... مدیریت پذیرتر و قابل پیش بینی تر می باشند، لذا شناخت این پدیده در جهت جلوگیری از خسارات ناشی از آن از اهمیت بنیادی در مقابله با بلایای طبیعی برخوردار است.

زمین لغزش ممکن است جزئی و منحصر به ریزش یک قطعه سنگ منفرد بوده و یا اینکه بسیار بزرگ و فاجعه آفرین باشد، لذا بر منابع طبیعی و انواع سازه های مهندسی و فعالیت هایی که توسط بشر صورت می گیرد، تأثیر دارد. مواردی که می تواند با تأثیر لغزش ها تخریب شود، عبارتند از [۱۳]:

- یک ساختمان مسکونی و یا تجاری یک روستا یا حتی یک شهر بزرگ.
  - جاده ها، فرودگاه ها و خطوط راه آهن و تونل های راه.
  - سازه های هیدرولیکی مانند سدها، تونل های انحرافی و سرریزها و کانالهای آبرسانی.
  - مزارع، جنگل ها و پارک ها.
  - مخازن و دریاچه ها.
  - خطوط لوله های آب و فاضلاب، نفت و گاز، خطوط تلفن و برق و کابل های زیر دریایی.
  - تاسیسات معادن، عملیات معدنکاری روباز و حفاریات زیرزمینی مواد معدنی.
  - چاه های نفت و تاسیسات آنها.
  - تأثیر غیر مستقیم مثل بسته شدن دهانه دره توسط لغزش و ایجاد دریاچه در پشت آن.
- از مهمترین مسائل در پروژه های عمرانی مانند طراحی مناطق شهری، احداث کارخانه های صنعتی، انتخاب مسیر احداث بزرگراه ها و راه های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث نیروگاه ها و سد های خاکی و بتنی و نیز آب بندها و کانالهای انتقال آب، احداث تونل های عبور و مرور و ...، مطالعه پایداری شیبهای طبیعی منطقه است [۱۵].

مواردی از مهمترین نمونه های زمین لغزش که در نقاط مختلف جهان رخ داده اند عبارتند از:

لغزش‌ها داراست. زمین‌لغزش‌ها در ایران بعنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد و هر چند گاهی خصوصاً در فصول بارش گزارشهایی در مورد جابجایی و حرکت زمین در بخشی از کشور منتشر می‌شود. جابجایی زمینهای کشاورزی که بواسطه شرایط خاص زمین شناسی و سیستم نادرست آبیاری و زهکشی صورت می‌گیرد، امر بسیار معمول و متداول در بین روستائیان می‌باشد. لغزشهای دامنه‌ای که در سطح وسیع در نواحی کوهستانی رخ می‌دهد باعث تخریب کانالهای آبرسانی و باغ‌ها می‌گردد. از جمله موارد دیگر لغزشها، وقوع زمین لغزش در مسیر جاده‌های اصلی و کوهستانی می‌باشد که متأسفانه بدلیل عدم طراحی صحیح، پدیده‌ای شایع در فصول بارندگی است. زمین لغزشهای ناشی از زلزله‌ها نوع مهمی از لغزشها می‌باشد که خسارات و تلفات سنگینی را به بار می‌آورند، تلفات انسانی این لغزشها بخاطر سرعت زیاد و ناگهانی بودن، خیلی بیشتر از موارد دیگر است [۱۵].

مواردی از مهمترین نمونه‌های زمین لغزش که در نقاط مختلف ایران رخ داده‌اند عبارتند از: در زلزله ۱۳۶۹ گیلان در اثر رانشهای زمین ۲۰۰ نفر جان باختند، جاده‌های بسیاری بر اثر حرکت زمین تخریب شد و راه‌های بسیاری از روستاها بر اثر سقوط سنگ و زمین لغزش مسدود گردید و مساحت قابل توجهی از باغها، کشتزارها و پوشش گیاهی منطقه بر اثر بروز زمین لغزش از بین رفت. در همین منطقه، بر اثر زمین لغزش در روستای باکلور در مسیر رودخانه یک سد زمین لغزشی به ارتفاع حدوداً ۲۰۰ متر ایجاد شده است و همچنین می‌توان به حادثه تخریب روستای فتلک در پی لغزش تحریک زلزله‌ای اشاره کرد. رانش و ریزش کوه در سال ۱۳۷۴، یکی از روستاهای شهرستان فارس در استان چهارمحال و بختیاری را با ۵۰ نفر سکنه مدفون کرد. حادثه شهرک ولیعصر تبریز، لغزش زمین و تخریب بخشی از شهر گرمی در استان اردبیل در سال ۱۳۷۴، تخریب چند صد هکتار از مناطق جنگلی شمال کشور و... مبین اهمیت توجه به مسئله زمین لغزش است. همچنین در اثر وقوع زمین لغزشی به طول ۳ کیلومتر و عرض ۳۰۰ متر در جاده‌های هراز حد فاصل رودهن به لاریجان در خرداد ۱۳۷۷، جاده‌های هراز مسدود و امام زاده علی و منازل مجاور آن زیر خاک و سنگ مدفون شدند.

پس با توجه به حجم زیاد خسارات جانی و مالی، مطالعه و بررسی علمی زمین لغزش در راستای کاهش خطرات و خسارات آن لازم و ضروری است [۵].



تعیین عمق سطح لغزش در تحلیل پایداری شیبها و پیش بینی لغزش های احتمالی در آینده، به منظور کاهش خطرات و خسارات فوق الذکر ضروری می باشد. بدون داشتن اطلاعاتی در مورد سطح گسیختگی، هیچگونه تحلیل واقعی و دقیقی از چگونگی رفتارهای حرکتی شیب گسیخته شده نمی توان ارائه داد. علاوه بر این ارائه هر گونه راه حل برای پایدارسازی شیب ناپایدار، در اولین قدم منوط به تشخیص و شناسایی سطح لغزش است.

روشهای متعددی برای تخمین عمق سطح لغزش وجود دارند که با توجه به اهمیت پروژه از جنبه مسائل اقتصادی و ایمنی و موقعیت پروژه از لحاظ راه های دسترسی و امکانات موجود می توانند مورد استفاده قرار گیرند. یکی از این روشها، تخمین عمق به روش ژئوفیزیکی می باشد [۵]. اکتشافات ژئوفیزیک سطحی، اغلب سریع ترین و اقتصادی ترین راه برای جمع آوری اطلاعات کلی زیر سطحی در نواحی نسبتاً وسیع و ناهموار می باشد. این فنون ژئوفیزیکی جایگزین آزمایشهای حفاری، نمونه ها، چاه های دستی و یا ترانشه ها نمی شوند، بلکه آنها :

۱- تکمیل کننده اطلاعات روشهای اکتشافی زیرسطحی گرانیمتر تر می باشد.

۲- ارتباط دهنده اطلاعات میان مکانهای اکتشافی وسیع است.

۳- زمان و هزینه را در ارتباط با برنامه های حفاری بزرگ مقیاس کاهش می دهند [۱].

تخمین عمق سطح لغزش به روش ژئوفیزیکی جهت مشخص کردن وضعیت لایه ها در محل لغزش و تعیین عمق سنگ کف، سطح ایستایی و سطوح لغزشی و نیز مشخص کردن شکل هندسی توده های دارای پتانسیل گسیختگی بکار می رود.

از بین روش های ژئوفیزیکی برای شناسایی بخشهای زیر سطحی، روش های لرزه نگاری و ژئوالکتریک متداولترین روش در زمینه تعیین عمق سطح لغزش می باشند. از میان روشهای ژئوفیزیکی فوق الذکر، روش مقاومت ویژه الکتریکی، سریعتر و مقرون به صرفه تر می باشد [۱].

خواص فیزیکی توده سنگ یا خاک در اثر لغزش تغییر می کند، بنابراین مقاومت ویژه الکتریکی مواد سست و پائین لغزنده نسبت به مقاومت ویژه سنگهای دست نخورده زیر سطح لغزش، تغییر می کند؛ از این اختلاف ناگهانی مقاومت ویژه می توان در تخمین عمق سطح لغزش استفاده نمود [۱].

در این پایان نامه، از روش فوق الذکر بهره گرفته شده است تا لغزش در ۵۲+۲۰۰ کیلومتر در

بزرگراه قزوین- رشت را مورد مطالعه قرار دهد.

## ۲-۱ موقعیت جغرافیایی و نقشه توپوگرافی منطقه

منطقه لغزشی مورد مطالعه، در ۵۲ کیلومتری شمال غربی شهرستان قزوین و در مسیر بزرگراه در حال احداث قزوین- رشت قرار دارد. محدوده لغزش در طول جغرافیایی ۴۰۳۴۷۳۱ تا ۴۰۳۵۱۲۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶۶۷۴۲ تا ۳۶۷۱۱۷ شمالی بر حسب متر (UTM) واقع است و تنها راه دسترسی به منطقه، از طریق مسیر فعلی جاده قزوین- رشت میسر است. شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه را نشان می دهد. همچنین شکل ۲-۱ نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. با توجه به وضعیت توپوگرافی و اطلاعات زمین شناسی منطقه، زمین لغزش در محدوده ای که با علامت (- - -) در این شکل مشخص شده است، رخ داده است.

## ۳-۱ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت انجام تحقیق

مطالعه پایداری شیبهای طبیعی به دلیل تهدید سازه های مهندسی، زمین های کشاورزی، رسوب زایی و ... از اهمیت خاصی برخوردار است. از مجموعه تحقیقاتی که تاکنون درباره کارایی روش



شکل ۱-۱: نقشه منطقه و موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه لغزشی مورد مطالعه [۱۴]

ژئوالکتریک در مطالعه زمین لغزش ها انجام شده می توان موارد ذیل را نام برد:

ترانتینا<sup>۱</sup> (۱۹۶۳)، تاکادا<sup>۲</sup> (۱۹۶۸)، مور<sup>۳</sup> (۱۹۷۲)، بروک<sup>۴</sup> (۱۹۷۳)، بگوسلووسکی و اگیلوی<sup>۵</sup> (۱۹۷۷)، مولر و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۵)، مولروا، مولر و هافریچتروا<sup>۷</sup> (۱۹۸۶) و آلفرد فراشری و همکاران<sup>۸</sup> (۱۹۸۸) [۱].

در ایران، مطالعات ژئوالکتریکی در شناسایی زمین لغزشها در گذشته کمتر انجام شده و تنها برای تعداد محدودی از لغزش های موجود در طول خطوط لوله نفت و گاز یا بزرگراه ها صورت گرفته است. در مسیر بزرگراه قزوین- رشت نیز یک مورد مطالعاتی انجام پذیرفته که پس از مدت کوتاهی بعد از برداشت داده ها، حرکت نهایی لغزش رخ داده است. در مطالعه حاضر، بررسی های ژئوالکتریکی برای یکی از زمین لغزشهای مهم واقع در کیلومتر ۵۲+۲۰۰ این بزرگراه انجام می گیرد.

#### ۱-۴ اهداف پایان نامه

هدف اصلی در پروژه مطالعات ژئوالکتریکی زمین لغزش واقع در بزرگراه قزوین- رشت، ارزیابی سطح لغزش و آفرازهای جانبی آن و بطور کلی تعیین هندسه زمین لغزش با استفاده از داده های مقاومت ویژه و مدلسازی دو بعدی این داده ها و در نهایت تفسیر مقاطع ژئوالکتریکی حاصله می باشد. از اهداف دیگر این پروژه می توان از تعیین جنس سنگ کف، تعیین ضخامت واریزه ها و مشخص نمودن سطوح دارای پتانسیل لغزش را نام برد.

#### ۱-۵ روش انجام تحقیق

برای انجام مطالعات ژئوالکتریکی زمین لغزش مورد مطالعه، نخست اطلاعاتی از قبیل مطالعات زمین شناسی عمومی، ساختمانی، چینه شناسی، ژئومورفولوژی، نقشه های توپوگرافی و عکس های

<sup>1</sup> - Trantina

<sup>2</sup> - Takada

<sup>3</sup> - Moore

<sup>4</sup> - Brooke

<sup>5</sup> - Bogoslovsky & Ogilvy

<sup>6</sup> - Muller et al.

<sup>7</sup> - Mullerova, Muller & Hofrichterova

<sup>8</sup> - Alferd Frasher et al.

هوایی مربوط به توده لغزشی منطقه مورد مطالعه جمع آوری گردید. سپس برداشت داده های ژئوالکتریکی در محدوده زمین لغزش با استفاده از سونداژ زنی با آرایش شلومبرگر و پروفیل زنی بروش CRP<sup>1</sup> با ترکیب آرایشهای شلومبرگر، نیم شلومبرگر جلویی و نیم شلومبرگر عقبی انجام شده است.

از آنجائیکه تفسیر به روش دستی وقت گیر، مشکل و دارای خطا می باشد، در این پروژه، برای مدلسازی یک بعدی از نرم افزار ResixIP و برای مدلسازی دو بعدی از نرم افزار Res2Dinv استفاده شده است.

ابتدا جهت بدست آوردن اطلاعات کلی و کیفی از وضعیت زیر سطح زمین، تفسیر کیفی داده های حاصله انجام شده است و سپس بعد از اصلاحات لازم بر روی داده ها، برای معکوس سازی یک بعدی داده ها، داده ها وارد نرم افزار ResixIP شد، تا یک مدل یک بعدی از ساختار های زیر سطحی تهیه شود. بدلیل برداشت یک بعدی داده ها، داده های سونداژ واقع در هر پروفیل، برای معکوس سازی دو بعدی و تهیه مقاطع ژئوالکتریک وارد نرم افزار Res2Dinv شده تا وضعیت زمین شناسی زیر سطحی مورد بررسی قرار گیرد. در پایان با استفاده از کلیه اطلاعات، نتایج مدلسازی مورد ارزیابی قرار گرفتند و سطح لغزش و سطوح دارای پتانسیل لغزش با تقریب قابل قبولی بدست آمدند و با تعیین عمق آنها، نقشه توپوگرافی سطح لغزش تهیه و جهت تعیین دقیق مشخصات سطح لغزش، مکانهایی برای حفر گمانه های اکتشافی پیشنهاد شده است.

## ۱-۶ ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر، مشتمل بر پنج فصل بوده و در فصل اول، ابتدا تاریخچه ای از فجایع و حوادث ناشی از پدیده زمین لغزش که موجب تلفات جانی و خسارات مالی فراوانی شده است، ارائه می شود و در ادامه، شناسایی و تعیین و تخمین عمق سطح لغزش بروش ژئوفیزیکی را مورد ارزیابی قرار داده و سپس موقعیت جغرافیایی منطقه لغزشی که برای این پایان نامه در نظر گرفته شده است را بیان می کنیم. همچنین در این فصل، سوابق و مطالعات انجام شده و ضرورت انجام این تحقیق را مورد بررسی

<sup>1</sup> - Combined Resistivity Profiling

قرار داده و هدف اصلی تعیین شده برای انجام این پروژه ارائه و روش انجام پروژه مورد بحث قرار می گیرد. در فصل دوم، در مورد تعریف زمین لغزش و شناسایی زمین لغزش ها و مشخصات ژئومورفولوژیکی و علل و عوامل وقوع آنها و همچنین تثبیت و پایدارسازی آنها مطالبی ارائه می شود و نیز اطلاعات زمین لغزش منطقه مورد مطالعه در بزرگراه قزوین- رشت از جمله اطلاعات چینه شناسی، زمین شناسی ساختمانی، ژئومورفولوژی و لرزه خیزی منطقه ارائه می شود. در ابتدای فصل سوم، مقدمه ای در مورد روش مقاومت ویژه الکتریکی و اثرات توپوگرافی بر روی داده های مقاومت ویژه بیان می شوند و در ادامه، ضمن ارائه داده های مقاومت ویژه برداشت شده، این داده ها مورد بررسی و تفسیر کیفی قرار می گیرند. در فصل چهارم، ضمن بیان اساس تئوری مدلسازی معکوس، نرم افزار های مورد استفاده برای مدلسازی معکوس یک بعدی و دو بعدی داده های این پروژه معرفی می شوند و سپس تفسیر نتایج مدلسازی معکوس بیان می شوند. در فصل پایانی هم نتایج نهایی این مطالعه به همراه پیشنهادهایی ارائه می شوند.

## فصل دوم:

### زمین لغزش ها و اطلاعات زمین شناسی منطقه

#### ۱-۲ زمین لغزشها

زمین لغزش، پدیده ای است زمین شناسی، که در نتیجه حرکت و فروریزش توده ای از خاک و سنگ در شیب دامنه ها اتفاق می افتد. عامل حرکت توده مواد، نیروی جاذبه و دلیل حرکت، قرار گرفتن مواد در یک حالت ناپایدار است، بنابراین می توان گفت که زمانی زمین مستعد حرکت می شود که ناپایداری (بهر دلیل) در یک شیب بوجود آید و هنگامی رخ می دهد که تنش برشی ایجاد شده در محل بیش از مقاومت برشی درون خاک یا سنگ در آن ناحیه گردد. این پدیده با عوامل ذاتی مثل ترکیب مواد، بافت مواد، ساختار و جهت ناپیوستگی ها و شیب و شکل دامنه ها بستگی مستقیم دارد؛ بعلاوه عوامل محیطی مانند زلزله، رودخانه ها، بارندگی و آب، شرایط اقلیمی و دخالت های انسانی نیز از عوامل موثر و تشدید کننده زمین لغزش ها به شمار می آیند.

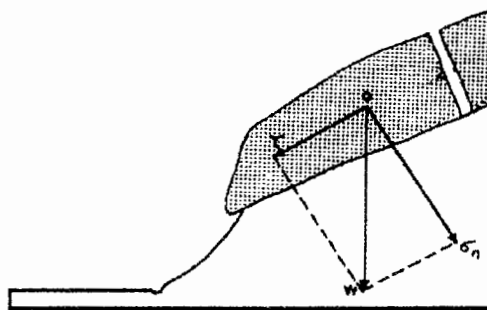
## ۲-۱-۱ حرکات دامنه ایی (زمین لغزش)

نیروی گرانش زمین همواره سبب اعمال یک نیروی رو به پایین به مواد می شود. در اثر اعمال این نیرو که نتیجه تجزیه نیروی وزن در روی دامنه می باشد (شکل ۲-۱)، مواد ناپایدار دامنه ها در جهت رسیدن به پایداری بر روی دامنه شروع به حرکت کرده و بر اساس عواملی مثل هندسه دامنه، نوع مواد، نوع حرکت و سرعت حرکت مواد، انواع حرکات دامنه ای را به وجود می آورند [۱۳].

زمین لغزش اصطلاحی است که در بر گیرنده کلیه انواع حرکات دامنه ای بوده و عموماً به کلیه رویدادهایی می گویند که در اثر ناپایداری در دامنه ها اتفاق افتاده و سبب جابجایی توده ای از مواد در طول دامنه می شود، این اصطلاح شامل کلیه فرایندهایی است که منجر به حرکت توده ای از مواد شامل سنگ، خاک، یا ترکیبی از آنها دامنه می شود، این فرایندها سبب حرکت مواد بصورت لغزش<sup>۱</sup>، واژگونی<sup>۲</sup>، جریان<sup>۳</sup>، ریزش<sup>۴</sup>، خزش<sup>۵</sup> و گسترش جانبی<sup>۶</sup> می شوند، گاهی این حرکات چنان سریع هستند که سرعت آنها به ده ها کیلومتر در ساعت می رسد و گاهی چنان آهسته هستند که جزء با گذشت زمان و از روی شواهد نشان دهنده حرکت، نمی توان به وجود حرکت پی برد.

### ۲-۱-۱-۱ لغزش

لغزش ها دسته ای از حرکات دامنه ای می باشند که مواد در امتداد یک سطح گسیختگی یا یک زون گسیختگی مشخص بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می کنند. بر اساس شکل سطح لغزش، لغزشها به دو دسته لغزشهای چرخشی و انتقالی (صفحه ای) تقسیم می شوند [۱۳].



شکل ۲-۱: تجزیه نیروی وزن بر روی دامنه [۱۳]

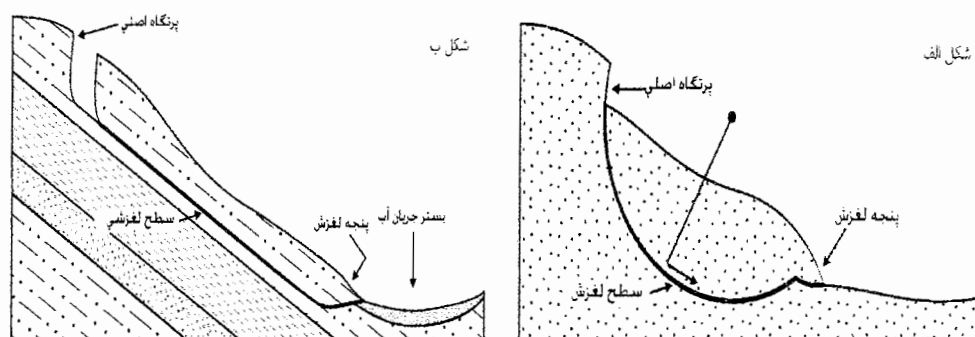
- <sup>۱</sup>- Slide
- <sup>۲</sup>- Topple
- <sup>۳</sup>- Flow
- <sup>۴</sup>- Fall
- <sup>۵</sup>- Creep
- <sup>۶</sup>- Lateral spread

**الف- لغزشهای چرخشی:** حرکت نسبتاً آرام مواد چسبنده خاکی، سنگی یا ترکیبی از مواد خاکی- سنگی در طول یک سطح لغزشی مشخصاً قوسی شکل را لغزش چرخشی می گویند. ویژگی بارز در اکثر لغزشهای چرخشی، سطح لغزشی نسبتاً دورانی و چرخشی آنهاست (شکل ۲-۲ الف). این لغزشها بر حسب مواد جابجا شده به لغزش های خاکی، سنگی و واریزه ای و بر اساس شکل و تعداد سطوح لغزشی به لغزشهای چرخشی ساده<sup>۱</sup>، مکرر<sup>۲</sup> (مکرب) و متوالی<sup>۳</sup> تقسیم می شوند [۱۳].

**ب- لغزشهای انتقالی:** حرکت آهسته تا نسبتاً سریع بلوکهای سنگی یا خاکی در طول سطوح گسیختگی مشخصاً صفحه ای شکل را لغزش انتقالی گویند (شکل ۲-۲ ب). وجود ناپیوستگیهای ساختاری مانند سطوح لایه بندی تقریباً موازی با سطح زمین از علل اصلی بروز این نوع لغزش است. این نوع لغزش انواع مختلفی دارد که از لغزش یک یا چند واحد سنگی در امتداد یک یا چند سطح مسطوی، سر خوردن یک قطعه کوچک یا ورقه ای از سنگ به روی دامنه، لغزش توده عظیمی از سنگ و لغزش گوه ای در امتداد فصل مشترک دو صفحه متقاطع نام برد [۱۳]. لغزشهای بلوکی<sup>۴</sup>، تخته ای<sup>۵</sup>، انتقالی چندگانه<sup>۶</sup> و گسیختگی های توسعه یافته<sup>۷</sup>، چهار نوع عمده این لغزشها هستند.

## ۲-۱-۱-۲ جریان

در جاهایی که مواد سازنده دامنه دارای ویژگی مکانیکی یک ماده خمیرسان (پلاستیک)، یا یک سیال غلیظ یا یک مایع رقیق هستند، حرکات دامنه می تواند بصورت جریان مواد باشد [۱۶]. جریانها



شکل ۲-۲: شکل سطح لغزش در لغزشهای (الف): چرخشی (ب): انتقالی

<sup>1</sup>- Slide or Slumps

<sup>2</sup>- Multiple

<sup>3</sup>- Successive

<sup>4</sup>- Block slides

<sup>5</sup>- Slab slides

<sup>6</sup>- Multiple translation slides

<sup>7</sup>- Spreading failure



ممکن است با سرعتهای متفاوت از حالت تند تا آهسته با محتوای رطوبت مختلف از حالت خشک تا اشباع تغییر کنند [29].

از انواع جریان ها می توان از جریان خاک<sup>۱</sup>، جریان گل (گلروانه)<sup>۲</sup>، جریان واریزه ای<sup>۳</sup>، بهمن واریزه ای<sup>۴</sup>، لغزش جریانی<sup>۵</sup>، روانگرایی خودبخودی<sup>۶</sup>، خاکسره<sup>۷</sup> (سولی فلوکسیون<sup>۸</sup>) نام برد. تفاوت بین جریان خاک، جریان گل (گلروانه) و جریان واریزه ای با بهمن های واریزه ای تفاوت در سرعت حرکت مواد است، سرعت حرکت جریان گل (گلروانه) از سرعت حرکت مربوط به جریان خاک بالاتر است. شکل ۲-۳ دو نوع جریان گل (گلروانه) و جریان واریزه ای را نشان می دهد.

### ۲-۱-۱-۳ ریزش

ریزش ها حرکات دامنه ای در دامنه های پر شیب هستند که یک توده منفصل از مواد، صرفنظر از اندازه خود از دامنه جدا شده و بصورت حرکت در هوا، غلتیدن یا جهش بر روی دامنه به سمت پایین دامنه حرکت می کند. ریزش بیشتر در دامنه های قائم یا نزدیک به قائم انجام می شود. سرعت حرکت ذرات ریزشی ممکن است زیاد تا بسیار زیاد، اندازه آنها متفاوت و جنس آنها سنگ یا خاک باشد و غالباً در طول سطوح لایه بندی، درزه ها و گسلها اتفاق می افتند.

شکل ۲-۳: (سمت راست) جریان گل (گلروانه) و (سمت چپ) جریان واریزه ای

<sup>۱</sup>- Soil flow

<sup>۲</sup>- Mud flow

<sup>۳</sup>- Debris flow

<sup>۴</sup>- Debris avalanche

<sup>۵</sup>- Flow slide

<sup>۶</sup>- Spontaneous liquefaction

<sup>۷</sup>- Solifluction

<sup>۸</sup> - حرکت توده های خاک سست و بسیار نمناک را روی دامنه گویند و بیشتر در زمین های یخ بسته نواحی شمالی زمین رخ میدهد.

## ۲-۱-۱-۴ واژگونی

واژگونی هنگامی اتفاق می افتد که یک گسیختگی کششی ناشی از گوه یخی، گیاهی یا سایر عوامل ناپایداری، سبب چرخش مواد حول یک نقطه شود [29].

در اثر چرخش مواد، امتداد نیروی ثقل جسم از سطح مقطع آن خارج شده و سبب واژگونی جسم می شود. در صورتی که شیب دامنه مناسب باشد قطعات سنگ پس از واژگونی و چرخیدن ممکن است حرکت خود را بصورت ریزش یا لغزش بر روی دامنه ادامه دهند. واژگونی عمدتاً در بلوکهای سنگی اتفاق می افتد و به ندرت در خاکهای دارای چسبندگی و واریزه دیده می شود.

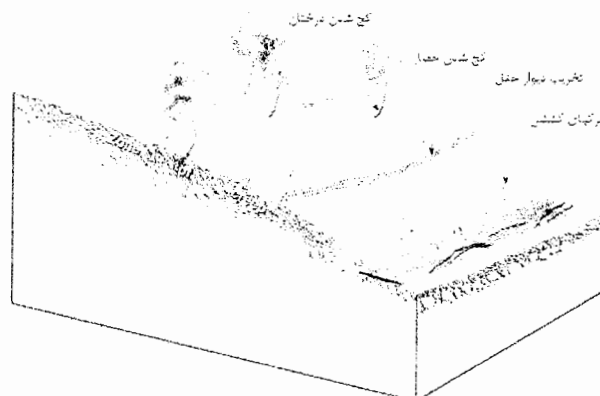
دو نوع واژگونی در موادمسنگی، قابل تشخیص می باشد: واژگونی در بلوکهای سنگی درزه دار و واژگونی ایجاد شده در نتیجه شکستگیهای کششی حاصل از زیر شویی.

## ۲-۱-۱-۵ خزش

به حرکتهای تابع زمان غالباً محدود به لایه های سطحی در همه دامنه های پر شیب را خزش می نامند. به هنگام گسیختگی، سرعت حرکت هم افزایش می یابد. حرکت های ایجاد شده بوسیله خزش سطحی، کمتر از چند میلیمتر در سال هستند، اما می توانند باعث کج شدن درختان، حصارها، جاده ها و خم شدن تدریجی سطوح لایه بندی سنگ و خاک شوند (شکل ۲-۴).

## ۲-۱-۱-۶ گسترش جانبی

در این نوع حرکت، یک لایه ضعیف در زیر لایه های مقاوم سطحی قرار گرفته و با حرکت به سمت بیرون، مواد روی خود را حمل و سبب ایجاد ترکهای کششی در مواد رویی می شود. جهت حرکت غالب در گسترش جانبی تقریباً افقی می باشد (شکل ۲-۵) [29].



شکل ۲-۴: حرکت خزشی و کج شدن درختان، حصارها و جاده ها



شکل ۲-۵: چگونگی حرکت مواد در گسترش جانبی

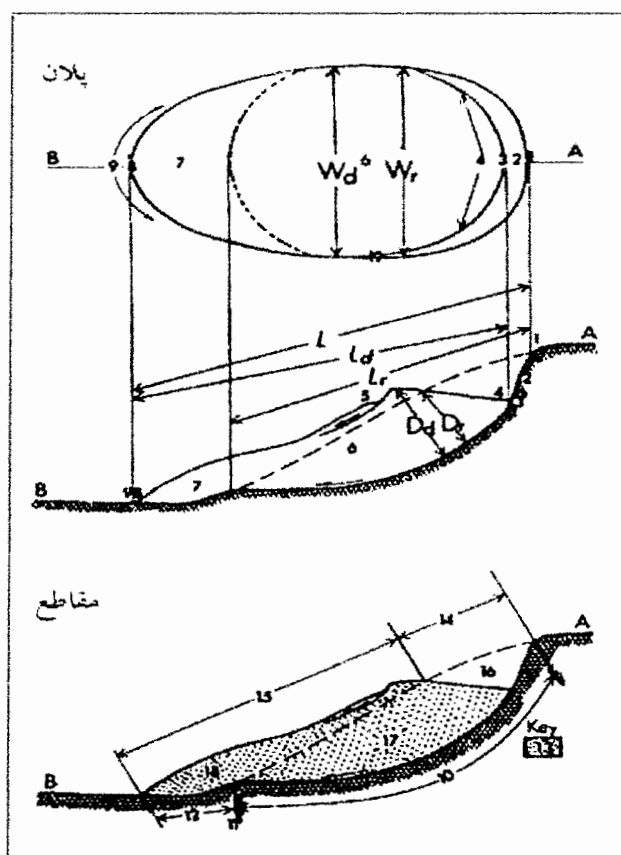
## ۲-۱-۲ شناسایی لغزشهای قدیمی

- در شناسایی لغزشهای قدیمی، شواهد زیر به شناسایی لغزشها کمک خواهند کرد [۴]:
- الف- مورفولوژی توده: در لغزشهای بزرگ شواهدی مثل پرتگاههای لغزشی، می تواند تا مدت زمان طولانی قابل تشخیص باشد.
- ب- ناهمگنی پوشش گیاهی: وقوع لغزش در نواحی جنگلی، منجر به از بین رفتن پوشش گیاهی خواهد شد، درختان جدیدی که بعداً در این ناحیه رشد خواهند نمود، از نظر سن و در نتیجه ارتفاع و قطر تنه درخت و بعضاً از نظر نوع با مناطق مجاور فرق خواهد داشت.
- ج- تغییر در مسیر رودخانه ها: زمین لغزشهای بزرگ حاشیه رودخانه ها منجر به انحراف رودخانه بطرف دیگر دره میشود و این خمشها و بقیه شواهد، به شناسایی لغزشها کمک می کند.
- د- وجود ماندآب، مرداب و رودخانه های موازی با رودخانه اصلی: این شواهد در لغزشهای بزرگ نوع چرخشی مشاهده می شود.
- ه- اثرات مربوط به بسته شدن مسیر رودخانه و سد های لغزشی: لغزشهای بزرگ در دره های باریک بعضاً منجر به مسدود شدن مسیر رودخانه و تشکیل سد زمین لغزه ای خواهد شد. بعداً سدها شکسته شده ولی آثار آنها از قبیل تراسهای آبرفتی با ضخامت زیاد باقی می ماند.
- و- چینه شناسی توده لغزش: توده لغزشی مخلوطی از خاک و سنگ با قطعات زاویه دار به ابعاد ماسه تا تخته سنگ می باشد. بعضاً در لابلاهای این نهشته ها آثار مواد آلی که مربوط به دفن شدن گیاهان می باشد و همچنین آثار تمدن انسانی نیز یافت میگردد. چینه شناسی فوق متمایز از نهشته های واریزه ای، آبرفتی و غیره می باشد و بعنوان یک شاهد قابل استفاده می باشد.
- ز- عکس های هوایی: در عکس های هوایی، محل وقوع زمین لغزش از مناطق اطراف آن بصورت تیره تر مشاهده می شود و می توان محدوده آن را مشخص کرد.

## ۳-۱-۲ مشخصات ژئومورفولوژیکی زمین لغزش

یک زمین لغزش دارای مشخصات ژئومورفولوژیکی یا زمین ریخت شناسی ویژه ای است که در بازدیدهای صحرایی و یا بر روی عکسهای هوایی قابل مشاهده است. این مشخصات ممکن است تماماً در رانش انجام شده قابل روئت باشد، ولی در بعضی موارد پهلوهایی یک زمین لغزش می تواند به وضوح دیده نشود و یا اینکه در زیر پوشش گیاهی مانده باشد [۸].

انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی<sup>۱</sup> وابسته به سازمان یونسکو<sup>۲</sup> در راستای طرح تهیه بانک اطلاعات زمین لغزش ها، در سال ۱۹۹۰ در قالب انتشار مقاله ای اقدام به انتشار فهرست اصطلاحات پیشنهادی برای توصیف یک زمین لغزش شاخص<sup>۳</sup> نمود. این اصطلاحات کاربردی به معرفی ابعاد و اجزاء مختلف یک زمین لغزش می پردازد (شکل ۲-۶) [23].



شکل ۲-۶: نمایی از اجزا و ابعاد لغزش [23]

<sup>۱</sup>- IAEG

<sup>۲</sup>- UNESCO

<sup>۳</sup>- Typical landslide

## ۲-۱-۳-۱ اجزاء مختلف یک زمین لغزش

- تاج<sup>۱</sup>: مواد جابجا نشده زمین لغزش، در مجاورت بالاترین بخش پرتگاه اصلی لغزش را گویند.
- پرتگاه<sup>۲</sup> (افراز) اصلی<sup>۳</sup>: سطحی با شیب تند، واقع در لبه بالایی لغزش که در اثر جدایش قطعه جابجا شده از زمین، حاصل می شود. پرتگاه گسلی بخش قابل مشاهده سطح گسیختگی است.
- قله<sup>۴</sup>: بالاترین نقطه تماس بین توده جابجا شده و پرتگاه اصلی لغزش است.
- سر (راس)<sup>۵</sup>: بالاترین سطح مواد جابجا شده، در طول سطح تماس بین توده جابجا شده و پرتگاه اصلی لغزش می باشد.
- پنجه<sup>۶</sup>: انحناى لبه توده جابجا شده مواد، در پایین ترین سطح را، پنجه زمین لغزش نامند.
- پرتگاه های (افراز های) فرعی<sup>۷</sup>: سطوحی با شیب تند در توده جابجا شده که در اثر وقوع لغزش های محلی، در داخل زمین لغزش اصلی بوجود می آیند.
- پای لغزش<sup>۸</sup>: آن بخش از زمین لغزش است که از محدوده پنجه سطح گسیختگی فراتر رفته و سطح اولیه زمین و سطوح خارج از عملکرد زمین لغزش را می پوشانند.
- سطح گسیختگی<sup>۹</sup>: سطحی در زیر توده که حرکت توده مواد در راستای آن انجام می شود.
- نوک لغزش<sup>۱۰</sup>: به دورترین و جلوترین نقطه مواد جابجا شده از قله لغزش، گفته می شود.
- سطح جدایش<sup>۱۱</sup>: بخشی از سطح کنونی زمین که توسط پای لغزش پوشیده شده است.
- پهنه سطح لغزش<sup>۱۲</sup>: محل تلاقی پایینترین سطح صفحه گسیختگی با سطح اولیه زمین است.
- توده جابجا شده<sup>۱۳</sup>: توده ای از مواد تشکیل دهنده زمین که در اثر لغزش از جای اصلی خود در دامنه جابجا شده اند.

<sup>1</sup>- Crown

<sup>2</sup>- Scarp

<sup>3</sup>- Main scarp

<sup>4</sup>- Top

<sup>5</sup>- Head

<sup>6</sup>- Toe

<sup>7</sup>- Minor scarp

<sup>8</sup>- Foot

<sup>9</sup>- Surface of rupture

<sup>10</sup>- Tip

<sup>11</sup>- Surface of separation

<sup>12</sup>- Toe of surface of rupture

<sup>13</sup>- Displaced material

- پهنه تهی شدگی<sup>۱</sup>: پهنه ای از لغزش در توده جابجا شده که قبل از رخداد زمین لغزش، در زیر سطح اولیه زمین واقع بوده است.
- پهنه تجمع<sup>۲</sup>: پهنه ای از لغزش که قبل از وقوع، در بالای سطح اولیه زمین قرار داشته است.
- تهی شدگی<sup>۳</sup>: حجمی که توسط پرتگاه اصلی لغزش، توده جابجا شده و سطح اولیه زمین محدود می شود.
- توده تهی شده<sup>۴</sup>: حجمی از مواد جابجا شده که سطح گسیختگی را می پوشاند و زیر سطح اولیه زمین بوده است.
- تجمع مواد جابجا شده<sup>۵</sup>: حجمی از مواد جابجا شده که بالای سطح اولیه تجمع می یابد.
- پهلوهی لغزش (جناحین)<sup>۶</sup>: مواد جابجا نشده مجاور پهلوهی سطح گسیختگی که در صورت نگاه از تاج لغزش به سمت جلو، با پهلو (جناح) راست و پهلو (جناح) چپ معرفی می شوند و در غیر این صورت توسط قطب نما با استفاده از جهات جغرافیایی معرفی می شوند [23].
- شکلهای مربوط به اجزاء مختلف یک زمین لغزش در پیوست الف-۱ ارائه شده است.

## ۲-۳-۱-۲ ابعاد زمین لغزش

- طول صفحه گسیختگی<sup>۷</sup>  $L_r$ : مسافت بین پنجه صفحه گسیختگی تا تاج لغزش را گویند.
- طول توده جابجا شده<sup>۸</sup>  $L_d$ : فاصله بین قله تا نوک لغزش را نامند.
- طول کلی لغزش<sup>۹</sup>  $L$ : فاصله بین تاج لغزش تا نوک لغزش می باشد.
- پهنای صفحه گسیختگی<sup>۱۰</sup>  $W_r$ : بیشینه پهنای پهلوهی لغزش که بر  $L_r$  عمود باشد.
- پهنای توده جابجا شده<sup>۱۱</sup>  $W_d$ : بیشینه پهنای توده جابجا شده که بر  $L_d$  عمود باشد.
- عمق صفحه گسیختگی<sup>۱۲</sup>  $D_r$ : بیشینه عمق گسیختگی که بر سطح اولیه زمین عمود است.

<sup>۱</sup>- Zone of depletion

<sup>۲</sup>- Zone of accumulation

<sup>۳</sup>- Depletion

<sup>۴</sup>- Depleted mass

<sup>۵</sup>- Accumulation

<sup>۶</sup>- Flanks

<sup>۷</sup>- The length of the rupture surface

<sup>۸</sup>- Length of the displaced mass

<sup>۹</sup>- Total length

<sup>۱۰</sup>- Width of the rupture surface

<sup>۱۱</sup>- Width of the displaced mass

<sup>۱۲</sup>-The depth of the rupture surface

- عمق توده جابجا شده<sup>1</sup> Dd: بیشینه عمق توده جابجاشده که به سطح توده عمود است [23].  
شکلهای مربوط به ابعاد زمین لغزش در پیوست الف-۱ ارائه شده است.

## ۲-۱-۴ علل و عوامل وقوع زمین لغزش ها

علل و عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش ها عبارتند از:

- ۱- بارش باران و برف: بارش باران به صورت مداوم و طولانی یا کوتاه مدت و شدید، مهمترین عامل اقلیمی ایجادکننده زمین لغزشهاست. از اثرات رطوبت در خاک می توان از افزایش وزن توده، افزایش فشار آب منفذی و کاهش مقاومت زمین بویژه در مصالح رسی نام برد. بارندگی بصورت باران یا برف ضمن نفوذ در داخل توده های سنگ و خاک، موجب افزایش وزن توده مستعد لغزش می شود.
- ۲- جنس سنگ و ساختمان های زمین شناسی: ساختمان های زمین شناسی مانند چین خوردگی ها و گسل ها نقش مهمی در ناپایداری دامنه ها دارند. وجود آنها علاوه بر اینکه موجب کاهش مقاومت سنگها می شود، به تجمع آب در توده سنگ نیز منجر می شود و تجمع آب در توده سنگی، سبب افزایش فشار آب و افزایش وزن توده شده و زمینه بروز زمین لغزش را فراهم می کند.
- ۳- توپوگرافی: رانش زمین معمولاً در شیبهای تند بوقوع می پیوندد ولی با توجه به دیگر عوامل ممکن است مقدار شیب بحرانی از منطقه ای به منطقه دیگر متفاوت باشد. مهمترین عامل در حرکت یک ذره بر روی یک سطح شیب دار نیروی گرانش است. نقش این نیرو زمانی آشکار می گردد که مؤلفه وزن به دو مؤلفه تجزیه گردد. وظیفه مؤلفه عمودی، نگاه داشتن جسم روی سطح شیب دار و عملکرد مؤلفه مماسی، بر هم زدن تعادل و حرکت آن به سمت پایین است (شکل ۲-۱). بر اثر افزایش شیب و ارتفاع، نیروهای رانشی افزایش می یابند. این نیروها ممکن است حاصل عواملی مانند افزایش ارتفاع بر اثر خاکریزی، کاهش ارتفاع بر اثر خاکبرداری، فرسایش یا قرار دادن سکو در پای دامنه، تغییر شیب و ارتفاع بر اثر نیروهای زمینساختی باشند.
- ۴- فعالیتهایی که منجر به از بین رفتن تکیه گاه جانبی و زیرین می شوند: این فعالیتهای عبارتند از:  
الف- ترانشه ها، گودال ها، معادن، کانالها و ...

<sup>1</sup> - Depth of the displaced mass

- ب- ایجاد دریاچه های مصنوعی، مخازن، و نوسانات سطح آب در آنها
- ج- برداشت بی رویه از مصالح رودخانه ای و بر هم زدن بستر و تعادل جریان آب رودخانه.
- ۵- آب و هوا: شرایط آب و هوایی تعیین کننده نوع، شدت و عمق هوازگی می باشد. بعد از نیروی گرانش، آب مهمترین پارامتر مؤثر و موتور حرکت در لغزشها می باشد. افزایش رطوبت از طرفی سبب نرم کنندگی توده و کاهش مقاومت آن و از طرف دیگر موجب افزایش وزن توده و فشار آب منفذی می گردد و نهایت نقش مهمی در برهم زدن توازن نیروها و گسیختگی شیب بازی می کند.
- ۶- پوشش گیاهی: اثر گیاهان در پایداری شیب، بسته به شرایط محلی عمق خاک، دامنه و نوع گیاهان دارد. پوشش گیاهی بعضی مواقع عامل پایداری و در شرایطی محرک ناپایداری می باشد. البته اثر گیاهان تنها در لغزشهای کم عمق تأثیر دارد و در لغزش های عمیق نقش مهمی ندارند.
- ۷- زلزله و لرزش: زمین لغزش ها می توانند بوسیله زلزله یا لرزش ناشی از شمع کوبی یا انفجار ایجاد شوند. در ایران و بسیاری از نقاط دیگر جهان، فاجعه آمیزترین و دلخراش ترین زمین لغزشها با زلزله های شدید تحریک و آغاز می شوند. زمین لغزش های تحریک شده توسط زلزله، علاوه بر ایجاد تلفات و خسارات مستقیم، از طریق وارد ساختن خسارت به جریان های حیاتی به ویژه راه های ارتباطی و خطوط برق و ایجاد تاخیر در امداد رسانی می توانند تلفات و خسارات ناشی از زلزله را نیز شدیداً افزایش دهند. وقوع یک زلزله شدید نه تنها زمین لغزش های زیادی را بطور همزمان تحریک می کند بلکه تا سال ها بعد اثر خود را بصورت افزایش تعداد زمین لغزش ها در منطقه بر جای میگذارد.
- ۸- تغییر کاربری زمین: از عواملی است که می تواند در جهت ناپایداری شیب مؤثر واقع شود. تاثیرات آن با گذشت زمان آشکار می شود و گاهی در مدت زمان کوتاهی باعث افزایش تنشهای برشی و ناپایداری شیب می شود [۱۵]. مهمترین موارد تغییر کاربری زمین و تشدید کننده ناپایداری شیبهای طبیعی عبارتند از: تبدیل زمینها و نواحی شیبدار جنگلی به زمین های کشاورزی و مرتعی، جاده ها و بزرگراه ها، مناطق مسکونی و صنعتی و تغییر نوع کشت.
- ۹- درجه حرارت و تغییرات آن: این عامل به سه صورت ممکن است مؤثر باشد:
- الف- یخبندان و ذوب بهاری، باعث خزشهای سطحی در پوشش خاکی زمین شیبدار می شود.



ب- عمل گوه ای یخبندان در داخل توده سنگ ها در مناطق بسیار سرد کوهستانی، که موجب سقوط سنگها می شود.

ج- وجود نهشته های خاکسره (لغزش های سطحی یخ آبی)، اثرات هوازدهی ناشی از عواملی مثل بارش و تغییرات دما به شکل هوازدهی و خردشدگی سنگها و ایجاد پوشش خاکی به ضخامتهای مختلف می باشند. این اثرات در مناطق گرم و مرطوب بیشتر و در مناطق خشک کمتر است.

۱۰- آبهای زیر زمینی: از مهمترین عوامل تسریع کننده حرکات دامنه هاست. افزایش آب به معنی افزایش وزن دامنه یا چگالی ظاهری آن است که خود می تواند نقشی منفی در پایداری داشته باشد. آب زیرزمینی نیروهای مقاوم را در طول سطح لغزشی کاهش داده و نیروهای رانشی را در درزه ها و شکاف ها افزایش می دهد [۵]. زمان آبگیری سدها سطح آب زیرزمینی در سواحل افزایش می یابد و باعث کاهش مقاومت مصالح مانند رس، شیل، میکا شایست در اثر بالا رفتن سطح آب زیر زمینی می شود و نیز هنگام تخلیه مخازن سدها که طی آن آب دریاچه به سرعت پائین می رود امکان وقوع زمین لغزش در سواحل دریاچه ها افزایش می یابد [۶].

۱۱- فعالیت هایی که منجر به افزایش روباره<sup>۱</sup> می شوند: از این فعالیت ها می توان از خاکریزها، انباشت زباله و مواد معدنی و سنگ یا مواد باطله حاصل از گودبرداری، ساختمان سازی و ...، وزن آب ناشی از نشت لوله های آب و فاضلاب، کانالها و مخازن آب، کشاورزی و آبیاری در دامنه ها نام برد.

۱۲- هوازدهی: هوازدهی بویژه هوازدهی شیمیایی و عمقی نقشی بارز و شاخص در فراهم آوردن شرایط لازم جهت گسیختگی شیب دارد. شدت هوازدهی تابعی از نوع و ترکیب سنگ شناسی و کانی شناسی، شدت خردشدگی و درزه و شکاف، حضور آب، PH آب و عوامل دیگر است [۵].

۱۳- حرکات تکتونیکی: حرکات تکتونیکی در پوسته زمین، می توانند باعث افزایش زاویه شیب شده و در دراز مدت به ایجاد زمین لغزش ها کمک می کنند. حرکات تکتونیکی با ایجاد درزه و شکاف های متعدد و خردشدگی در سنگها می توانند شرایط را برای هوازدهی و در نتیجه لغزش توده مهیا نمایند. علاوه بر این، زلزله های تکتونیکی یکی از مهمترین عوامل محرک زمین لغزش ها هستند [۵]. زمین لغزش واقع در بزرگراه قزوین- رشت، بر اثر حفاریهایی که در حاشیه مسیر آزاد راه انجام شده، احتمالاً موجب رانش شده و شیب تند دامنه و بارندگی نیز دلایل دیگری بر وقوع آن بوده است.

<sup>۱</sup> - Overburden

## ۲-۱-۵ طبقه بندی زمین لغزش ها

حرکت شیب تحت تاثیر عوامل متعدد سنگ شناسی، زمین ساخت، هیدرولوژی، توپوگرافی، آب و هوا، پوشش گیاهی، لرزه خیزی و فرسایش قرار می گیرد؛ پس دور از انتظار نیست که زمین لغزش ها بسیار متفاوت از یکدیگر باشند. کار طبقه بندی زمین لغزش ها با ارائه یک طبقه بندی بسیار کارا، عملی و جامع توسط وارنز<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۸م. به انجام رسید. این طبقه بندی که در سال ۱۹۷۸م اصلاح و تکمیل گردید، اساس طبقه بندی های دیگران در زمان های بعدی قرار گرفت.

### ۲-۱-۵-۱ طبقه بندی بر مبنای نوع حرکت و مواد جابجا شده

وارنز در سال ۱۹۷۸ بر اساس ویژگیهای اصلی زمینلغزش، یعنی نوع حرکت و نوع مواد جابجا شده، نوعی از طبقه بندی را ارائه داد که بعنوان ساده ترین و رایج ترین طبقه بندی بکار می رود (جدول ۱-۲). از ویژگیهای اصلی این طبقه بندی استفاده از مشخصه هایی است که پس از رویداد زمین لغزش نیز حفظ شده و با گذشت زمان کمتر دستخوش تغییر می شوند و از این ویژگی آن، می توان برای دسته بندی زمین لغزشهای قدیمی نیز استفاده کرد. همچنین استفاده از نوع حرکت برای طبقه بندی، از ویژگیهای دیگر این طبقه بندی است که باعث می شود مکانیسم تغییر شکل به عنوان عامل مهمی در ارزیابی پایداری دامنه ها، در این طبقه بندی موثر باشد [29]. در این طبقه بندی حرکات دامنه ای بر حسب شکل و سرعت حرکت مواد به ۵ دسته سقوط، واژگونی، لغزش، گسترش جانبی و روانه تقسیم شده اند. در طبقه بندی وارنز مواد درگیر در حرکت به دو دسته سنگ بستر و خاکهای مهندسی تقسیم می شوند. این مواد بنا به تعریف انجمن بین المللی زمین شناسی مهندسی (IAEG) مطابق جدول (۲-۲) تقسیم بندی شده اند. طبق این تعریف، خاکهای مهندسی به دو دسته واریزه و خاک تقسیم می شوند که خاک عبارت است از مواد ریز دانه ای که حداقل ۵۰ درصد ذرات آن در اندازه ماسه، سیلت یا رس باشد.

### ۲-۱-۵-۲ طبقه بندی بر مبنای سرعت لغزش

وقوع زمین لغزش ها ممکن است در ناحیه ای با سرعت خیلی زیاد انجام شود و ظرف کمتر از چند ثانیه مقادیر قابل توجهی از خاک و سنگ تغییر مکان پیدا کنند. همچنین رانش زمین می تواند

<sup>۱</sup>- D.J Varnes

جدول ۲-۱: تقسیم بندی زمین لغزش ها بر مبنای طبقه بندی وارنر (۱۹۷۸)

| نوع مصالح                     |                               |                               | نوع حرکت |                                   |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------------------|
| سنگ بستر                      | خاک های مهندسی                |                               | سقوط     | وارگونی                           |
|                               | عمقنا دانه درشت               | عمقنا دانه ریز                |          |                                   |
| سقوط سنگ (Block fall)         | سقوط وریزه (Heave fall)       | سقوط خاک (Barber fall)        | (Falls)  | (Topples)                         |
| وارگونی سنگ (Block topple)    | وارگونی وریزه (Debris topple) | وارگونی خاک (Earth topple)    | دورانی   | نعلین ها (Slides)                 |
| خوش توان در سنگ (Rock slump)  | خوش توان وریزه (Debris slump) | خوش توان در خاک (Earth slump) | نعلین    | گسترش های جانبی (Lateral spreads) |
| خوش توان در سنگ (Rock slide)  | خوش توان وریزه (Debris slide) | خوش توان در خاک (Earth slide) | نعلین    | روانه ها (Flows)                  |
| خوش توان در سنگ (Rock creep)  | خوش توان وریزه (Debris creep) | خوش توان در خاک (Earth creep) | خوش توان | زمین لغزش های پیچیده              |
| مجموع دو یا چند نوع عمده حرکت |                               |                               |          |                                   |

جدول ۲-۲: تقسیم بندی انواع مواد جایجا شده در یک زمین لغزش [23]

| نوع مواد جایجا شده | سنگ بستر   | وارمزه: خاکهای دانه درشت                                                         |
|--------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                    | خاک مهندسی | خاک: حداقل پنجاه درصد ذرات تشکیل دهنده شامل ماسه سیلت و ذرات در اندازه رسی هستند |

بسیار کند و بصورت چند میلی متر در سال انجام شود. به این ترتیب امکان رده بندی زمین لغزشها با توجه به اندازه گیری سرعت آنها امکان پذیر می باشد.

## ۲-۱-۳ طبقه بندی بر مبنای میزان فعالیت

زمین لغزش ها بر اساس میزان فعالیت چهار دسته هستند:

- ۱- زمین لغزشهایی با فعالیت زیاد<sup>۱</sup>: بر روی این نوع زمین لغزش، ترکهای کششی دیده می شود ، درختان واقع بر روی آن از حالت قائم خارج شده و دیواره ها و چوب بسترهای روی دامنه از امتداد اولیه کاملاً انحراف پیدا کرده اند. افراز در راس زمین لغزش فعال، عاری از هر گونه رویش است.
- ۲- زمین لغزشهایی با فعالیت آرام: که بصورت خزش<sup>۲</sup> عمل کرده و حرکت بسیار کند می دارند. میزان حرکت آنها ممکن است چند میلیمتر در سال باشد و شکافهای موجود با مواد آواری پر شده اند.
- ۳- زمین لغزشهای خاموش<sup>۳</sup>: شناخت این نوع زمین لغزش مشکل است. این نوع زمین لغزش ها

<sup>۱</sup> - Active slide

<sup>۲</sup> - Creep

<sup>۳</sup> - Dormant slide

## ۲-۱-۵-۶ طبقه بندی بر مبنای سن

بر اساس تقسیم بندی دوران های زمین شناسی از نظر سنی به سازند های دورانه های اول، دوم و سوم زمین شناسی سنگ و رسوبات دوران چهارم آبرفت اطلاق می شود. بر این اساس نیز می توان زمین لغزشها را در دو گروه قرار داد. گروه اول زمین لغزشهای ایجاد شده در آبرفت ها که از نظر سنی به دوران چهارم تعلق دارد و گروه دوم زمین لغزشهای ایجاد شده در توده های سنگی که به دوران قدیم تر وابسته اند و معمولاً خیلی سریعتر از گروه اول اتفاق می افتند.

## ۲-۱-۶ تثبیت و پایدارسازی زمین لغزش ها

### ۲-۱-۶-۱ رفتار پوشش گیاهی در پایداری دامنه ها

آنچه امروزه در مورد نقش مؤثر این فاکتور در پایداری دامنه ها به اثبات رسیده، افزایش فوق العاده تعداد زمین لغزش های عمیق و کم عمق، پس از گذشت دوره ای چند ساله از قطع پوشش درختی است.

### ۲-۱-۶-۲ روشهای تثبیت و پایدارسازی زمین لغزش ها

آخرین مرحله از مراحل مطالعاتی زمین لغزشها، ارائه روش مناسب پایدار سازی توده لغزنده می باشد. در اجرای طرح های کنترل و تثبیت حرکت های توده ای لازم است تا قبل از اتخاذ تدابیر خاص، بررسی ها و مطالعات پیرامون علل لغزش انجام گرفته و علل زمینه ساز و حرکت را اولویت بندی شوند، آنگاه براساس ماهیت علل، روش پایدارسازی مناسبی پیش بینی و طراحی گردند.

تعیین و پیشنهاد روش یا روشهای مناسب جهت تثبیت و پایدارسازی شیب، تا حد زیادی بستگی به نتایج حاصل از مطالعات، بنیه مالی و اقتصادی و اهداف پروژه دارد. با توجه به هزینه های زیاد مطالعه و تثبیت شیب های ناپایدار، استفاده از این شیوه ها، جز در موارد بسیار ضروری، حیاتی و حساس توصیه نمی شود و در این مورد دوری از حریم خطر بهینه تر است.

روشهای معمول برای پایدار سازی شیب ها عبارتند از: زهکشی<sup>۱</sup> دامنه گسیخته شده (زهکشی آبهای سطحی، زهکشی آبهای داخل دامنه)، تغییر هندسه شیب و تغییر شکل دامنه (به روشهای

<sup>۱</sup>- Drainage

کاهش ارتفاع، کاهش شیب دامنه، ایجاد سکو، نیم تونل، لق گیری)، دیوار حائل، توری سیمی<sup>۱</sup> و میل مهار<sup>۲</sup>، افزایش سختی خاک<sup>۳</sup> (بتن پاشی<sup>۴</sup>)، کاشتن درختان و افزایش پوشش جنگلی، استفاده از شمع<sup>۵</sup>، دیواره های بتنی<sup>۶</sup> ضربه گیر<sup>۷</sup>، ژئوتکستایل<sup>۸</sup>، پایین بردن سطح آب زیرزمینی، انجماد<sup>۹</sup>، استفاده از تکنیکهای تراکم خاک<sup>۱۰</sup>، روش زهکشی بوسیله الکترواسمز<sup>۱۱</sup> و الکتروشیمیایی، تغییر ترکیب شیمیایی خاک [۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۱۷].

## ۲-۲ اطلاعات زمین شناسی منطقه لغزشی در بزرگراه قزوین - رشت [۱۱]

محدوده مورد مطالعه در مسیر بزرگراه قزوین - رشت و زمین لغزش واقع در آن، از نظر تقسیمات زمین ساختاری در ناحیه البرز غربی قرار گرفته است. این ناحیه، از شمال به گسل البرز، از جنوب بطور تدریجی به ناحیه ایران مرکزی و از شرق به گسل عطاری محدود می شود. عکسهای از لغزش مورد مطالعه در پیوست الف-۲ ارائه شده است.

### ۲-۲-۱ چینه شناسی منطقه

مطابق بررسی های انجام گرفته و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، محدوده زمین لغزش در دهانه خروجی تونل دوقلو را عوارض ناهموار و کوهستانی متعلق به سازند کرج در میان گرفته اند. این سازند با گسترش وسیع، نشانگر تکاپوهای انفجاری شدید آتشفشانهای زیر دریایی در زمان ائوسن است که تا ۳۰۰۰ متر ضخامت دارد.

سازند کرج شامل توالی به نسبت ستبری از توف های سبزرنگ، سنگهای رسوبی و گدازه های آتشفشانی نظیر گدازه، دایک، سیل، آگلومرا و ... می باشد.

<sup>1</sup>- Wire mesh

<sup>2</sup>- Rock bolt

<sup>3</sup>- Hardening of soils

<sup>4</sup>- Shotcrete

<sup>5</sup>- Pile

<sup>6</sup>- Concrete wall

<sup>7</sup>- Shock absorber

<sup>8</sup>- Geotextile

<sup>9</sup>- Freezing

<sup>10</sup>- Compaction techniques

<sup>11</sup>- Electro-osmosis

سازند کرج در مناطق مختلف، ترکیب سنگ شناسی همگنی ندارد، بعنوان مثال در دره کرج دارای ۵ بخش، ولی در کوههای طارم (شمال شرق زنجان) ۲ بخش می باشد.

آثار گیاهان تک لپه ای قاره ای (در توف بالایی) و روزنه دار پلانکتون نواحی ژرف، سنگواره های گذارش شده از سازند کرج هستند که بطور عمده به زمان ائوسن میانی تعلق دارند.

از ناهمگونی سنگواره ها و حفظ شدگی ضعیف آنها چنین بر می آید که شاید فسیلها درجا نباشند، ولی جایگاه چینه شناسی سازند کرج، سن ائوسن میانی آن را تأیید می کند.

تنوع سنگواره ها، بویژه ساخت های رسوبی، تفسیر محیط رسوبی سازند کرج را دشوار ساخته است. ضخامت و گسترش زیاد این رسوبات نشان دهنده تداوم فعالیت آتشفشان های زیر دریایی است که بطور متناوب مراحل آرامش نیز وجود داشته است.

نکته قابل توجه دیگر، تغییرات در عمق و شرایط رسوبگذاری در سازند کرج می باشد. ساخت های رسوبی موجود در نهشته های آذرآواری، نظیر لایه بندی، لایه بندی تدریجی، ریز لایه بندی خمیده، قالب شیاری و لغزش های گرانشی، نه تنها گویای رسوبگذاری محیط دریایی است، بلکه حاکی از جریانهای آشفته در محیط رسوبی است.

سازند کرج منحصر به توف و نهشته های رسوبی نیست، بلکه در میان نهشته های سبز سازند کرج، بخش های گدازه ای زیردریایی وجود دارد که بطور عمده بصورت فورانهای انفجاری به شکل نهشته های هیالوکلاستیک همراه با دایک های تغذیه کننده نمایان هستند.

از نظر گسترش جغرافیایی، اگرچه سازند توفی کرج یادآور فورانهای ائوسن میانی البرز جنوبی است، ولی باید گفت که جدا از البرز جنوبی، این سازند با ویژگیهای سنگی مشابه، در کوههای سلطانیه زنجان، تکاب، غرب قم، تفرش، آران و پاره ای از نقاط ایران مرکزی گسترش قابل توجه دارد و لذا فورانهای انفجاری ائوسن میانی پدیده های گسترده تر از البرز جنوبی است که بصورت خاکستر و در برخی نقاط بصورت آگلومرا تا ۱۵۰۰ متر ضخامت دارد.

بر پایه نقشه های زمین شناسی و رخنمون سنگی، واحدهای چینه ای منطقه عبارتند از:

الف- واحد ( $E_6^V$ ): واحد ( $E_6^{I^*}$ ) شامل گدازه های اولیوین بازالتی، تراکی بازالتی، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت و آندزیت کوارتزار با میان لایه هایی از توف تیره و تیره متمایل به قهوه ای است. معمولاً سرشت این سنگها از پائین به بالا از بازیک به اسیدی تغییر می کند. ستبرای این واحد

نزدیک به ۷۰۰ متر است. بافت آنها متفاوت و طیفی از پورفیری فلونیدال، پورفیری آمیگدوئیدال و اینتر گرانولار می باشد. ترکیب کانی شناسی این سنگها شامل کانیهای اولیوین، کلینوپیروکسن، آمفیبول، بیوتیت، پلاژیوکلاز از نوع آندزین- لابرادور، آلکالی فلدسپات بصورت خمیره، کوارتز، آپاتیت و کانیهای اپاک است. کانیهای کلریت، کوارتز، کالسیت و اپاک ثانوی هستند. در این سنگها حفره های گدازه ها را کوارتز و کالسیت پر کرده اند.

ب- واحد توف سیلیسی ( $E_6^{vt}$ ): این واحد در امتداد جاده قزوین- رشت گسترش دارد و شامل توف شیشه ای بلورین لیتیک دار داسیتی- ریولیتی سفید، خاکستری و قرمز رنگ (صورتی) است و در درون بخش بالایی واحدهای ( $E_6^v$ ) و ( $E_6^{dbr}$ ) قرار گرفته است. بافت این سنگ ویتروکلاستیک بوده و فنوکلاست های شامل پلاژیوکلاز به اندازه ۲ میلیمتر است. این کانی به سریسیت، کلریت، کالسیت و کائولن تبدیل شده است. بیوتیت و کوارتز نزدیک به ۲ درصد از ساختمان سنگ را تشکیل می دهد. زمینه سنگ جریانی است و از ذرات شیشه ای، که فراوانی خوبی دارند، تشکیل می گردد. بافت اسفرولیتی ذرات شیشه قابل رویت است. درون زمینه، کانیهای آلکالی فلدسپات، پلاژیوکلاز، اکسید آهن، کلریت و کربنات دیده می شوند.

ج- واریزه های دامنه ای: این نهشته های واریزه ای، حاصل دگرسانی و تخریب فیزیکی واحدهای توفهای سیلیسی، داسیتی و آندزیتی درزه دار می باشند که شامل تخته سنگهای چند تنی تا خاک رس که پس از جدا شدن از سنگ مادر تحت تاثیر زمین لرزه و نیروی ثقل بتدریج روی شیب دامنه ها به پائین سرازیر شده اند. ضخامت این واریزه ها بین ۳ تا بیش از ۳۰ متر است.

د- رسوبات رودخانه ای: جوانترین نهشته های منطقه مورد بحث، از نهشته های رودخانه ای اند که بر بستر رود خانه ملا علی راسب شده اند. این نهشته ها شامل قلوه سنگهای گرد شده نسبتاً درشت دانه آتشفشانی تا خاکهای سیلت و ماسه ای اند.

توده نفوذی که در اثر ریزش سنگ و لغزش، احتمالاً بخشهایی از آن پوشانده شده و رخنمون آن در محدوده کوچکی مشاهده می شوند، از جنس سنگهای توف و خاکسترهای (برش) آتشفشانی هستند. خلاصه اینکه، در محدوده لغزش، جنس سنگها دارای توالی های سنگهای آتشفشانی شامل توفها، داسیت و سینیت (جزء آذرین درونی)، آگلومرا و ماسه سنگ و برش آتشفشانی می باشند. لازم به ذکر است که، سنگهای توف و خاکسترهای آتشفشانی، مستعد لغزش هستند [۱۳].

## ۲-۲-۲ زمین شناسی ساختمانی منطقه

بر اساس نقشه های منتشر شده توسط سازمان زمین شناسی کشور، منطقه مورد مطالعه، از نظر ویژگیهای زمین ساختمانی ایران، در گستره البرز غربی و کوههای طارم قرار دارد. کوه طارم، در مقایسه با کوههای همجوار تالش و سلطانیه، تغییرات تکتونیکی پائینی را نشان می دهد. قسمت اعظم این کوهها را طبقات توفها و گدازه هایی از سازند کرج تشکیل می دهد که حداکثر شیب ۱۰ تا ۱۵ درجه دارند و در شرق طارم لایه ها تقریباً افقی می باشند. تکتونیک غالب ناحیه البرز غربی، تکتونیک راندگیها است و این راندگیها با روند کلی شرقی- غربی و شیبی به سوی شمال، بیشتر در شمال شهر لوشان نمایان هستند. همچنین جهت حرکت صفحات راندگی به سمت جنوب می باشد.

### ۲-۲-۲-۱ گسل های محلی

گسل های اصلی و تأثیرگذار منطقه، دارای راستای شرقی- غربی، شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی هستند. گسل های محلی زیر از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشخص می شوند:

الف- گسل F1: این گسل با راستای ۳۰ درجه بطول ۶,۵ کیلومتر و شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب شرق و در محدوده شرقی زمین لغزش قرار دارد و در بخش جنوبی با گسل F2 تقاطع دارد.

ب- گسل F2: این گسل با راستای ۸۵ درجه و شیب حدود ۸۰ درجه به سمت جنوب و بطول ۱,۵ کیلومتر، محور بزرگراه را در محدوده کیلومتر ۵۲+۰۰۰ قطع می کند. همراستا با گسل مذکور و در سمت شمال آن، اثر چند گسل فرعی دیگر مشاهده می شود که در چند قسمت دارای بازشدگی بیش از ۱۰ سانتیمتری هستند. این گسل ها در زمان لرزه اثر تخریبی شدیدی خواهند داشت.

ج- گسل F3: این گسل با راستای ۲۰ درجه، طول ۳,۷ کیلومتر و شیب ۸۵ درجه به سمت جنوب شرق حدود ۶۰۰ متری شمال غربی محدوده زمین لغزش واقع شده است.

### ۲-۲-۲-۲ درزه ها

این نوع ناپیوستگی ها بویژه در سنگهای سخت تر ناحیه مانند توف های سیلیسی و داسیت وجود دارند و اکثر آنها عمود بر لایه بندی می باشند. فاصله این دسته ناپیوستگی ها از یکدیگر متغیر و بین ۲ تا ۳۰۰ میلیمتر است. در این منطقه، بازشدگی سطوح درزه ای در حدود ۲ تا ۵ میلیمتر می باشد. بیشتر درزه های واقع در لایه های توفی با رس و کلسیت در اندازه چند میلیمتر پر شده اند.



## ۲-۲-۳ زمین ریخت شناسی<sup>۱</sup>

در تشکیل ریختار هر منطقه، عواملی مانند لیتولوژی، تکتونیک و آب و هوا تأثیر مستقیمی دارند. در رابطه با محدوده مورد بررسی نیز جنس متفاوت سنگها و اختلاف درجه فرسایش پذیری آنها از جمله موارد مهم می باشد. بطوریکه سنگهای آندزیت- داسیت سخت و مقاوم نسبت به توفهای ماسه ای و سست، کمتر فرسوده شده و دیواره پرتگاهی مرتفع و کشیده ای در سمت شرقی دره ملاعلی ایجاد کرده اند و توفهای ماسه ای زیر آنها، ریختار به نسبت ملایمتری بخود گرفته اند و باعث غیر یکنواختی چهره زمین شده اند.

در محدوده تونل، در بین توفهای ماسه ای، بلوک پشته مانندی از جنس توفهای سیلیسی سفید تا خاکستری، بصورت برجستگی محلی، بیرون زده و هیچ تجانسی با توفهای ماسه ای ندارد. عامل دیگری که در شکل گیری چهره زمین مؤثر بوده، توده های بهمن سنگ است که از دیواره پرتگاه شرقی فرو ریخته اند و بصورت توده نسبتاً حجیم رویهم انباشته و روی توفهای ماسه ای را پوشانده اند و چهره ملایم و یکنواخت روی توفهای ماسه ای را دچار ناهمواری کرده است. علاوه بر اینها، شیب توپوگرافی طبیعی زمین حدود ۳۵ درجه و جهت آن از شرق به غرب است.

## ۲-۲-۴ لرزه خیزی منطقه

یکی از روشهایی که در بررسی قدرت لرزه خیزی یک منطقه استفاده می شود، استفاده از زلزله های رویداده در آن ناحیه است. بدلیل اینکه زلزله ها یکی از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش ها است، لذا در اینجا زلزله های محدوده مورد مطالعه را از دو منبع تاریخی و ثبت شده در ایستگاه های لرزه نگاری بررسی کرده و سپس گسلهای مهم اطراف منطقه را مورد مطالعه قرار می دهیم.

## ۲-۴-۱ آمار زمین لرزه های منطقه

الف- زمین لرزه های تاریخی: این آمار منحصر به کتابهای تاریخی و سفرنامه ها و نوشتارهای اندکی است که در این زمینه گردآوری شده اند. کمبود اطلاعات، مربوط به نبود زمین لرزه نیست بلکه بسیاری از وقایع با فاصله نسبتاً زیاد از شهر ها رخ داده و توسط مورخان ثبت و ضبط نشده است.

<sup>۱</sup> - Geomorphology

زمین لرزه های قزوین، بوئین زهرا، دیلم، طالقان و لاهیجان بخشی از زمین لرزه های پیش از قرن بیستم هستند که هر کدام با خسارات و تلفات جانی همراه بوده اند. زمین لرزه طالقان در ۲۰ آوریل ۱۶۰۸ میلادی (۴ محرم ۱۰۱۷ ه.ق.)، با بزرگی نزدیک به ۷٫۶ ریشتر و شدت ( $I_0=X$ ) در حوالی ساعت ۱۲، پهنه رودبار الموت و طالقان را ویران کرد. در آمل، ساری اشرفیه که در ۱۸۰ کیلومتری قرار دارند، خانه ها ترک برداشت و نیز زلزله، موجب تشکیل دریا لرزه<sup>۱</sup> شدید در کرانه دریای خزر شد. ب- زمین لرزه های ثبت شده در ایستگاه های لرزه نگاری: در قرن بیستم و در شعاع ۱۵۰ کیلومتری زمین لغزش موردنظر، تقریباً ۱۵۰ زمین لرزه با بزرگی بیشتر از ۴ ریشتر ثبت شده است. زمین لرزه اول سپتامبر ۱۹۶۲م بوئین زهرا با بزرگی ۶٫۹ ریشتر در پهنه بوئین زهرا موجب ویرانی ۹۱ دهکده شد و ۱۲۲۰۰ نفر کشته شدند. زمین لرزه مخرب ژوئن ۱۹۹۰م. با بزرگی ۶٫۴ ریشتر در منجیل و رودبار هنوز از اذهان فراموش نشده است.

پس چنین استنباط می شود که محدوده مورد مطالعه، از مناطق زلزله خیز بشمار می آید و هر از گاهی، خسارتهای جانی و مالی بر اثر وقوع زمین لرزه به تاسیسات و ابنیه ها وارد می شود.

## ۲-۲-۴ گسلهای فعال منطقه

تعدادی از گسل های مهم گستره البرز مرکزی و غربی، برای شناخت بهتر از وضعیت گسل خوردگیهای منطقه مورد مطالعه، عبارتند از:

الف- گسل شمال قزوین: این گسل با روند شرقی- غربی، که به سوی شرق دچار خمش شده و روندی شمالغربی- جنوبشرقی را دنبال می کند، بطور کلی موجب رانده شدن رسوبات آتشفشانی- رسوبی متعلق به ائوسن بر روی نهشته های آبرفتی پلیوسن شده است. این گسل بیش از ۴۵ کیلومتر طول و شیبی حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه به سوی شمال دارد. محدوده زمین لغزش در قسمت آتشفشانی و کوهستانی شمال گسل قزوین قرار دارد.

ب- راندگی کوههای البرز: این منطقه راندگی در شمال شهر لوشان قرار دارد. روند کلی راندگی ها، شرقی- غربی و شیب آنها به سمت شمال و جهت حرکت صفحات به سمت جنوب است.

ج- گسل زنجان: گسل زنجان با طولی در حدود ۱۴۰ کیلومتر، به موازات گسل سلطانیه و هم روند با آن، از شمال غرب زنجان شروع و به سمت جنوب شرق ادامه می یابد.

<sup>۱</sup> -Tsunami

د- راندگی کوههای انگول: این منطقه، از تعدادی راندگی شرقی- غربی پدید آمده که شیب گسله ها بیشتر به سمت جنوب است. در برخی از سنگهای موجود، شواهدی از وجود مولفه امتدادلغز راستگرد مشاهده می شود.

ه- گسل جیرنده: این گسل با روند غرب- شمال غربی، شرق- جنوب شرقی از شمال شهر جیرنده می گذرد و در بیشتر نقاط قابل مشاهده بر روی سطح زمین نیست ولی در شمال و شمال غربی روستای انبوه، منطقه خرد شده آن، بویژه توده نفوذی این محل نمایان است. در این محل گسل تقریباً نزدیک به قائم است. مولفه جابجایی اصلی گسل، امتدادلغز از نوع راستگرد می باشد. این گسل جابجایی شیب لغز معکوس نیز دارد که در ترانشه های جاده جیرنده- کلیشم بخوبی آشکاراست.

و- گسل منطقه سنگی بره سر- کلیشم: این گسل با روند غربی- شمال غربی، شرق- جنوب شرقی، به موازات گسل جیرنده و در شمال آن قرار دارد. در برخی نقاط از این منطقه، جابجایی امتداد لغز راستگرد به چشم می خورد.

## ۲-۲-۵ میزان بارندگی در منطقه

منطقه کوهستانی لوشان تا کوهین با راستای شرقی- غربی، بدلیل قرار گیری در مسیر حرکت ابرهای باران زای شمالی کشور که از شمال به جنوب صورت می گیرد، دارای میزان مناسبی از بارندگی سالیانه است، بطوریکه بر اساس آمار گردآوری شده در نزدیکترین ایستگاه هواشناسی، متوسط بارندگی سالیانه منطقه، به حدود ۱۹۶ میلیمتر می رسد.

با توجه به ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متری منطقه مورد مطالعه نسبت به سطح آبهای آزاد، نزولات جوی آن طی بیشترین ایام سال بصورت باران است و برف قابل ملاحظه ای وجود ندارد.

## ۲-۲-۶ ترانشه های خروجی تونل دوقلو

چون روباره تونل باید دارای آنچنان ضخامتی باشد که مقاومت لازم جهت پایداری سقف حفاری شده آن را فراهم نماید، لذا مکانهای دارای روباره کم، در نزدیک ورودی و خروجی تونل، نیازمند ایجاد گالری یا حفر ترانشه اند. بررسی رفتار سنگهای زمین مجاور دهانه های تونل دوقلو و

مشرف به ترانشه های ورودی و خروجی و مطالعه چگونگی تامین پایداری لایه های زمین شناسی منتهی به شیروانی های ترانشه ها، به روش تعیین شیب و یا نوع مناسب نگهداری آنها، از مهمترین موارد قابل توجه در مطالعه تونلهاست.

زمین لغزش مورد مطالعه در این پروژه مربوط به ناپایداری های خروجی تونل دوقلو می باشد، که در ادامه تشریح شده است:

*الف- ترانشه خروجی تونل شرقی:* جنس سنگهای دربرگیرنده دهانه خروجی تونل شرقی، واریزه های دامنه ایی، توفهای اسیدی و ماسه ایی با شیب حدود ۲۸ درجه به سمت جنوب شرقی است. سنگهای مزبور بدلیل خردشدگی، نسبتاً سست می باشند. بیشترین ارتفاع محوری ترانشه خروجی، مربوط به دهانه خروجی در کیلومتر ۵۲+۰۳۰ است که به ۲۰ متر می رسد بعد از آن بتدریج از ارتفاع کم شده و در کیلومتر ۵۲+۱۰۰ به ۸ متر و در کیلومتر ۵۲+۲۵۶ به ۲,۵ متر می رسد. دلیل طولانی شدن ترانشه با شیب کم، وجود واریزه های دامنه ایی است.

بررسی پایداری دیواره شرقی ترانشه خروجی تونل شرقی، با توجه به لغزش های رویداده در زمان کوهبری، نیازمند مطالعات دقیق تر با استفاده از روشهای ژئوفیزیکی جهت تعیین سطح لغزش است و مطالعه حاضر مربوط به این ناپایداری با استفاده از روش ژئوالکتریک می باشد.

*ب- ترانشه خروجی تونل غربی:* دهانه خروجی تونل غربی در درون سنگهای توف ماسه ایی قرار دارد. بعلت کم بودن ارتفاع دیواره سمت راست این ترانشه، که ۲,۵ متر خواهد بود، عملاً تنها ترانشه موجود در این تونل، مربوط به سر در آن خواهد بود که دارای وضعیت مشابه با ترانشه سر در خروجی تونل شرقی است [۱۱].

### فصل سوم:

### روش مقاومت ویژه الکتریکی، اندازه گیری داده ها و تفسیر کیفی آنها

#### ۳-۱ روش مقاومت ویژه الکتریکی

آن دسته از روشهای الکتریکی که در آن جریان از طریق رسانش توسط الکترودهایی به زمین داده می شود براساس این واقعیت کار می کنند که تغییرات رسانندگی زیرسطح زمین، شکل شارش جریان را در داخل زمین تغییر می دهد و این بر توزیع پتانسیل الکتریکی اثر می گذارد. درجه این اثر گذاری به اندازه، شکل، محل و مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها یا اجسام زیرسطح بستگی دارد. بنابراین این امکان وجود دارد که از اندازه گیری پتانسیل بر روی سطح، اطلاعاتی از زیر زمین بدست آید [22]. پس هدف کاوشهای الکتریکی، تعیین توزیع مقاومت ویژه زیرسطحی با اندازه گیری ها در سطح زمین است و با استفاده از این اندازه گیریها، می توان مقاومت ویژه حقیقی زیرسطحی را تخمین زد [27].

از روش مقاومت ویژه، بطور گسترده در جستجو برای منابع آبهای زیر زمینی و نیز تعیین آلودگی های آبهای زیرزمینی، در برداشت های مهندسی برای تعیین محل حفره ها، گسل ها، شکافها و... استفاده شده است [37] و در سالهای اخیر برای بررسی مسائل زیست محیطی بکار گرفته اند [31].

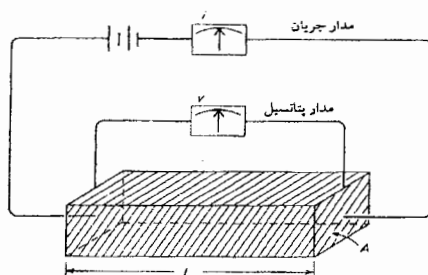
- روش مقاومت ویژه در مقایسه با سایر روشهای ژئوفیزیکی (مانند لرزه شناسی، گرانی سنجی و ... ) و یا روشهای اکتشافی مستقیم (مانند حفاری و ...) خصوصیات زیر را دارد [31]:
- انعطاف پذیری (استفاده از آن در هر مرحله از اکتشاف مثل شناسایی اولیه، تعیین جزئیات).
  - روشی نسبتاً سریع و آسان برای برداشت داده ها.
  - هزینه های صحرایی پائین و کم بودن افراد مورد نیاز برای برداشت.
  - سبک و قابل حمل بودن دستگاه ها.
  - تفسیر کیفی داده ها بطور مستقیم صورت می گیرد.
  - البته علیرغم این مزیت ها، دارای محدودیت هایی نیز می باشد [31]:
  - در برخی موارد، مدل های ژئوفیزیکی حاصل، از مدل زمین شناسی مربوطه بسیار تفاوت دارد.
  - ابهام در تفسیر داده های مقاومت ویژه باعث می شود که چندین مدل وجود داشته باشد.
  - دقت تعیین عمق در مقایسه با روش هایی مثل لرزه نگاری یا حفاری کمتر است.

### ۳-۱-۱ اساس تئوری مقاومت ویژه

اگر رسانایی حامل جریانی با خطوط شارش موازی از سطح  $A$  باشد و  $R$  مقاومت اندازه گیری شده بین دو سطح هم پتانسیل با فاصله  $L$  باشد، مقاومت ویژه آن چنین تعریف می شود (شکل ۳-۱):

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (۳-۱)$$

قانون فیزیکی مورد استفاده در روش مقاومت ویژه، قانون اهم، قانون حاکم بر شارش جریان الکتریکی در زمین است [27]. معادله قانون اهم بصورت برداری برای شارش جریان در محیط پیوسته و همسانگرد بصورت زیر است [25]:



شکل ۳-۱ : تعریف مقاومت ویژه [38]

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2-3)$$

که در این رابطه،  $\sigma$  رسانندگی محیط ( $\sigma = 1/\rho$ )،  $\vec{J}$  چگالی جریان،  $\vec{E}$  شدت میدان الکتریکی است. در عمل، پتانسیل میدان الکتریکی اندازه گیری می شود. رابطه میان پتانسیل الکتریکی و شدت میدان بصورت زیر است:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (3-3)$$

با ترکیب معادلات (2-3) و (3-3) بدست می آوریم:

$$\vec{J} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (4-3)$$

رابطه بین چگالی جریان و جریان برای چشمه نقطه ایی جریان عبارت است از:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \left( \frac{I}{\Delta V} \right) \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (5-3)$$

که  $(x_s, y_s, z_s)$  محل چشمه نقطه ایی،  $\Delta V$  عنصر حجم اطراف منبع جریان  $I$  و  $\delta$  تابع دلتای دیراک است. از قرار دادن رابطه (4-3) در رابطه (5-3) داریم:

$$-\vec{\nabla} \cdot [\sigma(x, y, z) \vec{\nabla}V(x, y, z)] = \left( \frac{I}{\Delta V} \right) \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (6-3)$$

این رابطه، معادله اساسی است که از حل آن، توزیع پتانسیل در زمین بخاطر منبع جریان نقطه ایی بدست می آید. تکنیک های زیادی برای حل این معادله وجود دارد. از حل این معادله، پتانسیل در فاصله  $r$  از چشمه نقطه ایی جریان که در روی یک زمین همگن و همسانگرد است بدست می آید:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (7-3)$$

در برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی معمولاً از ۴ الکتروود استفاده می شود که با توجه به وضعیت قرار گیری و موقعیت آنها نسبت به یکدیگر، آرایشهای الکتروودی گوناگون نامگذاری شده و مورد استفاده قرار می گیرند. شکل ۲-۳ فرم عمومی یک آرایش الکتروودی نمونه و موقعیت الکتروودها را



شکل ۲-۳: فرم کلی یک آرایش

در این آرایش خاص نشان می دهد. دو الکتروود جریان A و B، جریان را به زمین تزریق می کنند، این الکتروود ها به دو قطب مخالف یک مولد جریان مستقیم متصل شده، پس دارای جریانهای مساوی با جهت مخالف هستند. دو الکتروود M و N پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در اثر شارش جریان به درون زمین را اندازه گیری می کنند. برای محاسبه اختلاف پتانسیل، مقدار پتانسیل ناشی از الکتروودهای جریان را در محل هر الکتروود پتانسیل محاسبه می کنیم. پتانسیل محاسبه شده برای الکتروود M و الکتروود N بصورت زیر خواهد بود:

$$V_M = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) \quad (8-3)$$

$$V_N = V_A + V_B = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \quad (9-3)$$

با توجه به دو رابطه فوق، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود M و N بصورت زیر بدست می آید:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right) \right\} \quad (10-3)$$

این رابطه، اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده در یک آرایش ۴ الکتروودی، که در سطح یک زمین همگن گسترش یافته را نشان می دهد.

مقاومت ویژه الکتریکی، با ارسال جریان به داخل زمین توسط الکتروودهای جریان و اندازه گیری اختلاف ولتاژ توسط الکتروودهای پتانسیل انجام می شود. از مقادیر جریان I و اختلاف پتانسیل  $\Delta V$ ، مقدار مقاومت ویژه ظاهری  $\rho_a$  محاسبه می شود:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (11-3)$$

که K، فاکتور هندسی، به نحوه آرایش ۴ الکتروود نسبت به هم بستگی دارد و برابر است با:

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right)} \quad (12-3)$$

مقدار مقاومت ویژه محاسبه شده، مقدار مقاومت ویژه زیرسطحی نیست، بلکه یک مقاومت ویژه ظاهری است که این مقاومت ویژه ظاهری، مقاومت ویژه زمین همگنی که مقدار مقاومت مشابه  $\Delta V / I$  برای آرایش الکتروودی مشابه را بدست خواهد داد.



### ۳-۱-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت ویژه مواد زمین

سنگها دارای درصدی از تخلخل هستند و در بعضی از سنگها، بخشی از این فضاهای خالی توسط سیالاتی پر شده که فعل و انفعالات موجود، مقاومت ویژه را تحت تأثیر قرار می دهند. عواملی که مقاومت ویژه سنگهای محتوی آب را تحت تأثیر قرار می دهند بطور کلی به ۴ دسته تقسیم می شوند که با افزایش هر یک از این عوامل مقاومت ویژه سنگ کاهش می یابد [31]:

درصد حجمی از سنگ که با آب پر شده است (درجه اشباع آب)، میزان شوری یا یون آزاد پرکننده فضاهای خالی، ارتباط بین فضاهای خالی در سنگ (نفوذپذیری) و درجه حرارت.

وجود کانیهای رسی و عواملی مثل ترکیب و بافت سنگ، نوع سنگ، شرایط تشکیل آنها در مقاومت ویژه لایه ها مؤثرند. کانیهای رسی به علل زیر باعث کاهش مقاومت ویژه می شود [31]:

- ۱- معمولاً کانیهای رسی همراه با آب هستند.
- ۲- رسها، کاتیونها را در تبادل یونی با سطح خارجی خود، بعلت تماس با سنگ، جذب می کنند.
- ۳- کانیهای رسی تمایل به یونیزه شدن و عرضه یونهای آزاد دارند.

### ۳-۱-۳ خواص الکتریکی مواد

جریان الکتریکی در مواد زمین در اعماق کم به دو روش هدایت الکترونی و هدایت الکتrolیتی جریان می یابند. در هدایت الکترونی، شارش جریان توسط الکترونهاى آزاد صورت می گیرد. هدایت الکترونی، هنگامی که کانیهای رسا مانند سولفیدهای فلزی و گرافیت موجود باشند دارای اهمیت می باشند. در هدایت الکتrolیتی، شارش جریان بخاطر جابجایی یونها در آب زیرزمینی انجام می شود.

مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. سنگهای آذرین و دگرگونی دارای مقادیر بالای مقاومت ویژه می باشند. مقاومت ویژه اینگونه از سنگها به میزان خردشدگی و درصد شکستگی های پر شده از آب وابسته است. بنابراین نوع مشخصی از سنگ می تواند محدوده وسیعی از مقاومت ویژه، از حدود ۱۰۰۰ تا ۱۰ میلیون اهم متر، با توجه به خشک یا مرطوب بودن آن، داشته باشد. این ویژگی در تعیین زونهای خرد شده و ساختارهای هوازده دیگر، در کاوشهای مهندسی و آب زیرزمینی مفید است [28].

سنگهای رسوبی، که معمولاً متخلخل بوده و دارای محتوای آب زیادتری می باشند، بطور معمول از مقاومت ویژه کمتری در مقایسه با سنگهای آذرین و دگرگونی دارند. گستره مقاومت ویژه از  $10-10000 \Omega m$ ، ولی اکثراً زیر  $1000 \Omega m$ ، دارند. رسوبات نامتراکم عموماً مقادیر مقاومت ویژه کمتر نسبت به سنگهای رسوبی و در گستره مقادیر  $10 \Omega m$  تا کمتر از  $1000 \Omega m$  دارند.

خاکهای مرطوب و زمین های آبدار مقدار مقاومت ویژه کمتری دارند. خاکهای رسی معمولاً مقاومت ویژه پائین تری نسبت به خاکهای ماسه ای دارند. اما، نکته اینکه، مقدار مقاومت ویژه در انواع سنگها و خاک ها، مقدار مقاومت ویژه همدیگر را پوشش می دهند. این بدین دلیل است که مقاومت ویژه سنگ یا خاک به عوامل دیگر مثل تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای نامحلول است. مقاومت ویژه آب زیرزمینی با توجه به میزان نمکهای نامحلول از  $10-100 \Omega m$  تغییر می کند. مقاومت ویژه پائین آب دریا (در حدود  $0.2 \Omega m$ ) بعلت میزان نمک فراوان موجود در آب دریا می باشد [28].

جدول ۳-۱ : مقاومت ویژه بعضی از سنگها و مواد معدنی

| سنگها و مواد معدنی            | مقاومت ویژه ( $\Omega m$ ) |
|-------------------------------|----------------------------|
| آب زیر زمینی                  | ۱۰-۱۰۰                     |
| آب باران                      | ۳۰-۱۰۰۰                    |
| آب دریا                       | ۰,۲                        |
| سنگ آهک                       | ۵۰-۵۰۰۰                    |
| شیل                           | ۲۰-۲۰۰۰                    |
| رس                            | ۱-۱۰۰                      |
| آبرفتهای دانه درشت و کنگلومرا | ۳۰۰-۱۰۰۰۰                  |
| آبرفتهای دانه متوسط           | ۱۰۰-۳۰۰                    |
| آبرفتهای دانه ریز             | ۵۰-۱۰۰                     |
| شن و ماسه خشک                 | ۱۰۰۰-۱۰۰۰۰                 |
| شن و ماسه اشباع از آب شیرین   | ۵۰-۵۰۰                     |
| شن و ماسه اشباع از آب شور     | ۰,۵-۵                      |
| آهک های آسماری                | ۵۰۰-۱۰۰۰                   |
| آهک های کرتاسه                | ۲۰۰-۵۰۰                    |
| سنگ های توف                   | ۲۰-۱۰۰                     |
| ماسه سنگ آرژیل دار            | ۵۰-۳۰۰                     |
| ماسه سنگ کوارتزیت             | ۳۰۰-۱۰۰۰۰                  |
| خاکستر (برش) آتشفشانی         | ۲۰-۱۰۰                     |
| آندزیت                        | ۴۵۰۰۰-۱۷۰                  |
| داسیت                         | ۲۰۰۰۰                      |
| سینیت                         | ۶۰۰ تا ۴۰ میلیون           |

معادله ساده ای که ارتباط میان مقاومت ویژه سنگ متخلخل و عامل اشباع سیال را بدست می دهد قانون آرچی<sup>۱</sup> است که قابل کاربرد برای انواع مشخص از سنگها و رسوبات، بویژه آنهایی که حاوی مقدار کمی رس است، می باشد. قانون آرچی بصورت زیر است:

$$\rho = a\rho_w\phi^{-m} \quad (3-13)$$

که  $\rho$  مقاومت ویژه سنگ،  $\rho_w$  مقاومت ویژه سیال پرکننده فضاهای خالی سنگ،  $\phi$  جزء سنگ پر شده با سیال است. در حالیکه  $a$  و  $m$  دو پارامتر تجربی هستند. برای اکثر سنگها،  $a$  و  $m$  به ترتیب تقریباً برابر با ۱ و ۲ هستند [28].

### ۳-۱-۴ آرایش های الکترودی

#### ۳-۱-۴-۱ انتخاب آرایشهای الکترودی

برای بدست آوردن مقاومت ویژه زمین، جریان الکتریکی بوسیله دو الکتروود به زمین تزریق می گردد و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه نیز با استفاده از دو الکتروود دیگر اندازه گیری می شود، برای ترتیب قرار گرفتن الکتروودهای جریان و پتانسیل و فاصله آنها حالت های مختلفی وجود دارد که هر حالت را یک آرایش الکتروودی می گویند. انتخاب نوع آرایش در یک برداشت به عواملی از قبیل نوع ساختارهای مورد مطالعه در منطقه، حساسیت دستگاه اندازه گیری مقاومت ویژه، سطح نویز زمینه، هدف برداشت و هزینه و سرعت برداشت مربوط می گردد. بنابراین به منظور انتخاب بهترین آرایش برای یک برداشت، باید اطلاعاتی در مورد آرایش های الکتروودی معمول و خصوصیات هر کدام داشت. مهمترین خصوصیات یک آرایش که باید بررسی شوند عبارتند از:

حساسیت آرایش به تغییرات افقی و قائم مقاومت ویژه زیرسطح، عمق نفوذ و قدرت سیگنال. عمق نفوذ یا عمق بررسی عبارت است از عمقی که حداکثر سیگنال الکتریکی از آن بدست می آید. باید توجه داشت که این اعماق برای مدل زمین همگن معتبرند ولی در ترسیم برداشت های صحرائی نیز بقدر کافی مفید و قابل قبول هستند، مگر در مواردی که مقاومت ویژه نزدیک سطح، اختلاف زیادی با مقاومت ویژه اعماق بیشتر داشته باشد، عمق نفوذ واقعی متفاوت خواهد بود.

<sup>1</sup> - Archie's Law

هر یک از آرایش ها ویژگی ها و مزایای خاصی دارند؛ ولی در همه آنها توجه به نکات زیر می تواند نقش مهمی در تفسیر بهتر و دقیق تر منطقه مورد برداشت داشته باشد:

- ۱- کل جریان I تولید شده توسط باتری یا منبع، ممکن است توسط عوامل مختلف افت پیدا کنند که این عوامل، عمدتاً در مقاومت خود الکترودها و جنس آنها و سیمهای رابط خلاصه می شود.
  - ۲- اگر الکترودهای پتانسیل دارای نشت جریان باشند، یعنی یک ولتاژ پلاریزه در محل تماس بین الکترودهای پتانسیل و خاک بوجود آمده و سبب ایجاد یک ولتاژ کاذب اضافی می شود و در موقع اندازه گیری این ولتاژ، با ولتاژ واقعی جمع شده و دستگاه مجموع این دو ولتاژ را نشان می دهد.
  - ۳- اگر الکترودهای پتانسیل، فلزی باشند بعلاوه تأثیر متقابل بین این الکترودها با رطوبت موجود در خاک، پتانسیل الکتروشیمیایی ایجاد شده می تواند در اندازه گیری تأثیر گذارد.
  - ۴- جریانهای طبیعی زمین ممکن است از الکترودها عبور کرده و در نتیجه سبب تولید پتانسیل طبیعی و اضافی شوند که خود عرضه پتانسیلهای مصنوعی یا اضافی را به دنبال دارند و ولتاژی که دستگاه اندازه گیری می کند بیش از ولتاژ واقعی خواهد بود.
- خطا های فوق را تا حدی می توان توسط دستگاهها و انتخاب الکترودهای مناسب و غیر قابل پلاریزه کاهش داد. نکته قابل توجه اینکه، اگر ولتاژ اندازه گیری شده خیلی کوچک باشد و یا بطور غیر منطقی اندازه گیریهای ولتاژ نامنظم باشد، باید از الکترودهای پتانسیل غیرقابل پلاریزه استفاده شود.
- مهمترین آرایش های الکترودی مورد استفاده در برداشت های مقاومت ویژه عبارتند از: وئر، شلومبرگر، دوقطبی- دوقطبی، قطبی- دوقطبی، گرادیان، نیم وئر و نیم شلومبرگر.
- دو روش متفاوت سونداژ الکتریکی (گمانه زنی) و پروفیل زنی برای عملیات صحرایی برداشت داده های مقاومت ویژه وجود دارد. در پروفیل زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه الکتریکی زمین با فواصل الکترودی ثابت برای عمق معین بررسی می شود. در این روش بعد از هر اندازه گیری، تمامی الکترودها با همان آرایش و فواصل در طول پروفیل جابجا می شوند. با داشتن چند پروفیل مشابه و از نظر مکانی مختلف، نقشه هم مقاومت ویژه عمقی را می توان تهیه کرد. در سونداژ زنی، تغییرات مقاومت ویژه با تغییر عمق بررسی می گردد و مرز لایه های افقی با مقاومت ویژه الکتریکی متفاوت تعیین می شود. در این روش هر قدر فاصله الکترودهای جریان از الکترودهای پتانسیل بیشتر شود در نتیجه آن عمق کاوش نیز افزایش می یابد [28].

نوع سومی هم برای عملیات صحرایی برداشت داده های مقاومت ویژه وجود دارد که ترکیبی از سونداژزنی الکتریکی (گمانه زنی) و پروفیل زنی است.

### ۳-۱-۴-۲ آرایش الکترودی شلومبرگر

آرایش شلومبرگر یکی از پرکاربردترین آرایش ها برای برداشتهای مقاومت ویژه و اکتشافات الکتریکی است. در این آرایش، بطور معمول، الکترودهای پتانسیل به فاصله کم از یکدیگر بین الکترودهای جریان قرار می گیرند [۱۲]. ترتیب قرارگیری الکترودها در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. الکترودهای جریان و پتانسیل بصورت متقارن نسبت به مرکز (نقطه O) قرار می گیرند و داده اندازه گیری شده به زیر این نقطه مرکزی نسبت داده می شود [39].

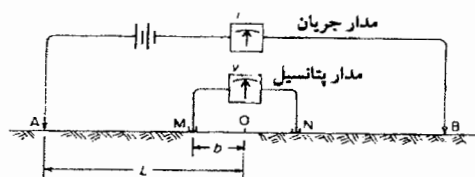
در هنگام سونداژ با این آرایش فاصله AB متوالیاً افزایش می یابد ولی محل MN ثابت می ماند تا زمانی که اختلاف پتانسیل بین دو الکترودها کاهش یابد و سپس فاصله MN افزایش می یابد و در هر حال MN باید حداکثر  $AB/5$  باشد [27]. این روش راحت تر و سریعتر از آرایش گسترشی و نر است زیرا تنها لازم است دو الکترودها جابجا شود و علاوه بر این، با الکترودهای پتانسیل ثابت، اثر تغییرات مقاومت ویژه در عمق کم، ثابت خواهد بود [39].

عمق نفوذ میانگین این آرایش حدود ۱۰٪ بزرگتر از آرایش و نر برای فاصله مشابه بین الکترودهای AB است و از عمق نفوذ میانگین قطبی-قطبی و دوقطبی-دوقطبی کمتر است.

از علل انتخاب این آرایش برای این پروژه موارد زیر را می توان ذکر کرد:

- ۱- در تعیین سطوح دارای پتانسیل لغزش، بیشتر تفکیک عمودی لایه ها اهمیت دارد و این آرایش بیشترین قدرت تفکیک عمودی در بین آرایشها را دارد.
- ۲- این آرایش دارای نسبت سیگنال به نویز ( $S/N$ ) مناسب می باشد زیرا الکترودهای پتانسیل، از یک ثبات نسبی برخوردارند.

۳- امکان تفکیک چند ساختار پرشیب مجاور هم (چند گسل در کنار هم) بیشتر می باشد.



شکل ۳-۳: نحوه قرار گیری الکترودها در آرایش شلومبرگر [38]

۴- این آرایش دارای عمق اکتشاف مناسب می باشد.

۵- حساسیت این روش به شیب زیاد بوده و در نتیجه امکان شناسایی ساختارهای پرشیب (مثلاً ناودیسها) بیشتر می باشد.

۶- یک آرایش دقیق و حساس، آرایشی است که قادر به شناسایی و تمایز بین چند آنومالی در اعماق مختلف باشد. در بین آرایشهای مختلف، آرایش شلومبرگر، که اصولاً برای عملیات سونداژ طراحی شده است، در هر دهه لگاریتمی (بطور معمول ۳ یا ۴ دهه) شش داده برداشت می کند. به همین دلیل، وضعیت زمین در اعماق مختلف را به خوبی مورد بررسی قرار داده و در نتیجه حساسیت زیادی نسبت به عمق نشان می دهد.

۷- آرایش شلومبرگر نسبت به تغییرات مقاومت ویژه جانبی کمتر حساس است و این امر باعث می شود که اثرات مقاومت ویژه سطحی روی اندازه گیری های مقاومت ویژه کمتر تأثیر بگذارد. موقعیت الکترودها در این آرایش، در هر مرحله از جابجایی، یک مقدار معین و مشخص می باشد که با رعایت شرایط زیر بدست می آید:

۱- مقدار فاصله MN باید بقدری باشد که  $\Delta V$  اندازه گیری شده در حد نویز دستگاه نباشد.

۲- فاصله بین دو الکترود جریان باید بین ۵-۰٫۵ عمق اکتشاف تغییر نماید.

۳- تعداد نقاط اندازه گیری شده در هر دهه لگاریتمی یکی باشد.

۴- مجموع نقاط اندازه گیری شده باید حداقل ۲٫۵ واحد لگاریتمی را پوشش دهد.

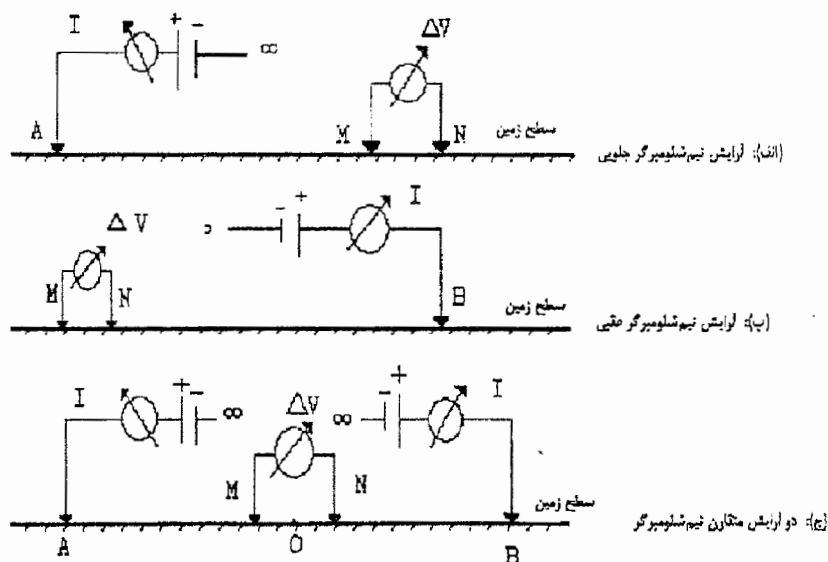
۵- فاصله بین دو الکترود جریان باید حداقل ۲٫۵ برابر فاصله بین دو الکترود پتانسیل باشد.

### ۳-۴-۱-۳ آرایش الکترودی نیم شلومبرگر متقارن

در پروژه مطالعات ژئوالکتریکی زمین لغزش بزرگراه قزوین- رشت، آرایش نیم شلومبرگر متقارن جهت پروفیل زنی انتخاب شده بود. روش پروفیل زنی علاوه بر اکتشاف مواد معدنی، برای تشخیص همبری قائم، گسل و یا دایک نیز بخوبی بکار می رود.

آرایش نیم شلومبرگر حالت خاصی از آرایش شلومبرگر است که در آن یکی از الکترودهای جریان در فاصله بی نهایت قرار می گیرد، هر چند لزومی ندارد که با سه الکترود دیگر در یک خط باشند. قرار دادن یک الکترود در بی نهایت بدین دلیل است که اثر آن بر روی الکترودهای دیگر بسیار کم باشد [39]. این آرایش در مورد اکتشاف گسل و دایک بخوبی جواب می دهد.

مطابق شکل ۳-۴، وقتی که الکتروود جریان B در بی نهایت قرار می گیرد، الکتروود های M و N در جلوی الکتروود A واقع می شوند که به آن آرایش نیم شلومبرگر جلویی<sup>۱</sup> گویند و موقعی که الکتروود جریان A در بی نهایت قرار می گیرد، الکتروود های M و N در عقب الکتروود B واقع می شوند که به آن آرایش نیم شلومبرگر عقبی<sup>۲</sup> گویند. در شکل ۳-۴ ج هر دو آرایش نیم شلومبرگر جلویی و عقبی را در یک شکل نشان می دهد. نقطه O در وسط MN واقع می باشد، در صورتیکه الکتروودهای A و B نسبت به نقطه O متقارن باشند به آن، دو آرایش متقارن نیم شلومبرگر می گویند [۲].



شکل ۳-۴: نمایش دو آرایش متقارن نیم شلومبرگر [۲]

### ۳-۱-۵ تصحیح کلاچ<sup>۳</sup>

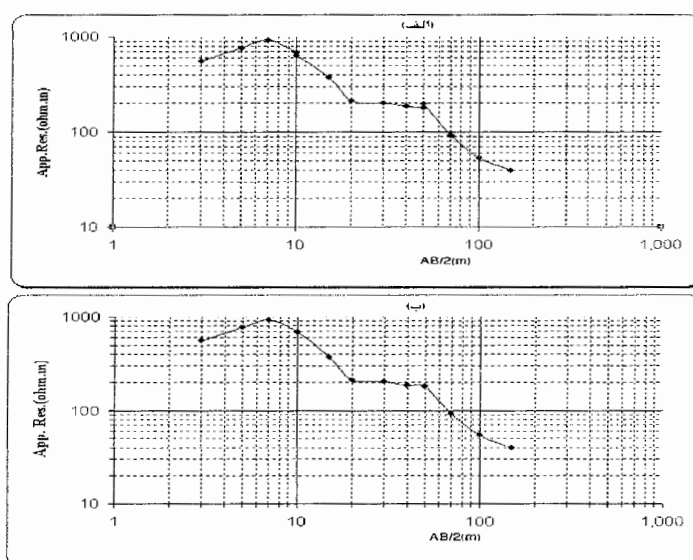
در سونداژ با آرایش شلومبرگر، با افزایش فاصله الکتروودهای جریان، اختلاف پتانسیلی که قرائت می شود کوچکتر می شود. هر چند بار که الکتروودهای جریان را جابجا می کنیم؛ باید الکتروودهای ولتاژ را نیز جابجا کنیم و برای یک فاصله الکتروود جریان با دو MN متفاوت اختلاف پتانسیل قرائت می شود، یعنی برای یک عمق، دو داده برای  $\rho_H$  بدست می آید. با توجه به اینکه منحنی باید هموار<sup>۴</sup> باشد، پس منحنی باید تصحیح گردد (شکل ۳-۵).

<sup>۱</sup> -Forward

<sup>۲</sup> -Backward

<sup>۳</sup> -Cluch

<sup>۴</sup> -Smooth



شکل ۳-۵: تصحیح کلاچ در آرایش شلومبرگر (الف) قبل از تصحیح (ب) بعد از تصحیح

نقاط بدست آمده از برداشت داده ها، بطور منحنی وار بهم وصل شده و حالت هموار خواهند داشت. چون نقاط مربوط به هر MN به هم وصل شده اند، منحنی از چند قطعه<sup>۱</sup> تشکیل می شود. این قطعات را بصورت هموار بهم وصل کرده و منحنی مناسبی برای تفسیر بدست آورد. در هر صورت، اساس کار وصل کردن قطعات مختلف منحنی با توجه به قاعده سمت راست است و معمولاً، آخرین نقطه قطعات سمت چپ را در نظر گرفته اما اولین نقطه قطعه سمت راست را در نظر نمی گیرند. نکته اینکه، در قسمت نزولی منحنی، برای یک فاصله AB معین، اگر  $\rho_a$  بدست آمده با MN بزرگتر، بزرگتر باشد از  $\rho_a$  بدست آمده با MN کوچکتر و در قسمت صعودی، برای یک فاصله AB معین، اگر  $\rho_a$  بدست آمده با MN بزرگتر، کوچکتر باشد از  $\rho_a$  بدست آمده با MN کوچکتر، ناهمگنی جانبی مقاومت ویژه وجود ندارد ولی در صورت مشاهده تغییرات، ناهمگنی جانبی وجود دارد و اختلاف مقاومت ویژه، نشان دهنده شدت میزان ناهمگنی است.

### ۳-۱-۶ اثرات توپوگرافی بر روی داده های مقاومت ویژه

برداشت های مقاومت ویژه، نقش مهمی در اکتشاف کانی ها، آب، مسائل مهندسی و ... دارند،

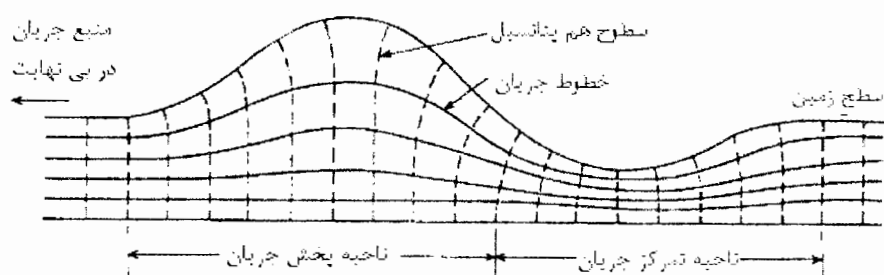
<sup>۱</sup> -Segment



چنین برداشتهایی معمولاً در نواحی کوهستانی یا مناطق دارای توپوگرافی سطحی انجام می گیرند. اثرات توپوگرافی می توانند باعث ایجاد آنومالی های گمراه کننده و یا باعث مخفی شدن آنومالی های واقعی شوند. لذا درک این اثرات و حذف آنها هنگام تفسیر داده ها و تهیه مدل ضروری است [20].

همانگونه که تغییرات مقاومت ویژه، شکل خطوط جریان را تغییر داده و باعث آشفتگی در الگوی شارش جریان می شوند، تغییرات توپوگرافی سطحی نیز باعث ایجاد آشفتگی هایی در شکل خطوط جریان و پتانسیل می شوند. شکل ۳-۶، اثر توپوگرافی روی خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل در یک زمین همگن را نشان می دهد، که خطوط جریان در زیر یک تپه و اگر و در زیر یک دره همگرا می شوند، در نتیجه باعث انحراف خطوط هم پتانسیل، که عمود بر خطوط جریان هستند، می گردد و در نتیجه در زیر نواحی دارای توپوگرافی، مقاومت ویژه متفاوتی را نسبت به یک زمین تخت ایجاد می کنند. به این ترتیب، ناهمواریهای سطحی می توانند باعث ایجاد آنومالی های کاذب شده و یا باعث اختفای آنومالی های واقعی موجود در منطقه گردند. بنابراین اگر در تفسیر داده های مقاومت ویژه از اثر توپوگرافی روی داده ها چشم پوشی شود، آنومالی مقاومت ویژه ظاهری ایجاد شده بوسیله ناهمواریهای سطحی را به یک ناهمگنی زیرسطحی نسبت خواهیم داد و یا به وجود برخی از ناهمگنی های موجود در زیر سطح پی نخواهیم برد. پس برای دوری از اشتباه در تفسیر باید اثرات ناشی از توپوگرافی سطحی در نظر گرفته شود [20].

در سال ۱۹۷۷، فاکس و هاهمن و... یک الگوریتم اجزاء محدود دوبعدی را برای بررسی اثرات توپوگرافی بررسی کردند و نیز روشی را برای تصحیح اثر توپوگرافی از روی داده های مقاومت ویژه ارائه دادند که اساس روش تصحیح آنها بصورت محاسبه فاکتورهای تصحیح بوسیله برنامه اجزاء محدود دوبعدی برای یک زمین همگن و اعمال آنها در مقادیر مقاومت ویژه ظاهری است [20].



شکل ۳-۶: تاثیر توپوگرافی روی خطوط جریان و پتانسیل [20]

### ۳-۱-۷ اصل هم ارزی یا برابری<sup>۱</sup>

به منظور تفکیک یک لایه مشخص، نسبت عمق به ضخامت آن ( $z/d$ ) باید از مقدار معینی که بین ۴ تا ۲۰ متغیر است، کوچکتر باشد. عموماً برای تشخیص یک لایه، ضخامت آن باید بیشتر  $0.1$  عمق آن باشد و اگر  $d_n \ll z_n$  باشد، ابهام در تفسیر ژئوالکتریکی وجود دارد. برای رفع ابهام و رسیدن به تفسیر دقیق تر، از اصل هم ارزی بهره می برند. اصل هم ارزی برای دو حالت زیر وجود دارد [40]:

۱- حالتی که لایه نازک  $n$  ام، رساناتر از لایه های مجاورش باشد: در این حالت، جریان الکتریسته تمایل دارد که در لایه نازک متمرکز گردد و موازی با این لایه قرار گیرد. بنابراین در این حالت از اصطلاح قابلیت هدایت افقی<sup>۲</sup> و یا هدایت کلی<sup>۳</sup> ( $S$ ) استفاده می شود که در آن برای مقادیر مختلف ضخامت و مقاومت ویژه، نسبت ضخامت به مقاومت ویژه لایه  $n$  ام ( $S_n = d_n / \rho_n$ ) یکسان باشد، از نظر الکتریکی هم ارز یا برابر می باشد. لذا تشخیص آنها از یکدیگر امکانپذیر نمی باشد.

۲- حالتی که لایه نازک  $n$  ام، بین لایه های رساناتر از خود قرار گیرد: در این حالت، جریان الکتریسته تمایل دارد که از جریان یافتن در چنین لایه ایی دوری جوید و کوتاهترین مسیر را بطرف لایه زیری انتخاب می کند، لذا خطوط جریان تقریباً عمود بر لایه قرار خواهند گرفت. بنابراین در این حالت از اصطلاح مقاومت عرضی<sup>۴</sup> ( $R$ ) استفاده می شود که در آن برای مقادیر مختلف ضخامت و مقاومت ویژه، حاصلضرب ضخامت در مقاومت ویژه لایه  $n$  ام ( $R_n = \rho_n \cdot d_n$ ) یکسان باشد، از نظر الکتریکی هم ارز یا برابر می باشند و محاسبه  $d_n$  و  $\rho_n$  مربوط به آنها بطور جداگانه امکانپذیر نمی باشد [33].

بنابراین با تفسیر داده های سونداژ، مقادیر  $R$  و  $S$  بدست می آیند نه  $d$  و  $\rho$ ، و این حل منحصر بفرد نیست. مثلاً دو لایه دارای  $R$  مساوی ممکن است دارای ترکیب متفاوتی از ضخامت و مقاومت ویژه باشند و همینطور هم برای دولایه با  $S$  مساوی ممکن است چنین شرایطی موجود باشد. از این رو در تخمین مقاومت و ضخامت لایه ها هنگام تفسیر، جوابها دارای ابهام می باشند. برای بدست آوردن یک جواب واحد، مقاومت ویژه این لایه نازک را باید از سایر روشها مثل نمودارهای چاه پیمایی تعیین کرد، این مسئله، اصل هم ارزی گفته می شود. [40]

<sup>1</sup> - Principle of Equivalence

<sup>2</sup> - Horizon Conductivity

<sup>3</sup> - Total Conductance

<sup>4</sup> - Transverse Resistance

### ۳-۱-۸ تفسیر کیفی و کمی داده های صحرائی

هدف از تفسیر داده های سونداژ الکتریکی، بدست آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریکی قابل قبول و منطقی است که با نتایج مطالعات زمین شناسی و هیدروژئولوژی مطابقت داشته باشد. در ابتدا لازم است برای بدست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه، تفسیر بصورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری و مقاطع ظاهری مورد ارزیابی قرار می گیرند. برای بدست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید بصورت کمی انجام گیرد. در تفسیر کمی از داده های خام (مقاومت ویژه های ظاهری)، یکسری از پارامترهای فیزیکی مانند مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها معین می شوند. برای کاملتر کردن تفسیر، باید نتایج حاصله را با سایر داده های حاصل از زمین شناسی و یا اطلاعات بدست آمده از حفاری چاه ها در مناطق اطراف تلفیق نمود [۱۲].

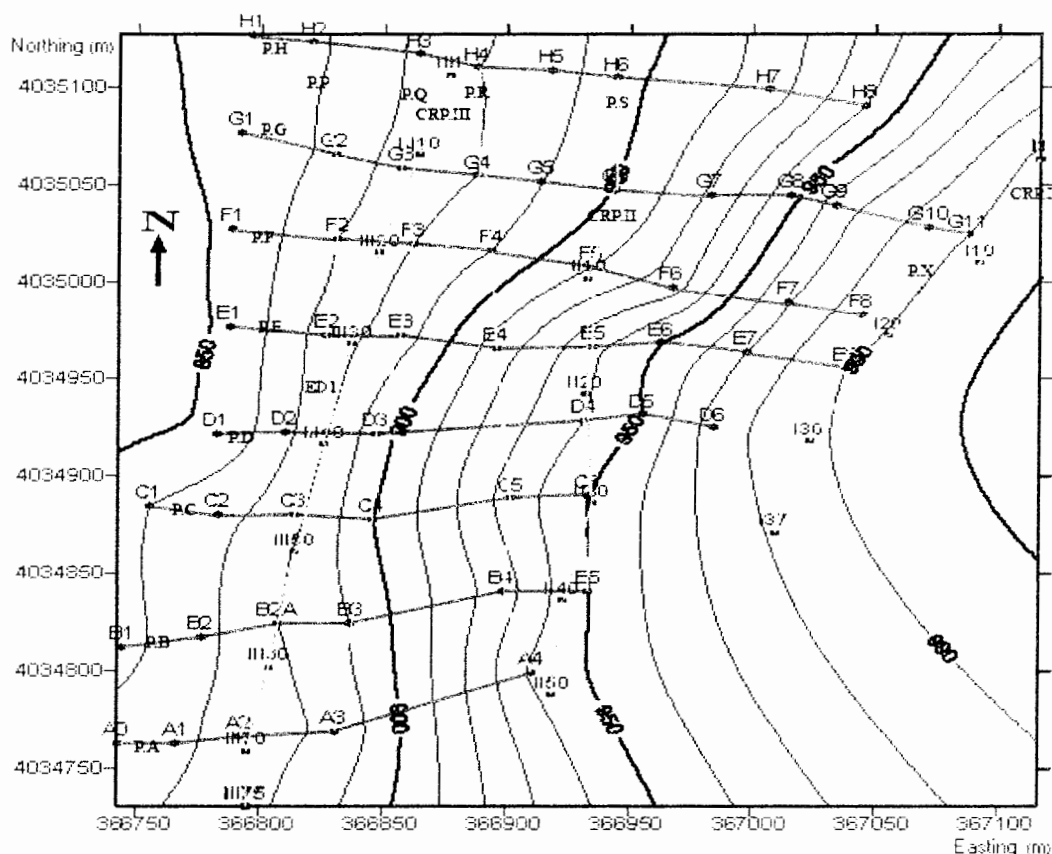
تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه در ادامه این فصل و تفسیر کمی داده های مقاومت ویژه منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدلسازی معکوس یک بعدی و دوبعدی در فصل ۴ ارائه می شوند.

### ۳-۲ داده های اندازه گیری شده

در محدوده زمین لغزش مورد مطالعه در بزرگراه قزوین- رشت، تعداد ۶۰ سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش شلومبرگر و تعداد ۳ پروفیل داده های مقاومت ویژه به روش CRP (آرایش نیم شلومبرگر متقارن) با استفاده از امکانات و تجهیزات شرکت مهندسين مشاور زمین فیزیک در تیر ماه ۱۳۸۵ اجرا شد. وسعت محدوده برداشت داده ها دارای حداکثر ۳۷۰ متر عرض در پهنای توده لغزشی و ۳۸۰ متر طول در طول توده لغزشی می باشد. توپوگرافی تقریبی و موقعیت پروفیل‌های CRP و سونداژها و پروفیل‌های آنها در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. مختصات جغرافیایی سونداژها و پروفیلها و ارتفاع محل آنها در پیوست ب ارائه شده است.

### ۳-۲-۱ پروفیل‌های CRP

بعلت نبود چاه های اکتشافی جهت کنترل نتایج داده های اندازه گیری شده، پروفیل زنی داده های مقاومت ویژه به روش CRP، برای کسب اطلاعاتی درباره گسل ها و ناپیوستگی های زیرسطحی و



شکل ۳-۷: موقعیت سونداژها و پروفیل ها در روی نقشه توپوگرافی منطقه لغزشی

(خطوط آبی: پروفیل های طولی؛ خطوط قرمز: پروفیل های عرضی)؛

نیز نحوه تغییرات جانبی مقاومت ویژه در عمق معین در طول پروفیل، انجام شد.

در پروژه حاضر، پروفیل زنی به روش CRP، بصورت ترکیبی از آرایش های نیم شلومبرگر جلویی و نیم شلومبرگر عقبی (نیم شلومبرگر متقارن)، بطور متقارن نسبت به نقطه O در طول ۳ خط پروفیل استفاده شده است. نقطه O واقع بر وسط الکترودهای پتانسیل می باشد. در این روش برای هر ایستگاه اندازه گیری در طول پروفیل، برای فاصله الکترودی جریان یعنی OA برابر با ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متر و فاصله الکترودهای پتانسیل برابر ۱۰ متر بطور ثابت، داده های مقاومت ویژه هر بار بطور متقارن نسبت به نقطه O قرائت شد. در طول تمام پروفیل ها، فاصله بین ایستگاه های اندازه گیری برابر ۵ متر است. لازم به ذکر است که در برداشتهای نیم شلومبرگر متقارن، الکترو دی نهایت عمود بر راستای گسترش الکترودها قرار داشت. داده های اندازه گیری شده پروفیل های CRP در پیوست پ آمده است. مشخصات پروفیل های CRP بصورت زیر است:

- **پروفیل  $CRP.I$**  : این پروفیل در قسمت شرقی منطقه لغزشی و در ارتفاع بالاتری نسبت به دو پروفیل دیگر قرار دارد. طول پروفیل ۱۸۰ متر و جهت پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی است.
- **پروفیل  $CRP.II$**  : این پروفیل در قسمت مرکزی منطقه لغزشی قرار دارد و درازای پروفیل ۲۴۵ متر و جهت پروفیل بصورت شمالی- جنوبی می باشد.
- **پروفیل  $CRP.III$**  : این پروفیل در قسمت غربی منطقه لغزشی و در ارتفاع پائین تری نسبت به پروفیل های دیگر قرار دارد. طول پروفیل ۳۷۰ متر و جهت پروفیل، تقریباً شمالی- جنوبی است.

### ۲-۲-۳ پروفیل های طولی و عرضی سونداژها

در سونداژزنی با آرایش شلومبرگر، برای هر سونداژ بطور متوسط ۱۵ داده مقاومت ویژه، با حداقل فاصله الکتروود جریان  $AB=6$  متر و حداکثر  $AB=300$  متر اندازه گیری و قرائت شد. فاصله بین مراکز سونداژ حداقل ۱۸ متر و حداکثر ۹۰ متر و بطور متوسط ۳۵ متر می باشد.

برای مطالعه ژئوالکتریکی منطقه لغزشی، تعداد ۶۰ سونداژ داده های مقاومت ویژه با استفاده از آرایش شلومبرگر در ۸ پروفیل طولی بصورت شرقی- غربی در طول توده و ۵ پروفیل عرضی بصورت تقریباً شمالی- جنوبی در پهنای توده لغزشی برداشت شده اند. نحوه گسترش طولی الکتروودهای آرایش شلومبرگر در سونداژها بصورت شمالی- جنوبی است. بدلیل کوهستانی بودن منطقه و شرایط ناپایدار شیب، امکان گسترش طولی الکتروودها بصورت شرقی- غربی میسر نبود. داده های اندازه گیری شده برای سونداژها در پیوست ت ارائه شده است. مشخصات پروفیلها در جدول ۳-۲ ارائه شده است.

### ۳-۳ تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی $CRP$

در پروفیل زنی، با آرایش ثابت و فواصل الکتروودی یکسان و ثابت اندازه گیری ها در طول خط پروفیل انجام می شوند. در پروفیل زنی، داده ها به یک عمق ثابت اشاره می کند، که البته همیشه اینگونه نیست، چون عوامل مختلفی عمق نفوذ را تحت تأثیر قرار می دهد، ولی در اینجا فرض می کنیم فاصله الکتروودی ثابت به یک عمق ثابت اشاره می کند. در تفسیر داده های پروفیل زنی، شکل پروفیل را در نظر می گیریم، اگر تغییرات مقاومت ویژه شدید باشد، محور قائم را لگاریتمی در نظر می گیریم تا از تغییرات کوچک در طول خط پروفیل صرفنظر نمائیم تا روند کلی تغییرات مشخص باشد.

جدول ۳-۲ : مشخصات پروفیل های سونداژها

| نام پروفیل | امتداد پروفیل         | طول پروفیل | تعداد سونداژهای پروفیل                     | فاصله بین سونداژها                            | اختلاف ارتفاع توپوگرافی |
|------------|-----------------------|------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
| طولی A     | شرقی - غربی           | ۱۷۰ متر    | ۵ سونداژ A0 تا A4                          | متغیر بین ۲۰ تا ۹۰ متر                        | ۷۸ متر                  |
| طولی B     | شرقی - غربی           | ۱۸۰ متر    | ۶ سونداژ B1-B5 و B2a                       | متغیر بین ۲۵ تا ۶۰ متر                        | ۹۳ متر                  |
| طولی C     | شرقی - غربی           | ۱۸۰ متر    | ۶ سونداژ C1 تا C6                          | متغیر بین ۲۵ تا ۶۵ متر                        | ۹۰ متر                  |
| طولی D     | شرقی - غربی           | ۲۰۵ متر    | ۶ سونداژ D1 تا D6                          | متغیر بین ۲۰ تا ۸۵ متر                        | ۱۲۳ متر                 |
| طولی E     | شرقی - غربی           | ۲۵۵ متر    | ۸ سونداژ E1 تا E8                          | متغیر بین ۲۵ تا ۴۵ متر                        | ۱۳۸ متر                 |
| طولی F     | شرقی - غربی           | ۲۶۰ متر    | ۸ سونداژ F1 تا F8                          | متغیر بین ۲۵ تا ۴۰ متر                        | ۱۳۳ متر                 |
| طولی G     | شرقی - غربی           | ۳۰۰ متر    | ۱۱ سونداژ G1 تا G11                        | بطور متوسط ۳۰ متر                             | ۱۳۵ متر                 |
| طولی H     | شرقی - غربی           | ۲۵۰ متر    | ۸ سونداژ H1 تا H8                          | متغیر بین ۲۵ تا ۴۰ متر                        | ۸۵ متر                  |
| عرضی P     | شمالی - جنوبی         | ۳۶۵ متر    | ۸ سونداژ A2, B2a, C3, ED1, E2, F2, G2 و H2 | متغیر بین ۲۵ تا ۷۰ متر                        | ۲۲ متر                  |
| عرضی Q     | شمالی - جنوبی         | ۳۵۰ متر    | ۸ سونداژ A3, B3, C4, D3, E3, F3, G3 و H3   | متغیر بین ۴۰ تا ۶۰ متر                        | ۲۸ متر                  |
| عرضی R     | شمالی - جنوبی         | ۳۱۰ متر    | ۷ سونداژ A4, B4, C5, E4, F4, G4 و H4       | متغیر بین ۳۵ تا ۶۰ متر                        | ۶۲ متر                  |
| عرضی S     | شمالی - جنوبی         | ۲۶۵ متر    | ۷ سونداژ B5, C6, D4, E5, F5, G6 و H6       | متغیر بین ۴۰ تا ۵۵ متر                        | ۵۳ متر                  |
| عرضی X     | شمال شرقی - جنوب غربی | ۸۸ متر     | ۳ سونداژ مقاومت ویژه E8, F8 و G11          | بین F8 و G11 : ۶۰ متر<br>بین F8 و E8 : ۲۸ متر | ۵ متر                   |

در تفسیر کیفی، معادلات مربوط به مقاومت ویژه الکتریکی بسیار ساده است و خیلی نیاز به فیلتر و پردازش ندارد و می توان از روی بالا و پائین رفتن منحنی مقاومت ویژه، بطور کیفی آنرا تفسیر کرد. البته باید توجه داشت که نباید نویز وجود داشته باشد.

جهت تفسیر کیفی داده های پروفیل زنی و بررسی نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در طول پروفیل، نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب طول پروفیل، با استفاده از نرم افزار EXCEL، بطور جداگانه برای هر پروفیل رسم شده اند. نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در پیوست ث آمده است. برای رسم شبه مقطع قائم مقاومت ویژه با استفاده از آرایش نیم شلومبرگر متقارن، میانگین مقادیر اندازه گیری شده حاصل از نیم شلومبرگر جلویی و عقبی در زیر هر ایستگاه برای عمق AO/2 در نظر گرفته می شود و نتایج برای ایستگاه های متوالی در طول پروفیل، با نرم افزار SURFER کانتور و مورد بررسی و تفسیر کیفی قرار می گیرند [۲]. شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه ظاهری برای هر سه پروفیل CRP در پیوست ث آمده است.

### ۳-۳-۱ پروفیل CRP.I

بدلیل اینکه پروفیل I بر روی واریزه های دانه درشت، اغلب از جنس داسیت، واقع است، مقاومت ویژه بالایی در اندازه گیری ها بدست آمده اند (۷۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم متر). نمودارهای تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظاهری در این پروفیل برای فاصله AO برابر ۳۰ متر در شکل ۳-۸ و برای فواصل دیگر، در پیوست ث نشان داده شده است. هر سه نمودار پروفیل، مقاومت ویژه بالایی نشان می دهند و از لحاظ تغییرات مقاومت ویژه ظاهری، روند تقریباً مشابهی دارند. علت مقاومت ویژه بالا در بعضی نواحی، وجود واریزه های دانه درشت و بلوکی می باشد و در بعضی قسمت ها که مقاومت ویژه پائین بعلت اندازه دانه هایی است که از متوسط تا درشت متغیر است.

در پروفیل I برای  $AO=20$  متر، می توان از ابتدا تا ۴۳ متری پروفیل را زون با مقاومت ویژه بالا (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ اهم متر) و از فاصله ۴۳ تا ۹۷ متری با مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰۰ اهم متر را زون رساناتر پروفیل و از فاصله ۹۷ متر تا انتها را زون با مقاومت ویژه بالا (۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم متر) در نظر گرفت. موارد فوق عیناً برای  $AO=30$  متر نیز صادق است. برای نمودار مربوط به  $AO=50$  متر، از ابتدای پروفیل تا فاصله ۱۱۵ متری، زون با مقاومت ویژه متوسط (۱۰۰۰ اهم متر) مشاهده می شود ولی برای نیمه انتهایی پروفیل، مقاومت ویژه به حدود ۲۰۰۰ اهم متر می رسد.

ناپیوستگی ها یا گسل های موجود در پروفیل CRP.I عبارتند از:

« نمودار  $AO=20$  متر: در فاصله ۹۰ متری.

« نمودار  $AO=30$  متر: در فواصل ۲۸، ۵۰ و ۹۰ متری.

« نمودار  $AO=50$  متر: در فاصله ۸ متری.

ناپیوستگی یا گسل واقع در ۹۰ متری نمودارهای ۳۰ و  $AO=20$  متر در نمودار سوم مشاهده

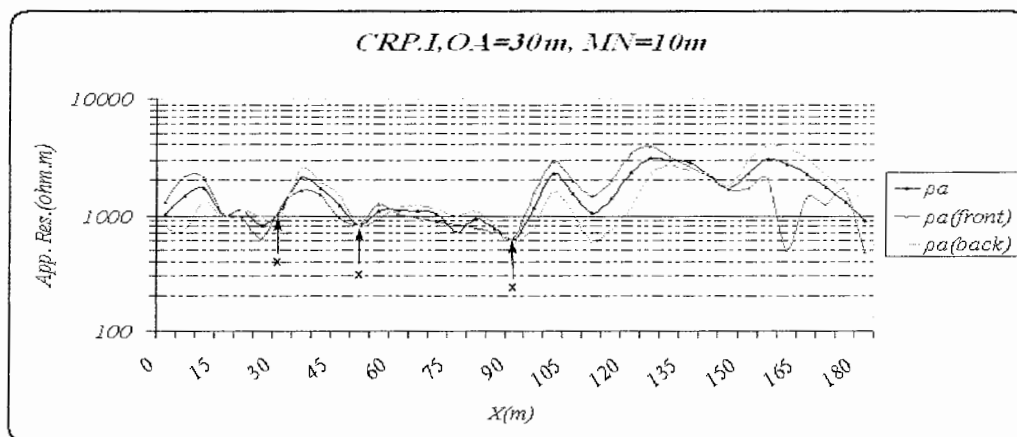
نمی شود که دلیلی بر سطحی بودن ناپیوستگی یا گسل احتمالی است.

شبه مقطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی این پروفیل در شکل ث-۳ پیوست ث نشان داده شده

است. همانطور که مشاهده می شود، در ۴۰ متر ابتدای پروفیل و نیز در فاصله بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ متری

تغییرات جانبی مقاومت ویژه وجود دارد که در فواصل انتهایی شدت بیشتری دارد، بنابراین در این

نواحی با ناپیوستگی مواجه می باشیم؛ از این رو لازم است تا بررسی های بیشتری صورت پذیرد.



شکل ۳-۸: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله الکترودهای جریان OA=30m

### ۳-۳-۲ پروفیل CRP.II

نمودارهای تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظاهری در این پروفیل در شکل‌های ۳-۹ و ۳-۴ و ۳-۵ پیوست ۳ رسم شده است. هر سه نمودار روند تقریباً مشابهی از نظر تغییرات مقاومت ویژه ظاهری دارند. مقاومت ویژه ظاهری در طول پروفیل‌ها بین ۶۰ تا ۳۰۰۰ اهم متر تغییر می‌کند و از ابتدا به طرف انتهای پروفیل، با چشم پوشی از استثناء‌ها، افزایش محسوسی را نشان می‌دهند، هر چند که با افزایش AO، مقاومت ویژه کاهش می‌یابد که یکی از دلایل آن را هوازدگی سنگ‌های سطحی لحاظ کرد. می‌توان این پروفیل را در تمامی نمودارها به دو ناحیه تقسیم کرد که در آن از ابتدای پروفیل تا ۱۲۰ متری را زون با مقاومت ویژه پائین، بدلیل واریزه‌های دانه ریز تا دانه درشت، و بعد از فاصله ۱۲۰ متری را زون با مقاومت ویژه بالا، بدلیل واریزه‌های دانه درشت و بلوکی در نظر گرفت.

ناپیوستگی‌ها یا گسل‌های موجود در پروفیل CRP.II عبارتند از:

« نمودار AO=۲۰ متر: در فواصل ۲، ۳۲، ۱۰۰ و ۱۹۷ متری.

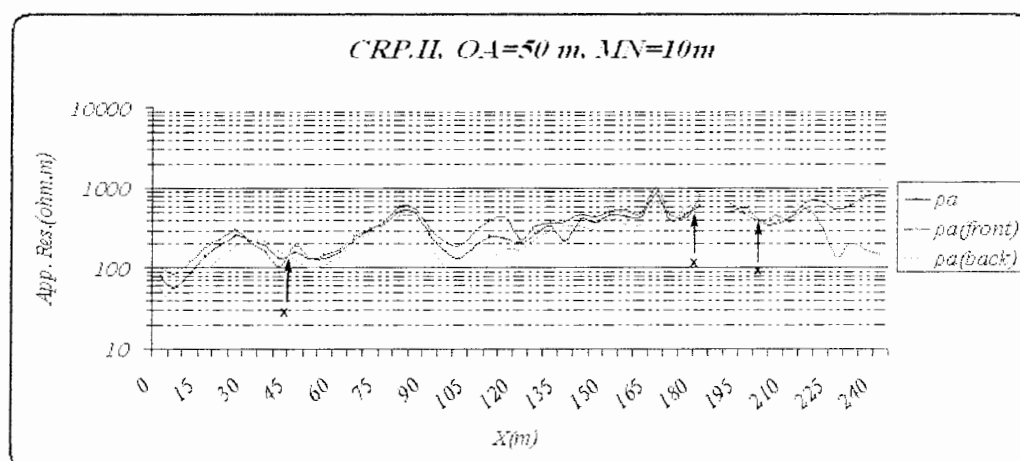
« نمودار AO=۳۰ متر: در فواصل ۲۸، ۹۳، ۲۰۴ و ۲۲۷ متری.

« نمودار AO=۵۰ متر: در فواصل ۴۳، ۱۷۸ و ۱۹۹ متری.

ناپیوستگی یا گسلی که در فاصله تقریبی ۲۰۰ متر در هر سه نمودار مشاهده می‌شوند نشانگر ناپیوستگی یا گسلی است که از سطح زمین تا عمق پائین تر ادامه دارد ولی ناپیوستگی یا گسلی که در نمودارهای مربوط به AO برابر ۲۰ و ۳۰ متر به ترتیب در فواصل ۱۰۰ و ۹۳ متر دیده می‌شوند و



اثری از آن در نمودار سوم دیده نمی شود دلیلی بر سطحی بودن آن است. شبه مقطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ت-۶ پیوست ت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در فاصله ۱۳۰ تا ۲۴۰ متری با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد و همچنین تغییرات جانبی مقاومت ویژه در فاصله ۱۲۰ متری ابتدای پروفیل مشاهده می شود. بنابراین در این ناحیه نیز در فواصل ۲۰، ۶۵ و ۱۰۵ متری پروفیل، ناپیوستگی داریم. بنابراین برای بررسی دقیق، نیاز به تفسیر کمی با مدلسازی معکوس دو بعدی می باشد.



شکل ۳-۹: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.II برای فاصله الکترودهای جریان OA=50m

### ۳-۳-۳ پروفیل CRP.III

نمودارهای تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظاهری در این پروفیل در شکل‌های ۳-۱۰ و ۳-۷ و ت-۸ پیوست ت رسم شده اند. بدلیل اینکه این پروفیل بر روی واریزه های غالباً دانه ریز واقع است، دارای مقاومت ویژه پائین (۲۰ تا ۲۰۰ اهم متر) می باشند و هر سه نمودار از لحاظ تغییرات مقاومت ویژه ظاهری، روند تقریباً مشابهی دارند، هر چند که با افزایش AO، مقاومت ویژه کاهش می یابند. بطور کلی، در تمامی نمودارها، می توان ۱۴۰ متر ابتدای پروفیل را زون با مقاومت ویژه بالا، فاصله ۱۴۰ تا ۲۶۰ متر را زون رسانا و از ۲۶۰ تا ۳۰۰ متری را زون با مقاومت ویژه متوسط و از فاصله ۳۰۰ متر تا انتهای پروفیل را زون با مقاومت ویژه بالا در نظر گرفت.

ناپیوستگی ها یا گسل های موجود در پروفیل CRP.III عبارتند از:

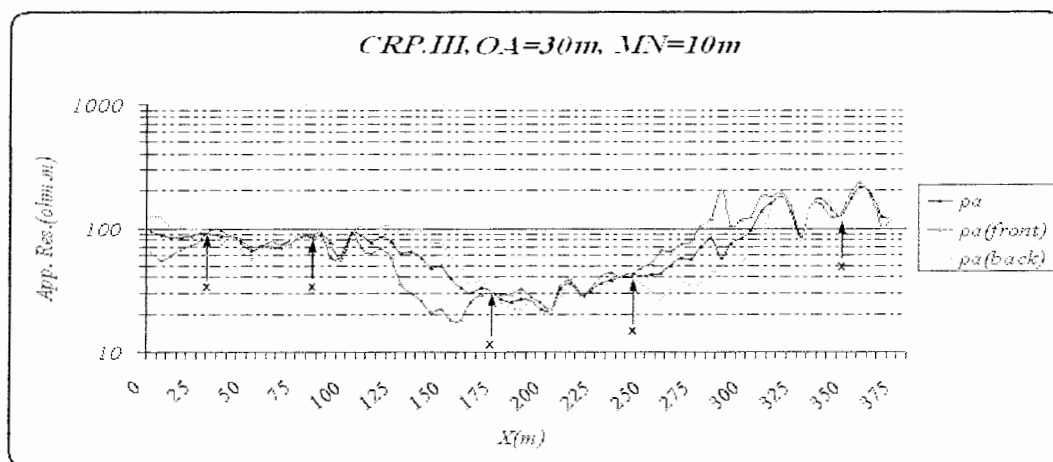
« نمودار  $AO=20$  متر: در فواصل ۲۳، ۴۵، ۷۲، ۸۴، ۱۷۰، ۲۴۸، ۳۴۴ متری.

« نمودار  $AO=30$  متر: در فواصل ۲۸، ۸۰، ۱۷۰، ۲۴۰ و ۳۴۴ متری.

« نمودار  $AO=50$  متر: در فواصل ۲۳، ۳۳، ۴۵، ۹۳ و ۱۸۲ متری.

در ابتدای پروفیل، در فاصله ۲۰ تا ۴۵ متری هر سه نمودار عملکرد گسلهایی را نشان می دهند که حاکی از گسترش عمقی ناپیوستگی احتمالی می باشد و همچنین وجود ناپیوستگی ها یا گسل های مشابهی را در فاصله تقریبی ۸۰ و ۱۷۰ متری در هر سه نمودار مشاهده می شوند که در این موارد نیز این گسلها از سطح زمین تا عمق بیشتر ادامه دارند. اما ناپیوستگی یا گسلی که در فاصله تقریبی ۲۴۰ متری در نمودارهای مربوط به ۳۰ و  $AO=20$  متر دیده می شود در نمودار انتهایی مشاهده نمی شود که دلیلی بر سطحی بودن آن می باشد.

شبه مقطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ث-۹ پیوست ث نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در فاصله ۱۳۰ متری ابتدای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد و همچنین بعلا تغییرات جانبی مقاومت ویژه بین ایستگاه های ۲۵ تا ۳۵، ناپیوستگی یا گسل مشاهده می شود. در فاصله بین ۲۸۰ متری تا انتهای پروفیل، تغییرات جانبی شدید مقاومت ویژه وجود دارد، بنابراین در این ناحیه نیز با ناپیوستگی مواجه هستیم. بنابراین برای بررسی دقیق نیاز به تفسیر کمی با مدلسازی معکوس است.



شکل ۳-۱: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.III برای فاصله الکترودهای جریان  $OA=30m$

آنچه که از مطالعه سه پروفیل CRP مذکور نتیجه می شود این است که می توان از تغییرات جانبی مقاومت ویژه پروفیل مورد نظر و یا از وجود ناپیوستگی ها یا گسل های احتمالی و میان لایه های واقع در زیر سطح، در بررسی کیفی سونداژها و شبیه مقاطع آنها و همچنین در تفسیر کمی دوبعدی مقاطع استفاده کرد. لازم به ذکر است که ناپیوستگی ها یا گسل های احتمالی مذکور، ممکن است میان لایه های واقع در زیر سطح باشد و بصورت ناپیوستگی یا گسل نباشد.

### ۳-۴ تفسیر کیفی داده های سونداژ الکتریکی

آنچه که در تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی مورد توجه قرار می گیرد، نقاط ماکزیمم و مینیمم در روی این منحنی ها است. وجود هر ماکزیمم یا مینیمم برای طبقات افقی می تواند معرف وجود یک لایه با مقاومت ویژه متفاوت باشد. البته باید در نظر داشت که این قاعده کلی نیست و برای اینکه یک لایه بتواند خود را روی منحنی نشان دهد باید دارای ضخامت کافی و اختلاف مقاومت ویژه مناسب با طبقات مجاورش باشد. مسئله قابل اهمیت در این مورد، شناخت منحنی های سونداژ الکتریکی برای ساختارهای مختلف است.

جهت تفسیر کیفی داده ها و بررسی نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری، نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) برای سونداژهای واقع در هر پروفیل (طولی و عرضی) با استفاده از نرم افزار EXCEL، بعد از اعمال تصحیح کلاچ رسم شده اند. شکل های مربوط به نمودارهای هر پروفیل در بخش تفسیر کیفی همان پروفیل نشان داده شده اند. در پروفیل های طولی، با بررسی تمام نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه، می توان گفت که اکثراً در فاصله ( $AB/2$ ) کمتر از ۳۰ متر، مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای واقع در پروفیلها، بدون در نظر گرفتن چند مورد استثناء، از سونداژهای ابتدای پروفیل به طرف سونداژهای انتهای پروفیل روند افزایشی دارند. همچنین در پروفیل های عرضی با مقایسه نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه، مشاهده می شود که سونداژهای پروفیل P، در قسمت پائین منطقه لغزشی، مقاومت ویژه پائینی نسبت پروفیل های عرضی دیگر دارد و با افزایش ارتفاع، مقاومت ویژه سونداژهای پروفیل ها نیز افزایش می یابد. تغییرات مقاومت ویژه فوق الذکر می تواند مربوط به وجود رطوبت و واریزه های دانه ریز تا دانه

متوسط با مقاومت ویژه پائین در بخش پائینی منطقه لغزشی و واریزه های دامنه ای شامل بلوکها و مواد دانه درشت حاصل از ریزش از ارتفاعات بالاتر و غالباً از جنس داسیت با مقاومت ویژه بالا در پروفیل‌های واقع در بخش مرکزی و بالایی می باشند. در نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه، اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری یک سونداژ نسبت به سونداژهای دیگر می تواند بعلت وجود ناپیوستگی ها و ناهمگنی های جانبی ناشی از وجود گسل، بیرون زدگی، اثر چین خوردگی، وجود آب در لایه های زیرین و یا تغییرات لیتولوژی باشد که بررسی کمی و نتایج مدلسازی معکوس علت اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری را بطور دقیق مشخص خواهد کرد. پس برای بررسی دقیق تر گسترش لایه بندی و گسل‌های موجود، نیاز به تفسیر کمی با مدلسازی معکوس برای کلیه پروفیل ها می باشد.

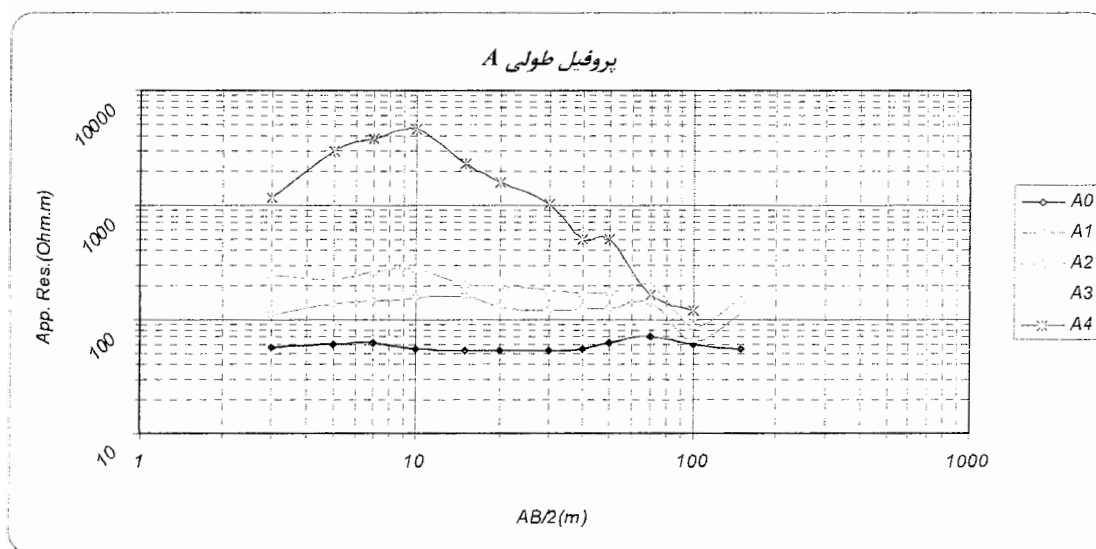
با استفاده از سونداژهای تصحیح شده توسط روش کلاچ، شبه مقطع قائم مقاومت ویژه برای پروفیل های مورد نظر تهیه شده اند. برای رسم شبه مقطع قائم با استفاده از آرایش شلومبرگر، مقادیر اندازه گیری شده حاصل از این آرایش در زیر هر ایستگاه برای عمق  $AB/4$  در نظر گرفته می شوند و نتایج برای مراکز سونداژهای متوالی در طول پروفیل، با نرم افزار SURFER کانتور و مورد بررسی و تفسیر کیفی قرار می گیرند. شکلهای مربوط به شبه مقاطع تمامی پروفیلها در پیوست ج آمده است. در این شکل ها، محور قائم، ارتفاع از سطح تراز دریا  $H(m)$  و محور افقی، طول پروفیل  $X(m)$  می باشد و شبه مقاطع به گونه ای رسم شده اند که تغییرات توپوگرافی را در طول پروفیل نشان دهند.

### ۳-۴-۱ پروفیل طولی A

همانگونه که از نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) (شکل ۳-۱۱) مشاهده می گردد، کلیه سونداژها، به غیر از سونداژ A4، روندی شبیه به هم دارند. علت پائین بودن مقاومت ویژه ظاهری سونداژ A0 می تواند مربوط به اندازه گیری آن بر روی سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) رخنمون دار با مقاومت ویژه پائین و نیز رطوبت موجود در این سنگها باشد که در دامنه کوه قرار گرفته اند. در فاصله بین سونداژ های A1 تا A3 رخنمون های سنگ بستر سیلیسی مشاهده می شود که می تواند دال بر نزدیک بودن مقادیر مقاومت ویژه این سونداژ ها باشد. در کلیه سونداژ ها، مقاومت ویژه نزدیک سطح زمین بعلت هوازدگی و خشک بودن و نیز وجود واریزه های دامنه ای، بالاتر از مقاومت ویژه اعماق پائین تر است. در سونداژ A4 تا وقتی که فاصله

(AB/2) به ۵۰ متر می رسد مقاومت ویژه بالا می باشد که می تواند مربوط به سنگ بکر داسیت باشد. در فاصله (AB/2) بیش از ۵۰ متر، مقاومت ویژه ظاهری سونداژها تقریباً نزدیک بهم بوده که می تواند دلیلی بر همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر کلیه سونداژها باشد. با توجه رخنمون سنگ سیلیسی هوازده در محل سونداژهای A1 تا A3، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیشتر از ۵۰ متر برای کلیه سونداژها، ممکن است سنگ بستر سیلیسی باشد. مقاومت ویژه ظاهری سونداژ A4 نسبت به مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای دیگر بیشتر بوده و به سمت بالا جابجا شده است که می تواند بدلیل وجود ناهمگنی های جانبی و واقع بودن سونداژ در روی قسمت نلغزیده باشد.

شبه مقطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۱ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از فاصله ۱۰۰ متری تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد و همچنین تغییرات لایه بندی در عمق ظاهری بیشتر از ۳۵ متر در فاصله بین سونداژهای A0 تا A3 دیده می شود. بعلت تغییرات مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر آن در فاصله بین سونداژهای A3 و A4 و نیز در فاصله بین سونداژهای A0 و A2، در فاصله AB/2 کمتر از ۷۰ متر، ناپیوستگی هایی مشاهده می شوند.



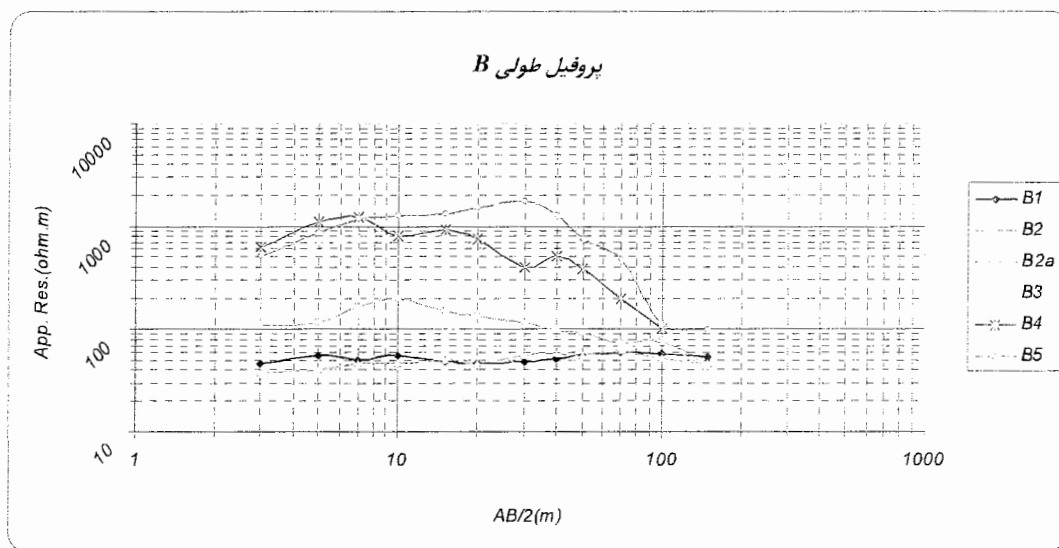
شکل ۳-۱۱: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی A

### ۳-۴-۲ پروفیل طولی B

با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی و توفهای سیلیسی، سونداژهای B1، B2 و B2a بر روی رخنمون سنگهای آتشفشانی و B3 در مرز بین بیرون زدگیها و B4 بر روی توف های سیلیسی هوازده و واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت و واریزه های دانه متوسط و B5 در روی سنگ بکر داسیت قرار گرفته اند. شکل ۳-۱۲، نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) را نشان می دهد. از این نمودار مشاهده می شود که سونداژهای B1، B2 و B2a روندی مشابه به هم و دارای مقاومت ویژه ظاهری پائینی هستند که دلیل آن می تواند مربوط به رطوبت موجود در سنگها و یا اندازه گیری بر روی سنگهای آذرین نفوذی (خاکسترهای آتشفشانی) باشد که مقاومت ویژه پائینی دارند. در سونداژ B4 در فاصله AB/2 کمتر از ۱۰۰ متر و در سونداژ B3 در فاصله AB/2 کمتر از ۲۰ متر، مقاومت ویژه ظاهری بالا می باشند، که دلیل آن مربوط به واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت و هوازدهی سنگهای سطحی می باشد. در فاصله (AB/2) بیش از ۵۰ متر، مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای B1 تا B3 تقریباً نزدیک بهم بوده که می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای عمق مربوط به فاصله مذکور باشد، با توجه رخنمون سنگ آذرین هوازده در محل سونداژهای ابتدایی پروفیل، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیش از ۳۰ متر، سنگ بستر سیلیسی می باشد و نیز بعلا برون زدگی سنگ بستر سیلیسی هوازده در محل سونداژهای انتهایی، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیش از ۵۰ متر، سنگ بستر سیلیسی می باشد. تغییرات جزئی مقاومت ویژه ای که در عمق مشاهده می شود احتمالاً بعلا کاهش اثر رطوبت زمین در اثر افزایش ارتفاع توپوگرافی و اثر لایه های بالایی در داده های مقاومت ویژه باشد و این موضوع برای سونداژهای B4 و B5 نیز صادق است. مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای B1، B2 و B2a نسبت به مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای دیگر پائین تر بوده و در نمودارها نیز جابجایی قابل ملاحظه ای نشان می دهند که می تواند بدلیل وجود ناهمگنی های جانبی باشد.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۲ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ B2a تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در موقعیت سونداژ B2a مقاومت ویژه پائینی دیده



شکل ۳-۱۲: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی B

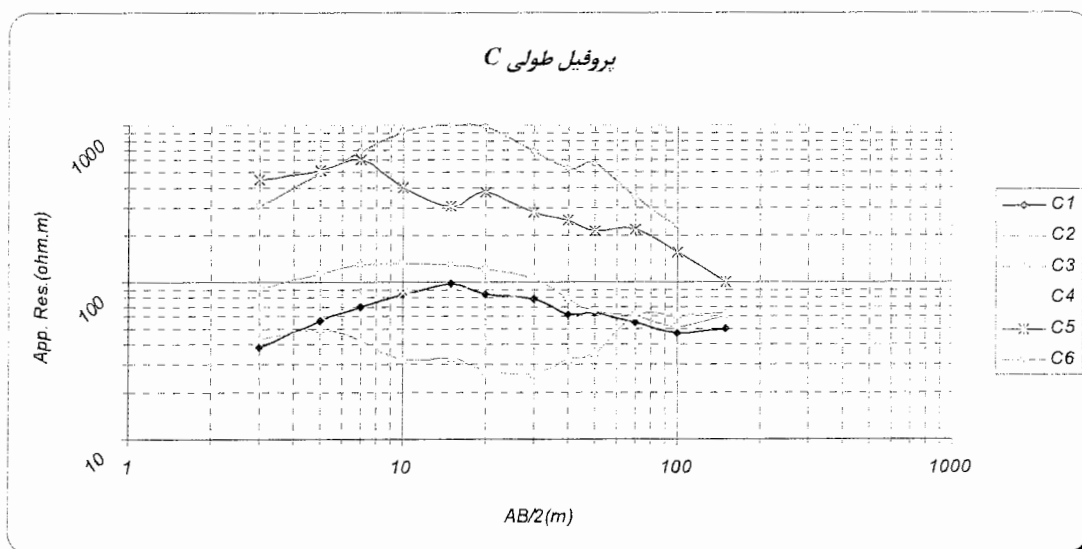
می شود که می تواند به علت رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلا تغییرات جانبی مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر مقاومت ویژه از محل سونداژ B2a تا انتهای پروفیل و نیز بعلا اختلاف مقادیر مقاومت ویژه بین سونداژهای B2 و B2a، در عمق ظاهری کمتر از ۳۰ متر، ناپیوستگی هایی مشاهده می شوند.

### ۳-۴-۳ پروفیل طولی C

نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. رخنمون سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی در این پروفیل مشاهده می شود. در پروفیل C، سونداژهای C1 تا C3 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی رخنمون دار قرار دارد و سونداژهای C5 و C6 بر روی واریزه های دانه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت و توفهای سیلیسی بیرون زده و هوازده قرار داشته و نیز موقعیت سونداژ C4 در مرز بین بیرون زدگیهای فوق واقع می باشد. سونداژهای C1، C2 و C4 روند تقریباً مشابهی داشته و مقاومت ویژه متوسطی را نشان می دهند. ولی در سونداژ C3، مقاومت ویژه نسبت به سه سونداژ مذکور کاهش زیادی دارد. این تغییر مقاومت ویژه ناشی از وجود ناهمگنی های جانبی می باشد و سونداژهای C5 و C6 نیز دارای مقاومت ویژه خیلی بالا نسبت به بقیه سونداژها دارد که دلیل

آن هم می تواند ناشی از عوامل فوق باشد. در فاصله  $(AB/2)$  بیش از ۶۰ متر، مقاومت ویژه ظاهری سونداژهای C1 تا C4 تقریباً نزدیک بهم بوده که می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای عمق مربوط به فاصله  $AB/2$  بالاتر باشد و تغییرات جزئی که مشاهده می شود بعلت کاهش اثر رطوبت زمین در اثر افزایش ارتفاع توپوگرافی و اثر لایه های بالایی در داده های مقاومت ویژه می باشد. با توجه رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ C3 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله زیاد  $(AB/2)$ ، برای سونداژهای C1 تا C4 سنگهای آذرین نفوذی می باشد. در تمام سونداژها، مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله  $AB/2$  کمتر از ۱۰ متر، روند صعودی دارد ولی بعد از این فاصله، روند نزولی برای هر سونداژ متفاوت بوده و اختلاف جزئی دارند ولی بطور کلی روند کاهشی را نشان می دهد.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۳ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ C3 تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید مقاومت ویژه مواجه هستیم. در موقعیت سونداژ C3 مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به علت رخنمون سنگهای آذرین (برش آشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه در محل سونداژ C4 و نیز بعلت اختلاف مقادیر مقاومت ویژه بین سونداژهای C3 و C2، در عمق ظاهری کمتر از ۳۰ متر، ناپیوستگی هایی مشاهده می شوند.



شکل ۳-۱۳: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

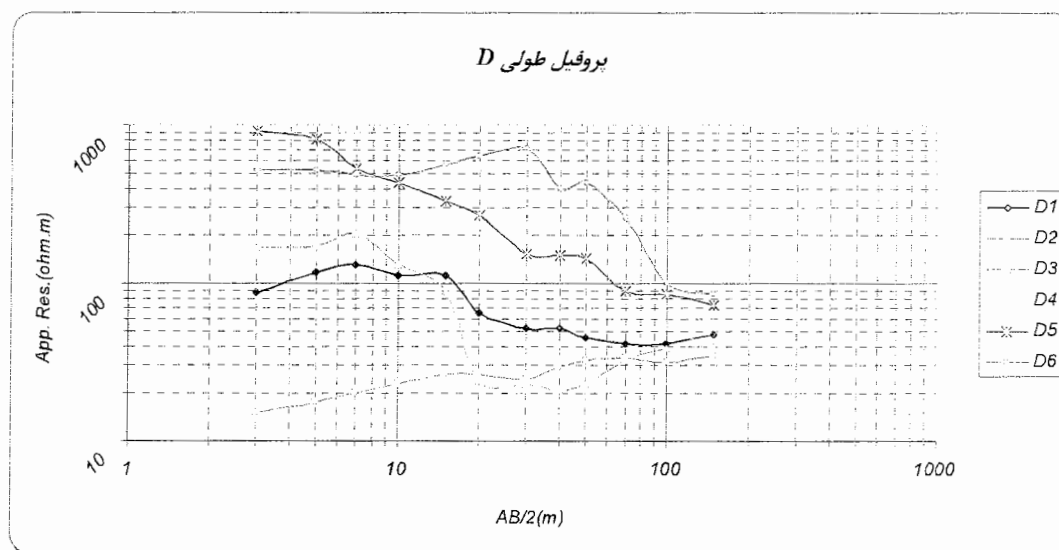
الکتردهای جریان  $(AB/2)$  برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی C



### ۳-۴-۴ پروفیل طولی D

شکل ۳-۱۴، نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) را نشان می دهد. در این پروفیل نیز رخنمون سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی قابل مشاهده بوده و موقعیت چند سونداژ نیز، دقیقاً در محل بیرون زدگیها قرار دارد. در این پروفیل، سه سونداژ اول بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی رخنمون دار قرار دارند و سونداژ های دیگر بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت و توفهای سیلیسی رخنمون دار و هوازده قرار دارد. همانطور که مشاهده می شود، سونداژهای D1 و D3 روند تقریباً مشابه دارند و مقاومت ویژه متوسطی را نشان می دهند ولی سونداژ D2 بعلاوه اندازه گیری بر روی محل رخنمون، مقاومت ویژه خیلی پائینی را تا فاصله ( $AB/2$ ) برابر ۲۰ متر نشان می دهد ولی بعد از آن هر سه روند تقریباً مشابهی دارند؛ یعنی می توان نتیجه گرفت که موقعیت سونداژهای D1 و D3 تا عمق مربوط به فاصله ( $AB/2$ ) ۲۰ متر، دارای واریزه های دامنه ای و هوازگی سنگهای سطحی بوده و برای فاصله بیشتر، بخصوص برای فاصله بیش از ۵۰ متر، می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای اعماق پائین باشد و تغییرات جزئی که مشاهده می شود بعلاوه کاهش اثر رطوبت زمین در اثر افزایش ارتفاع توپوگرافی و اثر لایه های بالایی در داده های مقاومت ویژه می باشد. با توجه رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ D2 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای اعماق پائین تر، برای سونداژهای D1 تا D3 سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) می باشد. این مسئله برای سونداژ های D5 و D6 نیز برای فاصله ( $AB/2$ ) بیش از ۹۰ متر صادق است با این تفاوت که جنس لایه های مربوط از جنس سنگهای سیلیسی می باشد. سونداژهای D4 تا D6 با تغییرات جزئی روند تقریباً مشابه دارند و مقاومت ویژه بالایی نسبت به سونداژهای ابتدایی دارند و در نمودار مربوطه نیز جابجایی قابل ملاحظه ای نشان می دهند که این امر می تواند بعلاوه وجود ناهمگنی های جانبی باشد. در این پروفیل، روند صعودی یا نزولی مقاومت ویژه ظاهری برای سونداژها متفاوت از یکدیگر بوده و تغییرات زیادی دارند.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۴ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ D2 تا انتهای پروفیل، تغییرات شدید لایه بندی وجود و از سطح به طرف عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در موقعیت سونداژ D2 مقاومت ویژه پائینی مشاهده



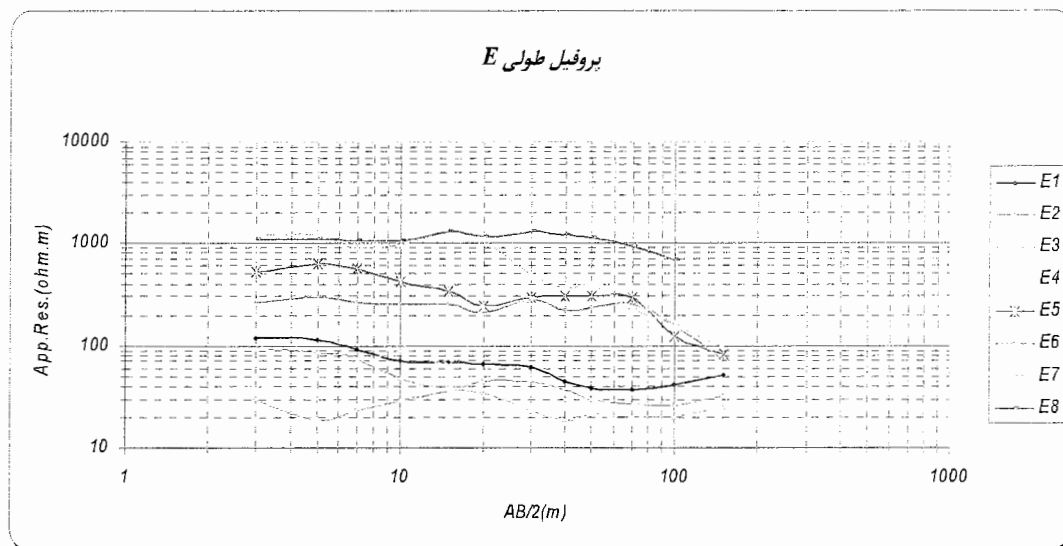
شکل ۳-۱۴: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی D

می شود که می تواند به علت رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر مقاومت ویژه از محل سونداژ D2 تا انتهای پروفیل، ناپیوستگی مشاهده می شود.

### ۳-۴-۵ پروفیل طولی E

در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده قابل مشاهده بوده و سونداژهای E1 تا E4 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی رخنمون دار قرار دارند و سونداژهای E5 تا E8 بر روی توفهای سیلیسی رخنمون دار و هوازده و واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت غالباً از جنس داسیت قرار دارد. نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) در شکل ۳-۱۵ نشان می دهد که سونداژهای E1 تا E4 با تغییرات جزئی روند تقریباً یکسانی دارند و این مسئله درمورد سونداژهای E5 تا E8 نیز صدق می کند. در امتداد این پروفیل، در E2 و E4 با کاهش ناگهانی مقاومت ویژه مواجه هستیم. سونداژ E2 بعلت اندازه گیری آن بر روی بیرون زدگی، مقاومت ویژه پائینی را تا فاصله (AB/2) برابر ۲۰ متر نشان می دهد ولی برای فاصله بیشتر، خصوصاً بعد از ۴۰ متر،



شکل ۳-۱۵: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی E

سونداژهای E1 تا E4 روند مشابه و مقادیر مقاومت ویژه نزدیک بهم دارند؛ یعنی می توان نتیجه گرفت که موقعیت این سونداژها، بغیر از E2، تا عمق مربوط به فاصله (AB/2) ۴۰ متر، دارای واریزه های دامنه ای و هوازدگی سنگهای سطحی بوده و برای فاصله بیشتر، می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر باشد و تغییرات جزئی که مشاهده می شود بعلت کاهش اثر رطوبت زمین در اثر افزایش ارتفاع توپوگرافی و اثر لایه های بالایی در داده های مقاومت ویژه می باشد و با توجه رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ E2 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیش از ۴۰ متر برای سونداژهای E1 تا E4 سنگهای آذرین نفوذی می باشد. این موضوع برای سونداژهای E5 تا E7 نیز برای فاصله (AB/2) بیش از ۳۰ متر صادق است با این تفاوت که جنس لایه های مربوط از سنگهای سیلیسی می باشد. سونداژهای E5 تا E8 با تغییرات جزئی روند تقریباً مشابه دارند و مقاومت ویژه بالایی نسبت به سونداژهای ابتدایی نشان می دهند که این امر می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد.

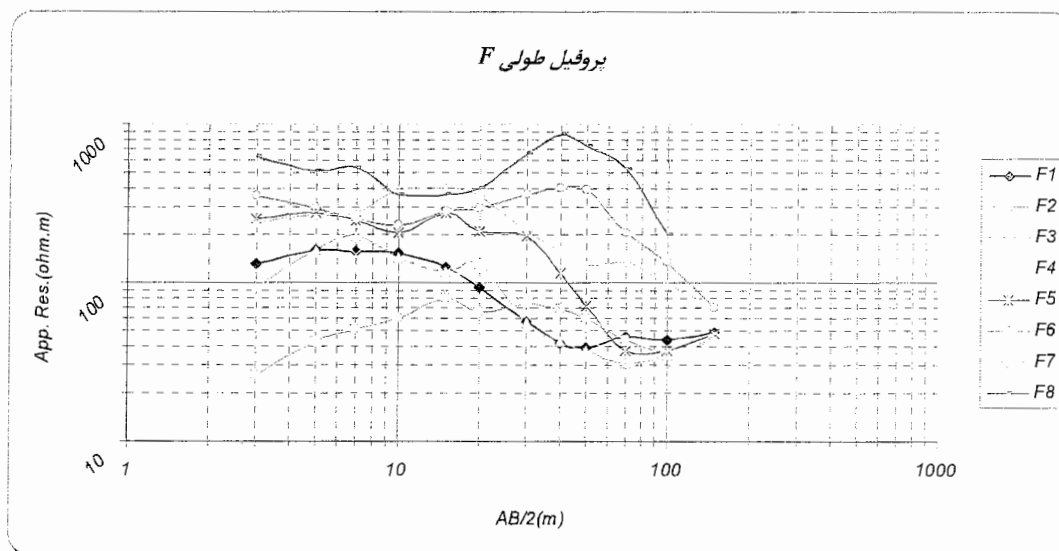
شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۵ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ E4 تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از

سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در فاصله بین سونداژهای E2 تا E4، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به علت رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر مقاومت ویژه از محل سونداژ E4 تا انتهای پروفیل، ناپیوستگی مشاهده می شود.

### ۳-۴-۶ پروفیل طولی F

شکل ۳-۱۶ نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) را نشان می دهد. در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده قابل مشاهده است و سونداژهای F1 تا F3 بر روی واریزه های دانه ریز و سنگهای آذرین نفوذی، که بیرون زدگی آنها کاملاً مشهود است، قرار دارند و سونداژ های دیگر پروفیل بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت، غالباً از جنس داسیت، قرار دارد. سونداژ F2 بعلت اندازه گیری آن در محل رخنمون سنگهای آذرین، مقاومت ویژه خیلی پائینی را نشان می دهد. سونداژهای F1 تا F4 و تا حدودی F5 برای فاصله (AB/2) بیش از ۳۰ متر، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛ یعنی می توان گفت که موقعیت این سونداژها، بغیر از F2، تا عمق مربوط به فاصله (AB/2) ۳۰ متر، دارای واریزه های دامنه ای و هوازده سنگهای سطحی بوده و برای فاصله بیشتر، می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر باشد و تغییرات جزئی که مشاهده می شود بعلت کاهش اثر رطوبت زمین در اثر افزایش ارتفاع توپوگرافی و اثر لایه های بالایی در داده های مقاومت ویژه می باشد. با توجه رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ F2 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیشتر از ۳۰ متر برای سونداژهای فوق الذکر سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) می باشد. اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری مربوط به فاصله (AB/2) بیشتر از ۲۰ متر برای سونداژهای F6 تا F8 نسبت به سونداژهای F1 تا F5 می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۶ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ F3 تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از



شکل ۳-۱۶: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان  $(AB/2)$  برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی F

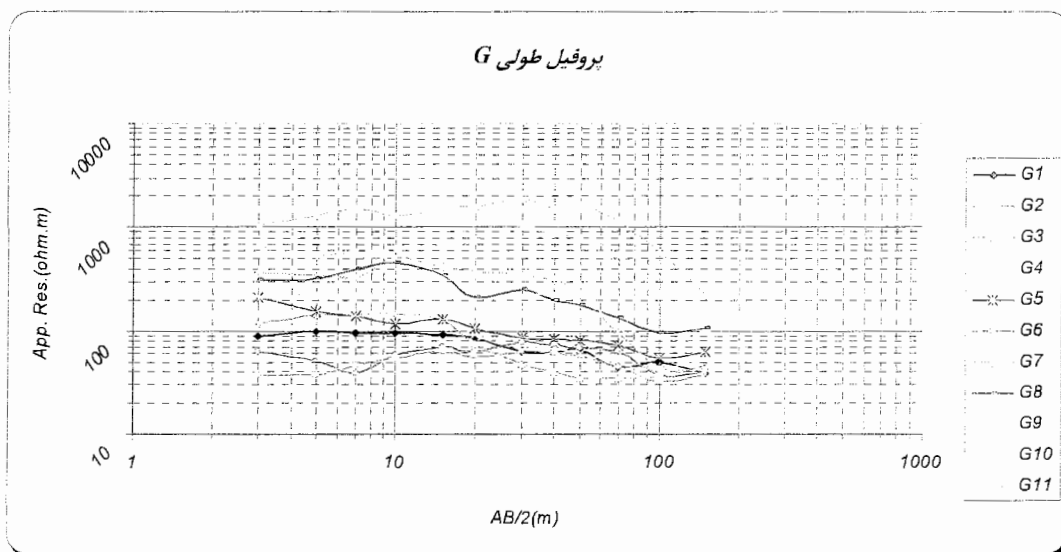
سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژ F2، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به علت رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر مقاومت ویژه در محل سونداژ E4 و برای در عمق ظاهری بیش از ۱۵ متر، ناپیوستگی مشاهده می شود.

### ۳-۴-۷ پروفیل طولی G

نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان  $(AB/2)$  در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده قابل مشاهده است. سونداژهای G1 تا G7 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی، که رخنمون آنها در بعضی نقاط کاملاً مشهود است، قرار دارند و سونداژهای دیگر پروفیل بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت، غالباً از جنس داسیت، با مقاومت ویژه بالا و سنگ سیلیسی رخنمون دار هوازده با مقاومت ویژه متوسط قرار دارد. سونداژ G2 و G6 بعلت اندازه گیری آن در محل رخنمون سنگهای آذرین نفوذی، مقاومت ویژه خیلی پائینی را تا فاصله  $(AB/2)$  ۲۰ متر نشان می دهد. سونداژهای G1 تا G6 برای فاصله  $(AB/2)$  بیش از ۲۰ متر، بدون در نظر گرفتن اختلاف جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛

یعنی می توان گفت که موقعیت این سونداژها، بجز G2، تا عمق مربوط به فاصله (AB/2) ۲۰ متر، دارای واریزه های دامنه ای و هوازدگی سنگهای سطحی بوده و برای فاصله بیشتر، می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ G2 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیشتر از ۲۰ متر برای سونداژهای G1 تا G6، سنگهای آذرین نفوذی (خاکسترهای آتشفشانی) می باشد. سونداژهای G7 تا G9 دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند، این مسئله برای سونداژهای G10 و G11 نیز صدق می کند. اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری برای سونداژهای G7 تا G11 نسبت به سونداژهای G1 تا G6 می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۷ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ G6 تا انتهای پروفیل با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژهای G2 و G6، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه و اختلاف زیاد مقادیر مقاومت ویژه، در بین سونداژهای G9 و G7 و در عمق ظاهری بیش از ۳۵ متر، ناپیوستگی مشاهده می شود.



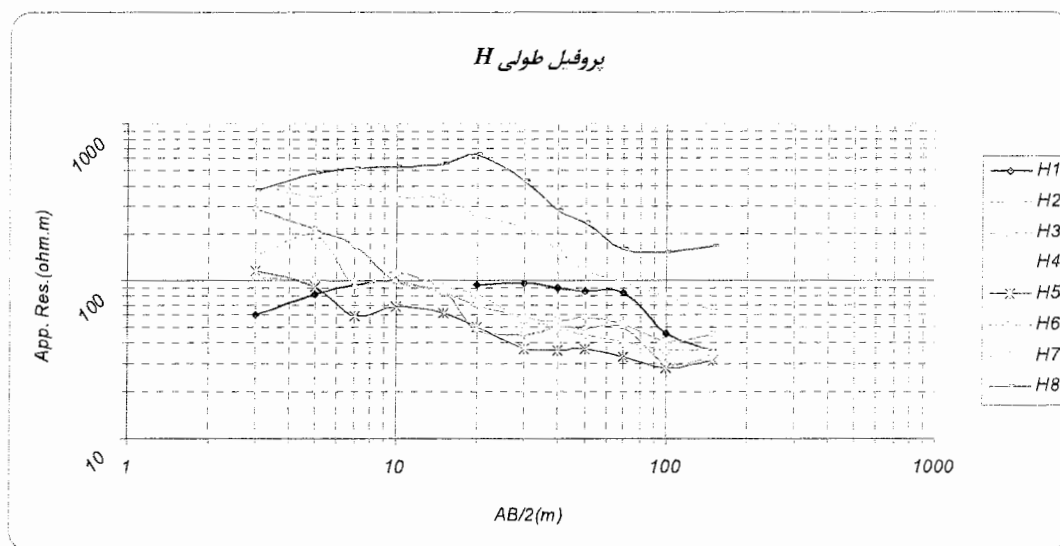
شکل ۳-۱۷: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی G

### ۳-۴-۸ پروفیل طولی H

در این پروفیل بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی قابل مشاهده است. سونداژهای H1 و H2 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای سیلیسی رخنمون دار و سونداژهای H3 تا H6 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی، که رخنمون آنها در بعضی نقاط، مثلاً در محل سونداژ H5، کاملاً مشهود است، قرار دارند و سونداژهای دیگر پروفیل بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت، غالباً از جنس داسیت، با مقاومت ویژه بالا قرار دارد. همانطور که نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) در شکل ۳-۱۸ نشان می دهد سونداژ H5 بعلت اندازه گیری آن در محل رخنمون سنگهای آذرین نفوذی، مقاومت ویژه خیلی پائینی را نشان می دهد. برای سونداژهای H2 تا H6 از فاصله (AB/2) بیش از ۲۰ متر، بدون در نظر گرفتن اختلاف جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛ یعنی می توان گفت که موقعیت این سونداژها، بجز H5، تا عمق مربوط به فاصله (AB/2) ۲۰ متر، دارای واریزه های دامنه ای و هوازگی سنگهای سطحی بوده و برای فاصله بیشتر، می تواند ناشی از همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ H5 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ برای عمق مربوط به فاصله (AB/2) بیشتر از ۲۰ متر برای سونداژهای H2 تا H6، سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) می باشد. اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری برای سونداژهای H2 تا H6 نسبت به سونداژهای قبل و بعد از آنها می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۸ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، از محل سونداژ H5 تا انتهای پروفیل، تغییرات شدید لایه بندی مشاهده می شود و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژ H5، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه، در بین سونداژهای H7 و G10، در در عمق ظاهری بیش از ۳۰ متر، ناپیوستگی مشاهده می شود.



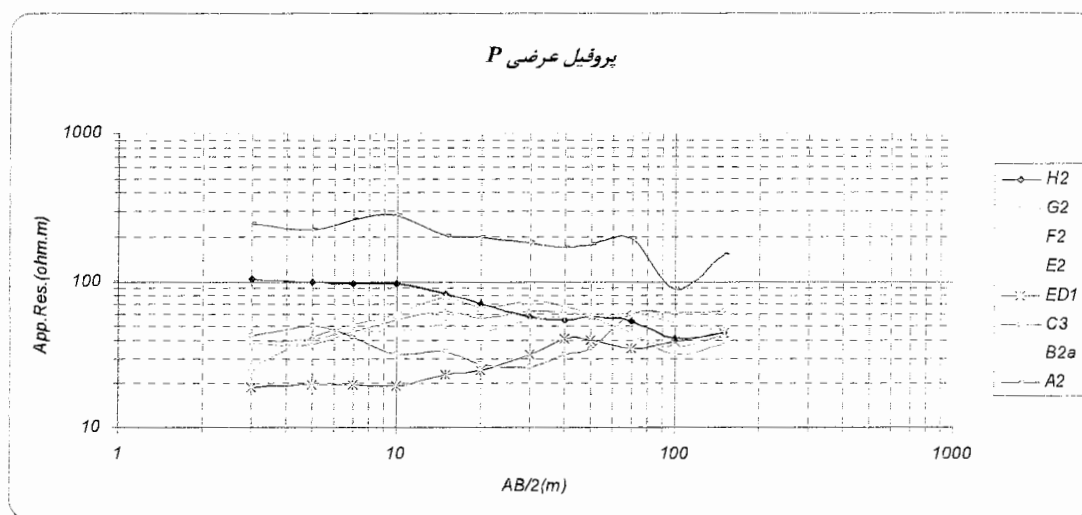
شکل ۳-۱۸: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان  $(AB/2)$  برای سونداژهای واقع بر پروفیل طولی H

### ۳-۴-۹ پروفیل عرضی P

نمودار تغییرات مقاومت ویژه بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان  $(AB/2)$  در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است. در این پروفیل بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و رخنمون سنگ کف سیلیسی قابل مشاهده بوده و کلیه سونداژها بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی، که رخنمون آنها در موقعیت تمامی سونداژها به جز H2 و A2 کاملاً مشهود است، قرار دارند. در محل سونداژ A2 رخنمون های سنگ بستر سیلیسی مشاهده می شود که می تواند علتی برای بالا بودن مقادیر مقاومت ویژه این سونداژ نسبت به سونداژهای دیگر باشد. این موضوع برای سونداژ H2 در فاصله  $(AB/2)$  کمتر از ۲۰ متر صدق می کند. نمودار تغییرات مقاومت ویژه سونداژ H2 از فاصله  $(AB/2)$  بیش از ۲۰ متر و سونداژهای G2 تا B2a، بدون در نظر گرفتن اختلافات جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛ این امر به دلیل همجنس بودن سنگهای اعماق پائین تر باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی و مقاومت ویژه پائین آنها از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژها، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ، از نوع سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) می باشد. اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری سونداژ A2 نسبت به سونداژهای قبل از آنها می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد.





شکل ۳-۱۹: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان  $(AB/2)$  برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی P

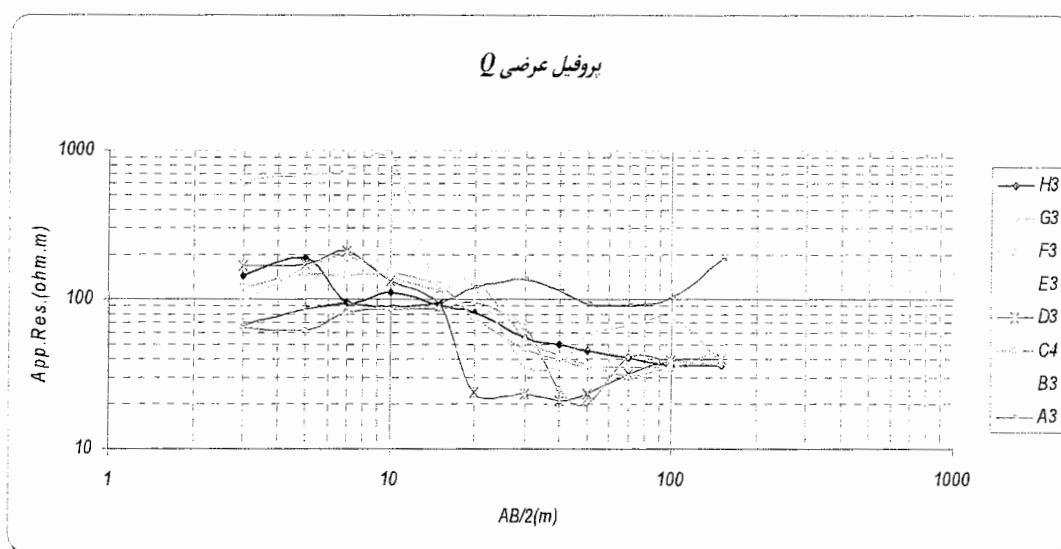
شکل ج-۹ پیوست ج شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، در طول پروفیل P، به استثنای محدوده سونداژهای H2 و A2، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه، در بین سونداژهای A2 و B2a، ناپیوستگی مشاهده می شود.

### ۳-۴-۱۰ پروفیل عرضی Q

شکل ۳-۲۰ نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان  $(AB/2)$  را نشان می دهد. در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده قابل مشاهده است. سونداژ B3 در مرز بین سنگهای بیرون زده و واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت و واریزه های دانه متوسط قرار گرفته اند و سونداژ A3 بعلت اندازه گیری بر روی رخنمون سنگهای سیلیسی مقاومت ویژه متوسطی بین ۹۰-۱۱۰ اهم متر در نمودار تغییرات مقاومت ویژه نشان می دهد. بقیه سونداژهای پروفیل بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی رخنمون دار با مقاومت ویژه پائین قرار دارند. سونداژ B3 مقاومت ویژه ظاهری بسیار زیادی نسبت به سایر سونداژها در فاصله  $(AB/2)$  کمتر از ۲۰ متر نشان

می دهد، همچنین سونداژ A3 مقاومت ویژه ظاهری بیشتری در فاصله  $(AB/2)$  بیشتر از ۲۰ متر نسبت به سونداژهای دیگر، غیر از B3، نشان می دهد. اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری سونداژ A3 در لایه های سطحی و B3 در لایه های پائین تر نسبت به سونداژهای قبل از آنها می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد. نمودار تغییرات مقاومت ویژه سونداژها، به غیر از A3، برای فاصله  $(AB/2)$  بیش از ۲۰ متر، بدون در نظر گرفتن اختلافات جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛ این امر به دلیل همجنس بودن سنگهای اعماق بیشتر باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ E3 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ، از نوع سنگهای آذرین نفوذی است.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۱۰ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در اعماق کم، بخصوص در انتهای پروفیل، با تغییرات شدید لایه بندی مواجه هستیم و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژ E3، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلت تغییرات جانبی مقاومت ویژه، در بین سونداژهای A3 و B3، در در عمق ظاهری بیش از ۲۰ متر، ناپیوستگی مشاهده می شود.



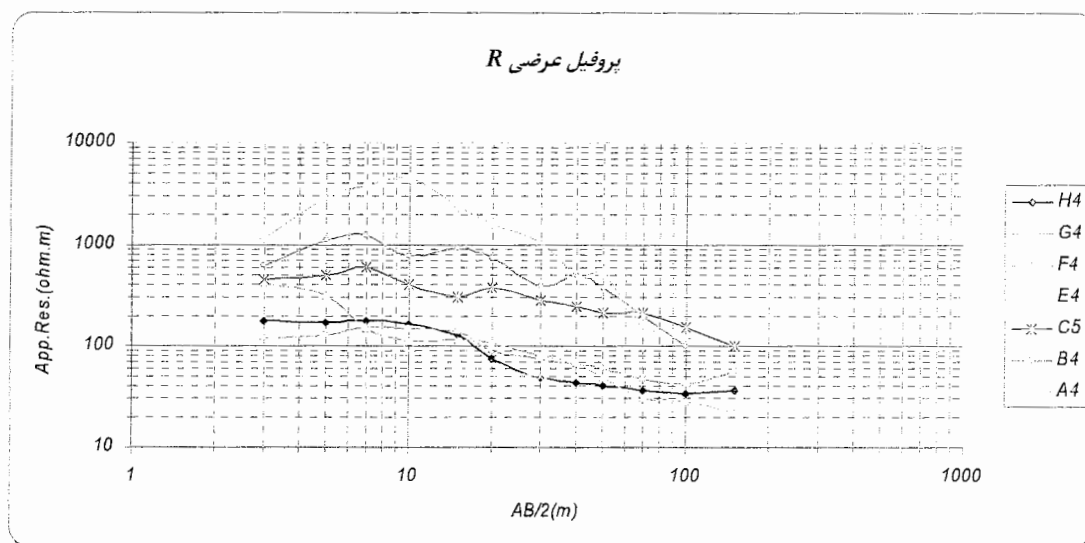
شکل ۳-۲۰: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان  $(AB/2)$  برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی Q

### ۳-۴-۱۱ پروفیل عرضی R

نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است. در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده دیده می شود. سونداژهای A4، B4، C5 بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت، غالباً از جنس داسیت، با مقاومت ویژه بالا و سنگهای سیلیسی رخنمون دار و سونداژهای H4 تا E4 بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی، که رخنمون آنها در بعضی نقاط، مثلاً در محل سونداژ E4، کاملاً مشهود است، قرار دارند. سونداژهای A4، B4، C5 مقاومت ویژه ظاهری بسیار زیادی نسبت به سایر سونداژها نشان می دهند، اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری می تواند بعلت وجود ناهمگنی های جانبی باشد. نمودار تغییرات مقاومت ویژه سونداژهای E4، F4، G4، H4، برای فاصله ( $AB/2$ ) بیش از ۲۰ متر، بدون در نظر گرفتن اختلافات جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک به هم و روندی مشابه دارند؛ این امر به دلیل همجنس بودن سنگهای اعماق بیشتر باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ E4 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ، از نوع سنگهای آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) است.

شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۱۱ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که



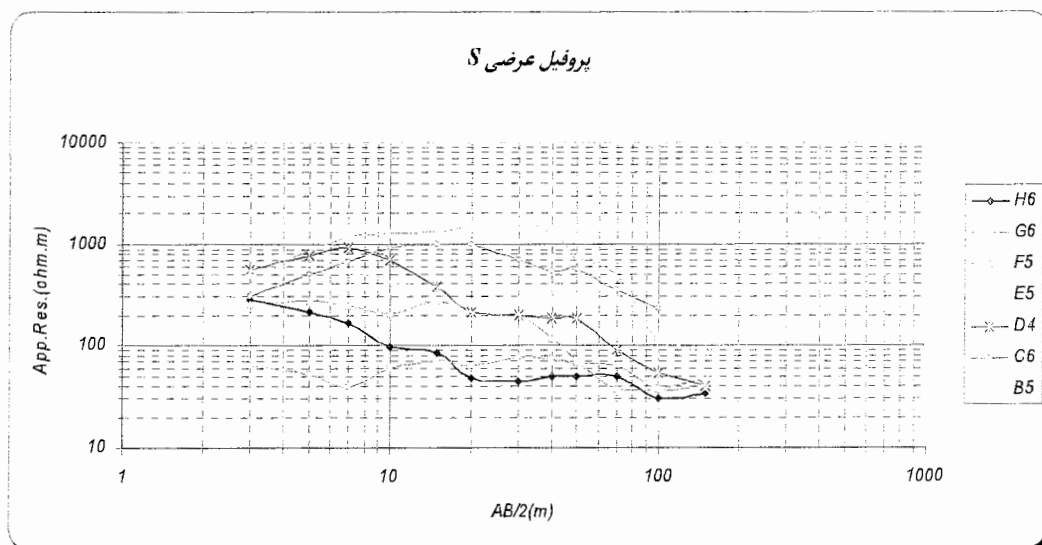
شکل ۳-۲۱: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

الکترودهای جریان ( $AB/2$ ) برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی R

می بینیم، از فاصله ۱۸۰ متری تا انتهای پروفیل، تغییرات شدید لایه بندی وجود دارد و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژ E4، مقاومت ویژه پائینی مشاهده می شود که می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد. بعلا تغییرات جانبی مقاومت ویژه، در بین سونداژهای C5 و E4، ناپیوستگی مشاهده می شود.

### ۳-۴-۱۲ پروفیل عرضی S

شکل ۳-۲۲، نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) را نشان می دهد. در این پروفیل نیز بیرون زدگی سنگهای آذرین نفوذی و توف های سیلیسی هوازده دیده می شود. سونداژهای B5، C6، D4، E5 بر روی واریزه های دامنه ای شامل بلوک ها و مواد دانه درشت، غالباً از جنس داسیت، با مقاومت ویژه بالا و سنگهای سیلیسی رخنمون دار و سونداژهای دیگر بر روی واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط و سنگهای آذرین نفوذی، که رخنمون آنها در در محل سونداژ G6 دیده می شود، قرار دارند. سونداژهای F5، G6، H6 مقاومت ویژه ظاهری بسیار کمتری نسبت به سایر سونداژها نشان می دهند، اختلاف زیاد مقاومت ویژه ظاهری می تواند بعلا وجود ناهمگنی های جانبی باشد. نمودار تغییرات مقاومت ویژه این سونداژها، برای فاصله (AB/2) بیش از ۴۰ متر، بدون در نظر گرفتن اختلافات جزئی، دارای مقادیر مقاومت ویژه نزدیک بهم



شکل ۳-۲۲: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله

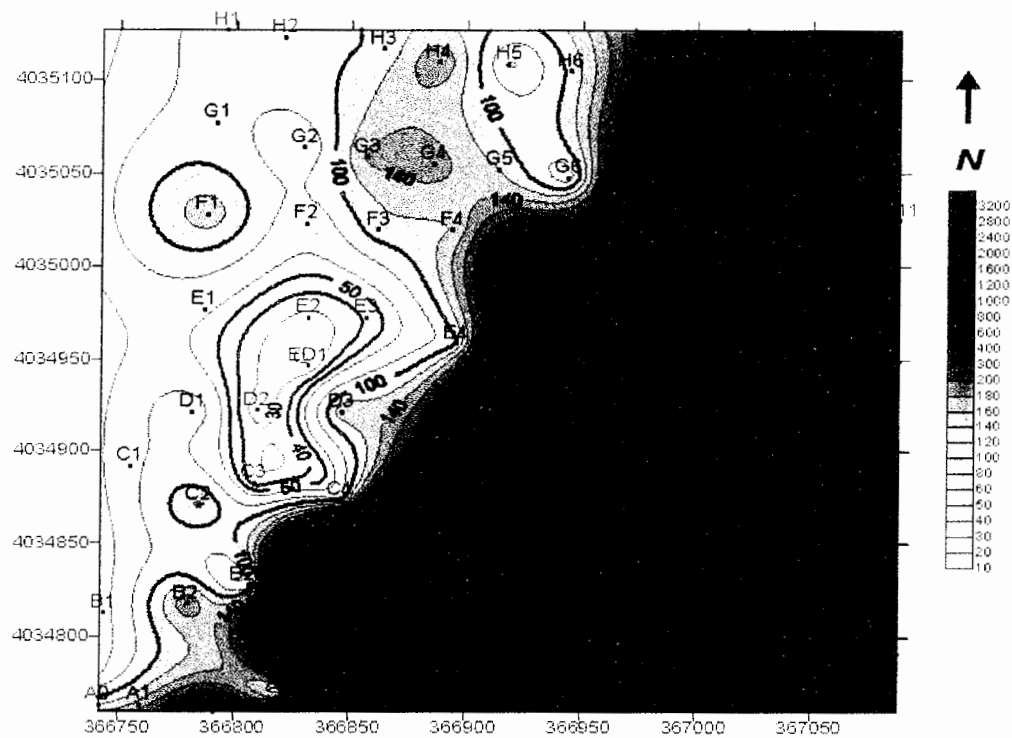
الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع بر پروفیل عرضی S

و روندی مشابه دارند؛ این امر می تواند به دلیل همجنس بودن سنگها باشد و با توجه به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی در محل سونداژ G6 و مقاومت ویژه پائین آن از سطح زمین تا عمق در نمودار این سونداژ، می توان نتیجه گرفت که جنس سنگ از نوع آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) است. شبه مقطع مقاومت ویژه الکتریکی در شکل ج-۱۲ پیوست ج نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود، از محل سونداژ G6 تا انتهای پروفیل، تغییرات شدید لایه بندی وجود دارد و از سطح زمین به عمق، مقاومت ویژه کاهش می یابد. در محدوده سونداژ G6، وجود زونی با مقاومت ویژه پائین، می تواند به دلیل رخنمون سنگهای آذرین (برش آتشفشانی با مقاومت ویژه کم) باشد.

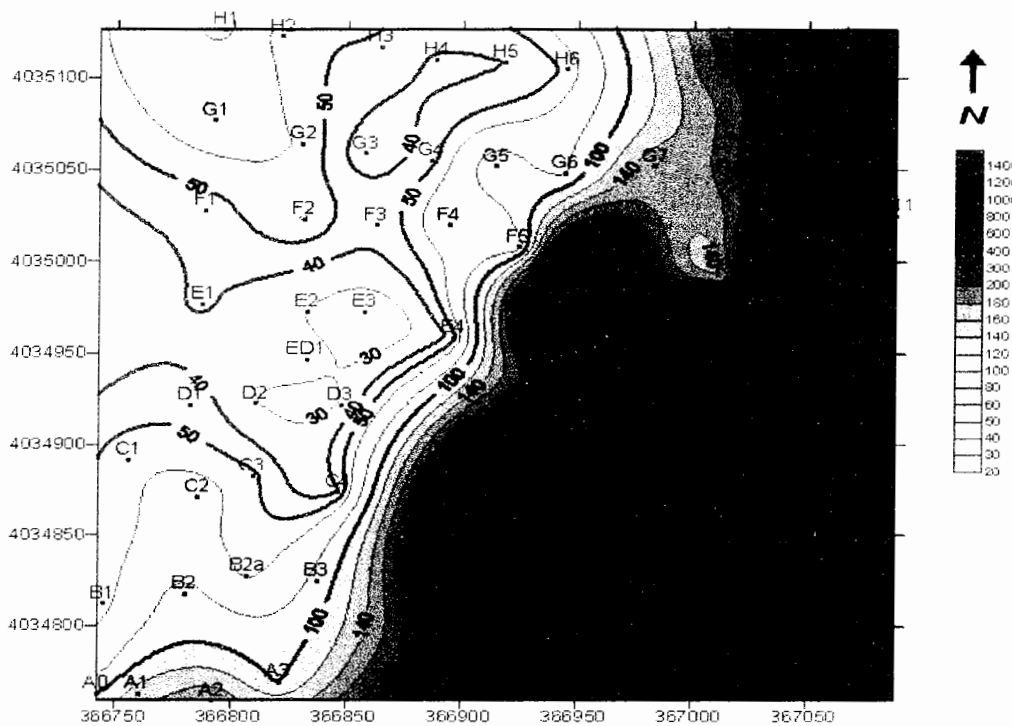
### ۳-۵ نقشه های هم مقاومت ویژه ظاهری

نقشه های هم مقاومت ویژه ظاهری منطقه لغزشی مورد مطالعه در بزرگراه قزوین- رشت، برای فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر با ۵، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ متر با استفاده از نرم افزار SURFER تهیه شده اند. شکلهای ۳-۲۳ و ۳-۲۴ نقشه های فاصله (AB/2) برابر ۱۰ و ۵۰ متر را نشان می دهد. کلیه نقشه های هم مقاومت ویژه در پیوست چ آورده شده اند. این نقشه ها برای بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در اعماق مختلف زمین و نیز مقایسه نقشه های اعماق مختلف با یکدیگر، برای مطالعه نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری با تغییر عمق مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به ۷ نقشه ترسیم شده، می توان وجود زونی با مقاومت ویژه کم (۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر) در قسمت غربی و شمال غربی را مشاهده نمود که افزایش سریعی را بطرف شرق و جنوب شرقی دارد، این تغییر سریع می تواند نشان دهنده وجود ناهمگنی جانبی ناشی از عملکرد گسل و تغییرات لیتولوژی و یا وجود آب باشد. همچنین با افزایش فاصله الکترودهای جریان، خطوط کانتور های هم مقاومت ویژه با مقدار مشخص، بخصوص برای مقادیر بیش از ۱۰۰ اهم متر، با افزایش فاصله AB/2 جابجا می شود، این روند هر چند آرام و تدریجی رخ می دهد ولی می تواند دلیلی بر گسترش آرام سنگهای تشکیل دهنده در عمق باشد.

در قسمت غربی و شمال غربی عواملی مانند هوازدگی سنگهای آذرین رخنمون دار و واریزه های دامنه ای دانه ریز تا دانه متوسط و ماسه سنگها (در قسمت غرب) باعث شده است که در نزدیک سطح زمین، وجود زونی با مقاومت ویژه کمی بالاتر نسبت به عمق را شاهد باشیم.



شکل ۳-۲۳: نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۱۰ متر  
(مقادیر مقاومت ویژه در کانتورها بر حسب اهم متر می باشد)



شکل ۳-۲۴: نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۵۰ متر  
(مقادیر مقاومت ویژه در کانتورها بر حسب اهم متر می باشد)

با توجه به رخنمون سنگهای آذرین در موقعیت سونداژهای E4, E3, E2, ED1, C3, B2a, G2, F2 و G6 و مقاومت ویژه پائین آن در روی نقشه ها و ادامه این روند در نمودارهای مربوط به اعماق بیشتر، مبین وجود آب در شکستگیها و درزه و شکافها و گسترش عمقی این سنگها می باشد. با مقایسه نقشه ها می توان دریافت که رخنمون توده نفوذی آذرین بصورت قائم نبوده بلکه کمی متمایل به سمت جنوب غربی است.

در قسمت شرقی و جنوب شرقی محدوده لغزش، سنگهای واریزه ای اغلب از جنس داسیت مشاهده می شود که دارای مقاومت ویژه بالا هستند. در نقشه ها نیز این ناحیه، با مقاومت ویژه بالا در فاصله (AB/2) کمتر از ۵۰ متر مشاهده می شود که می تواند مبین این واریزه ها و نیز هوازدگی سنگهای سیلیسی رخنمون دار باشد ولی در نقشه های با فاصله (AB/2) بیشتر، مقاومت ویژه سریعاً کاهش می یابد که می تواند بیانگر تغییر جنس سنگ باشد. این مقاومت ویژه کمتر (۵۰۰-۱۵۰ اهم متر) نسبت به لایه های بالاتر، می تواند بعثت آهک سیلیس دار نازک لایه باشد که در بعضی قسمت های منطقه لغزشی رخنمون دارند.

با توجه به موارد ذکر شده در این فصل و تفسیر کیفی داده ها، وجود ناپیوستگی در قسمت میانی محدوده مورد مطالعه بصورت مورب شمال شرقی- جنوب غربی آشکار می شود. با توجه به اینکه تمامی نتایج، حاصل از تفسیر کیفی است، بنابراین لازم است تا با انجام تفسیر کمی، نتایج دقیق تر و قطعی تر بدست آورد. در فصل بعد با تفسیر کمی با استفاده از مدلسازی معکوس جهت شناسایی و تعیین سطح لغزشی می پردازیم.

## فصل چهارم:

### مدلسازی معکوس و تفسیر کمی داده ها

#### ۴-۱ مقدمه

داده های اندازه گیری شده در طی عملیات صحرایی در واقع یک سری اعداد خام می باشند که با قاعده مشخص و تحت شرایط خاصی بدست آمده اند و توجیه دقیق رفتار لایه های زمین از روی این داده ها (بطور مستقیم) غیر ممکن می باشد. بدین منظور تعیین رابطه بین داده های تجربی بدست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و عبارت دیگر مدلسازی داده های برداشتی، جهت توجیه رفتار لایه های زیرسطحی، ضروری می باشد. افرادی چون جانسون<sup>۱</sup>، پس از سالها تحقیق بر روی مسائل معکوس سازی، روشهای مختلفی جهت حل اینگونه مسائل ارائه نمودند.

تمامی روشهای مذکور، یک مدل اولیه مناسب برای داده های تجربی نیاز دارند، تا در کمترین زمان ممکن، به مدل واقعی زمین، همگرا گردند. انتخاب مدل صحیح و مناسب به عنوان مدل اولیه در عملیات مدل سازی معکوس، از این جهت دارای اهمیت است که باعث بدست آمدن مدل واقعی زمین

---

<sup>۱</sup> -Johnson



می گردد. لونبرگ<sup>۱</sup> نشان داد که با تصحیح پارامترهای مدل اولیه در تقریبات تیلور در هر مرحله از تکرار، می توان از ناپایداری شدن مسئله و به دست آمدن نتایج غلط جلوگیری نمود. این نظریه چند سال بعد توسط مارکوارت<sup>۲</sup> (۱۹۶۳) و سپس توسط کنراد<sup>۳</sup> (۱۹۷۰) مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب یک الگوریتم غیر خطی مناسب، جهت مدلسازی داده های ژئوفیزیکی پیشنهاد شد که امروزه به رگرسیون رنج یا روش مارکوارت- لونبرگ معروف است. اینمن<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۱۹۷۳ اولین کسانی بودند که روش معکوس سازی را روی مسائل مقاومت ویژه بکار گرفتند [34].

مدلسازی ژئوفیزیکی عمدتاً به دو دسته مدلسازی فیزیکی و مدلسازی عددی تقسیم می شوند. در روش مدلسازی فیزیکی، که گاهی مدلسازی آزمایشگاهی نیز نامیده می شود، ساختارهای زمینی را در مقیاس آزمایشگاهی شبیه سازی می کنند و سپس با استفاده از آرایشهای مختلف ژئوالکتریکی و به روشهای پروفیل زنی و سونداژزنی الکتریکی، داده های مقاومت ویژه قرائت و در نهایت با جوابهای صحرایی مطابقت داده می شوند. مدلسازی فیزیکی معمولاً با مشکلاتی همراه است. یکی از این مشکلات این است که، جوابهای مدلهای فیزیکی با جوابهای صحرایی به این دلیل که شرایط زمین، طبیعی و کاملاً متفاوت از شرایط کنترل شده آزمایشگاهی است، تفاوت دارد؛ بهر حال این روش بطور کلی مفید است، اما همیشه جوابگو نیست. مشکل دیگر، وقت گیر و پرهزینه بودن آن است و از طرفی، با پیشرفت و توسعه علوم کامپیوتر، امروزه اغلب از مدلسازی عددی استفاده می شود. مدلسازی عددی داده های ژئوفیزیکی را به دو نوع مدلسازی مستقیم یا پیشرو و مدلسازی معکوس<sup>۵</sup> تقسیم بندی می کنند. داده های خام بدست آمده از زمین، هیچگونه اطلاعات کمی در رابطه با توزیع خواص فیزیکی زمین و یا عمق آنومالیهایی ارائه نمی کنند؛ پس مدلسازی داده ها در ژئوفیزیک امری اجتناب ناپذیر است. هم مدلسازی مستقیم و هم مدلسازی معکوس، رابطه بین توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و پاسخ ژئوفیزیکی (اندازه گیری صحرایی) را بیان می کند. اگر از توزیع خواص فیزیکی به پاسخ ژئوفیزیکی برسیم، مدلسازی مستقیم می نامند، ولی استنباط خواص

<sup>1</sup> - Levenberg

<sup>2</sup> - Marquardt

<sup>3</sup> - Kennrad

<sup>4</sup> - Inman

<sup>5</sup> - Forwards & Inverse modeling

فیزیکی زمین مورد مطالعه از داده‌های مشاهده‌ای را، مدل‌سازی معکوس می‌گویند. ورودی مدل‌سازی معکوس، داده‌های صحرایی است که به کمک محاسبات مربوط به تئوری معکوس سازی بر روی آنها، پارامترهای مدل، بعنوان خروجی ارائه می‌شوند.

روش مدل‌سازی مستقیم دقت بالایی دارد اما بسیار کند و وقت گیر بوده و روابط ریاضی بسیار پیچیده و دشواری دارد. برای تعیین سریع خصوصیات مورد نظر، از مدل‌سازی معکوس استفاده می‌شود. از طرفی مدل‌سازی معکوس، روابط ریاضی پیچیده تری دارد.

#### ۴-۲ مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو

در این نوع مدل‌سازی، با وارد نمودن پارامترهای یک مدل فرضی، که با داده‌های تجربی همخوانی دارد، یکسری داده‌های تئوری منطبق بر پارامترهای مدل پیشنهادی بدست می‌آید که در صورت بالا بودن جذر میانگین مربعات<sup>۱</sup> خطای بین این داده‌ها و داده‌های تجربی (خطای جذر میانگین مربعات)، فرآیند مدل‌سازی مجدداً تکرار خواهد شد. مدل‌سازی مستقیم شامل مراحل زیر است:

- ۱- فرض کردن یک مدل زمینی آزمایشی اولیه.
- ۲- محاسبه پاسخ مدل فرضی با استفاده از تئوری مدل‌سازی مستقیم یا پیشرو.
- ۳- مقایسه پاسخ مدل فرضی با داده‌های صحرایی و محاسبه مقدار خطای نسبی بین آنها.
- ۴- بررسی نتیجه و تعدیل و تصحیح مدل آزمایشی مرحله اول تا وقتی که تطابق بین پاسخ مدل فرضی و اندازه گیری شده بهبود یابد تا جائیکه بهترین تطابق ممکن بدست آید.

#### ۴-۳ مدل‌سازی معکوس

در مدل‌سازی معکوس در هر مرحله از تکرار، با اعمال یکسری عملیات ریاضی پیچیده روی داده‌های تجربی، پارامترهای فیزیکی مدل را بدست می‌آوریم. مسائل معکوس سازی برعکس مسائل مستقیم که اغلب مستقیم، یک مرحله‌ای و خوش حالت<sup>۲</sup> هستند، بعلت وجود نویزهای زمین شناسی

<sup>۱</sup> - Root mean least square

<sup>۲</sup> - Well posed

و نیز ناقص بودن اطلاعات و خطا در اندازه گیریها، اغلب غیر مستقیم، تکراری و بدحالت<sup>۱</sup> می باشند. حل اینگونه مسائل، مشکل و در برخی موارد غیر ممکن می باشد [39].

در معکوس سازی از روش حداقل مربعات، روش مارکوارت-لونیبرگ و... استفاده می شود. می توان گفت که معکوس سازی داده های مقاومت ویژه، تعیین مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده است.

#### ۴-۳-۱ اساس تئوری مدل سازی معکوس

در روش معکوس سازی ژئوفیزیکی، هدف یافتن مدلی<sup>۲</sup> از زمین است که نتایج آن با داده های اندازه گیری شده صحرایی مطابقت داشته باشد. مدل دارای مجموعه ایی از پارامترهای مدل<sup>۳</sup> است که کمیات فیزیکی اند و از داده های مشاهده ایی تخمین زده می شوند. پاسخ مدل<sup>۴</sup>، داده های تولید شده ایی هستند که از روابط ریاضی تعریف شده مدل برای مجموعه ای مشخص از پارامترهای مدل محاسبه می شوند.

در روش بلوکی که برای برنامه Re3Dinv استفاده شده است، پارامترهای مدل، مقادیر مقاومت ویژه بلوکهای مدل هستند، در حالیکه داده ها بصورت مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده اند. ارتباط ریاضیاتی میان پارامترهای مدل و پاسخ آن برای مدلهای مقاومت ویژه دو بعدی و سه بعدی به روشهای اختلاف محدود<sup>۵</sup> و اجزاء محدود<sup>۶</sup> تهیه می شوند.

در کلیه روشهای بهینه سازی، مدل اولیه با روش تکرار، تعدیل شده که در طی آن اختلاف میان پاسخ مدل و مقادیر داده های مشاهده شده کاهش می یابند. مجموعه داده های مشاهده شده را می توان بصورت بردار ستونی<sup>۷</sup>  $y$  بصورت زیر نوشت:

$$y = col(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (1-4)$$

که  $m$  تعداد اندازه گیری هاست. پاسخ مدل  $f$  را به فرم مشابهی می توان نوشت:

<sup>1</sup> - Ill posed

<sup>2</sup> - Model

<sup>3</sup> - Model parameter

<sup>4</sup> - Model response

<sup>5</sup> - Finite-Difference

<sup>6</sup> - Finite-Element

<sup>7</sup> - Column Vector

$$f = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (2-4)$$

پارامترهای مدل توسط بردار  $q$  بصورت زیر بیان می شوند:

$$q = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (3-4)$$

در رابطه فوق،  $n$  تعداد پارامترهای مدل است. اختلاف میان داده های مشاهده شده و پاسخ

مدل توسط بردار اختلاف<sup>۱</sup> بصورت زیر تعریف می شوند:

$$g = y - f \quad (4-4)$$

در روش بهینه سازی حداقل مربعات، مدل اولیه را تا زمانی که جمع مربعات خطای ( $E$ )

اختلاف میان پاسخ مدل و مقادیر مشاهده شده به حداقل برسد، تعدیل و اصلاح می کند.

$$E = g^T g = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (5-4)$$

برای کاهش مقدار خطای فوق، معادله گوس- نیوتن برای تعیین مقدار تغییر در پارامترهای

مدل بکار برده می شود.

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (6-4)$$

که در معادله فوق  $\Delta q$  بردار تغییر پارامترهای مدل است و  $J$  ماتریس ژاکوبین مشتقات جزئی

است. عناصر ماتریس ژاکوبین بصورت زیر داده می شود:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (7-4)$$

به این معنی که تغییر در  $i$  امین پاسخ مدل بخاطر تغییر در  $j$  امین پارامتر مدل است. بعد از

محاسبه بردار تغییر پارامتر، مدل جدید بوسیله رابطه زیر بدست می آید:

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (8-4)$$

در عمل، معادله حداقل مربعات (۶-۴)، بندرت در معکوس سازی ژئوفیزیکی استفاده می شود.

در بعضی مواقع، دترمینان ماتریس حاصل ضرب  $J^T J$  صفر می شود و بنابراین معادله حداقل

مربعات، پاسخی برای  $\Delta q$  ندارد. مسئله متداول دیگر این است که دترمینان ماتریس حاصل ضرب

$J^T J$  تقریباً صفر است. این موضوع وقتی که مدل اولیه نامناسب، یعنی مدلی که از مدل واقعی

<sup>۱</sup> - Discrepancy Vector

تفاوت زیادی دارد استفاده می شود، رخ می دهد. روش متداول برای دوری از این مسئله، اصلاح روش مارکوارت-لونبرگ به معادله گوس-نیوتن است که بصورت زیر بیان می شود:

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_k = J^T g \quad (9-4)$$

در معادله فوق،  $I$  ماتریس واحد است و فاکتور  $\lambda$  بعنوان فاکتور تعدیل یا فاکتور مارکوارت-لونبرگ شناخته می شود و نیز این روش به نام روش ریچ-رگرسیون معروف است. فاکتور تعدیل  $\lambda$ ، بطور مؤثر، بازه مقادیری که مؤلفه های بردار تغییر پارامتر  $\Delta q$  می توانند بگیرند را محدود می کند، در حالیکه روش گوس-نیوتن در معادله (۴-۶)، فقط مجموع مربعات بردار اختلاف را کم می کند.

اصلاح روش مارکوارت-لونبرگ، همچنین ترکیب اندازه بردار اختلاف و بردار تغییر پارامتر را کاهش می دهد. این روش، بطور موفق در معکوس سازی داده های مقاومت ویژه بر روی مدلی با تعداد لایه های کم استفاده شده است. اما هنگامیکه تعداد پارامترهای مدل زیاد است، مدل حاصل از این روش، دارای توزیع غیر عادی مقاومت ویژه یا مناطق کاذب، مقاومت ویژه خیلی بالا یا پائین می باشد. برای غلبه بر این مشکل، معادله حداقل مربعات گوس-نیوتن برای به حداقل رساندن تغییرات در پارامترهای مدل، بکار گرفته می شود (تغییر مقادیر مقاومت ویژه بصورت هموار یا تدریجی). این روش به فرم ریاضی زیر بیان می شوند:

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \quad (9-4)$$

$$F = \alpha_x c_x^T c_x + \alpha_y c_y^T c_y + \alpha_z c_z^T c_z \quad \text{که}$$

و  $c_x, c_y, c_z$  ماتریس های هموار در جهات  $x, y, z$  هستند.  $\alpha_x, \alpha_y$  و  $\alpha_z$  وزن نسبی است که به فیلترهای هموار جهات  $x, y, z$  داده شده است. نمونه ای متداول از ماتریس هموار، ماتریس شامل عناصر مرتبه اول است که بصورت زیر نشان داده می شوند:

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ & & & \dots & & & & \\ & & & & \dots & & & \\ & & & & & \dots & & \\ & & & & & & \dots & \\ & & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (10-4)$$

معادله (۹-۴) ناهمواری مقادیر مقاومت ویژه مدل را حداقل می کند و مدلی را با تغییرات هموار مقاومت ویژه ایجاد می کند. اگر تغییرات مقاومت ویژه زیر سطحی واقعی، هموار و یا تدریجی

باشد این مدل قابل قبول است. در بعضی موارد، زمین شناسی زیرسطحی شامل تعدادی نواحی است که دارای مقاومت ویژه های متفاوت است که با مرزهای مشخصی میان نواحی مختلف از یکدیگر جدا شده اند. برای چنین مواردی، فرمول معکوس سازی (۴-۹) می تواند تعدیل و اصلاح شود بطوریکه قدر مطلق مقادیر دارای مقاومت ویژه مدل را کاهش دهد. این روش در بعضی مواقع، بطور قابل توجهی بهترین نتایج را بدست می دهد. به این روش، روش هموار-مقید شده<sup>۱</sup> نیز می گویند و عموماً به روش معکوس سازی بلوکی معروف است [27].

#### ۴-۴ نرم افزارهای مورد استفاده برای مدلسازی معکوس

در این پروژه، جهت مدلسازی معکوس یک بعدی از نرم افزار ResixIP و برای مدلسازی معکوس دو بعدی از نرم افزار Res2Dinv استفاده شده است که در ادامه، به اختصار معرفی می شوند.

##### ۴-۴-۱ نرم افزار ResixIP

نرم افزار RESIXIP برای معکوس سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی بکار می رود. این نرم افزار تحت سیستم عامل Dos کار می کند و مشابه نرم افزار RESIX بوده ولی کاملتر از آن است. هم مدلسازی مستقیم و هم مدلسازی معکوس هموار و پارامتری را انجام می دهد.

##### ۴-۴-۲ نرم افزار Res2Dinv و تئوری استفاده شده برای معکوس سازی

نرم افزار Res2Dinv برای مدلسازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی توسط لوک<sup>۲</sup> نوشته شده است. این نرم افزار کاملاً اتوماتیک بوده و تحت سیستم عامل ویندوز<sup>۳</sup> کار می کند و برخلاف سایر نرم افزارهای مدلسازی، نیازی به دریافت یک مدل اولیه جهت شروع عملیات مدلسازی ندارد و دارای قابلیت مدلسازی تعداد زیادی از داده های ژئوفیزیکی می باشد. این نرم افزار بطور خودکار، بهترین مقادیر پارامترهای مورد نیاز را انتخاب نموده و شروع به مدلسازی می کند، هر چند که انتخاب این پارامترها توسط اپراتور نیز امکانپذیر است [28].

نرم افزار Res2Dinv، روش حداقل مربعات غیر خطی را بکار برده و محاسبات عددی را با روش

<sup>۱</sup> - Smoothness-Constrained

<sup>۲</sup> - M. H. Loke

<sup>۳</sup> - Windows

های تفاضل محدود<sup>۱</sup> و اجزاء محدود<sup>۲</sup> انجام می‌دهد.

روش معکوس سازی توسط این برنامه، از سه روش مختلف برای حداقل سازی مربعات استفاده می‌کند که عبارتند از:

۱- برنامه، اجرای روش حداقل مربعات بر پایه تکنیک بهینه سازی شبه-نیوتن را پشتیبانی می‌کند. این تکنیک بطور قابل توجهی سریعتر از روش حداقل مربعات معمولی (روش گوس-نیوتن) برای مجموعه داده های بزرگ است و به حافظه کمتری احتیاج دارد.

۲- می‌توان از روش گوس-نیوتن نیز استفاده کرد، چون در نواحی با اختلاف مقاومت ویژه بیشتر از ۱۰ برابر، نتایج بهتری بدست می‌دهد. این روش دارای دقت بالا ولی سرعت پائین می‌باشد.

۳- انتخاب سوم در این برنامه، استفاده ترکیبی از گوس-نیوتن برای ۲ یا ۳ تکرار اول و شبه-نیوتن برای تکرارهای بعدی است، این روش ترکیبی، روشی نسبتاً دقیق و سریع است و در بعضی موارد، بهترین تطابق را بدست می‌دهد.

برای معکوس سازی بوسیله Res2Dinv، روش حداقل مربعات هموار مقید شده<sup>۳</sup> بر اساس معادله زیر پایه ریزی شده است:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (12-4)$$

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad \text{که در آن:}$$

که  $f_x$  فیلتر تخت افقی،  $f_z$  فیلتر تخت قائم،  $J$  ماتریس مشتقات جزئی،  $u$  فاکتور تعدیل،  $d$  بردار آشفتگی مدل و  $g$  بردار اختلاف می‌باشند.

مدل دو بعدی استفاده شده در این برنامه، زیر سطح را به تعدادی بلوکهای مستطیلی تقسیم می‌کند. هدف این برنامه، تعیین مقاومت ویژه بلوکهای مستطیلی است که شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری، که مطابق با اندازه گیریهای واقعی است، تولید خواهد کرد. برای آرایشهای ونر و شلومبرگر، ضخامت لایه اول بلوکها، نصف فاصله الکترودی است. ضخامت لایه های عمیق تر بعدی بطور نرمال با ۱۰٪ یا ۲۵٪ افزایش می‌یابد. همچنین اعماق لایه ها را می‌توان بطور دستی افزایش داد.

<sup>1</sup> - Finite Difference

<sup>2</sup> - Finite Element

<sup>3</sup> - Smoothness-Constrained Least Square

روش بهینه سازی، بطور اساسی برای کاهش اختلاف میان مقادیر مقاومت ویژه محاسبه شده و اندازه گیری شده بوسیلهٔ تعدیل مقاومت ویژهٔ بلوکهای مدل، بکار می رود. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS را محاسبه می کند و سعی در کاهش آن دارد. بهرحال، مدل با کمترین خطای RMS ممکن، می تواند بعضی اوقات تغییرات بزرگ و غیر واقعی در مقادیر مقاومت ویژهٔ مدل نشان دهد و ممکن است همیشه بهترین مدل از یک مدل زمین شناسی را نشان ندهد.

بطور کلی، برای انتخاب مدل نهایی، خطای RMS تکرار مدل تغییر چندانی نسبت به تکرار قبلی نداشته باشد و معمولاً بین تکرارهای سوم تا پنجم رخ می دهد [28].

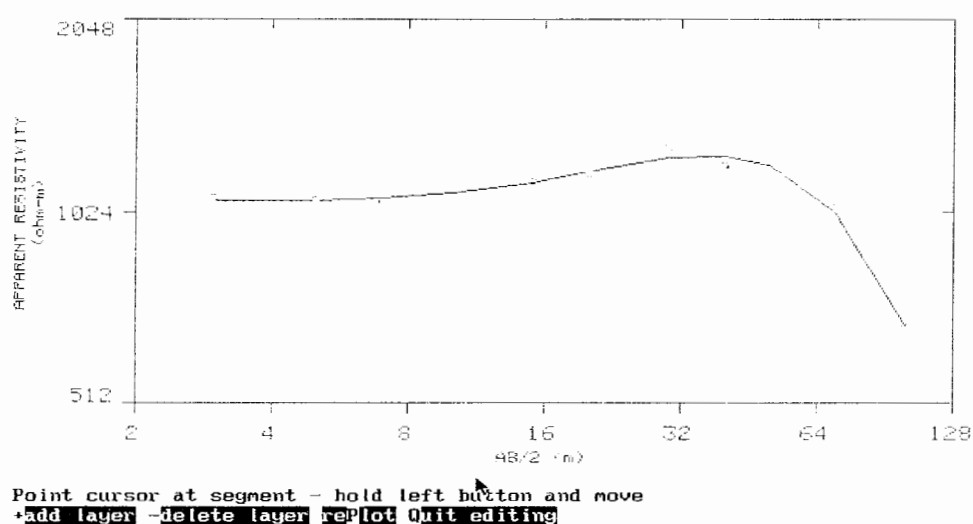
همانطوریکه در فصل پیش اشاره شد توپوگرافی بر روی مقاومت ویژه تاثیر دارد و باعث ایجاد آنومالی کاذب شده و یا باعث مخفی ماندن اثر یک آنومالی می شود، پس در شرایطی که توپوگرافی شدید باشد باید اثر آن تصحیح گردد. نرم افزار مذکور با استفاده از روش اجزاء محدود این عمل را انجام می دهد و زمانی که فایل داده ها شامل اطلاعات مربوط به توپوگرافی منطقه باشد، روش اجزاء محدود را بطور خودکار استفاده می کند، به این دلیل که در شرایطی که تغییرات توپوگرافی شدید باشد با دقت بالایی مدلسازی را انجام می دهد [20].

#### ۴-۵ نتایج مدلسازی معکوس یک بعدی

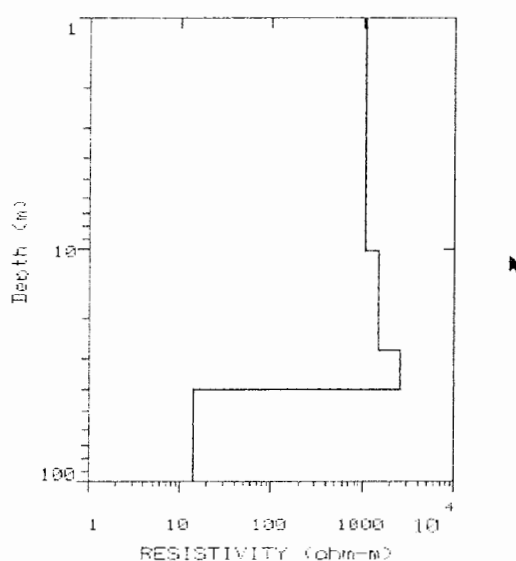
در این بخش، مدل های حاصل از معکوس سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار ResixIP، برای تعدادی از سونداژها، ارائه و مورد تعبیر و تفسیر کمی قرار می گیرند. مدل های یک بعدی برای تمامی نقاط سونداژ، در پیوست ح ارائه شده است. شکل ۴-۱ نمونه ای از این مدلها (سونداژ E8) را نشان می دهد. بطوریکه از شکل ملاحظه می شود، محور عمودی این نمودار، مقادیر مقاومت ویژه بر حسب اهم متر و محور افقی، مقادیر  $AB/2$  بر حسب متر را نشان می دهد. در این نمودار، مربعات کوچک به رنگ سبز، داده های اندازه گیری شده، نقطه چین ها، مدل داده شده و خط منحنی وار به رنگ آبی، پاسخ مدل را نشان می دهد. مقدار خطای مدلسازی هم در بالای نمودارها داده می شوند. هر چه مدل داده شده و پاسخ بدست آمده تطابق بیشتری داشته باشند، مقدار خطای مدلسازی کمتر خواهد بود.



با استفاده از نرم افزار ResixIP می توان مدل های هم ارز مربوط به یک سونداژ را بدست آورد. در صورتی که در نمودار مدل های هم ارز، مقاومت ویژه لایه ای در تمامی مدل های هم ارز تقریباً برابر و همچنین عمق لایه ها تقریباً ثابت باشد، نشانگر وضعیتی است که مقاومت ویژه لایه و عمق آنها با دقت بالایی تعیین شده است. نمونه ای از مدل های هم ارز (سونداژ E8) در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. مدل های هم ارز برای تعدادی از نقاط سونداژ، در پیوست خ آمده است.



شکل ۴-۱: نمونه ای از مدلسازی یک بعدی سونداژها (سونداژ E8)



شکل ۴-۲: نمونه ای از مدل های هم ارز سونداژها (سونداژ E8)

#### ۴-۵-۱ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ B2

شکل ح-۷ پیوست ح مدل یک بعدی داده های سونداژ B2 را نشان می دهد. مشاهده می شود که در محل سونداژ، احتمالاً زمین ۴ لایه است. جدول ۴-۱، مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در محل سونداژ B2 را ارائه می کند. خطای مدلسازی برابر ۵,۲۳٪ است که نشان می دهد مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. مدل هم ارز این سونداژ در شکل خ-۲ پیوست خ آمده است. این مدل نشان می دهد که مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده (عمق لایه ها و مقاومت ویژه آنها)، دقت بالایی داشته و نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است.

#### ۴-۵-۲ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ C2

مدلسازی یک بعدی داده های سونداژ C2 در شکل ح-۱۳ پیوست ح نشان داده شده است. در محل سونداژ، زمین مورد مطالعه، ۳ لایه است. جدول ۴-۲، مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در محل سونداژ C2 را ارائه می کند. خطای مدلسازی برابر ۴,۷۷٪ است که نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. مدل هم ارز این سونداژ در شکل خ-۴ پیوست خ آمده است. این مدل نشان می دهد که مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده، دقت بالایی داشته و از تطابق خوبی برخوردارند.

جدول ۴-۱: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ B2

| سونداژ B2  | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                      |
|------------|------------------|---------|-----------------------------------------------|
| لایه اول   | ۶۶               | ۱,۳     | بعلت ضخامت کم لایه؛ دانه بندی ریز در سطح زمین |
| لایه دوم   | ۳۱۹              | ۴,۹     | واریزه هایی با اندازه متوسط                   |
| لایه سوم   | ۸۶               | ۸۳,۷    | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)            |
| لایه چهارم | ۴,۱              | ...     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) مرطوب      |

جدول ۴-۲: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ C2

| سونداژ C2 | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                                     |
|-----------|------------------|---------|--------------------------------------------------------------|
| لایه اول  | ۷۱               | ۱,۶     | بعلت ضخامت کم لایه؛ واریزه هایی با دانه بندی ریز در سطح زمین |
| لایه دوم  | ۱۷۰              | ۱۰,۸    | واریزه هایی با دانه بندی با اندازه متوسط                     |
| لایه سوم  | ۵۳               | ...     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)                           |

#### ۳-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ D5

مدلسازی یک بعدی داده های سونداژ D5 در شکل ح-۲۲ پیوست ح نشان داده شده است. در محل سونداژ، زمین مورد مطالعه، ۳ لایه است. جدول ۳-۴، نتایج حاصل از معکوس سازی یک بعدی و جنس لایه ها در محل سونداژ D5 را ارائه می کند.

خطای مدلسازی برابر ۵,۹۷٪ است که نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. مدل هم ارز این سونداژ در شکل خ-۵ پیوست خ آمده است. این مدل نشان می دهد که مقادیر پارامترهای مدل حاصل، دقت بالایی داشته و از تطابق خوبی برخوردارند.

#### ۴-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ F4

مدلسازی یک بعدی داده های سونداژ F4 در شکل ح-۳۶ پیوست ح نشان داده شده است. در محل سونداژ، زمین مورد مطالعه، ۴ لایه است. جدول ۴-۴، مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در محل سونداژ F4 را ارائه می کند.

خطای مدلسازی برابر ۲,۲۸٪ است که نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته و تطابق خوبی بین مدل و پاسخ آن برخوردار است.

#### ۵-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ G6

مدلسازی یک بعدی داده های سونداژ G6 در شکل ح-۴۶ پیوست ح نشان داده شده است. در محل سونداژ، زمین مورد مطالعه، ۴ لایه است. جدول ۵-۴، نتایج حاصل از معکوس سازی یک بعدی و جنس لایه ها در محل سونداژ G6 را ارائه می کند. خطای مدلسازی برابر ۶,۷۲٪ است که نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است و از تطابق خوبی برخوردارند.

#### ۶-۵-۴ نتایج مدلسازی یک بعدی سونداژ H7

مدلسازی یک بعدی داده های سونداژ H7 در شکل ح-۵۸ پیوست ح نشان داده شده است. در محل سونداژ، زمین مورد مطالعه، ۳ لایه است. جدول ۶-۴، نتایج حاصل از معکوس سازی یک بعدی و جنس لایه ها در محل سونداژ H7 را ارائه می کند.

خطای مدلسازی برابر ۴,۲۷٪ است که نشان می دهد که مدلسازی یک بعدی با دقت خوبی انجام پذیرفته است و تطابق خوبی بین مدل و پاسخ آن برخوردار است.

جدول ۴-۳: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ D5

| سونداژ D5 | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                                   |
|-----------|------------------|---------|------------------------------------------------------------|
| لایه اول  | ۹۱۶              | ۴,۸     | بعلت ضخامت کم لایه؛ واریزه هایی با اندازه درشت در سطح زمین |
| لایه دوم  | ۱۸۱              | ۳۳,۴    | بخش هوازده و خرد شده سنگ بستر یا واریزه لغزش               |
| لایه سوم  | ۶۲               | ...     | لایه ای نفوذ ناپذیر؛ سنگ بستر                              |

جدول ۴-۴: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ F4

| سونداژ F4  | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                             |
|------------|------------------|---------|------------------------------------------------------|
| لایه اول   | ۸۱۸              | ۱,۴     | بعلت ضخامت کم لایه؛ دانه واریزه های درشت در سطح زمین |
| لایه دوم   | ۱۱۷              | ۱۹,۳    | واریزه هایی با دانه بندی با اندازه متوسط             |
| لایه سوم   | ۲۵               | ۱۳۱     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)                   |
| لایه چهارم | ۵                | ...     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) مرطوب             |

جدول ۴-۵: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ G6

| سونداژ G6  | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                           |
|------------|------------------|---------|----------------------------------------------------|
| لایه اول   | ۵۸               | ۱۰,۵    | بعلت ضخامت کم لایه؛ واریزه های ریزدانه در سطح زمین |
| لایه دوم   | ۱۱۳              | ۲۹,۷    | واریزه های دارای اندازه متوسط                      |
| لایه سوم   | ۳۴               | ۶۲      | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)                 |
| لایه چهارم | ۳۰               | ...     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی) مرطوب           |

جدول ۴-۶: مقادیر پارامترهای مدل بدست آمده و جنس لایه ها در نقطه سونداژ H7

| سونداژ H7 | $\rho(\Omega m)$ | AB/2(m) | جنس لایه                                                   |
|-----------|------------------|---------|------------------------------------------------------------|
| لایه اول  | ۶۵۷              | ۰,۹۴    | بعلت ضخامت کم لایه؛ واریزه هایی با اندازه درشت در سطح زمین |
| لایه دوم  | ۳۱۱              | ۱۸      | بخش هوازده و خرد شده سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)    |
| لایه سوم  | ۶۵               | ...     | سنگ های آذرین نفوذی (برش آتشفشانی)                         |

## ۴-۶ نتایج مدلسازی معکوس دو بعدی

همانطور که اشاره شد؛ معکوس سازی داده های مقاومت ویژه، تعیین مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه ها با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده است. در این بخش، مدل های حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه، ارائه و مورد تعبیر و تفسیر کمی قرار می گیرند. ابتدا مدل های دوبعدی مربوط به آرایش CRP و در ادامه، مدل های حاصل از معکوس سازی دوبعدی مربوط به پروفیل های طولی و عرضی آورده می شود و در نهایت مدل های دو بعدی CRP و پروفیل های سونداژها مقایسه و نتایج مدل ها کنترل می شوند. در مورد مدل های پروفیل های طولی و

عرضی، باید اشاره کنیم که چون برداشتها بصورت یک بعدی بوده، با قرار دادن سونداژهای هر پروفیل در کنار یکدیگر و معکوس سازی آنها، نتایج قابل قبول بدست می آید، هر چند که دقت آن از دقت مربوط به مدل‌های حاصل از برداشت های دو بعدی کمتر است. حداکثر عمقی که مدل‌های CRP و پروفیل‌های طولی و عرضی نشان می دهند، به ترتیب ۱۹ و ۵۲ متر است. از تفسیر پروفیل CRP در تفسیر پروفیل‌های مربوط به سونداژها استفاده می شود و بعلاوه اینکه از آرایش CRP برای مشخص کردن خصوصیات نواحی سطحی استفاده می شود، لذا عمق کمتری را بررسی کرده و نمی توان بطور دقیق در مورد سطح لغزش اظهار نظر کرد. در مدل‌ها، خط پر مشکی، موقعیت سطح لغزش، خط چین مشکی، سطح دارای پتانسیل لغزش و خط چین به رنگ قرمز ناپیوستگی یا گسل را نشان می دهد.

جدول ۴-۷ خطای مدلسازی را نشان می دهد. هر چه تطابق مدل حاصل و اندازه گیری صحرائی بیشتر باشد، مقدار خطای اندازه گیری کمتر خواهد بود. در اکثر پروفیل‌ها مقدار این خطا پائین می باشد که این امر دقت بالای مدلسازی را نشان می دهد.

جدول ۴-۷: خطای RMS در مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل‌ها

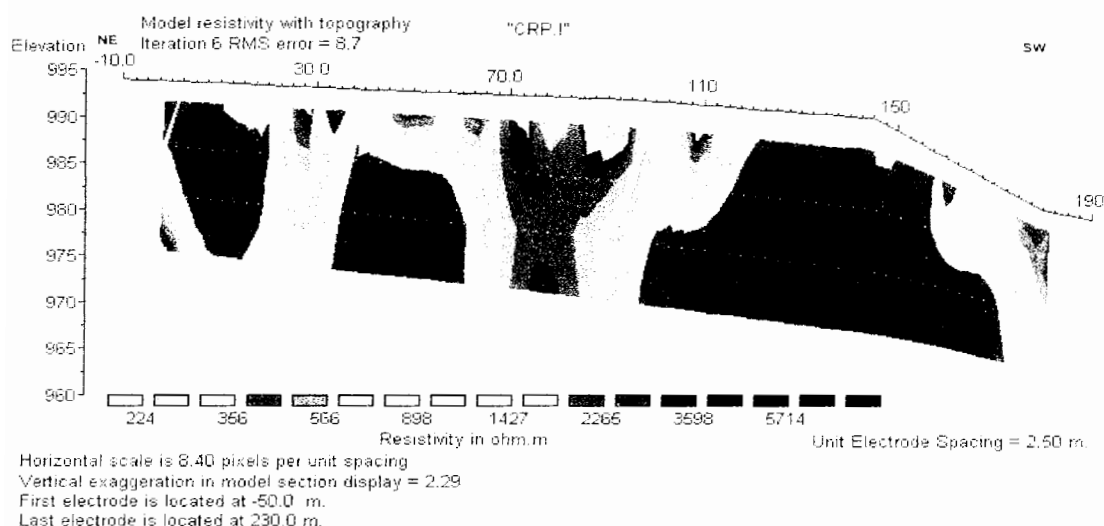
| نام پروفیل | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | P   | Q   | R   | S   | X   | CRP.I | CRP.II | CRP.III |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--------|---------|
| خطا (%)    | ۶,۸ | ۸,۱ | ۶,۸ | ۸,۰ | ۶,۲ | ۲,۸ | ۶,۳ | ۶,۶ | ۶,۰ | ۴,۱ | ۶,۷ | ۵,۲ | ۷,۶ | ۸,۷   | ۱۲,۶   | ۸,۸     |

#### ۴-۶-۱ نتایج مدلسازی معکوس دو بعدی پروفیل های CRP

##### ۴-۶-۱-۱ مقطع قائم پروفیل CRP.I

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار Re3Dinv در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. چون در این محدوده تخته سنگهای داسیتی و واریزه های با اندازه درشت مشاهده می شود مقاومت ویژه بطور کلی بالا است. از ابتدای پروفیل تا فاصله ۶۸ متری و نیز از فاصله ۹۵ متری تا انتهای پروفیل، مقاومت ویژه بالا (بیش از ۱۰۰۰ اهم متر) می باشد و در فاصله ۶۸ تا ۹۵ متری مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰۰ اهم متر می باشد. تغییرات شدید مقاومت ویژه در فاصله های ۲۸، ۷۰، ۹۵ و ۱۷۵ متری پروفیل مشاهده می شوند، بنابراین در این نواحی با ناپیوستگی<sup>۱</sup> جانبی مواجه هستیم. در فاصله ۱۱۰ تا ۱۷۰ متری تغییرات لایه بندی وجود دارد.

<sup>۱</sup> - Contact

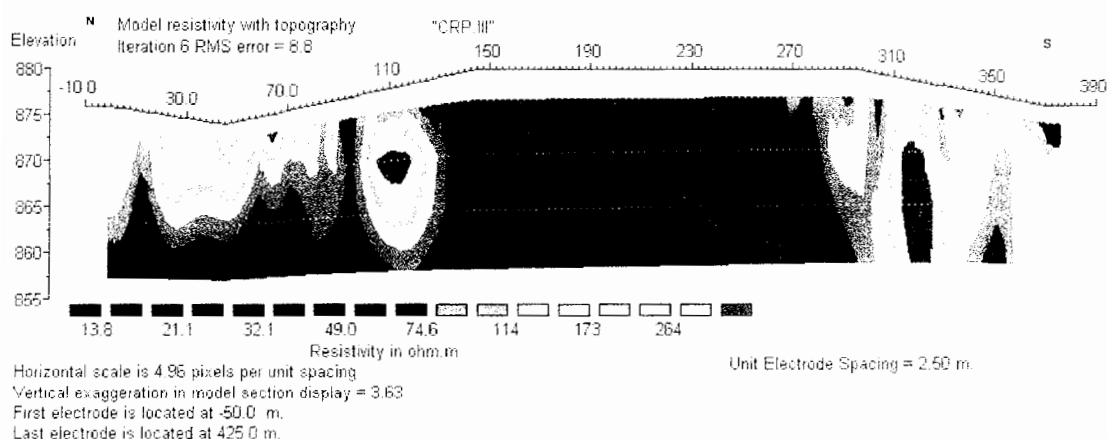


شکل ۴-۳: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل CRP.I با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۱-۶-۲ مقطع قائم پروفیل CRP.II

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. پروفیل مربوط به این مقطع، در محدوده ۱۵ تا ۱۳۵ متری بر روی لغزش واقع است. چون در این محدوده واریزه هایی با اندازه های متفاوت وجود دارد مقاومت ویژه در بعضی نواحی خیلی پائین و در بعضی نواحی خیلی بالا است. بخشهایی از ابتدای این پروفیل بر روی توده نفوذی از جنس برش آتشفشانی (با مقاومت ویژه بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر) و مخلوطی از سنگهای مختلف آذرین رخنمون دار قرار دارد و از مقطع قائم مربوطه نیز، محدوده این توده بخوبی قابل مشاهده است (ناحیه به رنگ آبی). از فاصله ۱۳۰ متر تا انتهای پروفیل مقاومت ویژه بالا (بیش از ۱۰۰۰ اهم متر) می باشد که مربوط به سنگ بکر داسیت است. در محدوده ۱۵ تا ۱۳۵ متری، دارای واریزه های با اندازه ریز تا بزرگ است. چون مقطع حاصل، خصوصیات زمین شناسی را تا عمق حدود ۱۹ متر نشان می دهد، نمی توان اظهار نظری در مورد سطح لغزش ارائه کرد. تغییرات جانبی مقاومت ویژه در فاصله ۱۲۰ متر ابتدای پروفیل وجود دارد به همین دلیل، ناپیوستگی هایی در فاصله های ۲۰، ۶۵ و ۱۰۵ متری پروفیل مشاهده می شوند و همچنین تغییرات شدید لایه بندی در فاصله ۱۲۰ متر تا انتهای پروفیل وجود دارد و از سطح به عمق زمین، مقاومت ویژه کاهش می یابد.





شکل ۴-۵: مقطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی پروفیل CRP.III با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

با مقایسه مقاطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی پروفیل‌های CRP و شبه مقاطع ظاهری مقاومت ویژه ظاهری آنها (پیوست ث)، مشاهده می‌شود که تفاوت زیادی از لحاظ وجود تغییرات جانبی و قائم مقاومت ویژه با یکدیگر نداشته و ناپیوستگی‌ها و تغییرات لایه بندی موجود در مقاطع قائم، در شبه مقاطع نیز دیده می‌شوند. تنها تفاوت بین آنها، واقعی یا ظاهری بودن پارامترهایی مانند مقاومت ویژه و عمق آنومالی‌ها می‌باشد.

## ۴-۶-۲ نتایج مدل‌سازی معکوس دو بعدی پروفیل‌های طولی و عرضی

### ۴-۶-۲-۱ مقطع قائم پروفیل طولی A

مقطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی مربوط به پروفیل A با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. از شکل آشکار است که از ابتدای پروفیل تا فاصله ۳۰ متری، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) به خوبی نمایان است ولی برای فاصله بیشتر از ۳۰ متر تا انتهای پروفیل، تغییرات عمقی مقاومت ویژه دیده می‌شود و از سطح به عمق، از مقدار مقاومت ویژه کاسته می‌شود، بنابراین یک ناپیوستگی جانبی را می‌توان در فاصله ۳۰ متری مشخص کرد.

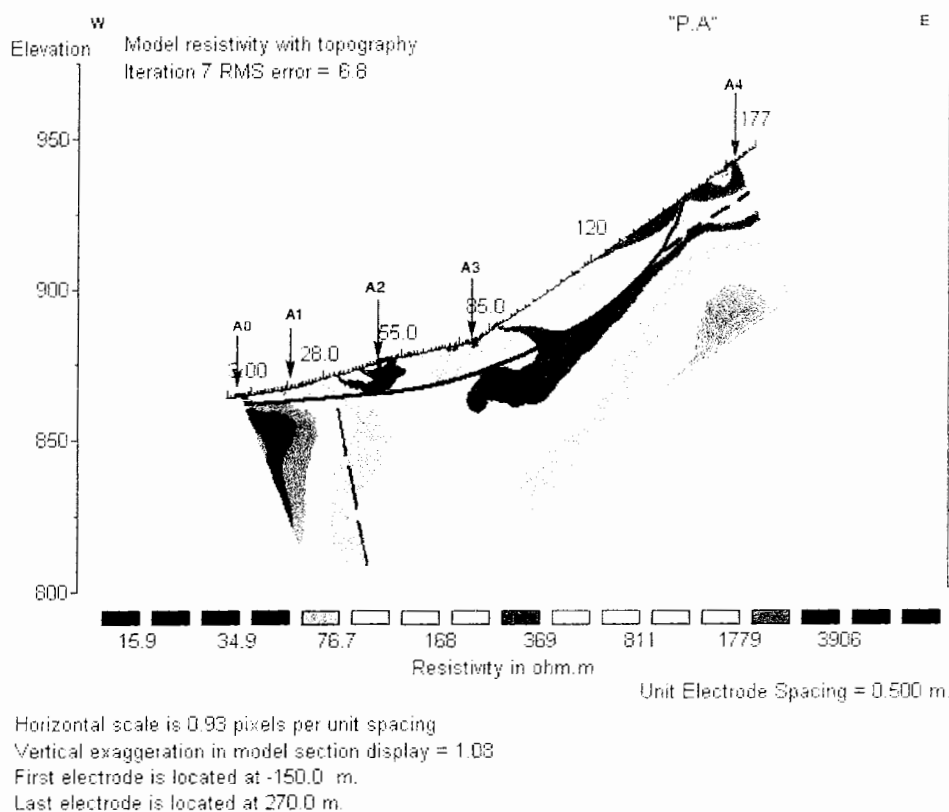
مقاومت ویژه کم (تقریباً ۵۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در ابتدای پروفیل که تا اعماق بیشتر گسترش دارد مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می‌باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه (۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر)، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی و وجود رسوبات رودخانه ای در



محدوده سونداژ A0 است. از ابتدای پروفیل تا فاصله ۳۰ متری، مقاومت ویژه پائین در سطح زمین، عموماً رسوبات رودخانه‌ای و واریزه‌های دامنه‌ای دانه ریز با عمق کم می‌باشد. در فاصله ۳۰ تا ۸۸ متری می‌توان بطور متناوب سنگ سیلیسی هوازده را مشاهده کرد که بعلاوه ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن با واریزه‌ها به ضخامت حدود ۱۰ متر پوشانده شده است. زونهایی با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۳۰ تا ۸۸ متری پروفیل وجود دارند، مربوط به واریزه‌های دامنه‌ای با اندازه متوسط و ریز از جنس داسیت و توف‌های سیلیسی هوازده است و عمقی متغیر داشته و از ۸ تا ۱۰ متر تغییر می‌کند و بعلاوه قرارگیری بر روی مواد با مقاومت ویژه حدود ۲۰۰ اهم متر، می‌تواند قسمتی از سطح لغزش کلی باشد.

از فاصله تقریبی ۳۰ متر تا انتهای پروفیل، در عمق بیشتر، دارای مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر می‌باشد که می‌تواند مربوط به سنگ بستر سیلیسی باشد.

در فاصله ۸۸ تا ۱۶۵ متر، وجود مقاومت ویژه بالایی را مشاهده کرد که مربوط به واریزه‌های دامنه‌ای شامل بلوکها و مواد دانه درشت است و بر روی سنگ بستر سیلیسی با مقاومت ویژه کمتر از



شکل ۴-۶: مقطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی A با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

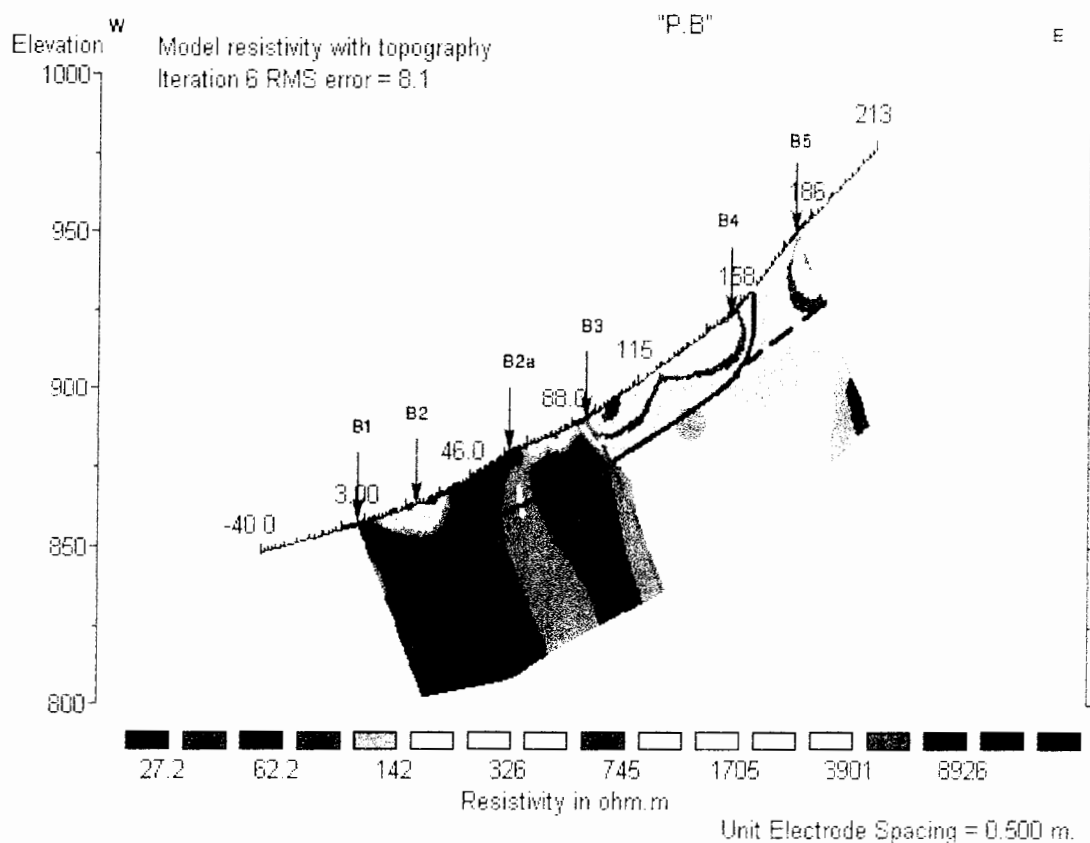
۴۰۰ اهم متر قرار گرفته و شرایط لغزش را دارا می باشد. حداکثر عمق تقریبی سطح لغزش ۱۵ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود مربوط به تخته سنگهای داسیتی ارتفاعات هستند.

سطح لغزش کلی در شکل ۴-۶ با خط ممتد رسم شده است که ماکزیمم ضخامت آن ۱۵ متر می باشد. همچنین در محل نمایش خط چین، امکان وقوع لغزش در اثر تأثیر عوامل مؤثر، وجود دارد.

#### ۴-۲-۲-۲ مقطع قائم پروفیل طولی B

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه پروفیل B با استفاده از نرم افزار ReDInv در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. مقاومت ویژه کم (به رنگ آبی) در ۹۰ متر ابتدای پروفیل مربوط به توده نفوذی آذرین از جنس برش آتشفشانی بوده و مقاومت ویژه ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر دارند که در بعضی از نقاط با واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط حاصل از ریزش پوشانده شده اند. زون های با مقاومت ویژه مختلف که در عمق کم وجود دارند مربوط به سنگ های آذرین نفوذی و واریزه های دامنه ای از جنس سیلیس و داسیت هستند که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند. این واریزه ها عمقی متغیر در ۹۰ متر ابتدای پروفیل دارند و تا حداکثر ۱۵ متر تغییر می کند و بعلاوه قرار گیری بر روی سنگهای آذرین، لغزش رخ خواهد داد. از فاصله ۹۰ متری تا انتهای پروفیل، واریزه های با اندازه درشت و مقاومت ویژه بالا و همچنین توف سیلیسی هوازده با مقاومت ویژه متوسط مشاهده می شود و با توجه به گسترش آن در عمق و مقاومت ویژه تقریباً یکسان آن (۱۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر)، احتمالاً جنس سنگ بستر در این قسمت از نوع سیلیسی می باشد. پس با توجه به قرار گیری سنگهای با مقاومت ویژه بالا بر روی سنگهای با مقاومت ویژه پائین، می توان سطح لغزشی را شناسایی کرد که حداکثر عمق آن در حدود ۱۷ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود مربوط به سنگهای داسیت واقع در ارتفاعات هستند.

سطح لغزش کلی در شکل ۴-۷ با خط ممتد تیره نشان داده شده است. همچنین در محل نمایش خط چین، امکان وقوع لغزش در اثر تأثیر عوامل مؤثر، وجود دارد. یک ناپیوستگی جانبی در زیر سونداژ B3 واقع است. لازم به ذکر است توفها و برش آتشفشانی مستعد لغزش هستند.



Horizontal scale is 0.68 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.23  
First electrode is located at -150.0 m.  
Last electrode is located at 330.0 m.

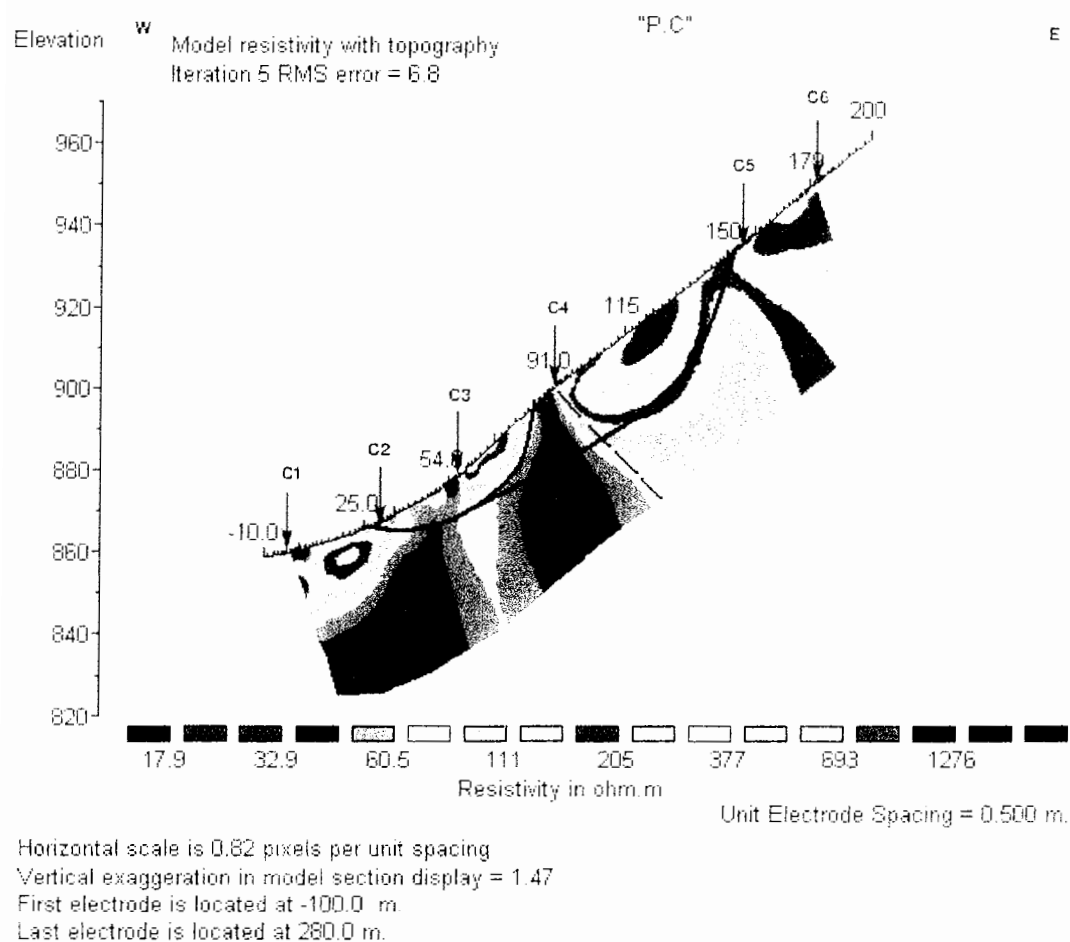
شکل ۴-۷: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی B با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۶-۳-۲-۳ مقطع قائم پروفیل طولی C

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل C با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. از شکل آشکار است که در محدوده سونداژ C4، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) به خوبی نمایان است و می توان ناپیوستگی جانبی را در فاصله ۹۰ متری، مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در ۹۰ متر ابتدای پروفیل، که تا اعماق بیشتر گسترش دارد، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۹۰ متری ابتدای پروفیل وجود دارند، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه

متوسط و ریز از جنس داسیت و سیلیس است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها عمقی در حدود ۲۵ متر دارد. در فاصله ۳۰ تا ۹۰ متر، مقاومت ویژه از سطح تا حداکثر عمق ۲۵ متر، بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر (واریزه های سیلیسی و داسیتی) تغییر می کند و بعلت قرار گیری بر روی مواد با مقاومت ویژه حدود کمتر از ۱۰۰ اهم متر، می تواند قسمتی از سطح لغزش کلی باشد.

از فاصله ۹۰ متر تا انتهای پروفیل، در عمق بیشتر از ۲۵ متر، دارای مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر می باشد که احتمالاً مربوط به سنگ بستر سیلیسی می باشد و می توان در سطح زمین، بطور متناوب سنگ های سیلیسی هوازده را مشاهده کرد که بعلت ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن با واریزه ها پوشانده شده است. در فاصله ۹۰ تا ۱۴۷ متر، وجود مقاومت ویژه بالا در سطح، مربوط به واریزه های دامنه ای شامل بلوکها و مواد دانه درشت بوده و بر روی سنگ بستر احتمالاً سیلیسی با مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر قرار گرفته و سطح لغزشی را ایجاد می کند که



شکل ۴-۸: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی C با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

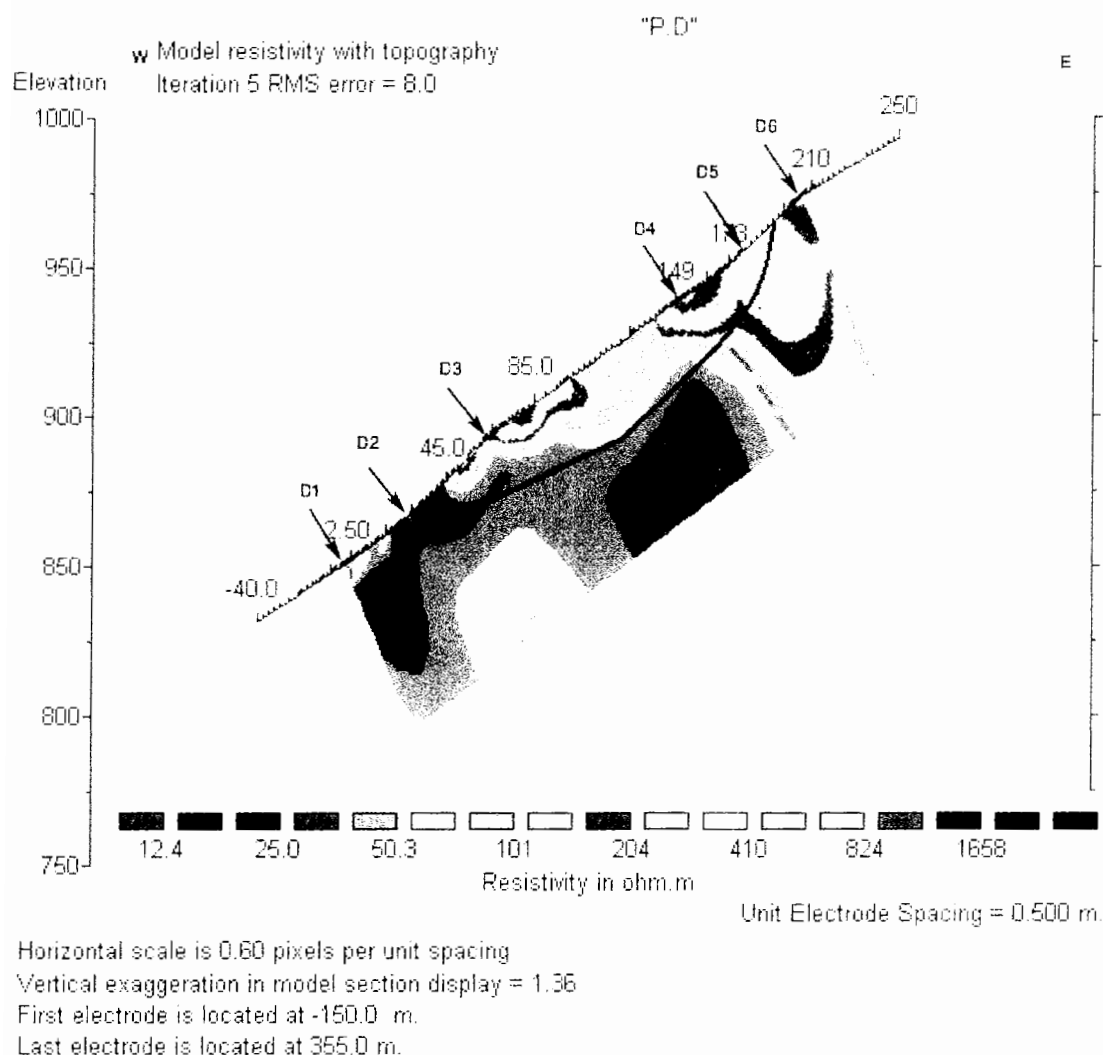
حداکثر عمق آن ۲۵ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود مربوط به تخته سنگهای داسیتی ارتفاعات هستند. سطح لغزش کلی در شکل ۴-۸ با خط ممتد نشان داده شده است که ماکزیمم ضخامت آن ۲۵ متر می باشد.

#### ۴-۲-۶-۴ مقطع قائم پروفیل طولی D

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل D با استفاده از نرم افزار  $Re\&Dinv$  در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در محدوده سونداژ D4، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) به خوبی دیده می شود و می توان ناپیوستگی جانبی را در فاصله ۱۵۰ متری در عمق بیشتر از حدود ۲۰ متر مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر - ناحیه آبی رنگ) در ۱۵۰ متر ابتدای پروفیل، که تا اعماق پائین گسترش دارد، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۱۳۵ متری ابتدای پروفیل وجود دارند، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط و ریز از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها عمقی در حدود ۸ متر در فاصله ۵۰ متر ابتدای پروفیل و عمقی در حدود ۲۲-۱۵ متر در فاصله ۵۰ تا ۱۳۵ متر دارد و بدلیل قرار گیری بر روی مواد با مقاومت ویژه حدود کمتر از ۱۰۰ اهم متر، می تواند قسمتی از سطح لغزش کلی باشد.

از فاصله تقریبی ۱۵۰ متر تا انتهای پروفیل، در عمق بیشتر از ۲۰ متر، دارای مقاومت ویژه، بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر می باشد که می تواند مربوط به سنگ بستر سیلیسی باشد و می توان بطور متناوب رخنمون سنگ بستر سیلیسی هوازده را مشاهده کرد که بعلت ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن با واریزه ها پوشانده شده است و وجود مقاومت ویژه بالا در سطح، مربوط به واریزه های دامنه ای شامل بلوکها و مواد دانه درشت بوده و بر روی سنگ بستر احتمالاً سیلیسی با مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر قرار گرفته و سطح لغزشی را ایجاد می کند که عمق تقریبی آن در محدوده بین سونداژهای D4 و D5، ۱۵ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای این پروفیل مشاهده می شود مربوط به تخته سنگهای داسیتی ارتفاعات هستند.

سطح لغزش کلی در شکل ۴-۹ با خط ممتد نشان داده شده که حداکثر عمق آن ۲۲ متر است.

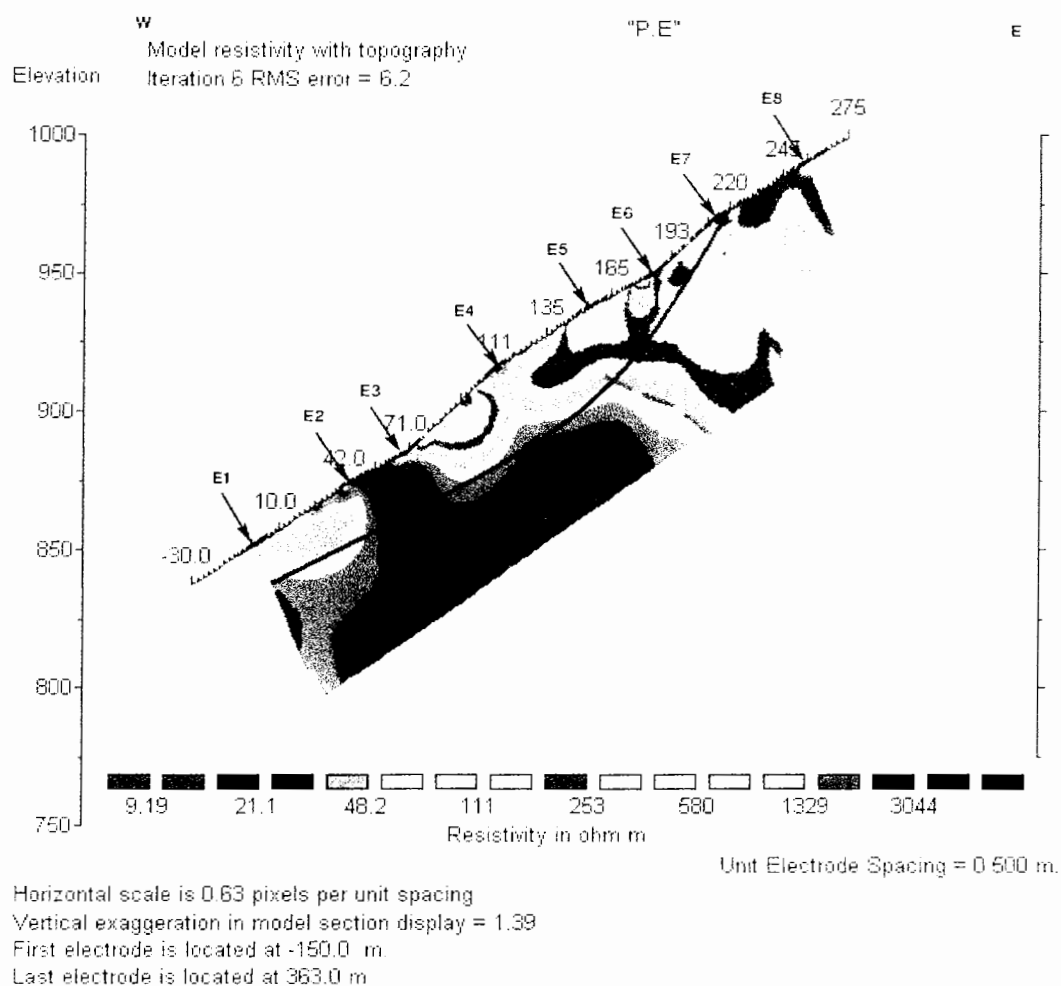


شکل ۴-۹: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی D با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۶-۵ مقطع قائم پروفیل طولی E

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه مربوط به پروفیل E با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در فاصله ۱۲۰ متری، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت غرب به شرق) به خوبی مشاهده شده و می توان ناپیوستگی جانبی را مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (به رنگ آبی) در فاصله ۱۶۰ متر ابتدای پروفیل مربوط به توده نفوذی آذرین است که در بعضی از نقاط با واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط حاصل از ریزش پوشانده شده اند. جنس توده نفوذی از نوع برش آتشفشانی

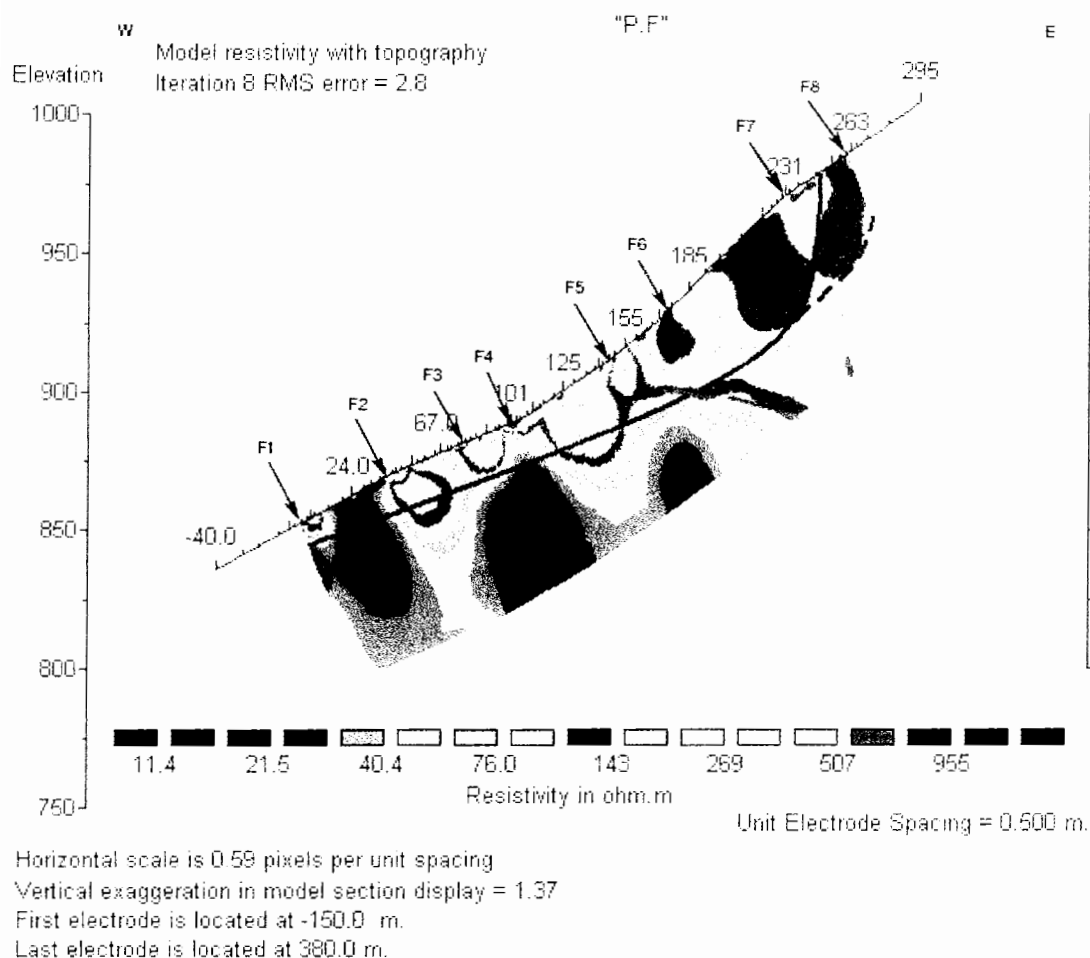
بوده و مقاومت ویژه ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر دارند. زون‌های با مقاومت ویژه مختلف که در عمق کم وجود دارند مربوط به واریزه‌های دامنه‌ای داسیتی و سیلیسی هستند که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده‌اند. این واریزه‌ها حداکثر عمقی در حدود ۲۵ متر دارند و بعلت قرار گیری بر روی سنگهای آذرین، لغزش رخ خواهد داد. در فاصله بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری، رخنمون سنگهای سیلیسی که هوازده‌اند مشاهده می‌شود و با توجه به گسترش مایل آن در عمق و مقاومت ویژه تقریباً یکسان آن، احتمالاً جنس سنگ بستر در این قسمت از نوع سیلیسی باشد. پس با توجه به قرار گیری سنگهای با مقاومت ویژه بالا بر روی سنگهای با مقاومت ویژه پائین، می‌توان سطح لغزشی را شناسایی کرد که حداکثر عمق آن ۲۳ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا (بیش از ۱۰۰۰ اهم متر) در انتهای پروفیل مشاهده می‌شود مربوط به تخته سنگهایی از نوع داسیت واقع در ارتفاعات هستند. سطح لغزش کلی در شکل ۴-۱۰ با خط ممتد تیره نشان داده شده است که حداکثر ضخامت آن ۲۵ متر می‌باشد.



شکل ۴-۱۰: مقطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی E با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۶-۲-۶ مقطع قائم پروفیل طولی F

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل F با استفاده از نرم افزار Re2Dinv در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در فاصله ۱۵۵ متری پروفیل، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) قابل مشاهده است و می توان ناپیوستگی جانبی را مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در ۱۵۵ متر ابتدای پروفیل، که در ابتدای پروفیل رخنمون داشته و در فاصله ۱۵۵ متری در عمق حدود ۲۵ متری واقع است، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلاجه جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۱۵۵ متری ابتدای پروفیل وجود



شکل ۴-۱۱: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی F با استفاده از نرم افزار Re2Dinv



دارند مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط و ریز از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها حداکثر عمقی در حدود ۲۰ متر در فاصله ۱۰۰ متر ابتدای پروفیل و حداکثر عمقی در حدود ۲۴ متر در فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۵ متر دارد و بدلیل قرار گیری بر روی مواد با مقاومت ویژه حدود کمتر از ۱۰۰ اهم متر، می تواند قسمتی از سطح لغزش کلی باشد. از فاصله تقریبی ۱۵۵ متر تا انتهای پروفیل، در عمق بیشتر از ۳۰ متر، دارای مقاومت ویژه بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر می باشد که احتمالاً مربوط به سنگ بستر سیلیسی می باشد و می توان بطور متناوب رخنمون سنگ سیلیسی هوازده را مشاهده کرد که بعلت ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن با واریزه ها پوشانده شده است و وجود مقاومت ویژه بالا در سطح، مربوط به واریزه های دامنه ای شامل بلوکها و مواد دانه درشت بوده و بر روی سنگ بستر احتمالاً سیلیسی با مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر قرار گرفته و سطح لغزشی را ایجاد می کند که عمق تقریبی آن در محدوده سونداژهای F6 و F7 تقریباً ۳۰ متر است. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود مربوط به تخته سنگهای داسیتی ارتفاعات هستند.

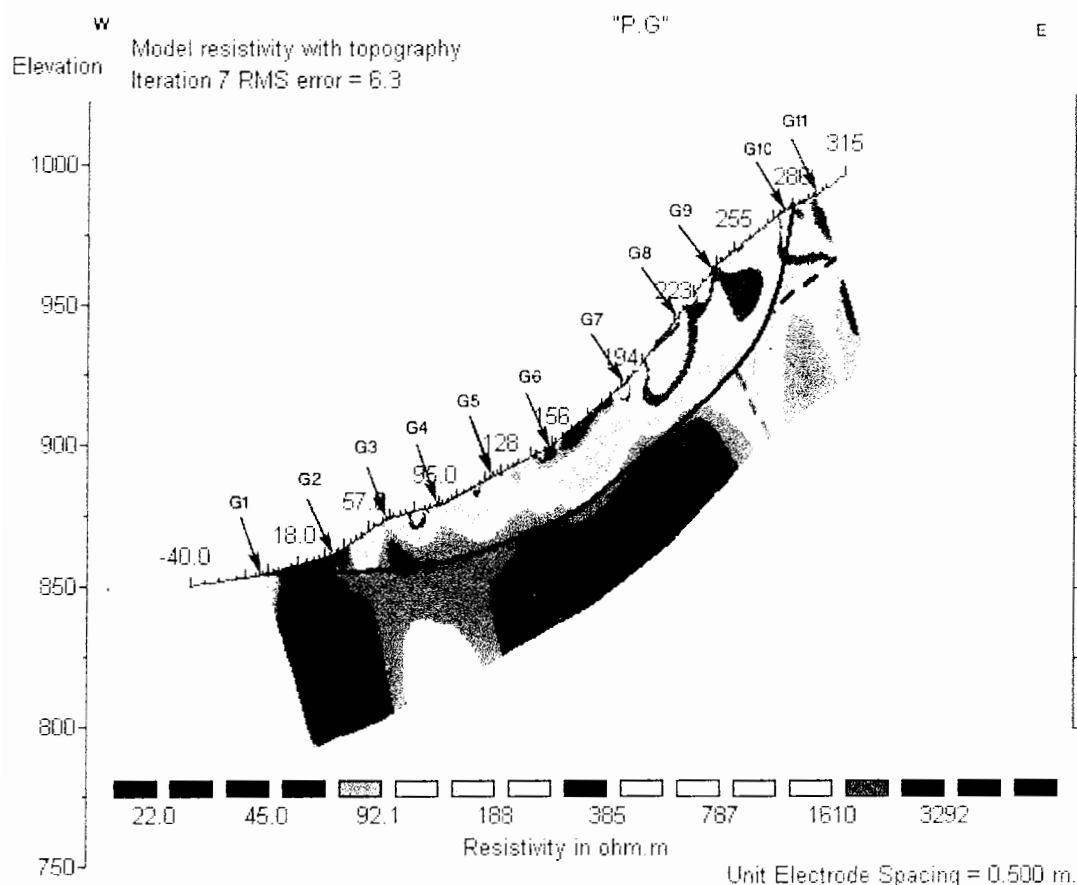
سطح لغزش کلی در شکل ۴-۱۱ با خط ممتد نشان داده شده است که ماکزیمم ضخامت آن ۳۰ متر می باشد. در محل نمایش خط چین، امکان وقوع لغزش در اثر تأثیر عوامل مؤثر، وجود دارد.

#### ۴-۶-۲-۷ مقطع قائم پروفیل طولی G

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه مربوط به پروفیل G با استفاده از نرم افزار Re&Dinv در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در فاصله ۲۳۰ متری و در عمق بیش از ۲۰ متر، می توان ناپیوستگی جانبی را تشخیص داد. مقاومت ویژه کم (به رنگ آبی) در فاصله ۲۳۰ متری ابتدای پروفیل، که در فاصله ابتدایی پروفیل رخنمون دارد، مربوط به توده نفوذی آذرین است که در بعضی از نقاط با واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط حاصل از ریزش پوشانده شده اند. جنس توده نفوذی از نوع برش آتشفشانی بوده و مقاومت ویژه ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر دارند. زون های با مقاومت ویژه مختلف که در عمق کم وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای داسیتی و سیلیسی هستند که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند. این واریزه ها

عمقی متغیر و حداکثر حدود ۲۵ متر دارند و بعلاوه قرار گیری بر روی سنگهای آذرین، سطح لغزش را با دقت بالایی تعیین کرد. در فاصله بین ۲۲۰ تا ۲۸۰ متری، رخنمون سنگهای سیلیسی که هوازده اند مشاهده می شود و با توجه به گسترش آن در عمق و مقاومت ویژه تقریباً یکسان آن، احتمالاً جنس سنگ بستر در این قسمت از نوع سیلیسی باشد. پس با توجه به قرار گیری سنگهای با مقاومت ویژه بالا بر روی سنگهای با مقاومت ویژه پائین، می توان سطح لغزشی را شناسایی کرد که عمق آن حداکثر به ۲۷ متر می رسد. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود و با رنگ قرمز مشخص است، مربوط به تخته سنگهای داسیت واقع در ارتفاعات هستند.

سطح لغزش کلی در شکل ۴-۱۲ با خط ممتد تیره نشان داده شده است که در فواصل ابتدایی پروفیل، بین ۵ تا ۱۵ متر و در فاصله ۶۰ تا ۱۰۰ متری پروفیل، حداکثر ضخامت آن ۲۵ متر می باشد.



Horizontal scale is 0.52 pixels per unit spacing

Vertical exaggeration in model section display = 1.53

First electrode is located at -150.0 m.

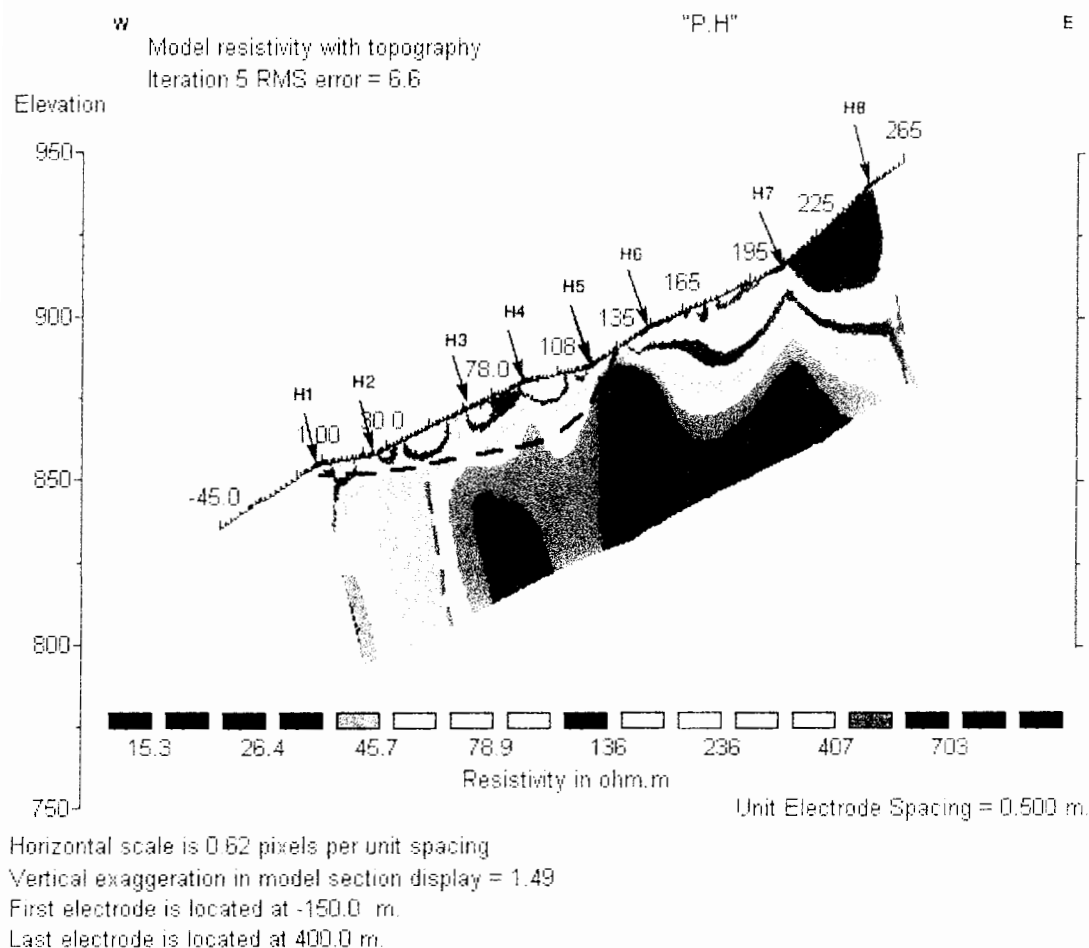
Last electrode is located at 450.0 m.

شکل ۴-۱۲: مقطع قائم حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی G با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

از فاصله ۱۰۰ متری تا انتهای پروفیل عمق سطح لغزش، حداکثر ۲۷ متر است. در این پروفیل، سطح لغزش را با دقت خیلی بالا می توان تعیین کرد. همچنین در محل نمایش خط چین، امکان وقوع لغزش در اثر تأثیر عوامل مؤثر، وجود دارد.

#### ۴-۶-۸ مقطع قائم پروفیل طولی H

مقطع قائم حاصل از معکوس سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه مربوط به پروفیل H با استفاده از نرم افزار  $\text{Res2Dinv}$  در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است. این پروفیل خارج از محدوده لغزش قرار دارد و اگر لغزشی هم رخ بدهد در محدوده مشخص شده در مدل خواهد بود. از شکل مشاهده می شود که دو ناپیوستگی جانبی وجود دارد که یکی از آنها در فاصله ۴۰ متری و در عمق بیش از ۱۲ متر و دیگری در فاصله ۲۳۵ متری و در عمق بیش از ۳۰ متر قرار دارد.



شکل ۴-۱۳: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل طولی H با استفاده از نرم افزار  $\text{Res2Dinv}$

مقاومت ویژه کم (به رنگ آبی)، که در ۱۳۰ متری پروفیل رخنمون دارد، مربوط به توده نفوذی آذرین است که در بعضی از نقاط با واریزه های دانه ریز تا دانه متوسط حاصل از ریزش، با عمق کم پوشانده شده اند. جنس توده نفوذی از نوع برش آتشفشانی بوده و مقاومت ویژه ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر دارند. زون های با مقاومت ویژه مختلف که در عمق کم وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای داسیتی و سیلیسی هستند که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند. این واریزه ها عمقی کمی دارند و بعلت قرار گیری بر روی سنگهای آذرین، سطح دارای پتانسیل لغزش را می توان تعیین کرد. در فاصله ۳۰ متر ابتدای پروفیل و نیز در فاصله بین ۱۶۰ تا ۲۰۰ متری، رخنمون سنگهای سیلیسی که هوازده اند مشاهده می شود و احتمالاً جنس سنگ بستر در این قسمت ها از نوع سیلیسی می باشد ولی بدقت نمی توان موقعیت آنرا مشخص کرد.

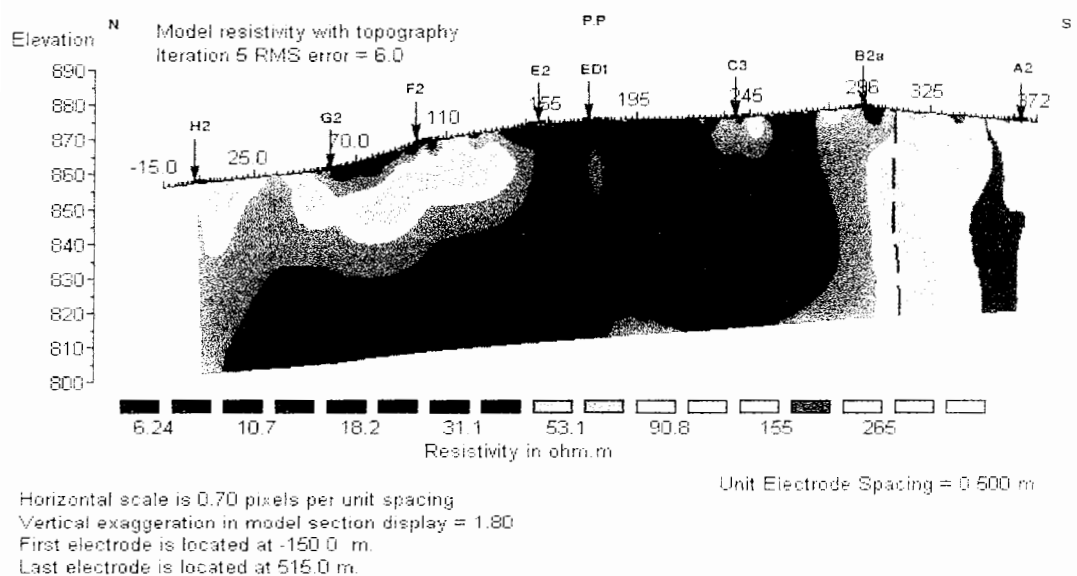
پس با توجه به قرار گیری سنگهای با مقاومت ویژه بالاتر بر روی سنگهای با مقاومت ویژه پائینتر، می توان سطح دارای پتانسیل لغزش را شناسایی کرد که عمق آن حداکثر به ۱۵ متر می رسد. ناحیه ای که با مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل مشاهده می شود مربوط به تخته سنگهای داسیتی ارتفاعات هستند که با رنگ قرمز و بنفش مشخص است.

در محل نمایش خط چین، امکان وقوع لغزش در اثر تأثیر عوامل مؤثر، وجود دارد.

#### ۴-۶-۲-۹ مقطع قائم پروفیل عرضی P

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل عرضی P با استفاده از نرم افزار  $Re\&Dinv$  در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در فاصله بین سونداژهای A2 و B2a، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) قابل مشاهده بوده و می توان ناپیوستگی را در فاصله ۳۱۰ متری مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در فاصله ۱۵۰ تا ۳۱۰ متری پروفیل، که تا اعماق پائین گسترش دارد و در عمق تقریبی بیش از ۲۰ متر در ۱۵۰ متر ابتدای پروفیل نیز مشاهده می شود، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است که بعلت ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن ب

واریزه ها پوشانده شده و وجود زونهایی با مقاومت ویژه متفاوت در سطح و در عمق کمتر از ۲۰ متر، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه کوچک در نظر گرفت که بر روی توده نفوذی قرار گرفته اند. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۲۵۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۳۰ تا ۱۵۰ متری ابتدای پروفیل وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط و ریز از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها عمقی در حدود ۱۰ تا ۲۰ متر دارد. در فاصله بیش از ۳۰۰ متری، مقاومت ویژه بالای ۱۰۰ اهم متر مشاهده می شود که احتمالاً سنگ بستر سیلیسی است که در محدوده سونداژ A2 رخنمون دارند.



شکل ۴-۱۴: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل عرضی P با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

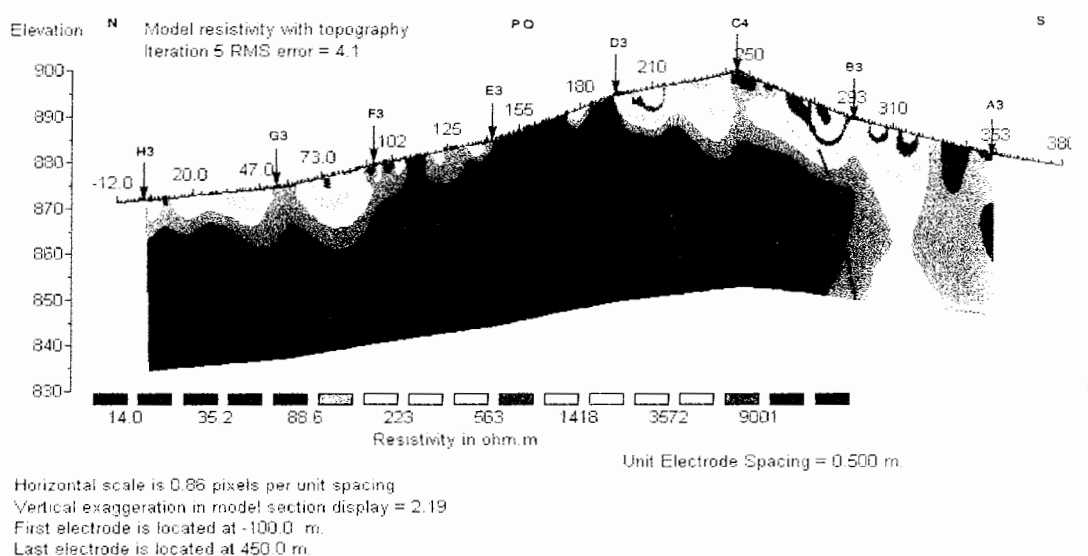
#### ۴-۶-۲-۱۰ مقطع قائم پروفیل عرضی Q

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل عرضی Q با استفاده از Res2Dinv در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. از مدل مشاهده می شود که در فاصله بین سونداژهای C4 و B3، تغییرات جانبی مقاومت ویژه قابل مشاهده بوده و می توان ناپیوستگی جانبی را در فاصله ۲۹۰ متری مشخص کرد.

مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در ۲۹۰ متر ابتدای پروفیل، که تا اعماق پائین گسترش دارد و همچنین در فاصله بین سونداژهای F3 و D3 در نزدیک سطح زمین

مشاهده می شوند، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۵۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۹۰ متری ابتدای پروفیل و همچنین در فاصله ۱۹۵ تا ۲۵۰ متری وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط و ریز از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها حداکثر عمقی در حدود ۲۰ متر دارند.

از فاصله تقریبی ۹۰ تا ۱۹۵ متری پروفیل، دارای مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰ اهم متر می باشد که مربوط به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی می باشد که بعلت ریزش سنگ از ارتفاعات، در بعضی نواحی، سطح آن با واریزه ها پوشانده شده و وجود زونهایی با مقاومت ویژه متفاوت در سطح، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه کوچک در نظر گرفت که بر روی توده نفوذی قرار گرفته اند و عمق آن تقریباً ۲۰ متر است. در فاصله بیش از ۲۷۰ متری، مقاومت ویژه بالای ۱۰۰ اهم متر مشاهده می شود که احتمالاً سنگ بستر سیلیسی است که در محدوده سونداژ A3 رخنمون دارند و در محدوده سونداژ B3 واریزه هایی با مقاومت ویژه متوسط به بالا مشاهده می شود.

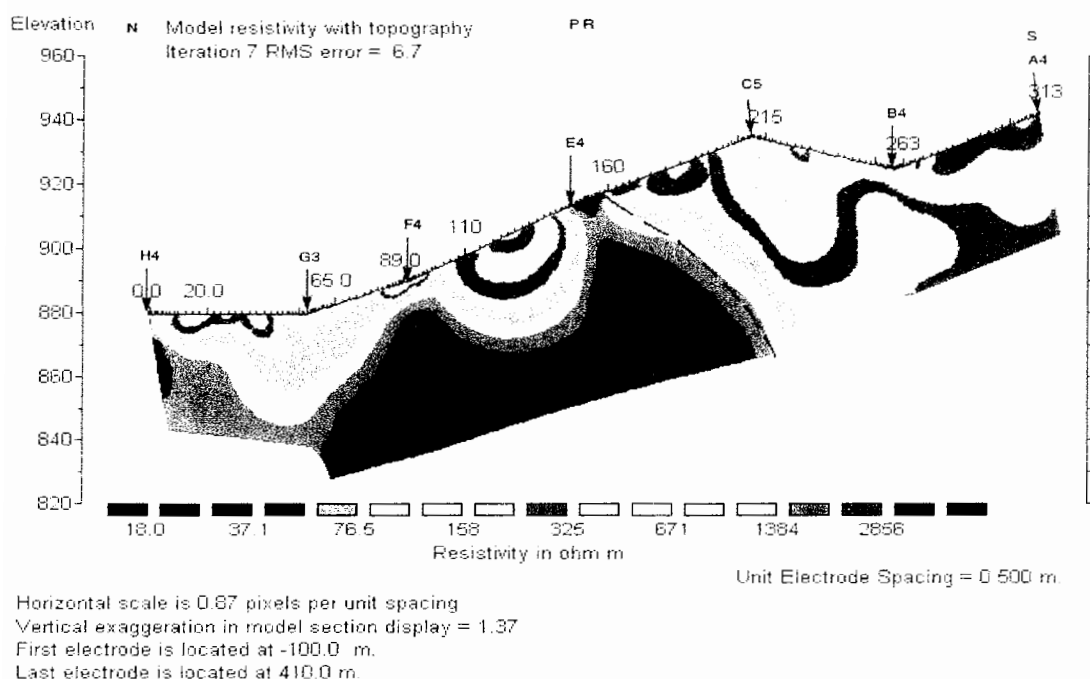


شکل ۴-۱۵: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل عرضی Q با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۶-۱۱ مقطع قائم پروفیل عرضی R

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل عرضی R با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در فاصله بین

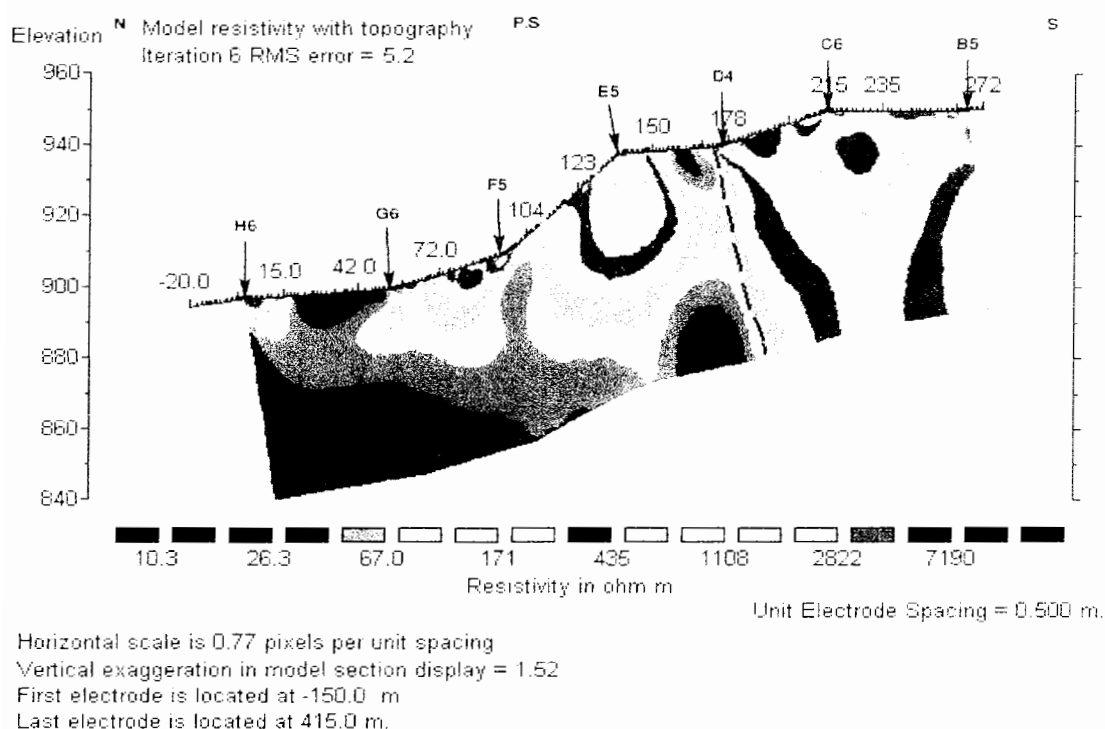
سوندازهای E4 و C5، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) قابل مشاهده بوده و می توان ناپیوستگی جانبی را مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در فاصله ۲۰۰ متر ابتدای پروفیل، که تا اعماق پائین گسترش دارد و در عمق تقریبی بیش از ۲۰ متر در ۱۵۰ متر ابتدای پروفیل نیز مشاهده می شود، مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای آتشفشانی است. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۳۰ تا ۱۴۰ متری ابتدای پروفیل وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها حداکثر عمقی در حدود ۲۰ متر دارند. از فاصله تقریبی ۱۴۰ تا ۱۶۰ متری پروفیل، دارای مقاومت ویژه کمتر از ۷۵ اهم متر می باشد که مربوط به رخنمون سنگهای آذرین نفوذی می باشد. وجود زونهایی با مقاومت ویژه متفاوت در سطح، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط در نظر گرفت که بر روی توده نفوذی قرار گرفته و عمق تقریبی آن حداکثر ۲۵ متر است. در فاصله بیش از ۲۰۰ متری، مقاومت ویژه بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ اهم متر (زون سبز رنگ) مشاهده می شود که احتمالاً سنگ بستر سیلیسی است که در محدوده سونداز B4 رخنمون دارند.



شکل ۴-۱۶: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل عرضی R با استفاده از نرم افزار Res2Dinv

#### ۴-۶-۲-۱۲ مقطع قائم پروفیل عرضی S

مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دو بعدی مربوط به پروفیل عرضی S با استفاده از نرم افزار Res2Dinv در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می شود که در زیر نقطه سونداژ D4 و در فاصله بین سونداژهای E5 و C6، تغییرات جانبی مقاومت ویژه (افزایش مقاومت ویژه از سمت چپ به راست) قابل مشاهده بوده و می توان ناپیوستگی جانبی را در فاصله ۱۸۰ متری مشخص کرد. مقاومت ویژه کم (تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر- ناحیه آبی رنگ) در فاصله ۱۸۰ متری ابتدای پروفیل، که تا اعماق پائین گسترش دارد مربوط به سنگهای آذرین نفوذی می باشد. علت پائین بودن مقاومت ویژه، بعلت جنس سنگ از نوع برش (خاکسترهای) آتشفشانی است که در فاصله تقریبی ۱۵۰ تا ۱۷۰ متری پروفیل، دارای مقاومت ویژه کمتر از ۷۰ اهم متر می باشد که مربوط به رخنمون این نوع سنگها می باشد. زونهای با مقادیر مقاومت ویژه کمتر از ۴۰۰ اهم متر که در عمق کم زمین و در فاصله ۱۰۰ متری ابتدای پروفیل وجود دارند مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه متوسط و ریز از جنس سیلیس و داسیت است که از ارتفاعات بالاتر ریزش کرده اند، این واریزه ها حداکثر عمقی در حدود ۲۰ متر دارند.



شکل ۴-۱۷: مقطع قائم حاصل از مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل عرضی S با استفاده از نرم افزار Res2Dinv



زونهای با مقادیر مقاومت ویژه بالایی در محدوده سونداژهای E5 و D4 وجود دارند، مربوط به واریزه های دامنه ای با اندازه بزرگ از جنس داسیت است و حداکثر عمق ۲۵ متر دارند. در فاصله بیش از ۱۸۰ متری و در عمق بیش از ۲۵ متر، مقاومت ویژه، کمتر از ۵۰۰ اهم متر مشاهده می شود که احتمالاً مربوط به سنگ بستر سیلیسی می باشد.

#### ۴-۷ مقایسه مقاطع قائم حاصل از پروفیل‌های عرضی و CRP

در بخش قبل، مقاطع قائم پروفیل های طولی و عرضی و CRP با استفاده از مدلسازی معکوس دو بعدی مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته اند. بدلیل اینکه هیچگونه اطلاعاتی، از جمله اطلاعات چاه پیمایی، که بتوان توسط آن نتایج مدلسازی ها را کنترل کرده و از صحت نتایج، مطمئن شویم، وجود ندارد. لذا از برداشت های CRP، جهت نیل به هدف از پیش تعیین شده، استفاده کردیم.

در این بخش، مقاطع قائم حاصل از معکوس سازی داده های پروفیل‌های CRP را با پروفیل‌های عرضی واقع بر روی این پروفیل‌ها یا واقع در نزدیکی آنها (با جابجایی حداکثر ۵ متر) مقایسه کرده و دقت نتایج حاصل از مدلسازی پروفیل‌های سونداژها را با مقاطع قائم پروفیل‌های CRP کنترل می کنیم. بدلیل اینکه حداکثر عمق بررسی در مقاطع قائم مربوط به پروفیل‌های CRP و پروفیل‌های سونداژها به ترتیب برابر ۱۹ و ۵۲ متر است، پس برای مقایسه، در پروفیل‌های عرضی، فقط عمق تقریبی دربرگیرنده پروفیل CRP را در نظر می گیریم. در مقاطع قائم مربوط به CRP، محدوده ایی که مقاطع قائم مربوط به سونداژها بر روی آنها قرار دارد، مشخص شده است.

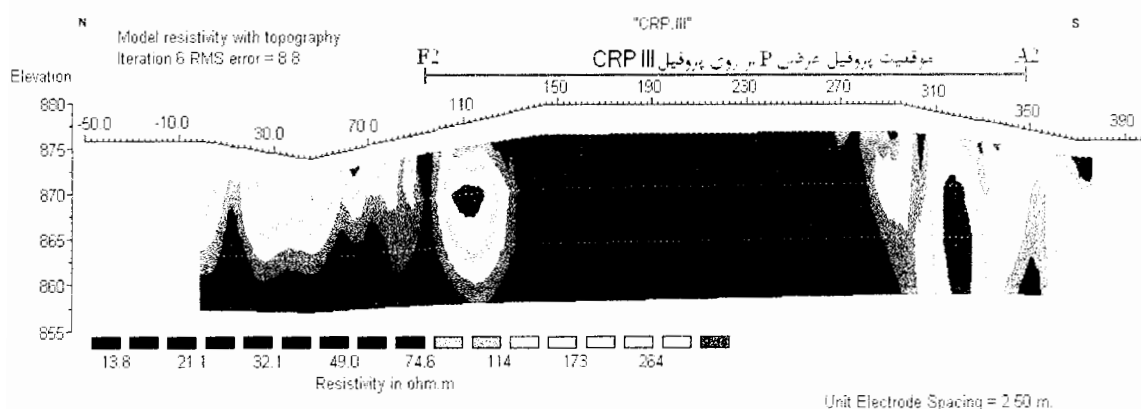
در برداشتهای CRP، فاصله بین نقاط برداشت داده (ایستگاه ها) برابر ۵ متر است و در هر ایستگاه، سه داده برای فاصله الکترودهای جریان (AO) برابر ۲۰، ۳۰ و ۵۰ متر قرائت می شود. لذا در مدلسازی داده ها، تغییرات جانبی مقاومت ویژه را با دقت زیادی مشاهده کرد؛ هر چند بعلت کم بودن تعداد داده ها برای تغییرات عمقی، دقت آن کمتر از دقت مدلسازی معکوس دو بعدی داده های سونداژها، برای مشاهده تغییرات عمقی، می باشد. زیرا در برداشت داده های سونداژها، برای هر نقطه، بطور متوسط ۱۵ داده برای فواصل الکترودهای جریان (AB) بین ۶ متر تا ۳۰۰ متر قرائت شده اند. ولی مدلسازی معکوس دو بعدی پروفیل‌های سونداژها، با ارتباط دادن تعدادی از سونداژها، که فاصله

بین آنها بین ۲۵ تا ۷۰ متر متغیر بوده، انجام پذیرفته و نتایجی که برای فواصل بین نقاط سونداژ بدست داده، تقریبی است. در ادامه، با مقایسه مقاطع قائم مربوط به CRP و مقاطع قائم مربوط به سونداژها، نتایجی که برای فواصل بین نقاط سونداژ بدست آمده را مورد ارزیابی قرار می دهیم.

#### ۴-۷-۱ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی P و CRP.III

در شکل ۴-۱۸ موقعیت پروفیل عرضی P در روی پروفیل CRP.III مشخص شده تا نتایج مقطع قائم مربوط به CRP.III با مقطع قائم پروفیل عرضی P (شکل ۴-۱۴) مقایسه گردند. مشاهده می شود که پروفیل عرضی P از محدوده سونداژ F2 تا انتها، تقریباً بر روی پروفیل CRP.III در بین ایستگاه های III.19 تا III.68 قرار دارد.

همانطور که مشاهده می شود، در پروفیل عرضی P در فاصله تقریبی ۱۳۰ متر و تا عمق ۲۰ متر، تغییرات جانبی مشاهده می شود، که مقاومت ویژه از حدود حداقل ۱۰۰ اهم متر (ناحیه سبز رنگ) به حدود ۲۰ اهم متر (ناحیه آبی رنگ) کاهش می یابد، این کاهش مقاومت ویژه در مقطع قائم مربوط به CRP نیز تقریباً در همان نقطه مشاهده می شود. همچنین تغییرات جانبی که در فاصله حدود ۳۰۵ متر در مقطع قائم مربوط به پروفیل عرضی P مشاهده می شود، در مقطع قائم مربوط به پروفیل CRP.III نیز دیده می شود، هر چند که این تغییرات مقطع قائم پروفیل P روئت شده ولی در مقطع قائم مربوط به پروفیل CRP.III با دقت بالا و با تفکیک پذیری خوبی معین شده است.

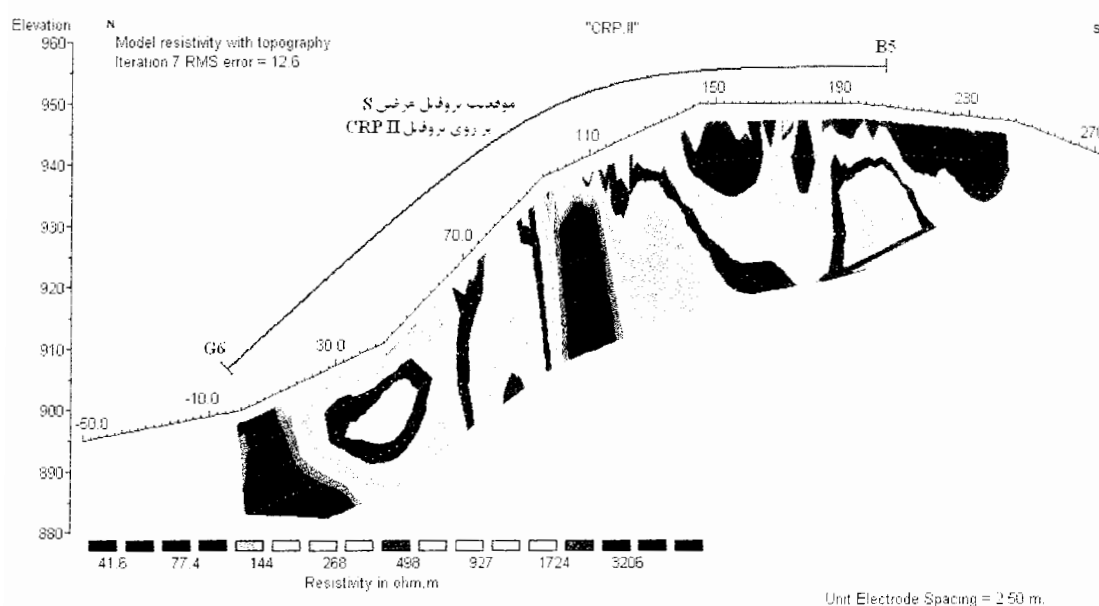


شکل ۴-۱۸ : موقعیت پروفیل عرضی P در روی پروفیل CRP.III

#### ۴-۷-۲ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی S و CRP.II

در شکل ۴-۱۹ موقعیت پروفیل عرضی S در روی پروفیل CRP.II مشخص شده تا نتایج مقطع قائم پروفیل CRP.II با مقطع قائم مربوط به پروفیل عرضی S (شکل ۴-۱۷) مقایسه گردند. مشاهده می شود که پروفیل عرضی S از محدوده سونداژ G6 تا انتها، تقریباً بر روی پروفیل CRP.II در بین ایستگاه های II.1 تا II.40 قرار دارد.

در مقطع قائم پروفیل CRP.II، مقاومت ویژه پائینی که در ابتدای پروفیل دیده می شود، در محدوده سونداژهای G6 و F5 در شکل ۴-۱۷ مشاهده می شود، همچنین مقاومت ویژه پائینی که بصورت بالا آمدگی در میانه مقطع قائم پروفیل CRP.II دیده می شود، در فاصله بین ۱۵۰ تا ۱۷۰ متری پروفیل S قرار دارد. البته در مقطع قائم پروفیل CRP.II می توان محدوده آن را با دقت بالایی معین کرد. مقاومت ویژه بالایی که در پروفیل S در زیر سونداژ E5 و همچنین از فاصله تقریبی ۱۷۰ متر تا انتهای پروفیل دیده می شود، اثر این نواحی نیز در مقطع قائم پروفیل CRP.II قابل مشاهده است. همچنین مقاومت ویژه بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ اهم متر در زیر سونداژ B5 و در عمق بیش از ۵ متر در هر دو مقطع قائم مشاهده می شود ولی بعلا تفکیک پذیری بالای مقطع قائم پروفیل CRP.II، بخوبی نمایان است.



شکل ۴-۱۹: موقعیت پروفیل عرضی S در روی پروفیل CRP.II

#### ۴-۷-۳ مقایسه مقاطع قائم مربوط به پروفیل عرضی X و CRP.I

در شکل ۴-۲۰ موقعیت پروفیل عرضی X در روی پروفیل CRP.I و در شکل ۴-۲۱، عمق بررسی تقریبی مقطع قائم مربوط به CRP.I در پروفیل X مشخص شده که نتایج مقطع قائم CRP.I با مقطع قائم پروفیل عرضی X مقایسه می شوند. مشاهده می شود که پروفیل عرضی X، تقریباً در فاصله تقریبی ۳ تا ۵ متری از پروفیل CRP.I در بین ایستگاه های I.8 تا I.24 قرار دارد.

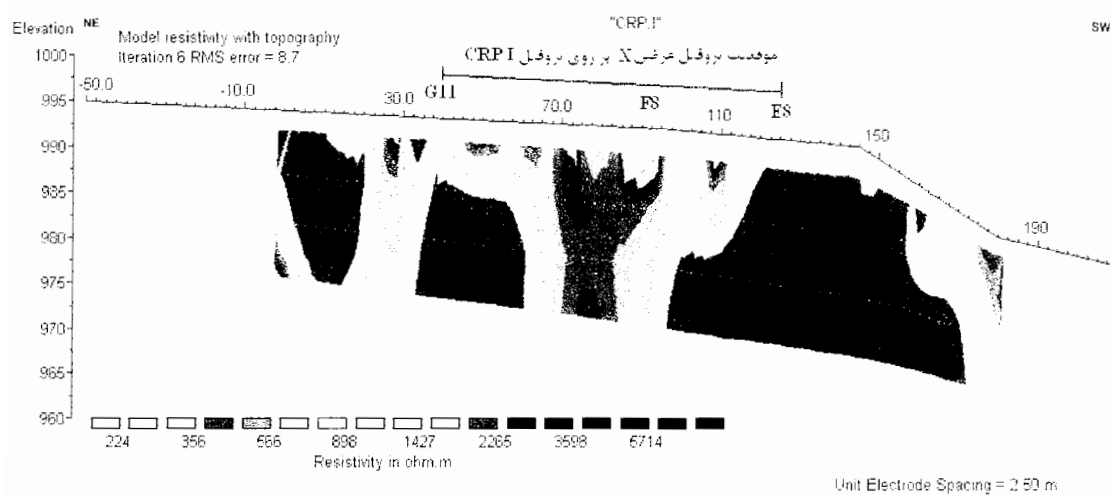
مقاومت ویژه بالایی که در ابتدا و انتهای پروفیل X دیده می شود، در مقطع قائم پروفیل CRP.I نیز مشاهده می شود، ولی در مقطع قائم پروفیل CRP.I تغییرات جانبی شدید مقاومت ویژه به خوبی قابل مشاهده بوده و می توان موقعیت آنرا با دقت زیادی تعیین کرد. این تغییرات جانبی در فاصله ۶۸ متری و ۱۰۰ متری پروفیل قرار دارند. ولی بعلاوه فاصله زیاد بین سونداژها (۶۰ متر و ۲۸ متر)، هر چند این تغییرات جانبی دیده می شود ولی نمی توان بطور دقیق موقعیت آنرا مشخص نمود.

#### ۴-۷-۴ نتیجه مقایسه مقاطع قائم پروفیلها

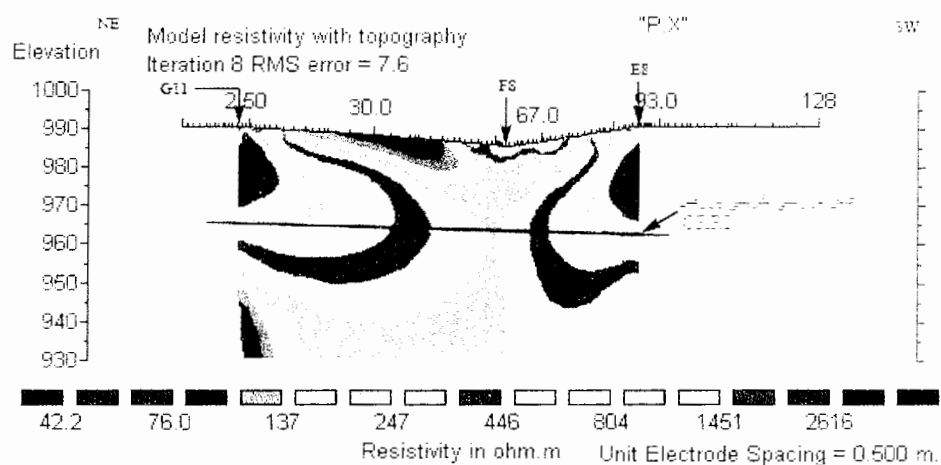
با مقایسه مقاطع قائم پروفیل های CRP با مقاطع قائم پروفیل های حاصل از سونداژها، به نتایجی دست می یابیم که عبارتند از:

۱- اختلاف ویژه ایی که این مقاطع قائم دارند این است که تغییرات کوچک ناحیه ایی (میان لایه ها) که در مقاطع قائم CRP، بعلاوه فاصله کم بین ایستگاه ها، مشاهده می شوند، ولی بدلیل فاصله زیاد بین نقاط سونداژ در مقاطع قائم پروفیل های حاصل از سونداژها دیده نمی شوند.

۲- مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل های CRP، نتایج مدلسازی معکوس دوبعدی پروفیل های حاصل از سونداژها را تائید می کند و به این نتیجه می رسیم که مقاطع قائم حاصل از سونداژها با دقت بالایی قابل قبول هستند.



شکل ۴-۲۰: موقعیت پروفیل عرضی X در روی پروفیل CRP. I



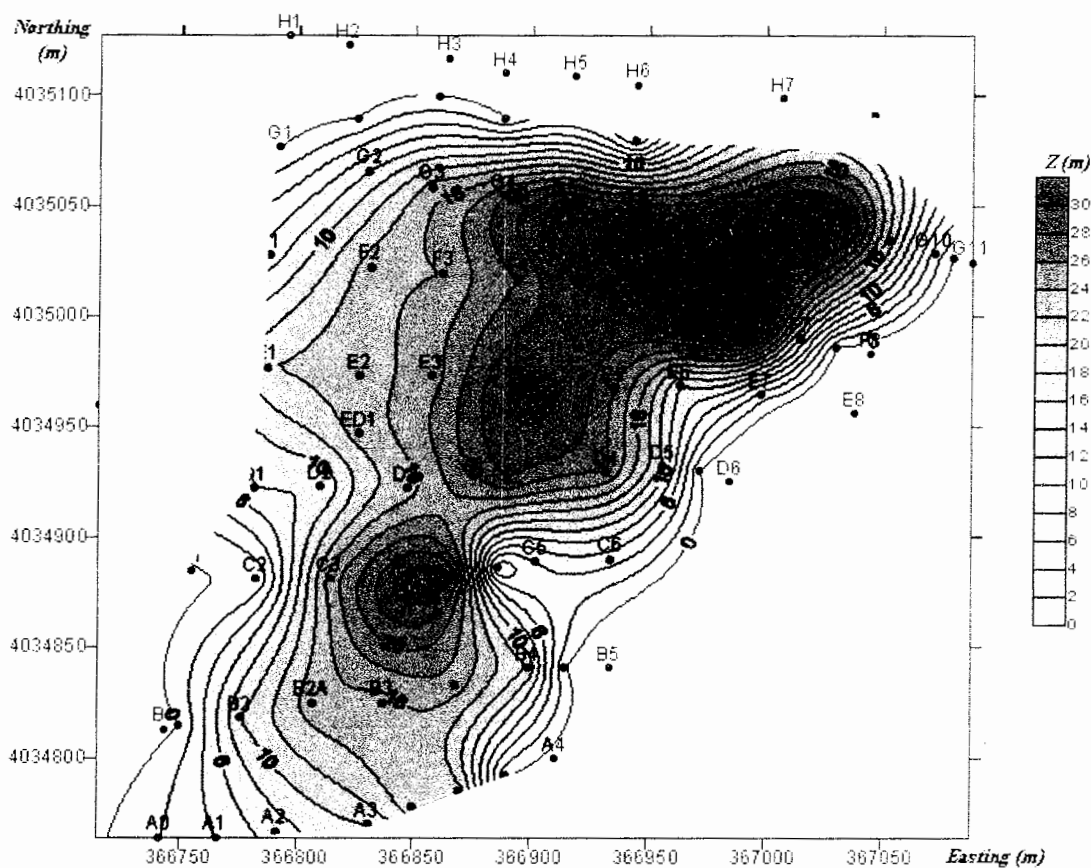
شکل ۴-۲۱: موقعیت عمق بررسی تقریبی مقطع قائم CRP. I در مقطع قائم پروفیل عرضی X

## فصل پنجم:

### نتیجه گیری و پیشنهادات

#### ۵-۱ نتیجه گیری

با توجه مباحثی که در فصلهای قبلی مطرح شده و با استفاده از شبه مقاطع و مدلسازیهای یک بعدی و دوبعدی بر روی داده های برداشت شده، احتیاج به تعیین سطح لغزش در منطقه مورد مطالعه می باشد. برای دستیابی به این منظور، با استفاده از مقاطع فوق الذکر، اقدام به تهیه نقشه هم عمق سطح لغزش کرده ایم. این نقشه، توسط نرم افزار SURFER و با استفاده از عمق سطح لغزشی که در مقاطع قائم پروفیلهای طولی و عرضی در فصل چهارم مشخص شده اند، رسم شدند. در نقشه هم عمق سطح لغزش که در شکل ۵-۱ نشان داده شده است، موقعیت سونداژها نیز مشخص است. همانطور که مشاهده می شود، تقریباً در مرکز محدوده برداشت، توده لغزشی دارای بیشترین ضخامت و در حاشیه ها کمترین ضخامت را دارند. نتایجی که از این مطالعه حاصل می شوند عبارتند از:



شکل ۵-۱: نقشه هم عمق سطح لغزش (Z(m) نشاندهنده عمق توده بر حسب متر می باشد)

۱- تهیه شبه مقاطع و مقاطع قائم مقاومت ویژه منطقه مورد مطالعه و تعیین نحوه تغییرات ضخامت و توزیع مقاومت ویژه طبقات مختلف زمین.

۲- پائین بودن فاصله بین نقاط سونداژها (بطور متوسط ۳۵ متر)، دال بر دقت بالای نتایج مدلسازی می باشد.

۳- بعثت نزدیک بودن فاصله بین پروفیل‌های طولی (بطور متوسط ۳۵ متر)، تفسیر پروفیل‌ها تقریباً مشابه یکدیگر می باشد.

۴- در مقاطع قائم مقاومت ویژه بدست آمده، ناپیوستگی‌هایی که جدا کننده سنگهای آذرین نفوذی و سنگهای سیلیسی - آگلومرای هستند، مشاهده می شوند که این ناپیوستگی‌ها ادامه روند ناپیوستگی در مقاطع مجاور می باشند و بطور آرام در مقاطع بعدی به سمت شرق جابجا میشوند و این نشان می دهد که این ناپیوستگی تقریباً راستای شمال شرقی - جنوب غربی دارند.

۵- با توجه به مقاطع قائم مقاومت ویژه مربوط به پروفیل های طولی و نقشه هم عمق سطح لغزش، سطح لغزش حالت قوسی شکل و نسبتاً دورانی دارد، پس نتیجه می شود که لغزش از نوع لغزش چرخشی و جهت لغزش از شرق به غرب (با توجه به توپوگرافی) است.

۶- با مشاهده مقاطع قائم طولی و مقایسه نحوه تغییرات مقاومت ویژه و مقایسه آن با نقشه توپوگرافی منطقه، نتیجه می شود که دو لغزش متفاوت در محل به وقوع پیوسته است. همچنین از شکل ۵-۱ نیز می توان به وجود دو نوع زمین لغزش پی برد. زمین لغزش جنوبی در محدوده پروفیل های A، B و C و زمین لغزش شمالی در محدوده پروفیل های D، E، F و G واقع بوده و پروفیل H خارج از محدوده لغزش قرار دارد. همچنین طول لغزش مربوط به زمین لغزش قسمت جنوبی، کوچکتر از قسمت شمالی است.

## ۵-۲ پیشنهادات

- ۱- در نقاطی که رسانایی بالا بوده و مانع از نفوذ جریان الکتریکی به داخل زمین می شوند (در تعدادی از سونداژها) و در نتیجه ممکن است نتایج حاصل از روش مقاومت ویژه در این نقاط، از خطای بیشتری برخوردار باشد. از این رو، پیشنهاد میگردد در این نقاط، از دیگر روشهای ژئوفیزیکی مثل لرزه نگاری برای بدست آوردن اطلاعات دقیق تر بکار گرفته شود.
- ۲- بعلت اینکه حداکثر فاصله الکترودهای جریان برابر ۳۰۰ متر بوده، لذا در جهت شناخت بهتر ساختارهای زیر سطح، این فاصله حداقل به  $AB=500$  متر افزایش یابد.



## منابع فارسی:

۱. بیت اللهی، ع.، ۱۳۸۲، بررسی زمین لغزشها با روشهای ژئوالکتریکی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
۲. پیروز، ا.، ۱۳۸۲، طرح پژوهشی-کاربردی: بکارگیری روش ترکیب یافته از حفاری الکتریکی و ترانسه زنی الکتریکی برای اکتشاف منابع آبهای زیر زمینی در زمین های سخت (کارست)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان سمنان و دانشگاه صنعتی شاهرود (طرح ملی).
۳. حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۲، پایان نامه کارشناسی ارشد: پهنه بندی خطر لغزش در مناطق لرزه خیز، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. حافظی مقدس، ن.، ۱۳۸۳، جزوه کلاسی زمین شناسی زیست محیطی رشته زمین شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۵. شریعت جعفری، م.، ۱۳۷۵، زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیبهای طبیعی)، انتشارات سازه، ص ۱-۱۴۵.
۶. صادقی، ح.، ۱۳۸۲، زمین شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان مهندسی عمران)، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)، ص ۳۳۷-۳۵۵.
۷. قاضی فرد، ا.، امامی، س. ن.، ۱۳۸۳، مبانی زمین شناسی مهندسی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.
۸. قبادی، م. ح.، ۱۳۸۱، زمین شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان مهندسی عمران)، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۱۸۳-۱۶۴.
۹. کلاگری، ع. ا.، ۱۳۷۱، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، انتشارات تابش تبریز.
۱۰. کمک پناه، ع.، منتظرالقائم، س.، چدنی، ا. ج.، ۱۳۷۱، پهنه بندی زمین لغزه در ایران، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ص ۱-۴۱۱.
۱۱. گزارش زمین شناسی تونل کیلومتر ۵۲ بزرگراه قزوین - رشت، ۱۳۸۴، گروه مهندسين مشاور هراز راه.
۱۲. محمدزاده، م.، ۱۳۸۰: پایان نامه کارشناسی ارشد: ارزیابی شوری خاک و آبهای زیر زمینی منطقه شکار آباد شاهرود با استفاده از روشهای ژئوالکتریکی.
۱۳. معماریان ح.، ۱۳۸۴، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
۱۴. مؤسسه جغرافیایی، ۱۳۸۰، اطلس راه های ایران، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی.
۱۵. نیک اندیش، ن.، ۱۳۷۳، زمینلغزش (تعریف- طبقه بندی- انواع و علل وقوع)، معاونت آبخیز داری جهاد سازندگی، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها.

۱۶. هرمزی، ا.، ۱۳۸۰، زمین شناسی زیست محیطی (زمین شناسی و محیط زیست انسان)، مرکز نشر دانشگاهی.
۱۷. هلاکوئی، ع.ا.، ۱۳۸۵، سمینار کارشناسی ارشد: زمین لغزشها و مطالعات ژئوفیزیکی آنها (علل و عوامل وقوع، روش های شناسایی و اکتشاف و طریقه های پایدار سازی)، دانشگاه صنعتی شاهرود.

منابع لاتین:

18. Apparao, A., 1997, **Developments in geoelectrical methods**, first edition, A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, P. 156-182.
19. Dobrin, M.B., Savit, C.H., 1988, **introduction to geophysical prospecting**, john wiley & sons, new york.
20. Fox, R.C., Hohmann, G. W., Killpack, T. J. and Rijo, L., 1980, **Topographical effects in resistivity and induced-polarization surveys**, GEOPHYSICS. VOL. 45, NO. 1 (JANURY 1980); P. 75-93.
21. Frasher, A., Kapllani, L., Dhima, F., 1998, **Geophysical landslide investigation and prediction in the hydrotechnical works**, journal of the Balkan geophysics society, Vol.1, No.3 (August 1998); p. 38-43.
22. Griffiths, D.H., king, R.F., 1988, **applied geophysics for engineers and geologists**, pergamon press, new york.
23. IAEG commission on landslide: **suggested Nomenclature for landslide**, Bulletin of the International Association Engineering Geology, N41 April 1990, pp.13-15.
24. Inman, J., 1975, **Resistivity inversion with ridge regression**, GEOPHYSICS. VOL. 40, NO. 5 (october 1975); P. 798-807.
25. Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., 1970, **Electrical methods in geophysical prospecting**, second edition, Pergamon press, oxford , new york , Toronto, Sidney . braunschweig , P. 1-196.
26. Lapenna, V., Lorenzo, P., Perrone, A., Piscitelli, S., Rizzo, E. & Sdao, F., 2005, **2D electrical resistivity imaging of some complex landslides in the Lucanian Apennine Chain**, Southern Italy, GEOPHYSICS. Vol.70, No.3 (MAY-JUNE 2005); p. B11-B18.
27. Lock, M.H., 2004, **2-D and 3-D electrical imaging surveys**, P. 1-128.
28. Lock, M.H., 2004, **res2dinv ver. 3.54**, Geotomo software, p. 1-130.
29. Mathewson, **an introduction to engineering geology**, 1981.
30. Milson, J., 1996, **field geophysics**, 2<sup>nd</sup> edition, john wiley & sons, new york.
31. Mooney, H.M., 1980, **Handbook of engineering geophysics** , v.2, first edition, Bison instruments, inc. and Minneapolis, Minnesota, P. 1 – 31.
32. Parasnis, D.S., 1973, **mining geophysics**, Elsevier, new york, p.160-202.
33. Parasnis, D.S., 1997, **principles of applied geophysics**, 5<sup>th</sup> edition, chapman & hall, London, p. 173-197.
34. Patra, H.p. and Nath, S. k., 1999, **schulombrger geoelectric sounding in ground water** (principle, interpretation, application ), Reserve, P. 35-65.

35. **Resix, users manual**, 1991, interpex limited golden co.
36. **ResixIP ver 2.0, users manual**, 1993, interpex limited golden co.
37. Reynolds, J.M.,1997, **An introduction to Applied and environmental geophysics**, john wiley & sons, new york.
38. Robinson,E.S., coruh, C.,1988, **basic explotation geophysics**, john wiley & sons, new york.
39. Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., 1998, **Applied geophysics**, second edition, Cambridge university press,new york, P 45-47 and 522- 560.
40. Youngul, S.H., 1996, **Electrical methods in geophysical exploration of deep sedimentary basins**, chapman & hall, London.

## پیوست ها

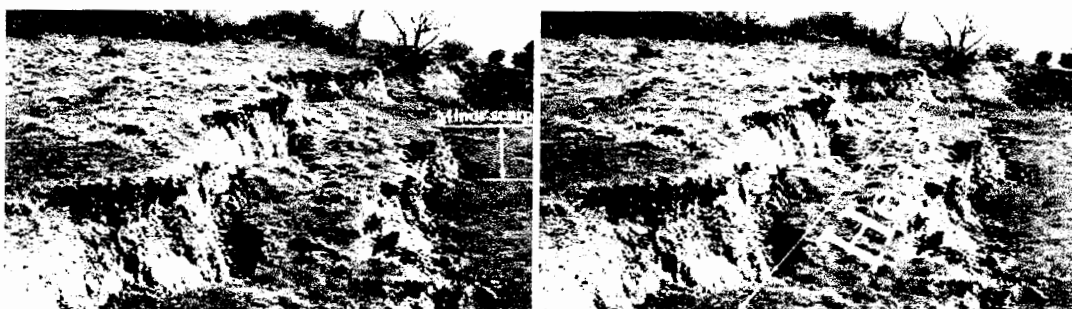
## پیوست الف-۱: اجزاء و ابعاد مختلف یک زمین لغزش



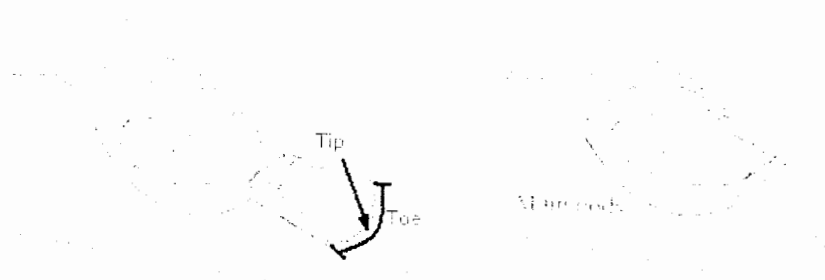
شکل الف-۱-۱: نمایی از تاج لغزش



شکل الف-۱-۲: پرتگاه اصلی (تصویر سمت راست) قله (تصویر سمت چپ)



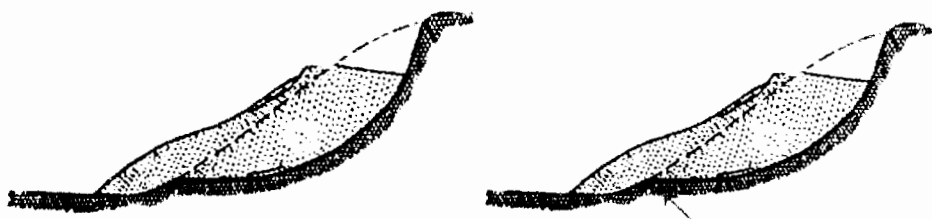
شکل الف-۱-۳: سر (تصویر سمت راست) افتگاه های فرعی (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۴: توده اصلی (تصویر سمت راست) پای لغزش ، نوک لغزش و پنجه (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۵: سطح گسیختگی



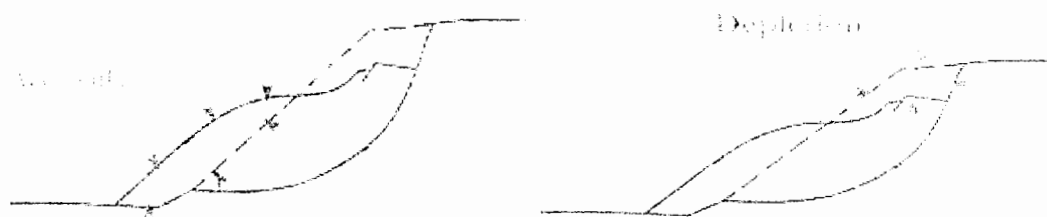
شکل الف-۱-۶: پنجه سطح گسیختگی (تصویر سمت راست) سطح جدایش (تصویر سمت چپ)



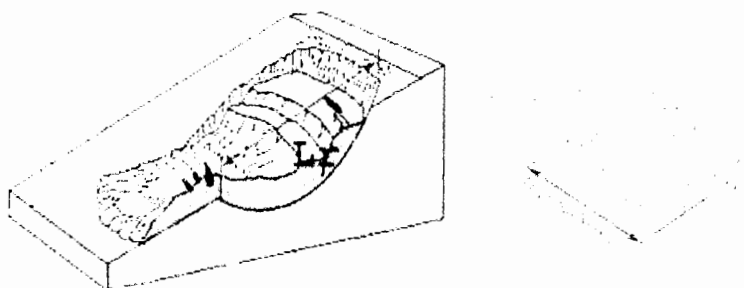
شکل الف-۱-۷: توده جابجا شده



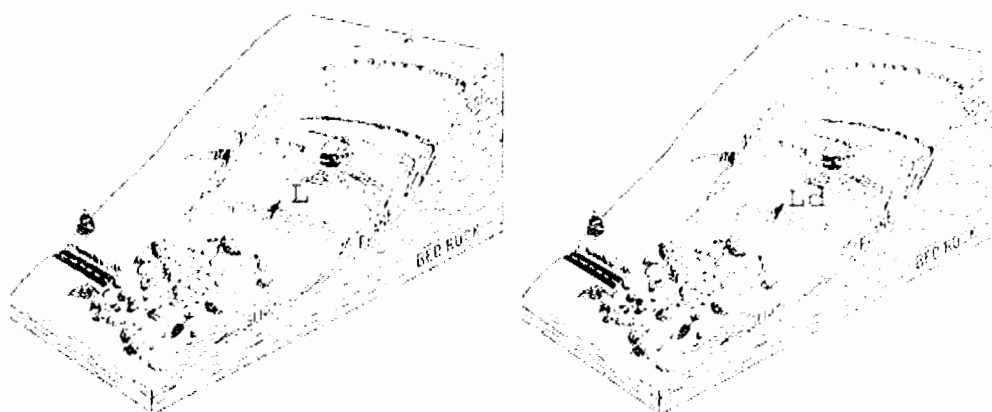
شکل الف-۱-۸: پهنه تهی شدگی (تصویر سمت راست) پهنه تجمع (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۹: تهی شدگی (تصویر سمت راست) تجمع مواد جابجا شده (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۱۰: توده تهی شده (تصویر سمت راست) طول صفحه گسیختگی (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۱۱: طول توده جابجا شده (تصویر سمت راست) و طول کلی لغزش (تصویر سمت چپ)



شکل الف-۱-۱۲: عمق صفحه گسیختگی (تصویر سمت راست) و عمق توده جابجا شده (تصویر سمت چپ)

## پیوست الف-۲: عکسهایی از زمین لغزش مورد مطالعه



شکل الف-۲-۱: عکسی از محدوده جنوبی زمین لغزش مورد مطالعه واقع در بزرگراه قزوین- رشت  
(علامت فلش نشان دهنده خروجی تونل شرقی را نشان می دهد)



شکل الف-۲-۲: عکسی از محدوده شمال شرقی زمین لغزش مورد مطالعه واقع در بزرگراه قزوین- رشت



پیوست ب :

داده های مختصات جغرافیایی سونداژها و پروفیلها و موقعیت سونداژها بر روی پروفیل ها

جدول ب-۱: داده های مختصات جغرافیایی و ارتفاع محل سونداژها و پروفیلها

| ردیف | پروفیلها  | سونداژها | مختصات UTM |          | h(m) |
|------|-----------|----------|------------|----------|------|
|      |           |          | Easting    | Northing |      |
| 1    | طولی<br>A | A0       | 366742     | 4034764  | 864  |
| 2    |           | A1       | 366766     | 4034764  | 867  |
| 3    |           | A2       | 366792     | 4034767  | 876  |
| 4    |           | A3       | 366831     | 4034770  | 882  |
| 5    |           | A4       | 366911     | 4034800  | 942  |
| 6    | طولی<br>B | B1       | 366744     | 4034813  | 857  |
| 7    |           | B2       | 366776     | 4034818  | 867  |
| 8    |           | B2a      | 366807     | 4034825  | 880  |
| 9    |           | B3       | 366837     | 4034825  | 890  |
| 10   |           | B4       | 366899     | 4034841  | 925  |
| 11   | طولی<br>C | B5       | 366934     | 4034841  | 950  |
| 12   |           | C1       | 366755     | 4034885  | 860  |
| 13   |           | C2       | 366783     | 4034881  | 867  |
| 14   |           | C3       | 366814     | 4034881  | 877  |
| 15   |           | C4       | 366846     | 4034878  | 900  |
| 16   |           | C5       | 366902     | 4034889  | 935  |
| 17   | طولی<br>D | C6       | 366934     | 4034890  | 950  |
| 18   |           | D1       | 366782     | 4034922  | 852  |
| 19   |           | D2       | 366810     | 4034923  | 867  |
| 20   |           | D3       | 366847     | 4034922  | 895  |
| 21   |           | D4       | 366932     | 4034929  | 940  |
| 22   |           | D5       | 366956     | 4034932  | 950  |
| 23   | طولی<br>E | D6       | 366985     | 4034925  | 975  |
| 24   |           | E1       | 366787     | 4034977  | 852  |
| 25   |           | E2       | 366827     | 4034973  | 875  |
| 26   |           | E3       | 366857     | 4034973  | 885  |
| 27   |           | E4       | 366896     | 4034966  | 915  |
| 28   |           | E5       | 366935     | 4034967  | 938  |
| 29   |           | E6       | 366963     | 4034969  | 950  |
| 30   |           | E7       | 366998     | 4034965  | 970  |
| 31   | طولی<br>F | ED1      | 366827     | 4034947  |      |
| 32   |           | E8       | 367038     | 4034956  | 990  |
| 33   |           | F1       | 366788     | 4035028  | 852  |
| 34   |           | F2       | 366831     | 4035023  | 870  |
| 35   |           | F3       | 366862     | 4035020  | 880  |
| 36   |           | F4       | 366894     | 4035017  | 890  |
| 37   |           | F5       | 366935     | 4035008  | 910  |
| 38   |           | F6       | 366968     | 4034998  | 925  |
| 39   | طولی<br>G | F7       | 367015     | 4034990  | 970  |
| 40   |           | F8       | 367045     | 4034983  | 985  |
| 41   |           | G1       | 366792     | 4035077  | 855  |
| 42   |           | G2       | 366830     | 4035066  | 862  |

|    |          |       |        |         |     |
|----|----------|-------|--------|---------|-----|
| 43 | طول<br>G | G3    | 366857 | 4035059 | 875 |
| 44 |          | G4    | 366888 | 4035055 | 880 |
| 45 |          | G5    | 366914 | 4035052 | 890 |
| 46 |          | G6    | 366944 | 4035048 | 900 |
| 47 |          | G7    | 366983 | 4035045 | 922 |
| 48 |          | G8    | 367016 | 4035045 | 947 |
| 49 |          | G9    | 367034 | 4035040 | 965 |
| 50 |          | G10   | 367072 | 4035029 | 985 |
| 51 |          | G11   | 367088 | 4035025 | 990 |
| 52 | طول<br>H | H1    | 366796 | 4035127 | 855 |
| 53 |          | H2    | 366821 | 4035123 | 858 |
| 54 |          | H3    | 366864 | 4035117 | 872 |
| 55 |          | H4    | 366888 | 4035110 | 880 |
| 56 |          | H5    | 366918 | 4035109 | 885 |
| 57 |          | H6    | 366945 | 4035105 | 897 |
| 58 |          | H7    | 367007 | 4035099 | 915 |
| 59 |          | H8    | 367046 | 4035091 | 940 |
| 60 | CRP.I    | I1    | 367117 | 4035063 | 994 |
| 61 |          | I10   | 367092 | 4035010 | 993 |
| 62 |          | I20   | 367055 | 4034972 | 992 |
| 63 |          | I30   | 367023 | 4034918 | 990 |
| 64 |          | I37   | 367009 | 4034871 | 980 |
| 65 | CRP.II   | II1   | 366944 | 4035048 | 900 |
| 66 |          | II10  | 366933 | 4035002 | 911 |
| 67 |          | II20  | 366932 | 4034942 | 938 |
| 68 |          | II30  | 366935 | 4034886 | 950 |
| 69 |          | II40  | 366923 | 4034836 | 950 |
| 70 |          | II50  | 366919 | 4034788 | 947 |
| 71 | CRP.III  | III1  | 366877 | 4035106 | 876 |
| 72 |          | III10 | 366864 | 4035065 | 874 |
| 73 |          | III20 | 366848 | 4035015 | 877 |
| 74 |          | III30 | 366857 | 4034968 | 880 |
| 75 |          | III40 | 366826 | 4034916 | 880 |
| 76 |          | III50 | 366814 | 4034861 | 880 |
| 77 |          | III60 | 366804 | 4034802 | 880 |
| 78 |          | III70 | 366795 | 4034759 | 878 |
| 79 |          | III75 | 366805 | 4034731 | 876 |

جدول ب- ۲ : موقعیت سونداژها بر روی پروفیل های طولی و عرضی

| طولی<br>A | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>B | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>C | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>D | فاصله از<br>مبدأ(متر) |
|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| A0        | 0                     | B1        | 0                     | C1        | 0                     | D1        | 0                     |
| A1        | 18                    | B2        | 36                    | C2        | 30                    | D2        | 28                    |
| A2        | 50                    | B2a       | 63                    | C3        | 55                    | D3        | 65                    |
| A3        | 80                    | B3        | 93                    | C4        | 90                    | D4        | 150                   |
| A4        | 170                   | B4        | 155                   | C5        | 155                   | D5        | 170                   |
|           |                       | B5        | 180                   | C6        | 180                   | D6        | 205                   |
|           |                       |           |                       |           |                       |           |                       |
| طولی<br>E | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>F | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>G | فاصله از<br>مبدأ(متر) | طولی<br>H | فاصله از<br>مبدأ(متر) |
| E1        | 0                     | F1        | 0                     | G1        | 0                     | H1        | 0                     |
| E2        | 45                    | F2        | 43                    | G2        | 38                    | H2        | 25                    |
| E3        | 70                    | F3        | 74                    | G3        | 67                    | H3        | 68                    |
| E4        | 110                   | F4        | 106                   | G4        | 97                    | H4        | 93                    |
| E5        | 155                   | F5        | 145                   | G5        | 125                   | H5        | 123                   |
| E6        | 185                   | F6        | 170                   | G6        | 155                   | H6        | 150                   |
| E7        | 213                   | F7        | 230                   | G7        | 195                   | H7        | 210                   |
| E8        | 255                   | F8        | 260                   | G8        | 225                   | H8        | 250                   |
|           |                       |           |                       | G9        | 245                   |           |                       |
|           |                       |           |                       | G10       | 283                   |           |                       |
|           |                       |           |                       | G11       | 300                   |           |                       |
|           |                       |           |                       |           |                       |           |                       |
| عرضی<br>P | فاصله از<br>مبدأ(متر) | عرضی<br>Q | فاصله از<br>مبدأ(متر) | عرضی<br>R | فاصله از<br>مبدأ(متر) | عرضی<br>S | فاصله از<br>مبدأ(متر) |
| H2        | 0                     | H3        | 0                     | H4        | 0                     | H6        | 0                     |
| G2        | 60                    | G3        | 58                    | G4        | 55                    | G6        | 57                    |
| F2        | 100                   | F3        | 97                    | F4        | 90                    | F5        | 97                    |
| E2        | 150                   | E3        | 144                   | E4        | 150                   | E5        | 138                   |
| ED1       | 175                   | D3        | 195                   | C5        | 210                   | D4        | 175                   |
| C3        | 240                   | C4        | 245                   | B4        | 260                   | C6        | 215                   |
| B2a       | 295                   | B3        | 292                   | A4        | 310                   | B5        | 265                   |
| A2        | 365                   | A3        | 350                   |           |                       |           |                       |

| عرضی<br>X | فاصله از<br>مبدأ (متر) |
|-----------|------------------------|
| G11       | 0                      |
| F8        | 60                     |
| E8        | 88                     |

### پیوست پ : داده های CRP

واحد مقاومت ویژه بر حسب اهم متر می باشد.

جدول پ-۱ : داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.I

| Profile.I     |            | AB=40m , MN=10m |                |                | AB=60m , MN=10m |                |                | AB=100m , MN=10m |                |                |
|---------------|------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| شماره ایستگاه | مصرف (متر) | k=117           | k=236          | k=236          | k=275           | k=550          | k=550          | k=777            | k=1554         | k=1554         |
|               |            | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$         | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ |
| 1             | 0          | 1471            | 1541           | 1445           | 1027            | 1284           | 792            | 994              | 1258           | 852            |
| 2             | 5          | 1550            | 1709           | 1408           | 1466            | 2148           | 727            | 1964             | 1288           | 2775           |
| 3             | 10         | 1716            | 2066           | 1457           | 1707            | 2087           | 1322           | 1243             | 1567           | 854            |
| 4             | 15         | 1193            | 1541           | 795            | 1001            | 1032           | 961            | 717              | 1024           | 404            |
| 5             | 20         | 1207            | 1081           | 1338           | 1111            | 937            | 1100           | 767              | 1094           | 451            |
| 6             | 25         | 1002            | 544            | 1483           | 800             | 633            | 966            | 777              | 693            | 285            |
| 7             | 30         | 1324            | 974            | 1659           | 1143            | 1191           | 1076           | 836              | 1167           | 493            |
| 8             | 35         | 2025            | 1443           | 2627           | 2087            | 1638           | 2508           | 1512             | 2016           | 1013           |
| 9             | 40         | 1432            | 1148           | 1709           | 1711            | 1492           | 1936           | 1450             | 1698           | 1122           |
| 10            | 45         | 836             | 751            | 952            | 1223            | 961            | 1493           | 1010             | 1273           | 789            |
| 11            | 50         | 675             | 261            | 708            | 811             | 817            | 813            | 845              | 1141           | 555            |
| 12            | 55         | 971             | 971            | 954            | 1086            | 1242           | 941            | 1362             | 1788           | 970            |
| 13            | 60         | 1013            | 927            | 1102           | 1115            | 1033           | 1166           | 1356             | 1733           | 944            |
| 14            | 65         | 755             | 667            | 852            | 1097            | 953            | 1221           | 1169             | 1301           | 1059           |
| 15            | 70         | 719             | 586            | 834            | 1034            | 888            | 1122           | 1000             | 1116           | 889            |
| 16            | 75         | 668             | 499            | 826            | 725             | 821            | 984            | 1064             | 1058           | 1020           |
| 17            | 80         | 849             | 714            | 1008           | 931             | 782            | 1089           | 1215             | 1227           | 1213           |
| 18            | 85         | 561             | 539            | 593            | 767             | 710            | 808            | 958              | 1021           | 918            |
| 19            | 90         | 401             | 395            | 398            | 625             | 650            | 585            | 663              | 750            | 608            |
| 20            | 95         | 758             | 919            | 550            | 1176            | 1545           | 787            | 1143             | 1264           | 1054           |
| 21            | 100        | 1446            | 1973           | 1000           | 2277            | 2890           | 1613           | 2026             | 2068           | 1949           |
| 22            | 105        | 1157            | 1668           | 678            | 1510            | 1970           | 1048           | 1489             | 1535           | 1426           |
| 23            | 110        | 968             | 1457           | 617            | 1039            | 1473           | 586            | 1045             | 1175           | 923            |
| 24            | 115        | 1409            | 2165           | 697            | 1403            | 2000           | 783            | 1332             | 1554           | 1114           |
| 25            | 120        | 2386            | 3221           | 1357           | 2346            | 3373           | 1202           | 2005             | 2268           | 1684           |
| 26            | 125        | 2619            | 3442           | 1730           | 3085            | 3865           | 2303           | 2437             | 2585           | 2134           |
| 27            | 130        | 2537            | 3112           | 1959           | 2943            | 3172           | 2645           | 2272             | 2336           | 2189           |
| 28            | 135        | 2755            | 3022           | 2600           | 2821            | 2628           | 2433           | 1961             | 2147           | 1758           |
| 29            | 140        | 2875            | 2465           | 2950           | 2209            | 2157           | 2231           | 2177             | 2407           | 1947           |
| 30            | 145        | 1970            | 1735           | 2331           | 1708            | 1666           | 1752           | 1791             | 1829           | 1686           |
| 31            | 150        | 2226            | 272            | 2917           | 2298            | 1687           | 2900           | 1461             | 1786           | 1611           |
| 32            | 155        | 2651            | 1625           | 3629           | 3038            | 2060           | 3904           | 2043             | 2243           | 1745           |
| 33            | 160        | 2444            | 1466           | 3372           | 2727            | 496            | 3743           | 1643             | 1651           | 1629           |
| 34            | 165        | 1934            | 1463           | 2492           | 2241            | 1409           | 3061           | 1680             | 1429           | 1932           |
| 35            | 170        | 1301            | 737            | 1855           | 1730            | 1229           | 2203           | 1606             | 1358           | 1864           |
| 36            | 175        | 1033            | 564            | 1387           | 1284            | 1654           | 1668           | 1257             | 905            | 1611           |
| 37            | 180        | 790             | 440            | 1157           | 906             | 478            | 1346           | 1013             | 715            | 1281           |

جدول پ- ۲: داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.II

| Profile.II    |             | AB=40m , MN=10m |                |                | AB=60m , MN=10m |                |                | AB=100m , MN=10m |                |                |
|---------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| شماره ایستگاه | مسافت (متر) | k=117           | k=236          | k=236          | k=275           | k=550          | k=550          | k=777            | k=1554         | k=1554         |
|               |             | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$         | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ |
| 1             | 0           | 106             | 101            | 115            | 110             | 128            | 91             | 79               | 99             | 54             |
| 2             | 5           | 90              | 108            | 71             | 90              | 117            | 61             | 57               | 84             | 38             |
| 3             | 10          | 115             | 174            | 58             | 105             | 146            | 67             | 86               | 118            | 50             |
| 4             | 15          | 153             | 221            | 91             | 156             | 195            | 115            | 140              | 179            | 88             |
| 5             | 20          | 177             | 242            | 115            | 208             | 241            | 174            | 186              | 230            | 129            |
| 6             | 25          | 209             | 272            | 153            | 254             | 306            | 202            | 259              | 307            | 189            |
| 7             | 30          | 224             | 269            | 274            | 241             | 290            | 195            | 223              | 213            | 232            |
| 8             | 35          | 235             | 263            | 209            | 248             | 301            | 192            | 188              | 158            | 217            |
| 9             | 40          | 252             | 292            | 175            | 248             | 330            | 167            | 132              | 106            | 159            |
| 10            | 45          | 271             | 325            | 222            | 274             | 380            | 176            | 155              | 188            | 126            |
| 11            | 50          | 270             | 350            | 195            | 272             | 375            | 168            | 131              | 130            | 99             |
| 12            | 55          | 266             | 328            | 209            | 249             | 287            | 196            | 129              | 144            | 109            |
| 13            | 60          | 314             | 386            | 247            | 234             | 224            | 234            | 159              | 175            | 142            |
| 14            | 65          | 387             | 426            | 318            | 298             | 183            | 399            | 233              | 252            | 218            |
| 15            | 70          | 313             | 258            | 371            | 315             | 206            | 411            | 303              | 315            | 285            |
| 16            | 75          | 317             | 227            | 402            | 374             | 273            | 462            | 368              | 385            | 340            |
| 17            | 80          | 425             | 324            | 538            | 490             | 426            | 529            | 512              | 588            | 454            |
| 18            | 85          | 413             | 286            | 561            | 431             | 388            | 320            | 487              | 553            | 432            |
| 19            | 90          | 232             | 160            | 304            | 224             | 214            | 244            | 256              | 313            | 202            |
| 20            | 95          | 163             | 153            | 178            | 152             | 162            | 143            | 160              | 210            | 96             |
| 21            | 100         | 141             | 129            | 143            | 125             | 146            | 89             | 132              | 187            | 67             |
| 22            | 105         | 388             | 606            | 179            | 275             | 300            | 196            | 190              | 296            | 60             |
| 23            | 110         | 381             | 487            | 171            | 296             | 361            | 230            | 248              | 401            | 117            |
| 24            | 115         | 261             | 368            | 173            | 323             | 363            | 275            | 237              | 433            | 175            |
| 25            | 120         | 276             | 380            | 177            | 370             | 515            | 199            | 207              | 233            | 166            |
| 26            | 125         | 651             | 775            | 530            | 510             | 821            | 198            | 271              | 334            | 235            |
| 27            | 130         | 724             | 983            | 419            | 618             | 1018           | 211            | 338              | 379            | 300            |
| 28            | 135         | 823             | 3567           | 380            | 379             | 1756           | 282            | 222              | 391            | 349            |
| 29            | 140         | 973             | 1628           | 355            | 550             | 775            | 317            | 415              | 473            | 338            |
| 30            | 145         | 3042            | 2538           | 381            | 917             | 1387           | 303            | 374              | 441            | 308            |
| 31            | 150         | 1228            | 1652           | 635            | 664             | 1119           | 378            | 478              | 518            | 407            |
| 32            | 155         | 842             | 944            | 939            | 726             | 700            | 725            | 443              | 524            | 355            |
| 33            | 160         | 745             | 628            | 826            | 667             | 611            | 794            | 432              | 490            | 357            |
| 34            | 165         | 1430            | 998            | 2954           | 2661            | 937            | 1594           | 833              | 1011           | 690            |
| 35            | 170         | 798             | 502            | 1074           | 608             | 475            | 760            | 396              | 476            | 296            |
| 36            | 175         | 682             | 476            | 854            | 653             | 469            | 672            | 475              | 416            | 631            |
| 37            | 180         | 892             | 851            | 996            | 1007            | 972            | 1046           | 611              | 827            | 418            |
| 38            | 185         |                 |                |                |                 |                |                |                  |                |                |
| 39            | 190         | 1045            | 921            | 1099           | 1109            | 162            | 1128           | 508              | 627            | 381            |
| 40            | 195         | 1092            | 1077           | 1180           | 1407            | 143            | 1372           | 582              | 486            | 498            |
| 41            | 200         | 992             | 1211           | 794            | 962             | 100            | 875            | 375              | 377            | 355            |
| 42            | 205         | 1381            | 2034           | 708            | 1077            | 1359           | 801            | 368              | 458            | 350            |
| 43            | 210         | 1532            | 1914           | 1026           | 830             | 885            | 776            | 433              | 388            | 530            |
| 44            | 215         | 1495            | 2232           | 776            | 866             | 897            | 825            | 661              | 570            | 720            |
| 45            | 220         | 1427            | 1402           | 2845           | 1206            | 941            | 1429           | 691              | 357            | 1016           |

|    |     |      |      |      |      |     |      |     |     |      |
|----|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| 46 | 225 | 1848 | 789  | 2747 | 1041 | 959 | 1350 | 539 | 138 | 966  |
| 47 | 230 | 1453 | 839  |      | 2337 | 687 | 494  | 615 | 202 | 908  |
| 48 | 235 | 1490 | 1044 | 1955 | 1335 | 424 | 1909 | 791 | 165 | 1399 |
| 49 | 240 | 2831 | 1573 | 3495 | 1522 | 467 | 2273 | 825 | 146 | 1257 |

جدول پ-۳: داده های مقاومت ویژه پروفیل CRP.III

| Profile.III   |              | AB=40m , MN=10m |                |                | AB=60m , MN=10m |                |                | AB=100m , MN=10m |                |                |
|---------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| شماره ایستگاه | مسیافت (متر) | k=117           | k=236          | k=236          | k=275           | k=550          | k=550          | k=777            | k=1554         | k=1554         |
|               |              | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$        | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ | $\rho_a$         | $\rho_{a(fw)}$ | $\rho_{a(bw)}$ |
| 1             | 0            | 146             | 101            | 187            | 94              | 64             | 126            | 53               | 41             | 74             |
| 2             | 5            | 126             | 96             | 159            | 88              | 54             | 122            | 53               | 29             | 68             |
| 3             | 10           | 124             | 96             | 151            | 83              | 59             | 103            | 59               | 17             | 66             |
| 4             | 15           | 121             | 100            | 147            | 83              | 67             | 104            | 53               | 26             | 33             |
| 5             | 20           | 117             | 100            | 128            | 86              | 71             | 99             | 56               | 42             | 55             |
| 6             | 25           | 119             | 130            | 112            | 91              | 81             | 100            | 67               | 61             | 55             |
| 7             | 30           | 42              | 145            | 119            | 89              | 99             | 89             | 71               | 54             | 59             |
| 8             | 35           | 126             | 145            | 110            | 86              | 96             | 73             | 63               | 57             | 55             |
| 9             | 40           | 123             | 127            | 206            | 87              | 85             | 86             | 59               | 65             | 53             |
| 10            | 45           | 106             | 110            | 107            | 76              | 81             | 68             | 58               | 56             | 57             |
| 11            | 50           | 104             | 103            | 106            | 66              | 70             | 56             | 59               | 57             | 50             |
| 12            | 55           | 110             | 103            | 115            | 71              | 71             | 67             | 56               | 53             | 53             |
| 13            | 60           | 117             | 118            | 129            | 78              | 70             | 78             | 45               | 60             | 40             |
| 14            | 65           | 88              | 73             | 103            | 73              | 69             | 71             | 52               | 79             | 55             |
| 15            | 70           | 92              | 86             | 98             | 80              | 75             | 81             | 47               | 49             | 42             |
| 16            | 75           | 103             | 95             | 81             | 90              | 87             | 89             | 53               | 42             | 59             |
| 17            | 80           | 108             | 46             | 100            | 85              | 83             | 82             | 53               | 49             | 49             |
| 18            | 85           | 107             | 129            | 86             | 88              | 93             | 81             | 52               | 44             | 54             |
| 19            | 90           | 88              | 98             | 76             | 76              | 58             | 74             | 45               | 42             | 57             |
| 20            | 95           | 73              | 92             | 56             | 55              | 58             | 54             | 70               | 29             | 23             |
| 21            | 100          | 98              | 114            | 174            | 91              | 93             | 87             | 64               |                | 71             |
| 22            | 105          | 115             | 98             | 111            | 88              | 70             | 105            | 62               | 53             | 76             |
| 23            | 110          | 92              | 87             | 98             | 77              | 61             | 94             | 60               | 51             | 67             |
| 24            | 115          | 90              | 79             | 103            | 85              | 68             | 102            | 68               | 61             | 76             |
| 25            | 120          | 94              | 60             | 127            | 78              | 57             | 106            | 62               | 58             | 76             |
| 26            | 125          | 77              | 37             | 128            | 63              | 36             | 86             | 53               | 39             | 62             |
| 27            | 130          | 68              | 40             | 105            | 65              | 30             | 97             | 45               | 34             | 55             |
| 28            | 135          | 58              | 17             | 99             | 57              | 26             | 96             | 38               | 27             | 53             |
| 29            | 140          | 46              | 19             | 75             | 48              | 21             | 75             | 32               | 25             | 41             |
| 30            | 145          | 42              | 20             | 67             | 50              | 22             | 77             | 29               | 27             | 39             |
| 31            | 150          | 30              | 16             | 43             | 39              | 18             | 59             | 32               | 24             | 36             |
| 32            | 155          | 24              | 14             | 32             | 33              | 18             | 47             | 31               | 26             | 36             |
| 33            | 160          | 21              | 21             | 22             | 30              | 25             | 34             | 35               | 32             | 34             |
| 34            | 165          | 26              | 23             | 28             | 33              | 29             | 38             | 45               | 34             | 42             |
| 35            | 170          | 23              | 22             | 23             | 31              | 30             | 31             | 42               | 44             | 42             |
| 36            | 175          | 26              | 28             | 20             | 27              | 29             | 25             | 38               | 42             | 35             |
| 37            | 180          | 19              | 22             | 16             | 25              | 29             | 23             | 47               | 30             | 33             |
| 38            | 185          | 25              | 28             | 23             | 27              | 32             | 22             | 33               | 48             | 27             |
| 39            | 190          | 24              | 25             | 23             | 26              | 28             | 25             | 33               | 34             | 27             |
| 40            | 195          | 19              | 20             | 18             | 22              | 25             | 20             | 24               | 26             | 21             |

|    |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 41 | 200 | 20  | 20  | 17  | 22  | 22  | 21  | 22   | 23   | 20   |
| 42 | 205 | 30  | 35  | 24  | 32  | 34  | 29  | 32   | 37   | 29   |
| 43 | 210 | 33  | 39  | 28  | 36  | 38  | 34  | 37   | 44   | 37   |
| 44 | 215 | 30  | 36  | 24  | 28  | 29  | 28  | 33   | 38   | 31   |
| 45 | 220 | 32  | 41  | 23  | 31  | 32  | 28  | 38   | 45   | 36   |
| 46 | 225 | 37  | 43  | 31  | 36  | 41  | 32  | 42   | 60   | 36   |
| 47 | 230 | 44  | 42  | 47  | 38  | 44  | 36  | 47   | 60   | 40   |
| 48 | 235 | 38  | 37  | 38  | 40  | 40  | 40  | 48   | 58   | 37   |
| 49 | 240 | 42  | 42  | 41  | 43  | 40  | 43  | 52   | 62   | 39   |
| 50 | 245 | 46  | 44  | 48  | 41  | 48  | 35  | 50   | 59   | 37   |
| 51 | 250 | 44  | 46  | 42  | 42  | 51  | 31  | 47   | 60   | 33   |
| 52 | 255 | 42  | 54  | 29  | 43  | 65  | 27  | 45   | 69   | 24   |
| 53 | 260 | 53  | 73  | 34  | 50  | 65  | 33  | 57   | 83   | 30   |
| 54 | 265 | 59  | 72  | 45  | 57  | 74  | 39  | 64.3 | 95.5 | 35.5 |
| 55 | 270 | 59  | 77  | 42  | 56  | 78  | 34  | 56.5 | 84.5 | 33   |
| 56 | 275 | 74  | 107 | 43  | 70  | 104 | 36  | 63.5 | 86   | 40   |
| 57 | 280 | 91  | 117 | 67  | 82  | 119 | 45  | 77   | 111  | 47   |
| 58 | 285 | 73  | 83  | 65  | 57  | 207 | 41  | 58.7 | 85   | 31   |
| 59 | 290 | 90  | 118 | 64  | 75  | 105 | 45  | 63.5 | 155  | 35   |
| 60 | 295 | 101 | 121 | 79  | 82  | 117 | 51  | 80   | 100  | 44   |
| 61 | 300 | 109 | 108 | 113 | 96  | 124 | 65  | 88   | 136  | 44   |
| 62 | 305 | 142 | 140 | 146 | 137 | 185 | 93  | 123  | 202  | 61   |
| 63 | 310 | 181 | 193 | 171 | 159 | 180 | 139 | 148  | 208  | 83   |
| 64 | 315 | 187 | 234 | 140 | 181 | 195 | 168 | 151  | 218  | 56   |
| 65 | 320 | 125 | 132 | 118 | 137 | 155 | 114 | 120  | 165  | 74   |
| 66 | 325 | 74  | 63  | 86  | 85  | 88  | 79  | 82   | 107  | 74   |
| 67 | 330 | 155 | 135 | 169 | 162 | 158 | 162 | 143  | 193  | 97   |
| 68 | 335 | 196 | 179 | 216 | 174 | 156 | 183 | 162  | 205  | 106  |
| 69 | 340 | 140 | 113 | 168 | 143 | 125 | 160 | 113  | 155  | 81   |
| 70 | 345 | 95  | 100 | 90  | 123 | 130 | 121 | 105  | 151  | 76   |
| 71 | 350 | 126 | 135 | 116 | 175 | 195 | 155 | 157  | 189  | 121  |
| 72 | 355 | 175 | 175 | 178 | 216 | 233 | 206 | 213  | 235  | 185  |
| 73 | 360 | 164 | 162 | 170 | 188 | 177 | 202 | 209  | 222  | 177  |
| 74 | 365 | 108 | 108 | 109 | 125 | 105 | 144 | 149  | 149  | 144  |
| 75 | 370 | 117 | 118 | 104 | 121 | 115 | 121 | 146  | 77   | 132  |

## پیوست ت: داده های اندازه گیری شده سونداژها با آرایش شلومبرگر

جدول ت- ۱: گسترش طولی الکترودها در سونداژ زنی با استفاده از آرایش شلومبرگر

| AB/2 (m) | MN (m) | K     |
|----------|--------|-------|
| 3        | 2      | 12.6  |
| 5        | 2      | 37.7  |
| 7        | 2      | 75.4  |
| 10       | 2      | 155.5 |
| 10       | 5      | 58.9  |
| 15       | 2      | 352   |
| 15       | 5      | 137.5 |
| 20       | 5      | 247.5 |
| 30       | 5      | 562   |
| 40       | 5      | 1001  |
| 50       | 5      | 1567  |
| 50       | 20     | 377   |
| 70       | 5      | 3075  |
| 70       | 20     | 754   |
| 100      | 20     | 1555  |
| 150      | 20     | 3620  |

جدول ت- ۲: داده های اندازه گیری شده سونداژها با آرایش شلومبرگر

| S.A0    |        | S.A1    |        | S.A2    |        | S.A3    |        | S.A4    |        |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) |
| 3       | 58     | 3       | 110    | 3       | 247    | 3       | 66     | 3       | 1172   |
| 5       | 60     | 5       | 135    | 5       | 224    | 5       | 86     | 5       | 2928   |
| 7       | 62     | 7       | 147    | 7       | 260    | 7       | 92     | 7       | 3795   |
| 10      | 56     | 10      | 154    | 10      | 281    | 10      | 88     | 10      | 4613   |
| 10      | 59     | 10      | 146    | 10      | 280    | 10      | 102    | 10      | 3593   |
| 15      | 54     | 15      | 160    | 15      | 205    | 15      | 95     | 15      | 2350   |
| 20      | 53     | 20      | 130    | 20      | 198    | 15      | 113    | 20      | 1618   |
| 30      | 54     | 30      | 119    | 30      | 181    | 20      | 120    | 30      | 1019   |
| 40      | 56     | 40      | 124    | 40      | 170    | 30      | 136    | 40      | 500    |
| 50      | 62     | 50      | 126    | 50      | 177    | 40      | 113    | 50      | 502    |
| 50      | 68     | 50      | 129    | 50      | 158    | 50      | 92     | 50      | 269    |
| 70      | 70     | 70      | 143    | 70      | 197    | 50      | 98     | 70      | 165    |
| 100     | 60     | 100     | 65     | 100     | 88     | 70      | 90     | 100     | 119    |
| 150     | 56     | 150     | 113    | 150     | 155    | 100     | 102    |         |        |
|         |        |         |        |         |        | 150     | 185    |         |        |
| S.B1    |        | S.B2    |        | S.B2a   |        | S.B3    |        | S.B4    |        |
| AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) | AB/2(m) | pa(Ωm) |
| 3       | 46     | 3       | 109    | 3       | 38     | 3       | 634    | 3       | 628    |
| 5       | 56     | 5       | 118    | 5       | 41     | 5       | 677    | 5       | 1112   |
| 7       | 51     | 7       | 168    | 7       | 46     | 7       | 733    | 7       | 1230   |
| 10      | 56     | 10      | 200    | 10      | 46     | 10      | 858    | 10      | 788    |
| 10      | 54     | 10      | 162    | 10      | 54     | 10      | 931    | 10      | 774    |
| 15      | 48     | 15      | 148    | 15      | 51     | 15      | 110    | 15      | 918    |



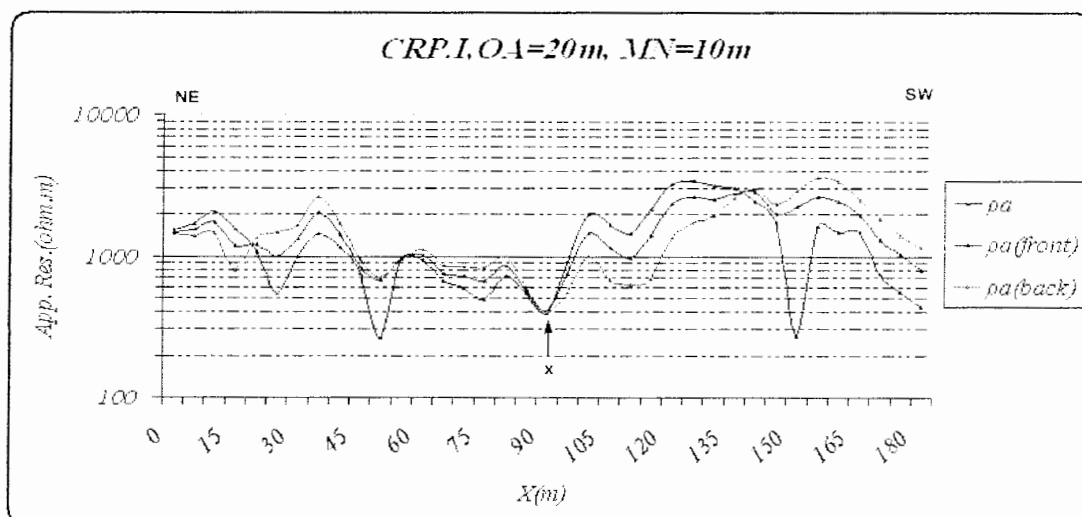
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| 20      | 46              | 20      | 136             | 20      | 46              | 20      | 111             | 20      | 753             |
| 30      | 49              | 30      | 115             | 30      | 55              | 30      | 51              | 30      | 393             |
| 40      | 52              | 40      | 98              | 40      | 57              | 40      | 43              | 40      | 505             |
| 50      | 56              | 50      | 91              | 50      | 55              | 50      | 58              | 50      | 385             |
| 50      | 55              | 50      | 87              | 50      | 58              | 50      | 85              | 50      | 345             |
| 70      | 60              | 70      | 74              | 70      | 62              | 70      | 66              | 70      | 201             |
| 100     | 58              | 100     | 76              | 100     | 52              | 100     | 75              | 100     | 100             |
| 150     | 53              | 150     | 45              | 150     | 46              | 150     | 39              |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
| S.B5    |                 | S.C1    |                 | S.C2    |                 | S.C3    |                 | S.C4    |                 |
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 500             | 3       | 38              | 3       | 91              | 3       | 43              | 3       | 65              |
| 5       | 846             | 5       | 57              | 5       | 111             | 5       | 50              | 5       | 62              |
| 7       | 1168            | 7       | 70              | 7       | 128             | 7       | 42              | 7       | 82              |
| 10      | 1267            | 10      | 84              | 10      | 130             | 10      | 32              | 10      | 85              |
| 10      | 995             | 10      | 75              | 10      | 126             | 10      | 34              | 10      | 78              |
| 15      | 1303            | 15      | 97              | 15      | 129             | 15      | 33              | 15      | 86              |
| 20      | 1526            | 15      | 87              | 20      | 120             | 20      | 27              | 20      | 96              |
| 30      | 1714            | 20      | 84              | 30      | 104             | 30      | 26              | 30      | 65              |
| 40      | 1257            | 30      | 78              | 40      | 77              | 40      | 32              | 40      | 25              |
| 50      | 750             | 40      | 62              | 50      | 65              | 50      | 35              | 50      | 19.3            |
| 50      | 704             | 50      | 64              | 50      | 67              | 50      | 53              | 50      | 38              |
| 70      | 479             | 50      | 57              | 70      | 60              | 70      | 60              | 70      | 41              |
| 100     | 111             | 70      | 55              | 100     | 52              | 100     | 62              | 100     | 39              |
| 150     | 99              | 100     | 47              | 150     | 60              | 150     | 63              | 150     | 36              |
|         |                 | 150     | 50              |         |                 |         |                 |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
| S.C5    |                 | S.C6    |                 | S.D1    |                 | S.D2    |                 | S.D3    |                 |
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 455             | 3       | 308             | 3       | 88              | 3       | 15              | 3       | 168             |
| 5       | 513             | 5       | 497             | 5       | 116             | 5       | 18              | 5       | 170             |
| 7       | 599             | 7       | 674             | 7       | 130             | 7       | 20              | 7       | 208             |
| 10      | 401             | 10      | 909             | 10      | 112             | 10      | 23              | 10      | 132             |
| 10      | 363             | 10      | 858             | 10      | 97              | 10      | 22              | 10      | 138             |
| 15      | 303             | 15      | 1359            | 15      | 112             | 15      | 27              | 15      | 90              |
| 20      | 378             | 20      | 982             | 20      | 65              | 20      | 27              | 20      | 24              |
| 30      | 281             | 30      | 680             | 30      | 52              | 30      | 25              | 30      | 22.6            |
| 40      | 241             | 40      | 533             | 40      | 52              | 40      | 30              | 40      | 21              |
| 50      | 211             | 50      | 561             | 50      | 45              | 50      | 33              | 50      | 22.8            |
| 50      | 275             | 50      | 468             | 50      | 46              | 50      | 30              | 50      | 30              |
| 70      | 216             | 70      | 347             | 70      | 41              | 70      | 34              | 70      | 32              |
| 100     | 153             | 100     | 228             | 100     | 41              | 100     | 32              | 100     | 39              |
| 150     | 99              |         |                 | 150     | 47              | 150     | 35              | 150     | 40              |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
| S.D4    |                 | S.D5    |                 | S.D6    |                 | S.E1    |                 | S.E2    |                 |
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 554             | 3       | 916             | 3       | 525             | 3       | 120             | 3       | 30              |
| 5       | 773             | 5       | 813             | 5       | 522             | 5       | 116             | 5       | 18.5            |

|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
| 7       | 923                | 7       | 533                | 7       | 490                | 7       | 92                 | 7       | 23                 |
| 10      | 687                | 10      | 435                | 10      | 485                | 10      | 71                 | 10      | 29                 |
| 10      | 663                | 10      | 487                | 10      | 445                | 10      | 63                 | 10      | 27                 |
| 15      | 374                | 15      | 333                | 15      | 572                | 15      | 69                 | 15      | 36                 |
| 20      | 212                | 20      | 268                | 20      | 635                | 20      | 66                 | 20      | 44                 |
| 30      | 202                | 30      | 155                | 30      | 711                | 30      | 61                 | 30      | 45                 |
| 40      | 186                | 40      | 149                | 40      | 400                | 40      | 45                 | 40      | 37                 |
| 50      | 188                | 50      | 143                | 50      | 438                | 50      | 39                 | 50      | 30                 |
| 50      | 198                | 50      | 197                | 50      | 490                | 50      | 41                 | 50      | 30                 |
| 70      | 92                 | 70      | 91                 | 70      | 257                | 70      | 37                 | 70      | 27                 |
| 100     | 54                 | 70      | 125                | 100     | 99                 | 100     | 41                 | 100     | 26                 |
| 150     | 40                 | 100     | 85                 | 150     | 86                 | 150     | 51                 | 150     | 32                 |
|         |                    | 150     | 73                 |         |                    |         |                    |         |                    |
| S.E3    |                    | S.E4    |                    | S.E5    |                    | S.E6    |                    | S.E7    |                    |
| AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ |
| 3       | 95                 | 3       | 38                 | 3       | 532                | 3       | 267                | 3       | 1230               |
| 5       | 84                 | 5       | 51                 | 5       | 638                | 5       | 298                | 5       | 1220               |
| 7       | 75                 | 7       | 65                 | 7       | 557                | 7       | 266                | 7       | 905                |
| 10      | 46.9               | 10      | 90                 | 10      | 427                | 10      | 253                | 10      | 964                |
| 10      | 42                 | 10      | 95                 | 10      | 406                | 10      | 138                | 10      | 1186               |
| 15      | 39                 | 15      | 65                 | 15      | 340                | 15      | 251                | 15      | 1302               |
| 20      | 35                 | 20      | 55                 | 20      | 244                | 15      | 239                | 20      | 1085               |
| 30      | 23                 | 30      | 51                 | 30      | 298                | 20      | 215                | 30      | 495                |
| 40      | 18.5               | 40      | 30                 | 40      | 305                | 30      | 281                | 40      | 362                |
| 50      | 21.4               | 50      | 22                 | 50      | 302                | 40      | 222                | 50      | 391                |
| 50      | 24.7               | 50      | 43                 | 50      | 350                | 50      | 235                | 50      | 324                |
| 70      | 19.6               | 70      | 18                 | 70      | 290                | 50      | 210                | 70      | 227                |
| 100     | 19.8               | 70      | 33                 | 100     | 125                | 70      | 258                | 100     | 157                |
| 150     | 25                 | 100     | 16                 | 150     | 81                 | 70      | 247                | 150     | 96                 |
|         |                    | 150     | 15                 |         |                    | 100     | 161                |         |                    |
|         |                    |         |                    |         |                    | 150     | 70                 |         |                    |
| S.E8    |                    | S.ED1   |                    | S.F1    |                    | S.F2    |                    | S.F3    |                    |
| AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ |
| 3       | 1075               | 3       | 19                 | 3       | 131                | 3       | 26                 | 3       | 94                 |
| 5       | 1074               | 5       | 19.7               | 5       | 159                | 5       | 42                 | 5       | 161                |
| 7       | 1055               | 7       | 19.8               | 7       | 157                | 7       | 51                 | 7       | 195                |
| 10      | 1043               | 10      | 19.3               | 10      | 152                | 10      | 60                 | 10      | 142                |
| 10      | 877                | 10      | 18.6               | 10      | 136                | 10      | 64                 | 10      | 113                |
| 15      | 1285               | 15      | 22.9               | 15      | 126                | 15      | 79                 | 15      | 117                |
| 15      | 1141               | 20      | 24.9               | 20      | 93                 | 20      | 65                 | 20      | 132                |
| 20      | 1172               | 30      | 32                 | 30      | 57                 | 30      | 73                 | 30      | 56                 |
| 30      | 1291               | 40      | 41                 | 40      | 41                 | 40      | 68                 | 40      | 42                 |
| 40      | 1205               | 50      | 40                 | 50      | 39                 | 50      | 59                 | 50      | 37                 |
| 50      | 1149               | 50      | 36                 | 50      | 44                 | 50      | 61                 | 50      | 42                 |
| 50      | 1470               | 70      | 35                 | 70      | 45                 | 70      | 43                 | 70      | 31                 |
| 70      | 933                | 100     | 38.6               | 100     | 43                 | 100     | 36                 | 100     | 34.6               |
| 70      | 1041               | 150     | 45                 | 150     | 49                 | 150     | 44                 | 150     | 43                 |
| 100     | 677                |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |

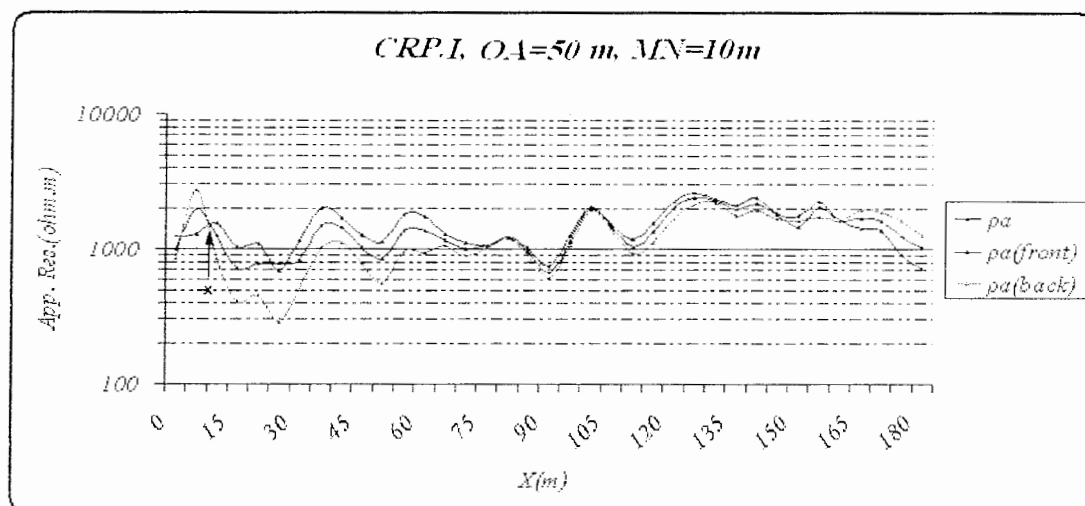
| S.F4    |                 | S.F5    |                 | S.F6    |                 | S.F7    |                 | S.F8    |                 |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 428             | 3       | 255             | 3       | 351             | 3       | 242             | 3       | 618             |
| 5       | 317             | 5       | 278             | 5       | 296             | 5       | 271             | 5       | 505             |
| 7       | 151             | 7       | 247             | 7       | 252             | 7       | 278             | 7       | 528             |
| 10      | 112             | 10      | 208             | 10      | 233             | 10      | 388             | 10      | 364             |
| 10      | 120             | 10      | 288             | 10      | 251             | 10      | 397             | 10      | 254             |
| 15      | 115             | 15      | 276             | 15      | 282             | 15      | 400             | 15      | 359             |
| 20      | 107             | 20      | 213             | 20      | 298             | 20      | 352             | 15      | 314             |
| 30      | 82              | 30      | 196             | 30      | 362             | 30      | 212             | 20      | 398             |
| 40      | 67              | 40      | 115             | 40      | 400             | 40      | 158             | 30      | 646             |
| 50      | 48              | 50      | 72              | 50      | 386             | 50      | 129             | 40      | 848             |
| 50      | 77              | 50      | 68              | 50      | 372             | 50      | 154             | 50      | 731             |
| 70      | 28              | 70      | 37              | 70      | 204             | 70      | 133             | 50      | 795             |
| 70      | 35              | 100     | 37              | 100     | 133             | 100     | 98              | 70      | 515             |
| 100     | 28              | 150     | 47              | 150     | 69              | 150     | 72              | 100     | 198             |
| 150     | 22              |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
| S.G1    |                 | S.G2    |                 | S.G3    |                 | S.G4    |                 | S.G5    |                 |
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 89              | 3       | 37              | 3       | 119             | 3       | 119             | 3       | 214             |
| 5       | 99              | 5       | 37              | 5       | 145             | 5       | 128             | 5       | 157             |
| 7       | 94              | 7       | 46              | 7       | 144             | 7       | 155             | 7       | 142             |
| 10      | 95              | 10      | 55              | 10      | 149             | 10      | 149             | 10      | 116             |
| 10      | 86              | 10      | 61              | 10      | 146             | 15      | 139             | 10      | 121             |
| 15      | 91              | 15      | 63              | 15      | 124             | 20      | 91              | 15      | 129             |
| 20      | 85              | 20      | 56              | 20      | 76              | 30      | 74              | 20      | 107             |
| 30      | 63              | 30      | 63              | 30      | 47              | 40      | 68              | 30      | 87              |
| 40      | 63              | 40      | 61              | 40      | 40              | 50      | 60              | 40      | 82              |
| 50      | 66              | 50      | 57              | 50      | 35              | 50      | 46              | 50      | 79              |
| 50      | 70              | 50      | 59              | 50      | 34              | 70      | 47              | 50      | 95              |
| 70      | 45              | 70      | 45              | 70      | 35              | 100     | 42              | 70      | 73              |
| 100     | 50              | 100     | 32              | 100     | 36              | 150     | 56              | 100     | 55              |
| 150     | 39              | 150     | 37              | 150     | 46              |         |                 | 150     | 63              |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
|         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |         |                 |
| S.G6    |                 | S.G7    |                 | S.G8    |                 | S.G9    |                 | S.G10   |                 |
| AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) | AB/2(m) | pa( $\Omega$ m) |
| 3       | 63              | 3       | 365             | 3       | 316             | 3       | 211             | 3       | 670             |
| 5       | 52              | 5       | 348             | 5       | 398             | 5       | 224             | 5       | 535             |
| 7       | 39              | 7       | 336             | 7       | 394             | 7       | 228             | 7       | 580             |
| 10      | 59              | 10      | 514             | 10      | 462             | 10      | 217             | 10      | 617             |
| 10      | 64              | 10      | 380             | 10      | 455             | 10      | 242             | 10      | 522             |
| 15      | 70              | 15      | 412             | 15      | 350             | 15      | 215             | 15      | 722             |
| 20      | 63              | 20      | 388             | 20      | 209             | 20      | 181             | 15      | 697             |
| 30      | 77              | 30      | 346             | 30      | 252             | 30      | 216             | 20      | 748             |
| 40      | 73              | 40      | 306             | 40      | 200             | 40      | 231             | 30      | 1006            |
| 50      | 67              | 50      | 226             | 50      | 178             | 50      | 219             | 40      | 909             |
| 50      | 77              | 50      | 158             | 50      | 173             | 50      | 241             | 50      | 775             |

|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
| 70      | 63                 | 70      | 95                 | 70      | 137                | 70      | 113                | 50      | 628                |
| 100     | 37                 | 100     | 45                 | 100     | 97                 | 100     | 85                 | 70      | 555                |
| 150     | 40                 | 150     | 52                 | 150     | 106                | 150     | 97                 | 70      | 486                |
|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    | 100     | 218                |
|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    | 150     | 124                |
|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
| S.G11   |                    | S.H1    |                    | S.H2    |                    | S.H3    |                    | S.H4    |                    |
| AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ |
| 3       | 1041               | 3       | 60                 | 3       | 104                | 3       | 143                | 3       | 175                |
| 5       | 1273               | 5       | 82                 | 5       | 99                 | 5       | 192                | 5       | 174                |
| 7       | 1535               | 7       | 93                 | 7       | 97                 | 7       | 94                 | 7       | 175                |
| 10      | 1312               | 10      | 99                 | 10      | 97                 | 10      | 111                | 10      | 168                |
| 10      | 983                | 10      | 96                 | 10      | 93                 | 10      | 104                | 10      | 162                |
| 15      | 1540               | 20      | 93                 | 15      | 83                 | 15      | 91                 | 15      | 128                |
| 15      | 1333               | 30      | 95                 | 20      | 70                 | 20      | 81                 | 20      | 74                 |
| 20      | 1592               | 40      | 90                 | 30      | 58                 | 30      | 56                 | 30      | 48                 |
| 30      | 1873               | 50      | 85                 | 40      | 55                 | 40      | 50                 | 40      | 43                 |
| 40      | 1558               | 50      | 84                 | 50      | 58                 | 50      | 45                 | 50      | 40                 |
| 50      | 1619               | 70      | 84                 | 50      | 54                 | 50      | 49                 | 50      | 39                 |
| 50      | 1181               | 100     | 46                 | 70      | 53                 | 70      | 41                 | 70      | 37                 |
| 70      | 1182               | 150     | 36                 | 100     | 41                 | 100     | 36                 | 100     | 34                 |
| 70      | 994                |         |                    | 150     | 45                 | 150     | 36                 | 150     | 37                 |
| 100     | 590                |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
| 150     | 223                |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
|         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |         |                    |
| S.H5    |                    | S.H6    |                    | S.H7    |                    | S.H8    |                    |         |                    |
| AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ | AB/2(m) | $\rho_a(\Omega m)$ |         |                    |
| 3       | 115                | 3       | 288                | 3       | 408                | 3       | 376                |         |                    |
| 5       | 92                 | 5       | 211                | 5       | 344                | 5       | 480                |         |                    |
| 7       | 59                 | 7       | 164                | 7       | 407                | 7       | 515                |         |                    |
| 10      | 68                 | 10      | 97                 | 10      | 342                | 10      | 524                |         |                    |
| 10      | 55                 | 10      | 107                | 10      | 306                | 10      | 603                |         |                    |
| 15      | 62                 | 15      | 85                 | 15      | 336                | 15      | 548                |         |                    |
| 20      | 51                 | 20      | 48                 | 15      | 313                | 15      | 632                |         |                    |
| 30      | 37                 | 30      | 45                 | 20      | 261                | 20      | 636                |         |                    |
| 40      | 36                 | 40      | 50                 | 30      | 218                | 30      | 434                |         |                    |
| 50      | 37                 | 50      | 48.9               | 40      | 155                | 40      | 282                |         |                    |
| 50      | 40                 | 50      | 52                 | 50      | 114                | 50      | 235                |         |                    |
| 70      | 33                 | 70      | 50                 | 50      | 176                | 50      | 235                |         |                    |
| 100     | 28                 | 100     | 30                 | 70      | 45                 | 70      | 157                |         |                    |
| 150     | 31                 | 150     | 32                 | 70      | 98                 | 100     | 150                |         |                    |
|         |                    |         |                    | 100     | 77                 | 150     | 166                |         |                    |
|         |                    |         |                    | 150     | 65                 |         |                    |         |                    |

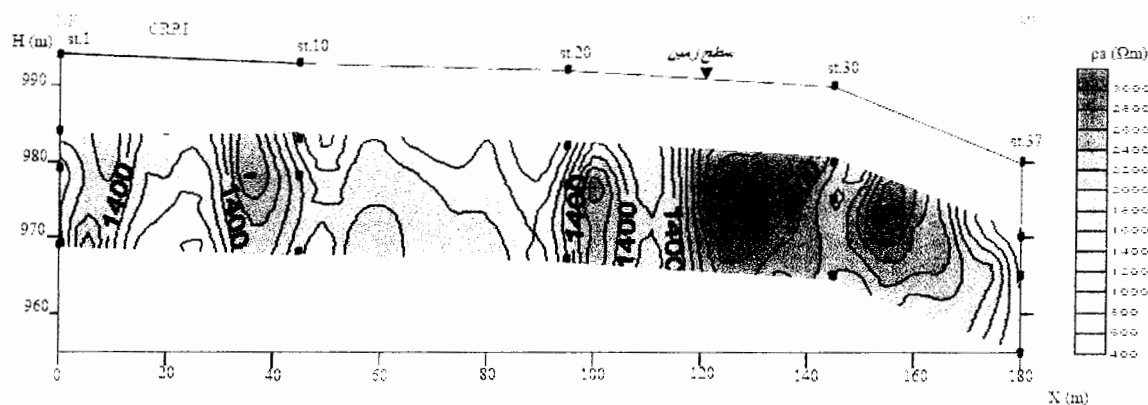
پیوست ث : نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در طول پروفیل‌های CRP و شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه ظاهری آنها



شکل ث- ۱: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله الکترودهای جریان  $OA=20m$

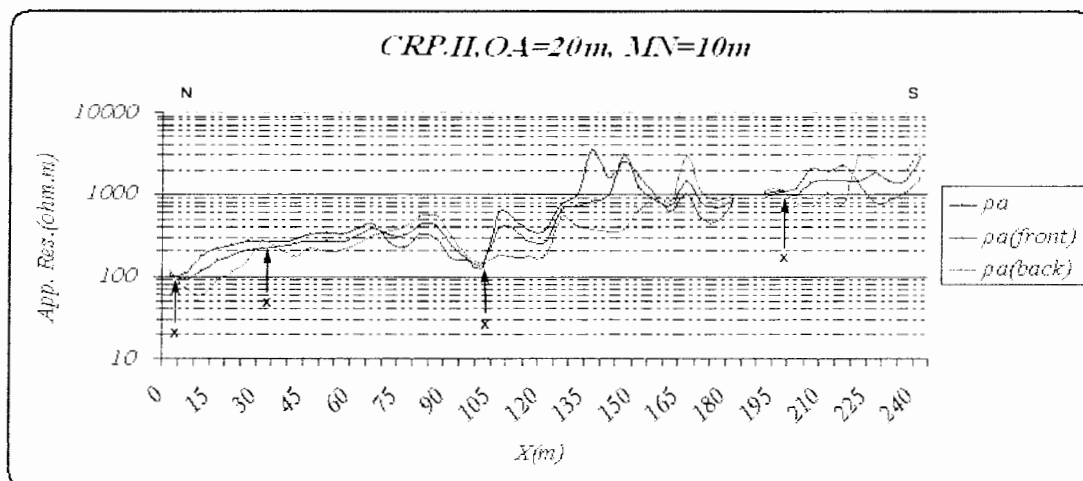


شکل ث- ۲: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I برای فاصله الکترودهای جریان  $OA=50m$

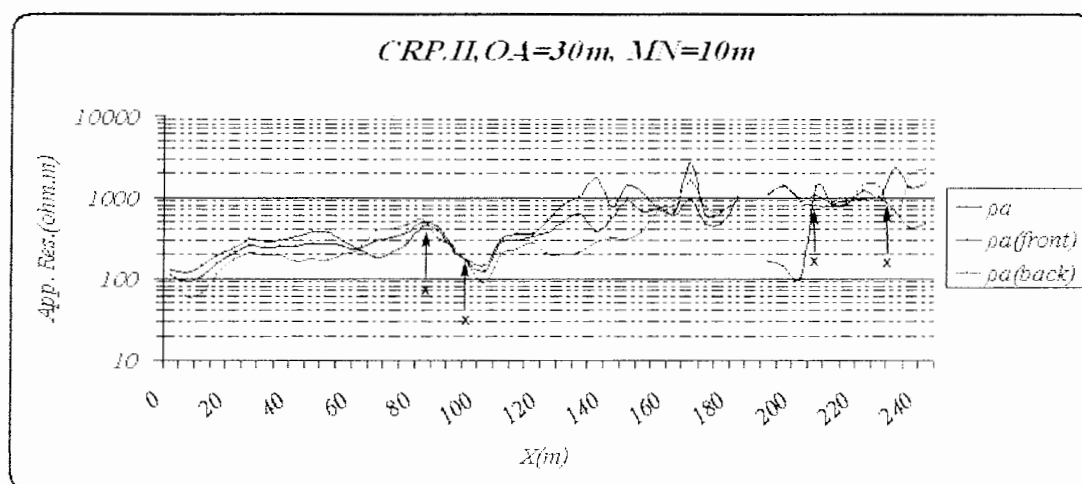


شکل ث- ۳: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.I

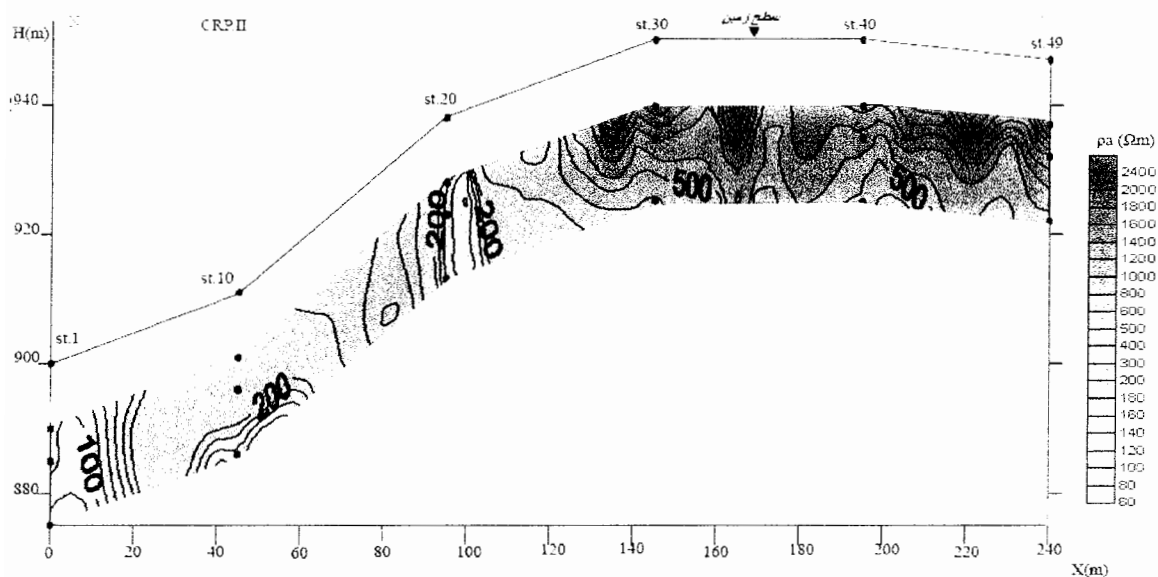
پیوست ث: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه در طول پروفیل‌های CRP و شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه ظاهری آنها



شکل ث- ۴: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. II برای فاصله الکترودهای جریان OA=20m

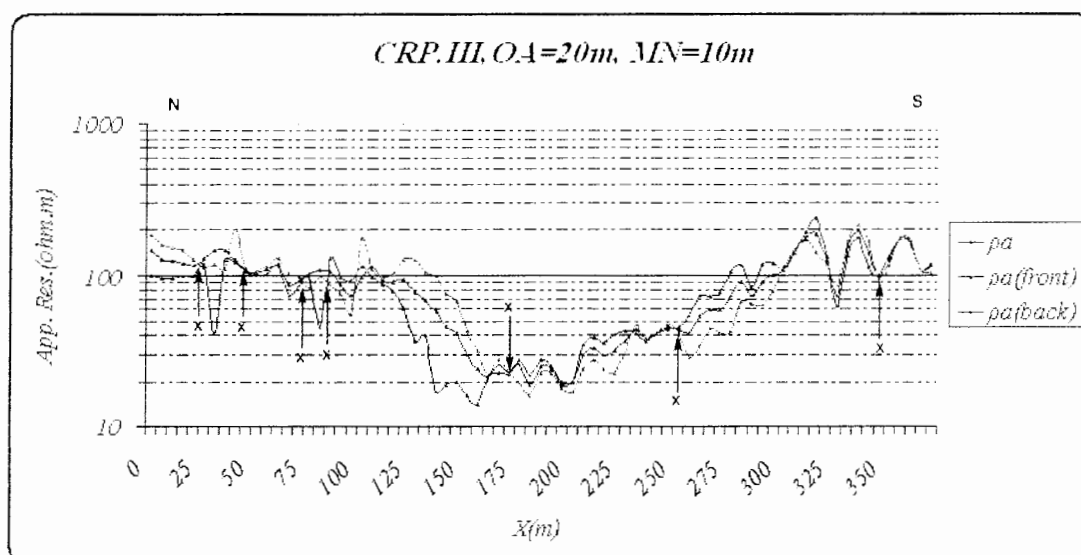


شکل ث- ۵: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP. II برای فاصله الکترودهای جریان OA=30m

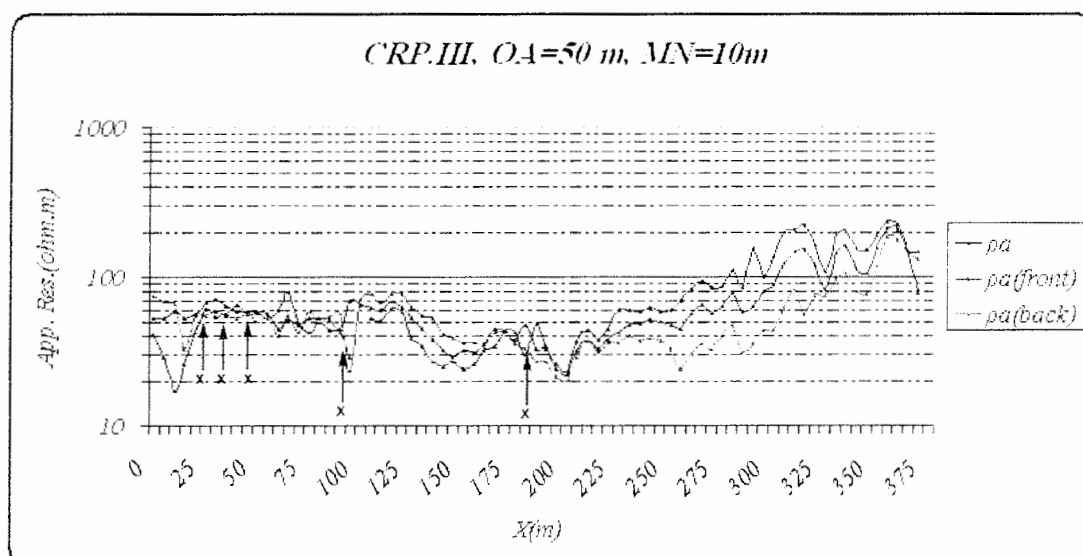


شکل ث- ۶: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.II

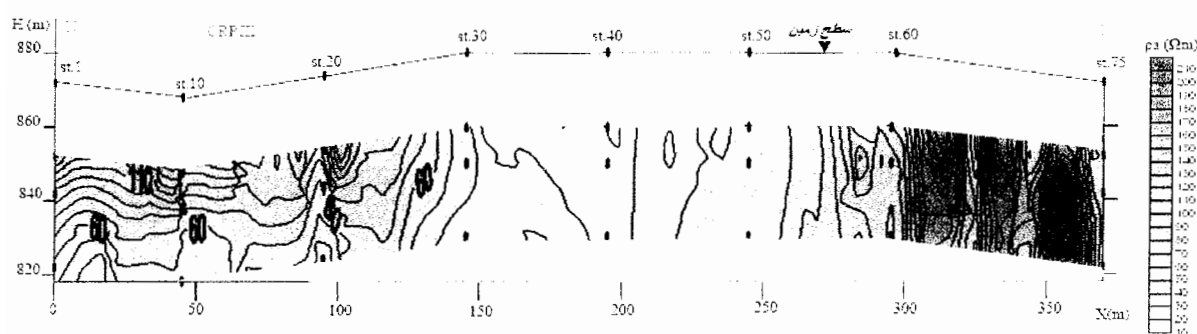
پیوست ث: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه در طول پروفیل‌های CRP و شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه ظاهری آنها



شکل ث- ۷: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.III برای فاصله الکترودهای جریان OA=20m



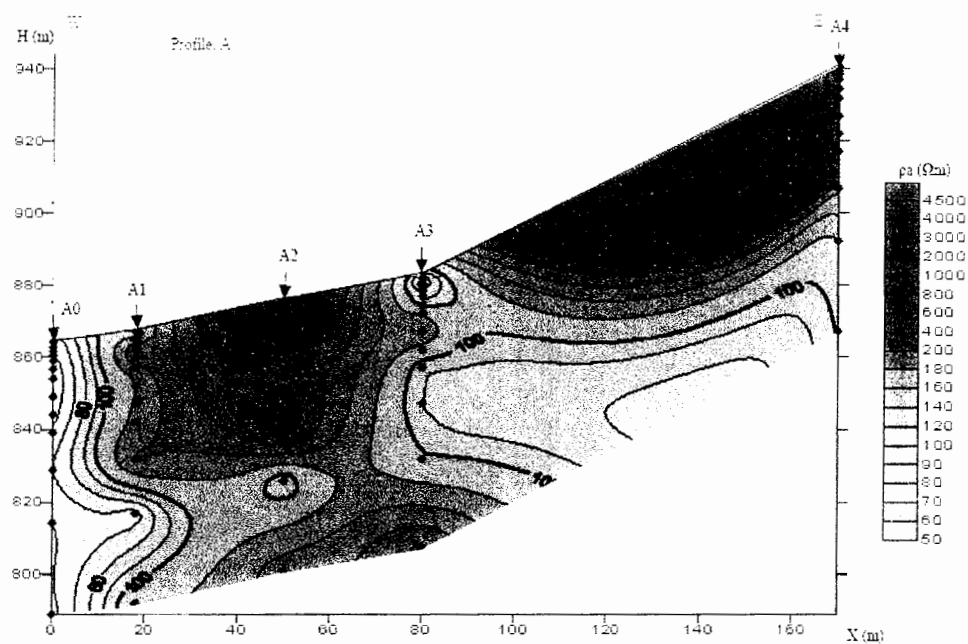
شکل ث- ۸: نمودارهای تغییرات مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.III برای فاصله الکترودهای جریان OA=50m



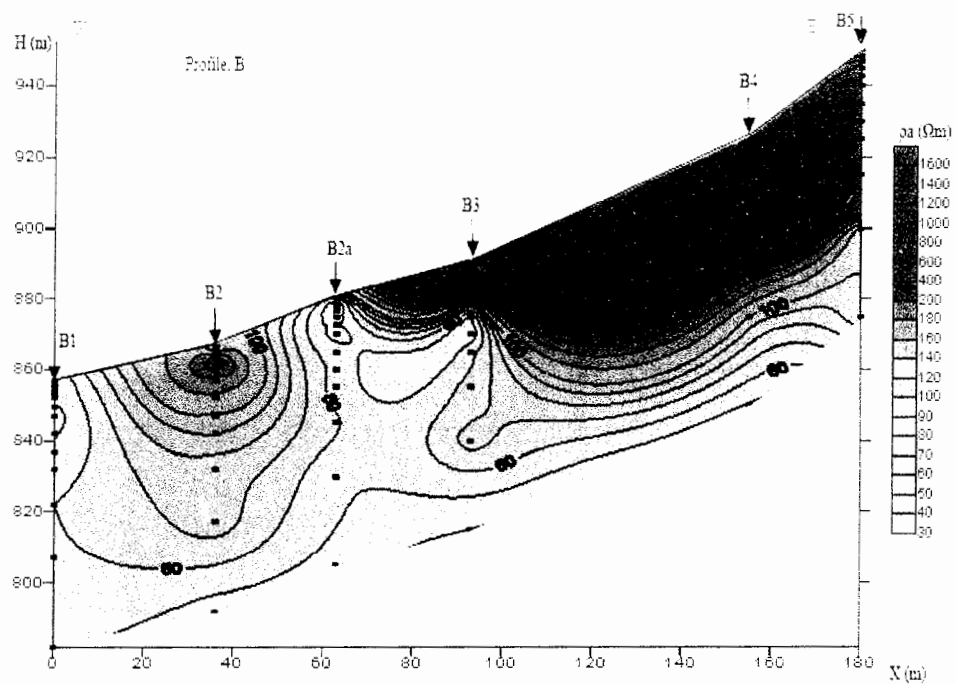
شکل ث- ۹: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل CRP.III

پیوست ج :

نمودار شبه مقاطع قائم مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری

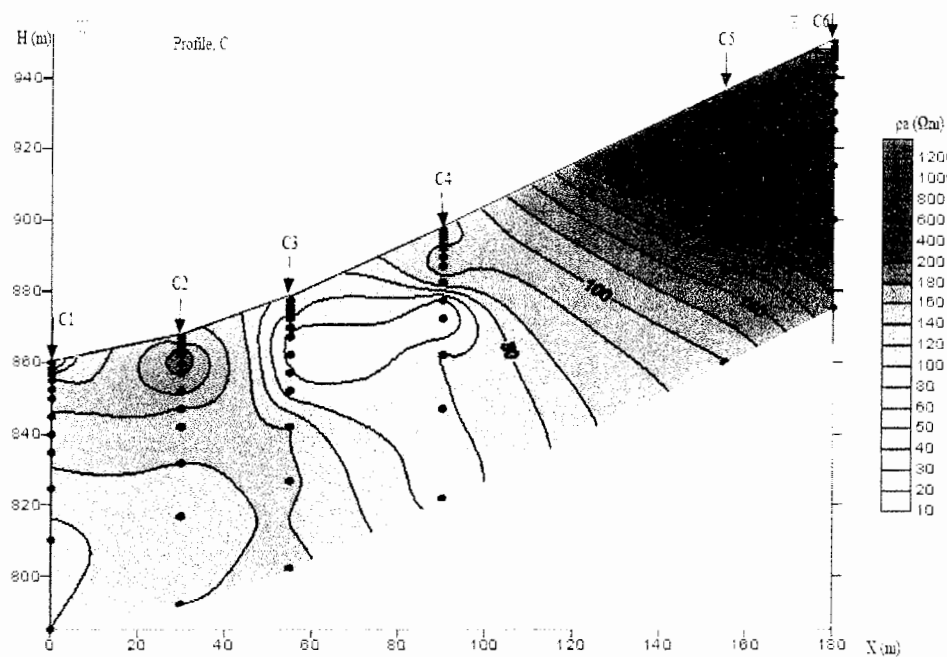


شکل ج-۱: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی A

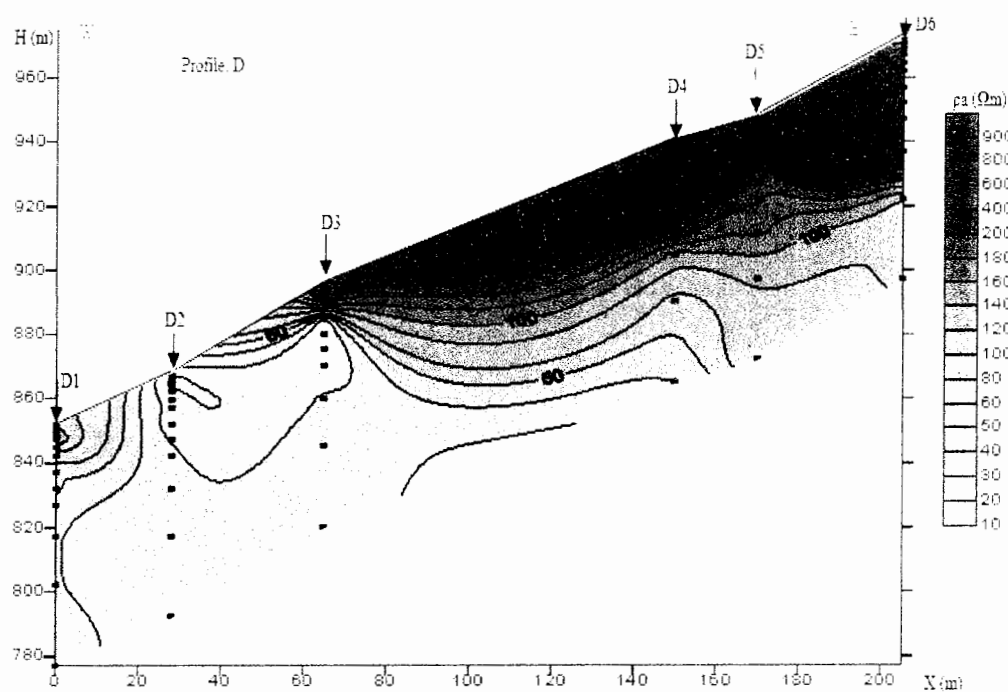


شکل ج-۲: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی B

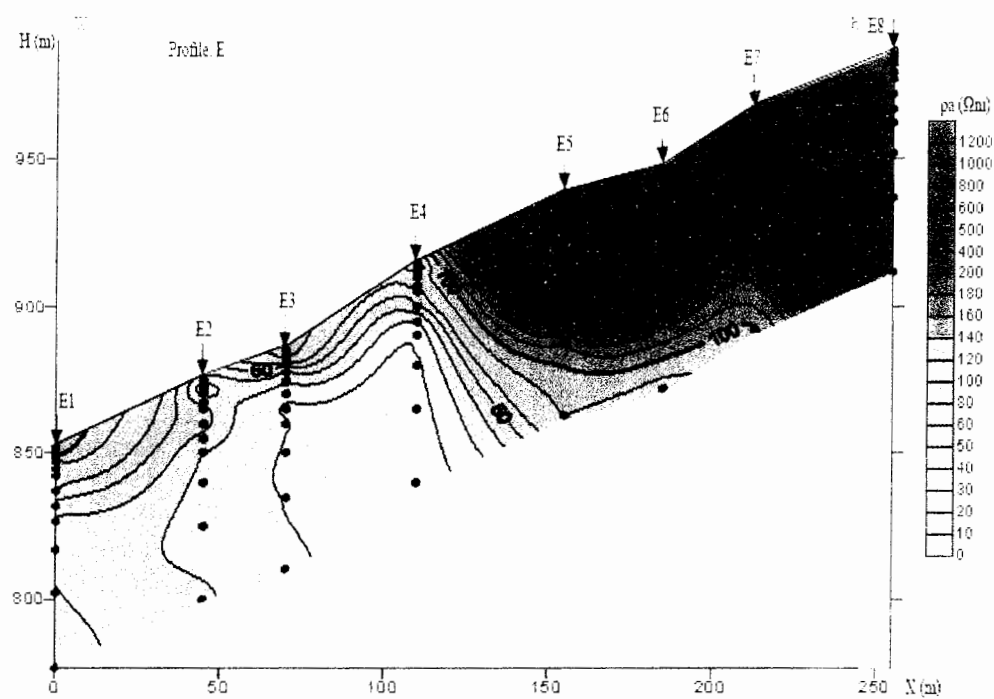




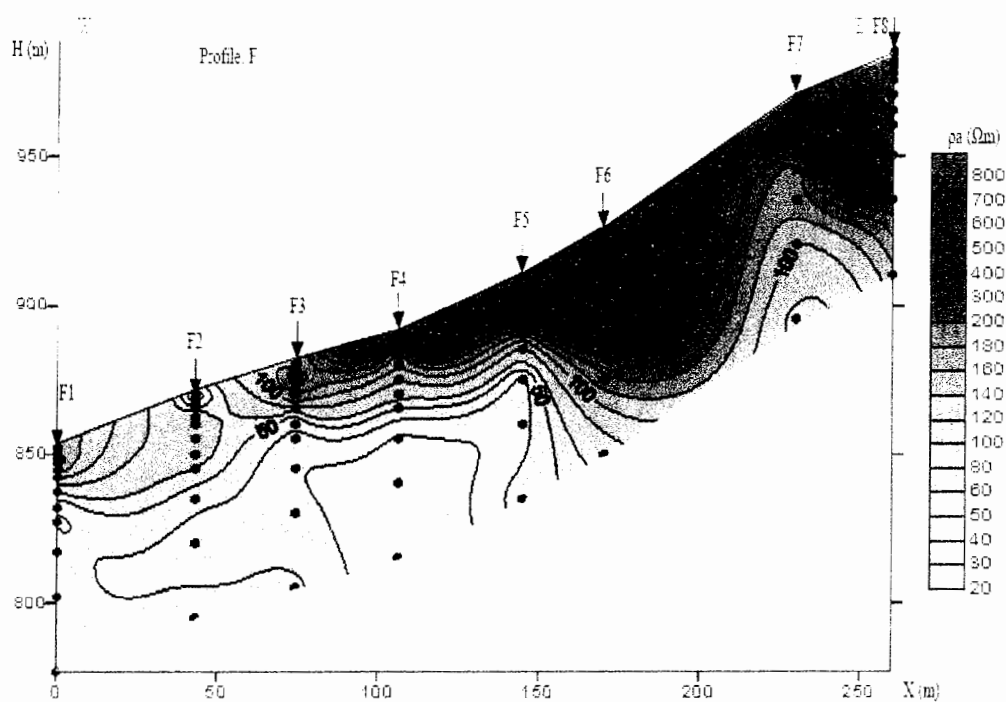
شکل ج-۳: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی C



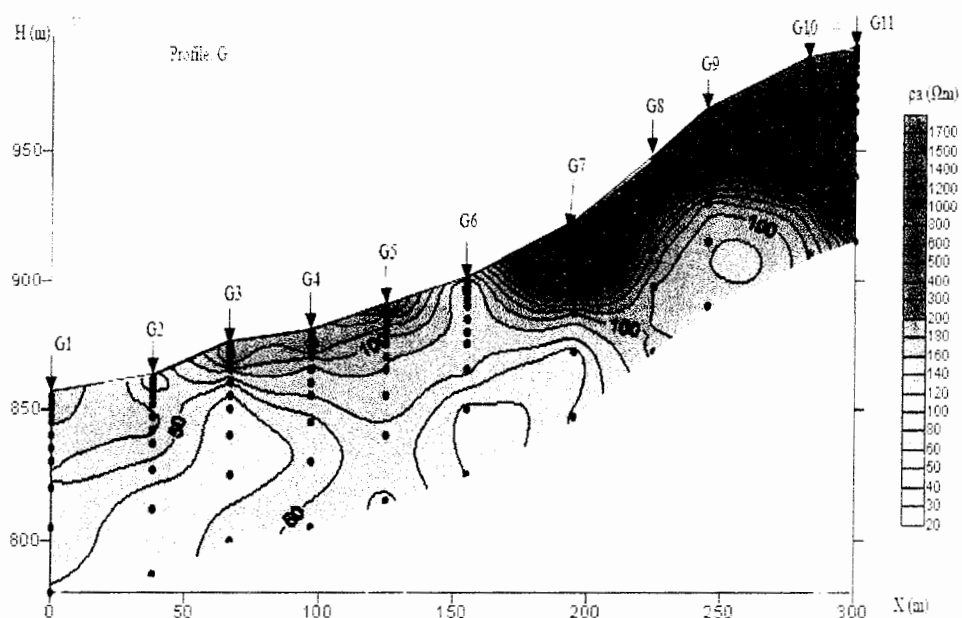
شکل ج-۴: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی D



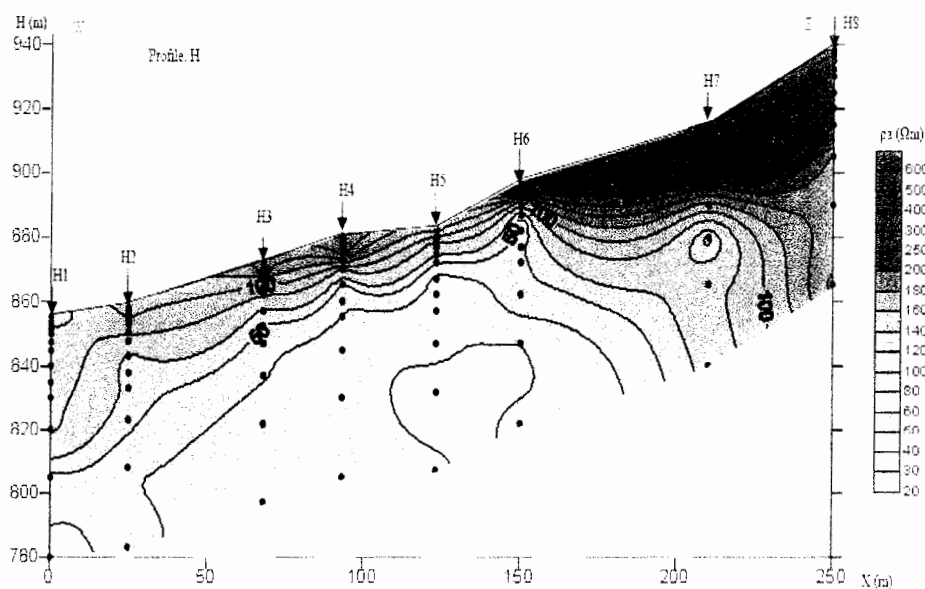
شکل ج-۵: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی E



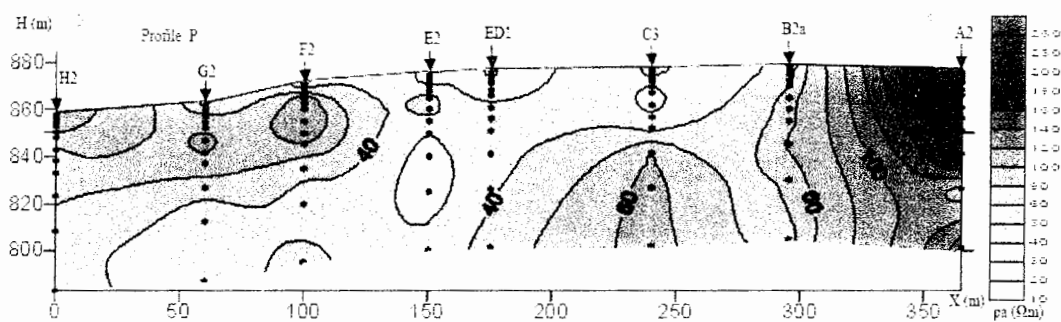
شکل ج-۶: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی F



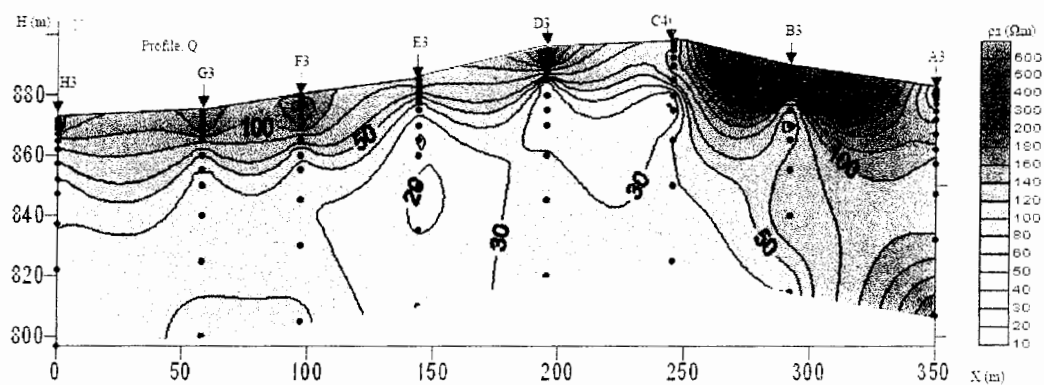
شکل ج-۷: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی G



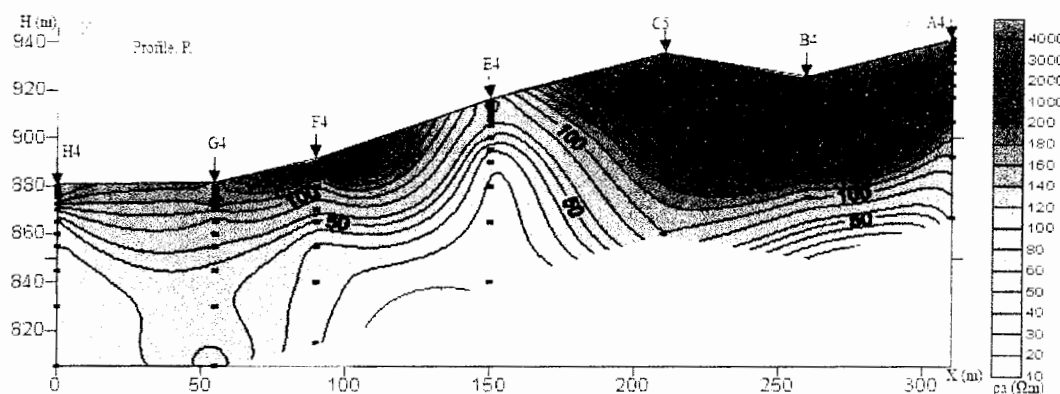
شکل ج-۸: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل طولی H



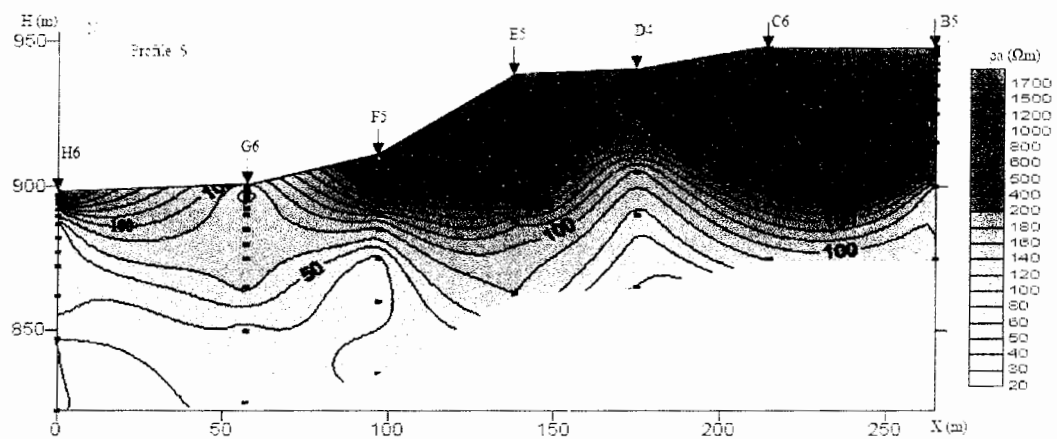
شکل ج-۹: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی P



شکل ج-۱۰: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی Q

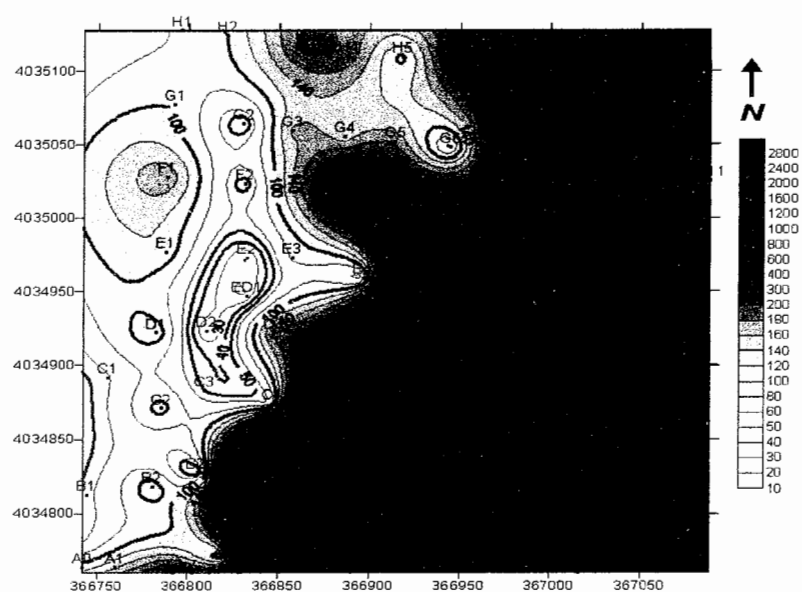


شکل ج-۱۱: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی R

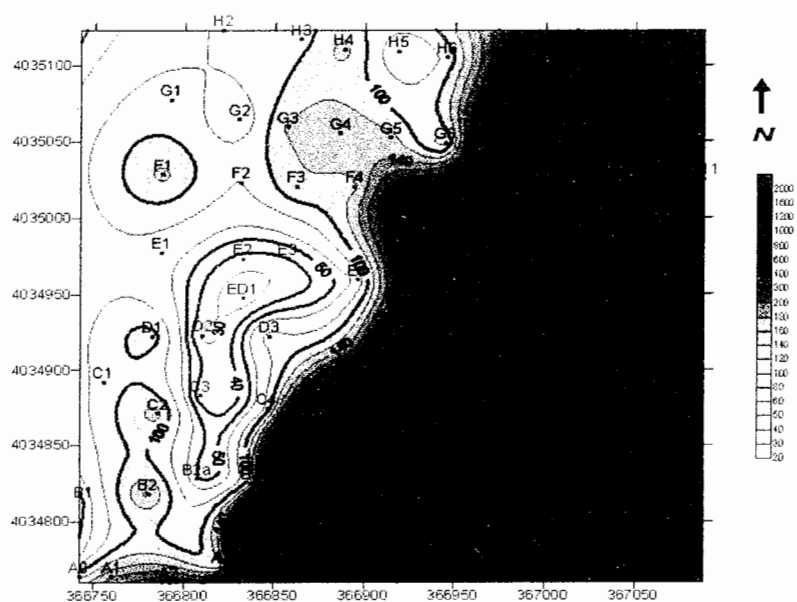


شکل ج-۱۲: شبه مقطع قائم مقاومت ویژه ظاهری پروفیل عرضی S

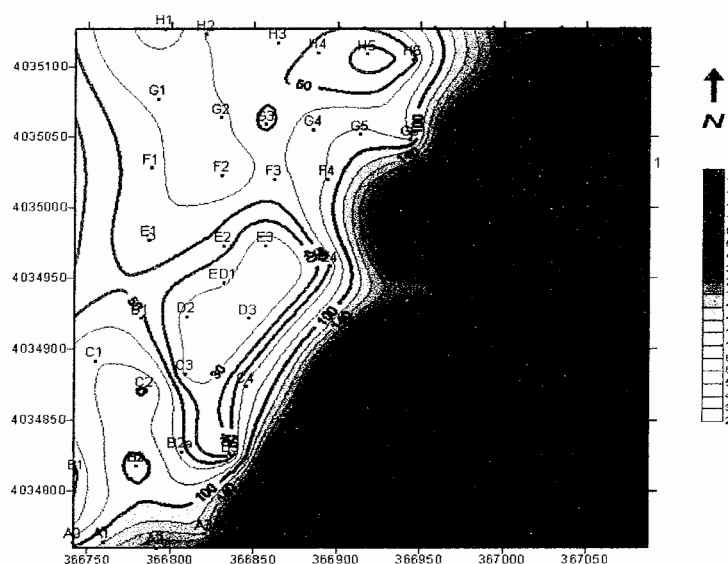
# پیوست چ: نقشه های هم مقاومت ویژه



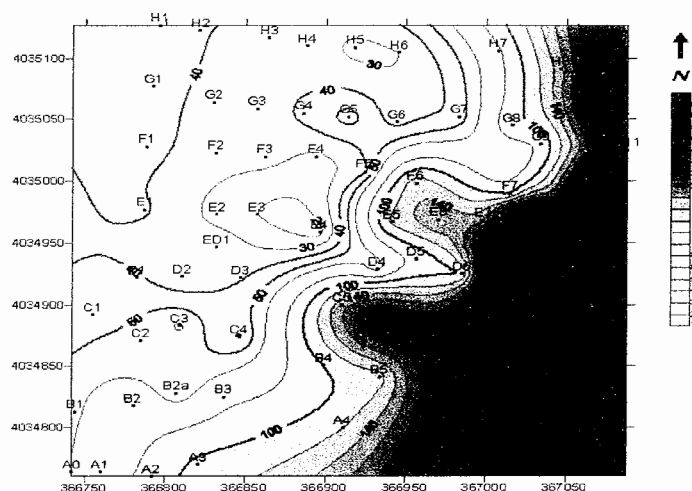
شکل چ- ۱: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۵ متر



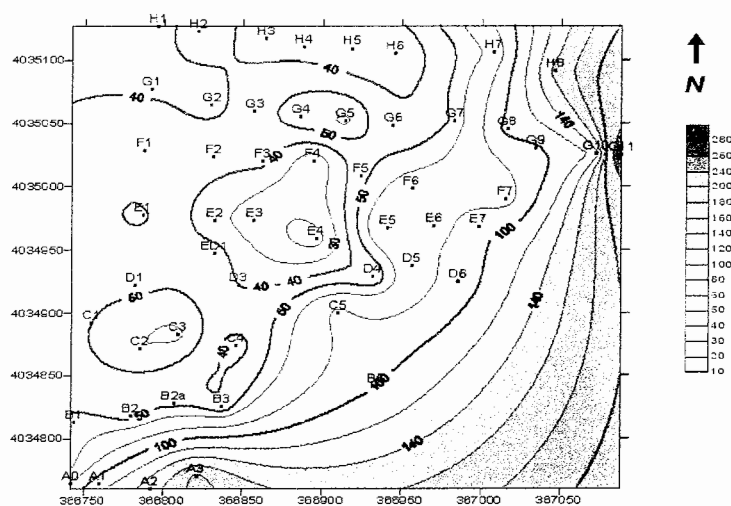
شکل چ- ۲: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۱۵ متر



شکل چ-۳: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۳۰ متر

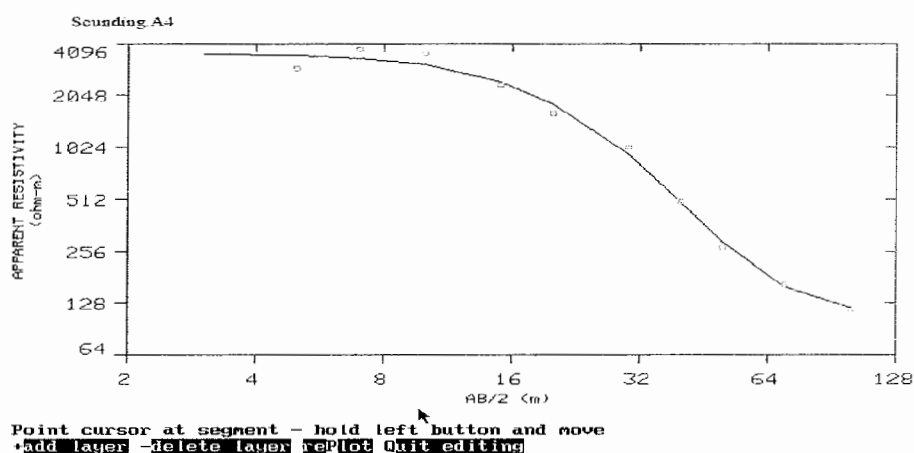


شکل چ-۴: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۱۰۰ متر

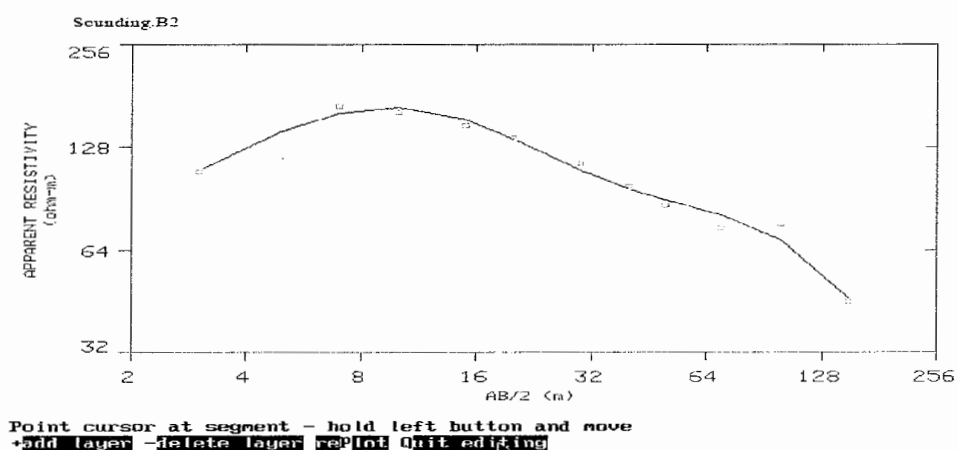


شکل چ-۵: نقشه هم مقاومت ویژه فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برابر ۱۵۰ متر

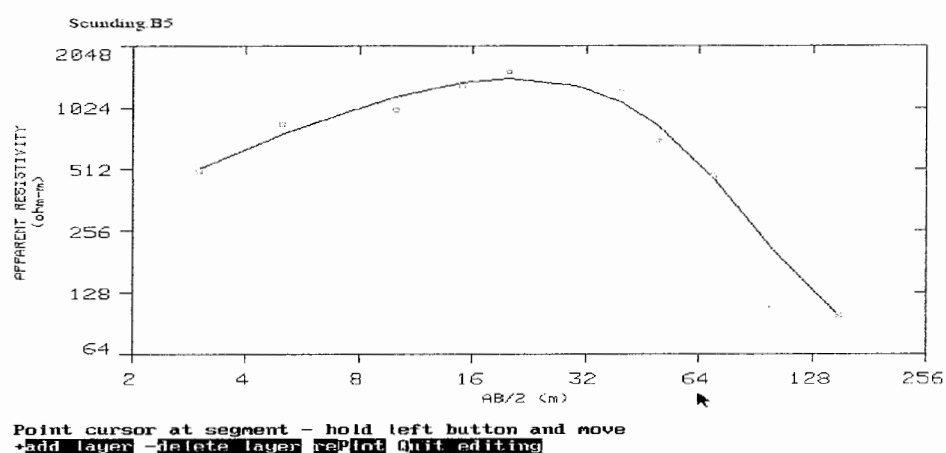
پیوست ج : مدل‌های حاصل از معکوس سازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار ResixIP  
 مدل‌های حاصل از معکوس سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار ResixIP، برای تعدادی از سونداژها در این پیوست ارائه می شود. در این مدل‌ها، نقاط مربعی شکل (سبز رنگ)، داده های اندازه گیری شده، نقطه چین ها مدل‌های در نظر گرفته شده و منحنی آبی رنگ پاسخ مدل می باشند.



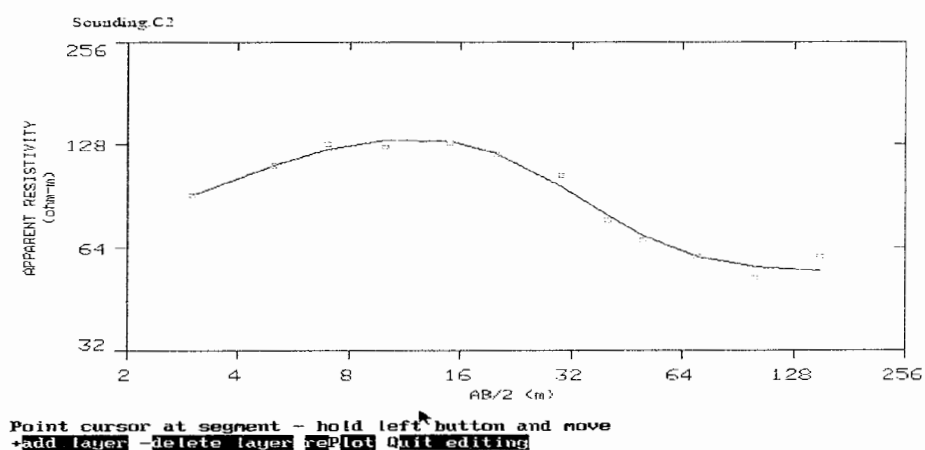
شکل ج-۵: مدل‌سازی معکوس یک بعدی سونداژ A4



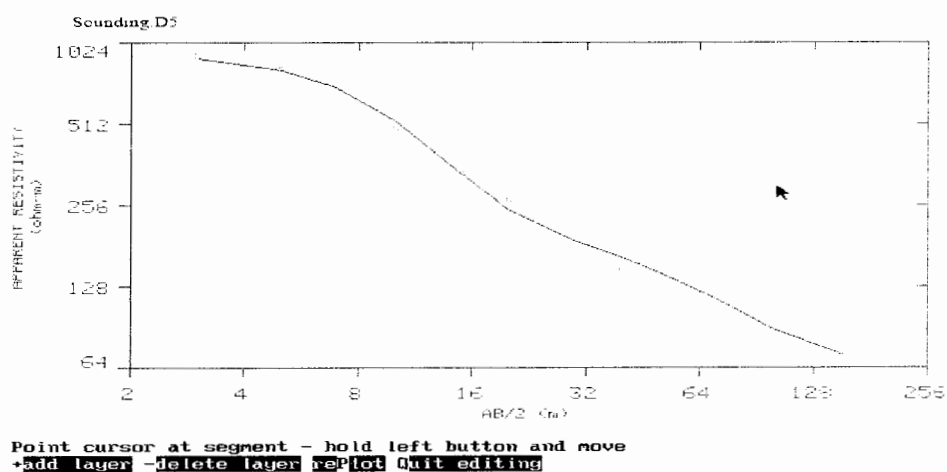
شکل ج-۷: مدل‌سازی معکوس یک بعدی سونداژ B2



شکل ج-۱۱: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ B5

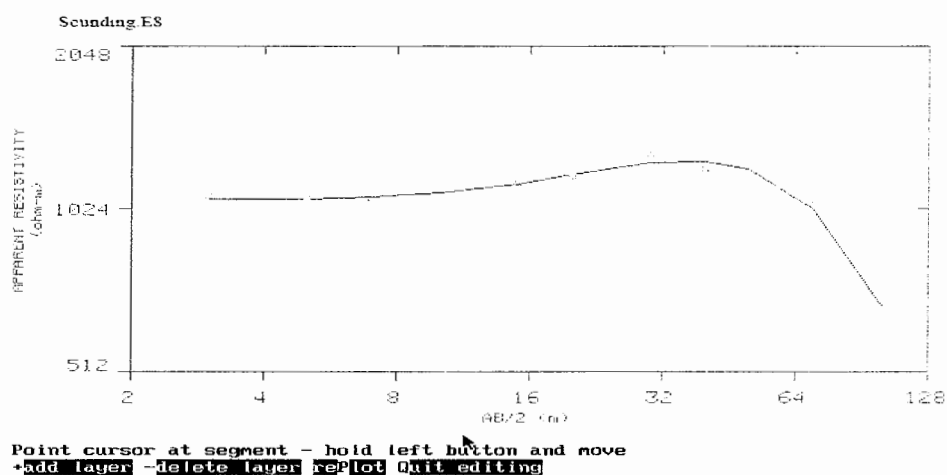


شکل ج-۱۳: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ C2

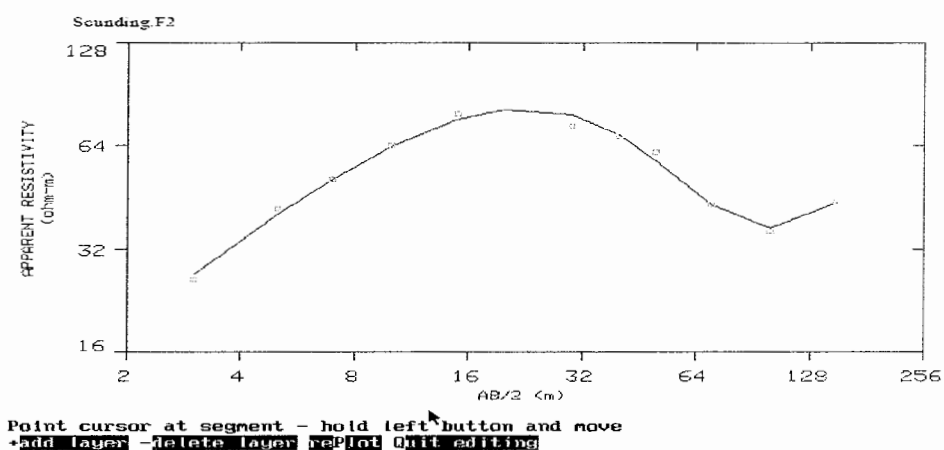


شکل ج-۲۲: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ D5

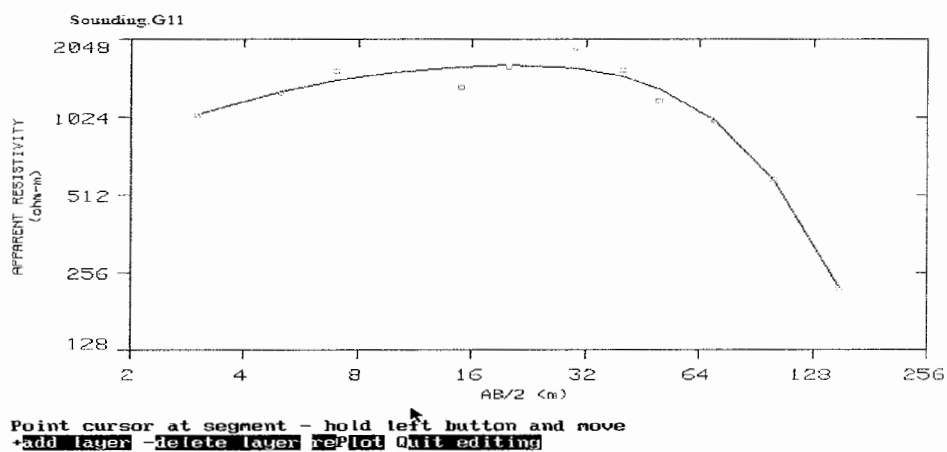




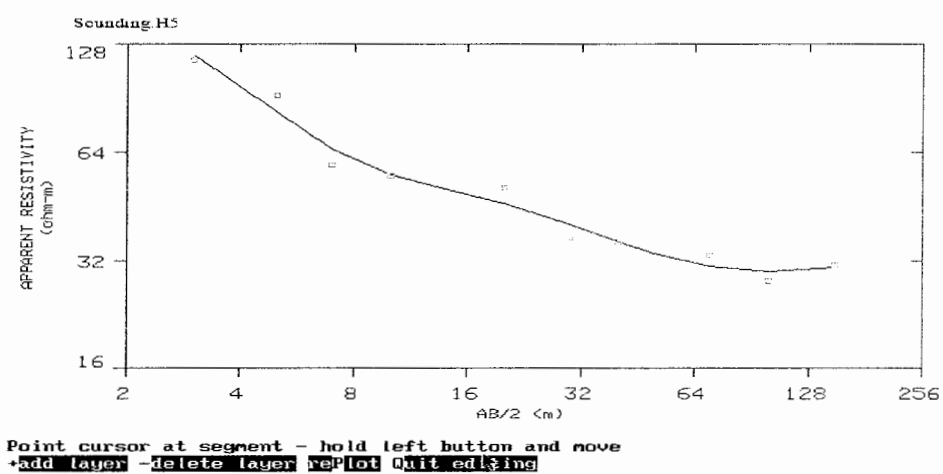
شکل ج-۳۱: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ E8



شکل ج-۳۴: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ F2

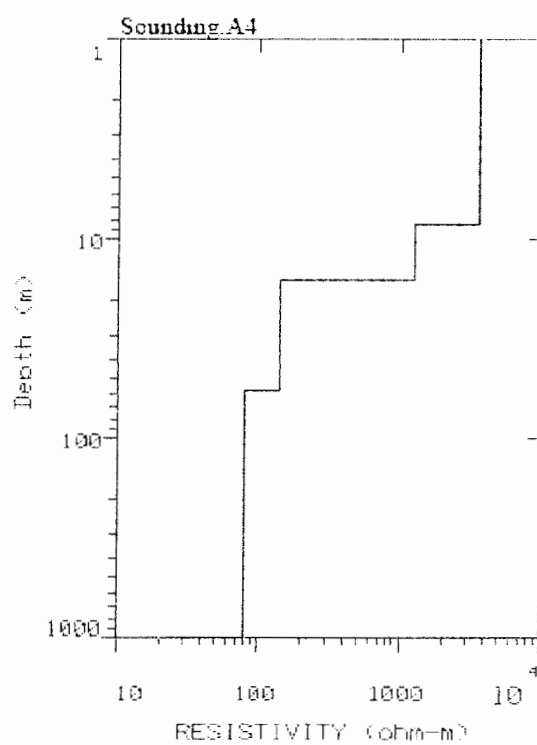


شکل ج-۵۱: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ G11

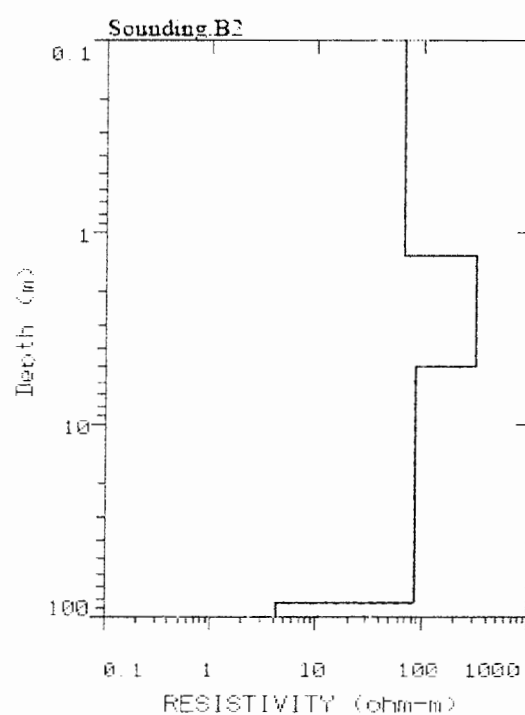


شکل ج-۵۶: مدلسازی معکوس یک بعدی سونداژ H5

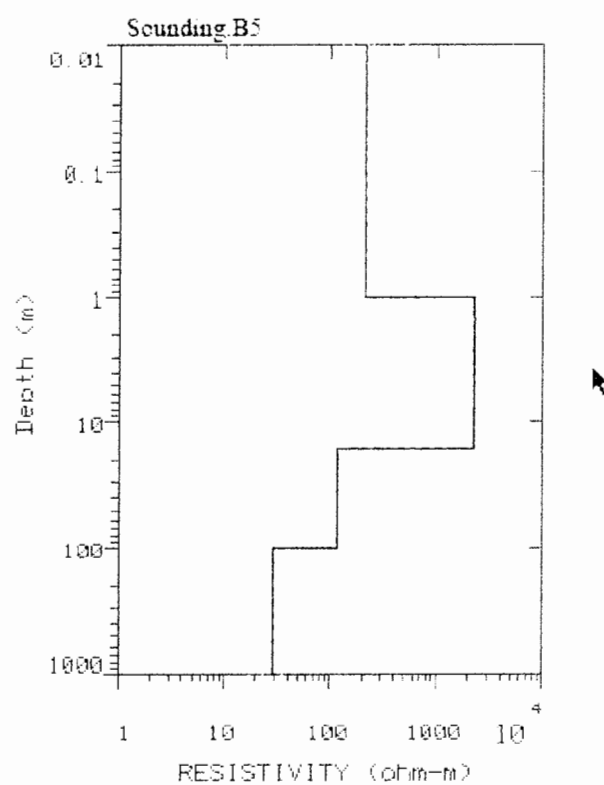
## پیوست خ: مدل‌های هم‌ارز در مدلسازی معکوس یک بعدی با نرم افزار ResixIP



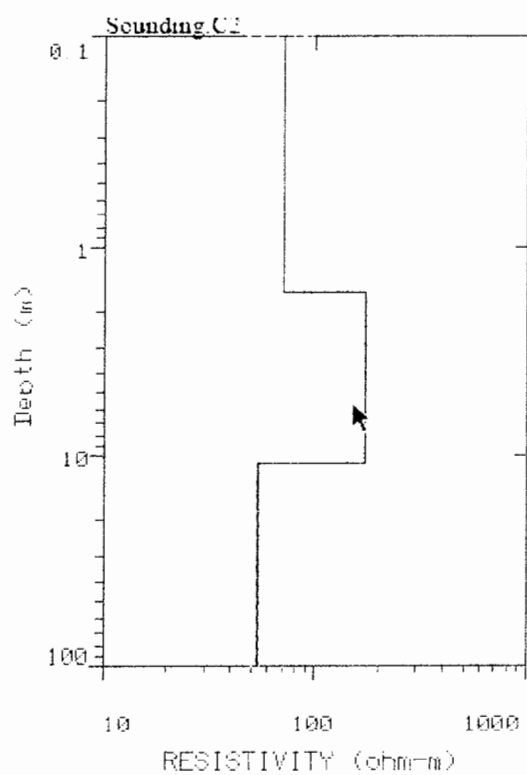
شکل خ-۱: مدل‌های هم‌ارز سونداژ A4



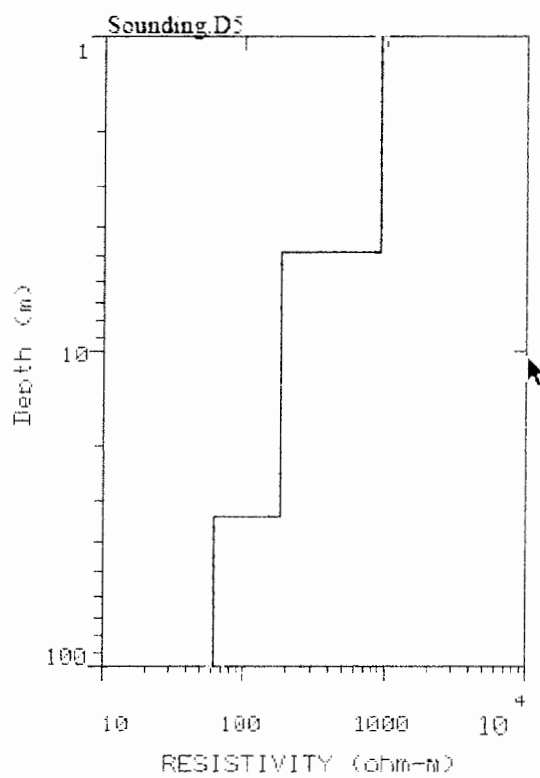
شکل خ-۲: مدل‌های هم‌ارز سونداژ B2



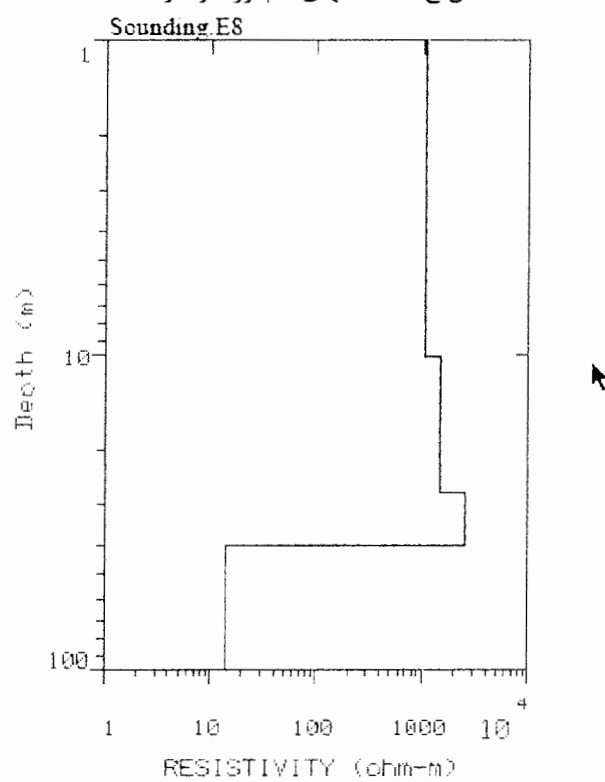
شکل خ-۳: مدل‌های هم‌ارز سونداژ B5



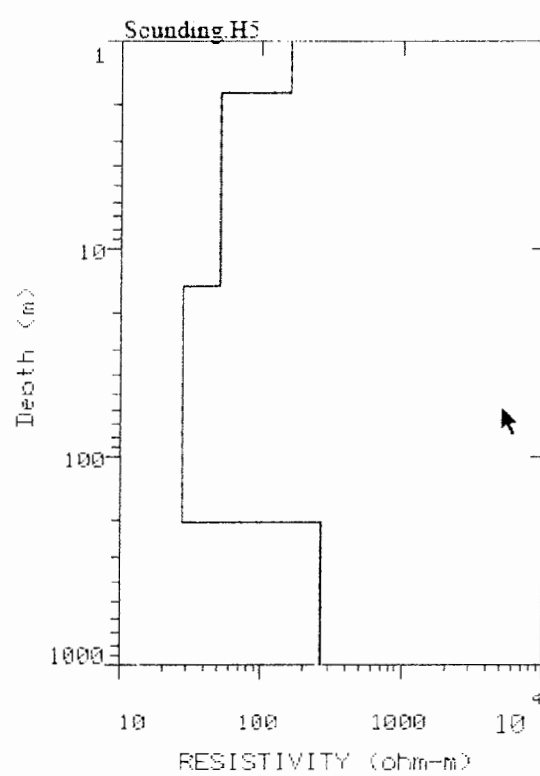
شکل خ-۴: مدل‌های هم‌ارز سونداژ C2



شکل خ- ۵ : مدل‌های هم ارز سونداژ D5



شکل خ- ۶ : مدل‌های هم ارز سونداژ E8



شکل خ- ۹ : مدل‌های هم ارز سونداژ H5

### پیوست د : طریقه ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2Dinv

برای ساختن فایل داده های ورودی نرم افزار Res2dinv، از نرم افزارهایی مانند Surfer که قابلیت ذخیره فایل با پسوند dat دارند، استفاده می شود. چون آرایش های مورد استفاده در برداشتهای انجام شده، آرایشهای شلومبرگر و CRP می باشند و این آرایش ها برای نرم افزار مورد نظر تعریف شده نیستند و در نتیجه جهت وارد کردن داده های اینچنین آرایشهایی، از روش آرایش های غیر-متداول<sup>۱</sup> استفاده می شود که در آن باید موقعیت الکترودهای جریان و پتانسیل و همچنین ارتفاع آنها، بطور کامل، وارد شود. دو نمونه از این جدول ها در ادامه آمده است. جهت سادگی، در ستون های مربوط به ارتفاعات، عدد صفر درج شده است و اطلاعات مربوط به ارتفاع بعضی از نقاط پروفیلها، با توجه دستورالعمل نحوه وارد کردن داده ها، در انتهای جدولها وارد شده است. نحوه وارد کردن اطلاعات بصورت زیر است:

- ۱- خط اول: عنوان مدل (نام پروفیل مورد نظر)
- ۲- خط دوم: کوچکترین فاصله الکترودی (در این پروژه، برای پروفیلهای طولی و عرضی برابر ۱ و برای پروفیلهای CRP برابر ۵ است)
- ۳- خط سوم: عدد مشخص کننده نوع آرایش (آرایش کلی = ۱۱)
- ۴- خط چهارم: نوع آرایشی که آرایش کلی مشابه آن است (هیچ یک از آرایش ها = ۰)
- ۵- خط پنجم: تایپ عبارت: " type of measurment ( 0=app. , 1=resistance )"
- ۶- خط ششم: نوع داده ها (مقاومت ویژه ظاهری = ۰ ، مقاومت ظاهری = ۱)
- ۷- خط هفتم: تعداد کل داده های پروفیل
- ۸- خط هشتم: نوع فاصله نقاط برداشت (فاصله افقی واقعی = ۱، فاصله روی زمین = ۲)
- ۹- خط نهم: وجود داده های IP (وجود داشته باشد = ۱ ، وجود نداشته باشد = ۰)
- ۱۰- خط دهم به بعد: به تعداد کل داده ها (خط ۷)، در ده ستون، داده ها را وارد می کنیم

ستون اول: تعداد الکترودهای آرایش

ستون دوم و سوم: مختصات X,Z الکترودهای جریان A

ستون چهارم و پنجم: مختصات X,Z الکترودهای جریان B

<sup>۱</sup> - non-conventional

ستون ششم و هفتم: مختصات X,Z الکترو د پتانسیل C

ستون هشتم و نهم: مختصات X,Z الکترو د پتانسیل D

ستون دهم: داده های مقاومت ویژه ظاهری

اگر داده های توپوگرافی موجود نباشند، در زیر ستون اول داده ها، ۴ عدد صفر زیر هم وارد می شود. اگر داده های توپوگرافی موجود باشند، بترتیب زیر برای خطهای بعدی عمل می شود:

۱- بعد از پایان داده های مقاومت ویژه، تایپ عبارت: topography in separate list

۲- نوع فاصله نقاط برداشت (فاصله افقی واقعی=۱، فاصله روی زمین=۲)

۳- تعداد داده های توپوگرافی

۴- مختصات و مقدار توپوگرافی (به تعداد داده ها) (ارتفاع اولین الکترو د باید وارد شود)

۵- شماره داده مربوط به ارتفاع الکترو د اول

۶- در انتها، ۴ عدد صفر را زیر هم وارد می کنیم.

جدول د- ۱: نمونه فایل ورودی داده ها برای نرم افزار Res2dinv، برای سونداژهای پروفیل G

P.G

1

11

0

" type of measurment ( 0=app. , 1=resistance )"

0

157

1

0

فاصله سونداژها

|   |      |   |     |   |      |   |      |   |    |        |
|---|------|---|-----|---|------|---|------|---|----|--------|
| 4 | -3   | 0 | 3   | 0 | -1   | 0 | 1    | 0 | 89 | 0(G1)  |
| 4 | -5   | 0 | 5   | 0 | -1   | 0 | 1    | 0 | 99 |        |
| 4 | -7   | 0 | 7   | 0 | -1   | 0 | 1    | 0 | 94 |        |
| 4 | -10  | 0 | 10  | 0 | -1   | 0 | 1    | 0 | 95 |        |
| 4 | -10  | 0 | 10  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 86 |        |
| 4 | -15  | 0 | 15  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 91 |        |
| 4 | -20  | 0 | 20  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 85 |        |
| 4 | -30  | 0 | 30  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 63 |        |
| 4 | -40  | 0 | 40  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 63 |        |
| 4 | -50  | 0 | 50  | 0 | -2.5 | 0 | 2.5  | 0 | 66 |        |
| 4 | -50  | 0 | 50  | 0 | -10  | 0 | 10   | 0 | 70 |        |
| 4 | -70  | 0 | 70  | 0 | -10  | 0 | 10   | 0 | 45 |        |
| 4 | -100 | 0 | 100 | 0 | -10  | 0 | 10   | 0 | 50 |        |
| 4 | -150 | 0 | 150 | 0 | -10  | 0 | 10   | 0 | 39 |        |
| 4 | 35   | 0 | 41  | 0 | 37   | 0 | 39   | 0 | 37 | 38(G2) |
| 4 | 33   | 0 | 43  | 0 | 37   | 0 | 39   | 0 | 37 |        |
| 4 | 31   | 0 | 45  | 0 | 37   | 0 | 39   | 0 | 46 |        |
| 4 | 28   | 0 | 48  | 0 | 37   | 0 | 39   | 0 | 55 |        |
| 4 | 28   | 0 | 48  | 0 | 35.5 | 0 | 40.5 | 0 | 61 |        |



|   |      |   |     |   |       |   |       |   |      |         |
|---|------|---|-----|---|-------|---|-------|---|------|---------|
| 4 | 23   | 0 | 53  | 0 | 35.5  | 0 | 40.5  | 0 | 63   |         |
| 4 | 18   | 0 | 58  | 0 | 35.5  | 0 | 40.5  | 0 | 56   |         |
| 4 | 8    | 0 | 68  | 0 | 35.5  | 0 | 40.5  | 0 | 63   |         |
| 4 | -2   | 0 | 78  | 0 | 35.5  | 0 | 40.5  | 0 | 61   |         |
| 4 | -12  | 0 | 88  | 0 | 35.5  | 0 | 40.5  | 0 | 57   |         |
| 4 | -12  | 0 | 88  | 0 | 28    | 0 | 48    | 0 | 59   |         |
| 4 | -32  | 0 | 108 | 0 | 28    | 0 | 48    | 0 | 45   |         |
| 4 | -62  | 0 | 138 | 0 | 28    | 0 | 48    | 0 | 32   |         |
| 4 | -112 | 0 | 188 | 0 | 28    | 0 | 48    | 0 | 37   |         |
| 4 | 64   | 0 | 70  | 0 | 66    | 0 | 68    | 0 | 119  | 67(G3)  |
| 4 | 62   | 0 | 72  | 0 | 66    | 0 | 68    | 0 | 145  |         |
| 4 | 60   | 0 | 74  | 0 | 66    | 0 | 68    | 0 | 144  |         |
| 4 | 57   | 0 | 77  | 0 | 66    | 0 | 68    | 0 | 149  |         |
| 4 | 57   | 0 | 77  | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 146  |         |
| 4 | 52   | 0 | 82  | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 124  |         |
| 4 | 47   | 0 | 87  | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 76   |         |
| 4 | 37   | 0 | 97  | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 47   |         |
| 4 | 27   | 0 | 107 | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 40   |         |
| 4 | 17   | 0 | 117 | 0 | 64.5  | 0 | 69.5  | 0 | 35   |         |
| 4 | 17   | 0 | 117 | 0 | 57    | 0 | 77    | 0 | 33.5 |         |
| 4 | -3   | 0 | 137 | 0 | 57    | 0 | 77    | 0 | 35   |         |
| 4 | -33  | 0 | 167 | 0 | 57    | 0 | 77    | 0 | 36   |         |
| 4 | -83  | 0 | 217 | 0 | 57    | 0 | 77    | 0 | 46   |         |
| 4 | 94   | 0 | 100 | 0 | 96    | 0 | 98    | 0 | 119  | 97(G4)  |
| 4 | 92   | 0 | 102 | 0 | 96    | 0 | 98    | 0 | 128  |         |
| 4 | 90   | 0 | 104 | 0 | 96    | 0 | 98    | 0 | 155  |         |
| 4 | 87   | 0 | 107 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 149  |         |
| 4 | 82   | 0 | 112 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 139  |         |
| 4 | 77   | 0 | 117 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 91   |         |
| 4 | 67   | 0 | 127 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 74   |         |
| 4 | 57   | 0 | 137 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 68   |         |
| 4 | 47   | 0 | 147 | 0 | 94.5  | 0 | 99.5  | 0 | 60   |         |
| 4 | 47   | 0 | 147 | 0 | 87    | 0 | 107   | 0 | 46   |         |
| 4 | 27   | 0 | 167 | 0 | 87    | 0 | 107   | 0 | 47   |         |
| 4 | -3   | 0 | 197 | 0 | 87    | 0 | 107   | 0 | 42   |         |
| 4 | -53  | 0 | 247 | 0 | 87    | 0 | 107   | 0 | 56   |         |
| 4 | 122  | 0 | 128 | 0 | 124   | 0 | 126   | 0 | 214  | 125(G5) |
| 4 | 120  | 0 | 130 | 0 | 124   | 0 | 126   | 0 | 157  |         |
| 4 | 118  | 0 | 132 | 0 | 124   | 0 | 126   | 0 | 142  |         |
| 4 | 115  | 0 | 135 | 0 | 124   | 0 | 126   | 0 | 116  |         |
| 4 | 115  | 0 | 135 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 121  |         |
| 4 | 110  | 0 | 140 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 129  |         |
| 4 | 105  | 0 | 145 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 107  |         |
| 4 | 95   | 0 | 155 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 87   |         |
| 4 | 85   | 0 | 165 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 82   |         |
| 4 | 75   | 0 | 175 | 0 | 122.5 | 0 | 127.5 | 0 | 79   |         |
| 4 | 75   | 0 | 175 | 0 | 115   | 0 | 135   | 0 | 95   |         |
| 4 | 55   | 0 | 195 | 0 | 115   | 0 | 135   | 0 | 73   |         |
| 4 | 25   | 0 | 225 | 0 | 115   | 0 | 135   | 0 | 55   |         |
| 4 | -25  | 0 | 275 | 0 | 115   | 0 | 135   | 0 | 63   |         |
| 4 | 152  | 0 | 158 | 0 | 154   | 0 | 156   | 0 | 63   | 155(G6) |
| 4 | 150  | 0 | 160 | 0 | 154   | 0 | 156   | 0 | 52   |         |

|   |     |   |     |   |       |   |       |   |     |         |
|---|-----|---|-----|---|-------|---|-------|---|-----|---------|
| 4 | 148 | 0 | 162 | 0 | 154   | 0 | 156   | 0 | 39  |         |
| 4 | 145 | 0 | 165 | 0 | 154   | 0 | 156   | 0 | 59  |         |
| 4 | 145 | 0 | 165 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 64  |         |
| 4 | 140 | 0 | 170 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 70  |         |
| 4 | 135 | 0 | 175 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 63  |         |
| 4 | 125 | 0 | 185 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 77  |         |
| 4 | 115 | 0 | 195 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 73  |         |
| 4 | 105 | 0 | 205 | 0 | 152.5 | 0 | 157.5 | 0 | 67  |         |
| 4 | 105 | 0 | 205 | 0 | 145   | 0 | 165   | 0 | 77  |         |
| 4 | 85  | 0 | 225 | 0 | 145   | 0 | 165   | 0 | 63  |         |
| 4 | 55  | 0 | 255 | 0 | 145   | 0 | 165   | 0 | 37  |         |
| 4 | 5   | 0 | 305 | 0 | 145   | 0 | 165   | 0 | 40  |         |
| 4 | 192 | 0 | 198 | 0 | 194   | 0 | 196   | 0 | 365 | 195(G7) |
| 4 | 190 | 0 | 200 | 0 | 194   | 0 | 196   | 0 | 348 |         |
| 4 | 188 | 0 | 202 | 0 | 194   | 0 | 196   | 0 | 336 |         |
| 4 | 185 | 0 | 205 | 0 | 194   | 0 | 196   | 0 | 514 |         |
| 4 | 185 | 0 | 205 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 380 |         |
| 4 | 180 | 0 | 210 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 412 |         |
| 4 | 175 | 0 | 215 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 388 |         |
| 4 | 165 | 0 | 225 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 346 |         |
| 4 | 155 | 0 | 235 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 306 |         |
| 4 | 145 | 0 | 245 | 0 | 192.5 | 0 | 197.5 | 0 | 226 |         |
| 4 | 145 | 0 | 245 | 0 | 185   | 0 | 205   | 0 | 158 |         |
| 4 | 125 | 0 | 265 | 0 | 185   | 0 | 205   | 0 | 95  |         |
| 4 | 95  | 0 | 295 | 0 | 185   | 0 | 205   | 0 | 45  |         |
| 4 | 45  | 0 | 345 | 0 | 185   | 0 | 205   | 0 | 52  |         |
| 4 | 222 | 0 | 228 | 0 | 224   | 0 | 226   | 0 | 316 | 225(G8) |
| 4 | 220 | 0 | 230 | 0 | 224   | 0 | 226   | 0 | 398 |         |
| 4 | 218 | 0 | 232 | 0 | 224   | 0 | 226   | 0 | 394 |         |
| 4 | 215 | 0 | 235 | 0 | 224   | 0 | 226   | 0 | 462 |         |
| 4 | 215 | 0 | 235 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 455 |         |
| 4 | 210 | 0 | 240 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 350 |         |
| 4 | 205 | 0 | 245 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 209 |         |
| 4 | 195 | 0 | 255 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 252 |         |
| 4 | 185 | 0 | 265 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 200 |         |
| 4 | 175 | 0 | 275 | 0 | 222.5 | 0 | 227.5 | 0 | 178 |         |
| 4 | 175 | 0 | 275 | 0 | 215   | 0 | 235   | 0 | 173 |         |
| 4 | 155 | 0 | 295 | 0 | 215   | 0 | 235   | 0 | 137 |         |
| 4 | 125 | 0 | 325 | 0 | 215   | 0 | 235   | 0 | 97  |         |
| 4 | 75  | 0 | 375 | 0 | 215   | 0 | 235   | 0 | 106 |         |
| 4 | 242 | 0 | 248 | 0 | 244   | 0 | 246   | 0 | 211 | 245(G9) |
| 4 | 240 | 0 | 250 | 0 | 244   | 0 | 246   | 0 | 224 |         |
| 4 | 238 | 0 | 252 | 0 | 244   | 0 | 246   | 0 | 228 |         |
| 4 | 235 | 0 | 255 | 0 | 244   | 0 | 246   | 0 | 217 |         |
| 4 | 235 | 0 | 255 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 242 |         |
| 4 | 230 | 0 | 260 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 215 |         |
| 4 | 225 | 0 | 265 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 181 |         |
| 4 | 215 | 0 | 275 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 216 |         |
| 4 | 205 | 0 | 285 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 231 |         |
| 4 | 195 | 0 | 295 | 0 | 242.5 | 0 | 247.5 | 0 | 219 |         |
| 4 | 195 | 0 | 295 | 0 | 235   | 0 | 255   | 0 | 241 |         |
| 4 | 175 | 0 | 315 | 0 | 235   | 0 | 255   | 0 | 113 |         |

|   |     |   |     |   |       |   |       |   |      |          |
|---|-----|---|-----|---|-------|---|-------|---|------|----------|
| 4 | 145 | 0 | 345 | 0 | 235   | 0 | 255   | 0 | 85   |          |
| 4 | 95  | 0 | 395 | 0 | 235   | 0 | 255   | 0 | 97   |          |
| 4 | 280 | 0 | 286 | 0 | 282   | 0 | 284   | 0 | 670  | 283(G10) |
| 4 | 278 | 0 | 288 | 0 | 282   | 0 | 284   | 0 | 535  |          |
| 4 | 276 | 0 | 290 | 0 | 282   | 0 | 284   | 0 | 580  |          |
| 4 | 273 | 0 | 293 | 0 | 282   | 0 | 284   | 0 | 617  |          |
| 4 | 273 | 0 | 293 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 522  |          |
| 4 | 268 | 0 | 298 | 0 | 282   | 0 | 284   | 0 | 722  |          |
| 4 | 268 | 0 | 298 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 697  |          |
| 4 | 263 | 0 | 303 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 748  |          |
| 4 | 253 | 0 | 313 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 1006 |          |
| 4 | 243 | 0 | 323 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 909  |          |
| 4 | 233 | 0 | 333 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 775  |          |
| 4 | 233 | 0 | 333 | 0 | 273   | 0 | 293   | 0 | 628  |          |
| 4 | 213 | 0 | 353 | 0 | 280.5 | 0 | 285.5 | 0 | 555  |          |
| 4 | 213 | 0 | 353 | 0 | 273   | 0 | 293   | 0 | 486  |          |
| 4 | 183 | 0 | 383 | 0 | 273   | 0 | 293   | 0 | 218  |          |
| 4 | 133 | 0 | 433 | 0 | 273   | 0 | 293   | 0 | 124  |          |
| 4 | 297 | 0 | 303 | 0 | 299   | 0 | 301   | 0 | 1041 | 300(G11) |
| 4 | 295 | 0 | 305 | 0 | 299   | 0 | 301   | 0 | 1273 |          |
| 4 | 293 | 0 | 307 | 0 | 299   | 0 | 301   | 0 | 1535 |          |
| 4 | 290 | 0 | 310 | 0 | 299   | 0 | 301   | 0 | 1312 |          |
| 4 | 290 | 0 | 310 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 983  |          |
| 4 | 285 | 0 | 315 | 0 | 299   | 0 | 301   | 0 | 1540 |          |
| 4 | 285 | 0 | 315 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1333 |          |
| 4 | 280 | 0 | 320 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1592 |          |
| 4 | 270 | 0 | 330 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1873 |          |
| 4 | 260 | 0 | 340 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1558 |          |
| 4 | 250 | 0 | 350 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1619 |          |
| 4 | 250 | 0 | 350 | 0 | 290   | 0 | 310   | 0 | 1181 |          |
| 4 | 230 | 0 | 370 | 0 | 297.5 | 0 | 302.5 | 0 | 1182 |          |
| 4 | 230 | 0 | 370 | 0 | 290   | 0 | 310   | 0 | 994  |          |
| 4 | 200 | 0 | 400 | 0 | 290   | 0 | 310   | 0 | 590  |          |
| 4 | 150 | 0 | 450 | 0 | 290   | 0 | 310   | 0 | 223  |          |

topography in separate list

1  
13  
-150 840  
0 855  
38 862  
67 875  
97 880  
125 890  
155 900  
195 922  
225 947  
245 965  
283 985  
300 990  
450 1060  
1  
0

0  
0  
0

اطلاعات موجود در ستون انتهایی، مربوط به دستورالعمل ساختن فایل داده ها نبوده و برای مشخص شدن داده های سونداژها و موقعیت آنها، انجام پذیرفته و نباید در فایل ورودی آورده شود.

جدول د- ۲ : نمونه فایل ورودی داده ها برای نرم افزار Res2dinv ، برای پروفیل CRP.III

```
CRP.III
5
11
0
" type of measurment ( 0=app. , 1=resistance )"
0
224
1
0
4 -50 0 50 0 -5 0 5 0 57.5 AB=100
4 -45 0 55 0 0 0 10 0 48.5
4 -40 0 60 0 5 0 15 0 41.5
4 -35 0 65 0 10 0 20 0 29.5
4 -30 0 70 0 15 0 25 0 48.5
4 -25 0 75 0 20 0 30 0 58
4 -20 0 80 0 25 0 35 0 56.5
4 -15 0 85 0 30 0 40 0 56
4 -10 0 90 0 35 0 45 0 59
4 -5 0 95 0 40 0 50 0 56.5
4 0 0 100 0 45 0 55 0 53.5
4 5 0 105 0 50 0 60 0 53
4 10 0 110 0 55 0 65 0 50
4 15 0 115 0 60 0 70 0 67
4 20 0 120 0 65 0 75 0 45.5
4 25 0 125 0 70 0 80 0 50.5
4 30 0 130 0 75 0 85 0 49
4 35 0 135 0 80 0 90 0 49
4 40 0 140 0 85 0 95 0 49.5
4 45 0 145 0 90 0 100 0 26
4 55 0 155 0 100 0 110 0 64.5
4 60 0 160 0 105 0 115 0 59
4 65 0 165 0 110 0 120 0 68.5
4 70 0 170 0 115 0 125 0 67
4 75 0 175 0 120 0 130 0 50.5
4 80 0 180 0 125 0 135 0 44.5
4 85 0 185 0 130 0 140 0 40
4 90 0 190 0 135 0 145 0 33
4 95 0 195 0 140 0 150 0 33
4 100 0 200 0 145 0 155 0 30
4 105 0 205 0 150 0 160 0 31
4 110 0 210 0 155 0 165 0 33
4 115 0 215 0 160 0 170 0 38
4 120 0 220 0 165 0 175 0 43
4 125 0 225 0 170 0 180 0 38.5
```

|   |     |   |     |   |     |   |     |   |       |       |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-------|-------|
| 4 | 130 | 0 | 230 | 0 | 175 | 0 | 185 | 0 | 31.5  |       |
| 4 | 140 | 0 | 240 | 0 | 185 | 0 | 195 | 0 | 37.5  |       |
| 4 | 145 | 0 | 245 | 0 | 190 | 0 | 200 | 0 | 30.5  |       |
| 4 | 150 | 0 | 250 | 0 | 195 | 0 | 205 | 0 | 23.5  |       |
| 4 | 155 | 0 | 255 | 0 | 200 | 0 | 210 | 0 | 21.5  |       |
| 4 | 160 | 0 | 260 | 0 | 205 | 0 | 215 | 0 | 33    |       |
| 4 | 165 | 0 | 265 | 0 | 210 | 0 | 220 | 0 | 40.5  |       |
| 4 | 170 | 0 | 270 | 0 | 215 | 0 | 225 | 0 | 34.5  |       |
| 4 | 175 | 0 | 275 | 0 | 220 | 0 | 230 | 0 | 40.5  |       |
| 4 | 180 | 0 | 280 | 0 | 225 | 0 | 235 | 0 | 48    |       |
| 4 | 185 | 0 | 285 | 0 | 230 | 0 | 240 | 0 | 50    |       |
| 4 | 190 | 0 | 290 | 0 | 235 | 0 | 245 | 0 | 47.5  |       |
| 4 | 195 | 0 | 295 | 0 | 240 | 0 | 250 | 0 | 50.5  |       |
| 4 | 200 | 0 | 300 | 0 | 245 | 0 | 255 | 0 | 48    |       |
| 4 | 205 | 0 | 305 | 0 | 250 | 0 | 260 | 0 | 46.5  |       |
| 4 | 210 | 0 | 310 | 0 | 255 | 0 | 265 | 0 | 46.5  |       |
| 4 | 215 | 0 | 315 | 0 | 260 | 0 | 270 | 0 | 56.5  |       |
| 4 | 220 | 0 | 320 | 0 | 265 | 0 | 275 | 0 | 65.5  |       |
| 4 | 225 | 0 | 325 | 0 | 270 | 0 | 280 | 0 | 58.75 |       |
| 4 | 230 | 0 | 330 | 0 | 275 | 0 | 285 | 0 | 63    |       |
| 4 | 235 | 0 | 335 | 0 | 280 | 0 | 290 | 0 | 79    |       |
| 4 | 240 | 0 | 340 | 0 | 285 | 0 | 295 | 0 | 58    |       |
| 4 | 245 | 0 | 345 | 0 | 290 | 0 | 300 | 0 | 95    |       |
| 4 | 250 | 0 | 350 | 0 | 295 | 0 | 305 | 0 | 72    |       |
| 4 | 255 | 0 | 355 | 0 | 300 | 0 | 310 | 0 | 90    |       |
| 4 | 260 | 0 | 360 | 0 | 305 | 0 | 315 | 0 | 131.5 |       |
| 4 | 265 | 0 | 365 | 0 | 310 | 0 | 320 | 0 | 145.5 |       |
| 4 | 270 | 0 | 370 | 0 | 315 | 0 | 325 | 0 | 137   |       |
| 4 | 275 | 0 | 375 | 0 | 320 | 0 | 330 | 0 | 119.5 |       |
| 4 | 280 | 0 | 380 | 0 | 325 | 0 | 335 | 0 | 90.5  |       |
| 4 | 285 | 0 | 385 | 0 | 330 | 0 | 340 | 0 | 145   |       |
| 4 | 290 | 0 | 390 | 0 | 335 | 0 | 345 | 0 | 155.5 |       |
| 4 | 295 | 0 | 395 | 0 | 340 | 0 | 350 | 0 | 118   |       |
| 4 | 300 | 0 | 400 | 0 | 345 | 0 | 355 | 0 | 113.5 |       |
| 4 | 305 | 0 | 405 | 0 | 350 | 0 | 360 | 0 | 155   |       |
| 4 | 310 | 0 | 410 | 0 | 355 | 0 | 365 | 0 | 210   |       |
| 4 | 315 | 0 | 415 | 0 | 360 | 0 | 370 | 0 | 199.5 |       |
| 4 | 320 | 0 | 420 | 0 | 365 | 0 | 375 | 0 | 146.5 |       |
| 4 | 325 | 0 | 425 | 0 | 370 | 0 | 380 | 0 | 104.5 |       |
| 4 | -30 | 0 | 30  | 0 | -5  | 0 | 5   | 0 | 95    | AB=60 |
| 4 | -25 | 0 | 35  | 0 | 0   | 0 | 10  | 0 | 88    |       |
| 4 | -20 | 0 | 40  | 0 | 5   | 0 | 15  | 0 | 81    |       |
| 4 | -15 | 0 | 45  | 0 | 10  | 0 | 20  | 0 | 85.5  |       |
| 4 | -10 | 0 | 50  | 0 | 15  | 0 | 25  | 0 | 85    |       |
| 4 | -5  | 0 | 55  | 0 | 20  | 0 | 30  | 0 | 90.5  |       |
| 4 | 0   | 0 | 60  | 0 | 25  | 0 | 35  | 0 | 94    |       |
| 4 | 5   | 0 | 65  | 0 | 30  | 0 | 40  | 0 | 84.5  |       |
| 4 | 10  | 0 | 70  | 0 | 35  | 0 | 45  | 0 | 85.5  |       |
| 4 | 15  | 0 | 75  | 0 | 40  | 0 | 50  | 0 | 74.5  |       |
| 4 | 20  | 0 | 80  | 0 | 45  | 0 | 55  | 0 | 63    |       |
| 4 | 25  | 0 | 85  | 0 | 50  | 0 | 60  | 0 | 69    |       |
| 4 | 30  | 0 | 90  | 0 | 55  | 0 | 65  | 0 | 74    |       |

|   |     |   |     |   |     |   |     |   |       |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-------|
| 4 | 35  | 0 | 95  | 0 | 60  | 0 | 70  | 0 | 70    |
| 4 | 40  | 0 | 100 | 0 | 65  | 0 | 75  | 0 | 78    |
| 4 | 45  | 0 | 105 | 0 | 70  | 0 | 80  | 0 | 88    |
| 4 | 50  | 0 | 110 | 0 | 75  | 0 | 85  | 0 | 82.5  |
| 4 | 55  | 0 | 115 | 0 | 80  | 0 | 90  | 0 | 87    |
| 4 | 60  | 0 | 120 | 0 | 85  | 0 | 95  | 0 | 66    |
| 4 | 65  | 0 | 125 | 0 | 90  | 0 | 100 | 0 | 56    |
| 4 | 70  | 0 | 130 | 0 | 95  | 0 | 105 | 0 | 90    |
| 4 | 75  | 0 | 135 | 0 | 100 | 0 | 110 | 0 | 87.5  |
| 4 | 80  | 0 | 140 | 0 | 105 | 0 | 115 | 0 | 77.5  |
| 4 | 85  | 0 | 145 | 0 | 110 | 0 | 120 | 0 | 85    |
| 4 | 90  | 0 | 150 | 0 | 115 | 0 | 125 | 0 | 81.5  |
| 4 | 95  | 0 | 155 | 0 | 120 | 0 | 130 | 0 | 61    |
| 4 | 100 | 0 | 160 | 0 | 125 | 0 | 135 | 0 | 63.5  |
| 4 | 105 | 0 | 165 | 0 | 130 | 0 | 140 | 0 | 61    |
| 4 | 110 | 0 | 170 | 0 | 135 | 0 | 145 | 0 | 48    |
| 4 | 115 | 0 | 175 | 0 | 140 | 0 | 150 | 0 | 49.5  |
| 4 | 120 | 0 | 180 | 0 | 145 | 0 | 155 | 0 | 38.5  |
| 4 | 125 | 0 | 185 | 0 | 150 | 0 | 160 | 0 | 32.5  |
| 4 | 130 | 0 | 190 | 0 | 155 | 0 | 165 | 0 | 29.5  |
| 4 | 135 | 0 | 195 | 0 | 160 | 0 | 170 | 0 | 33.5  |
| 4 | 140 | 0 | 200 | 0 | 165 | 0 | 175 | 0 | 30.5  |
| 4 | 145 | 0 | 205 | 0 | 170 | 0 | 180 | 0 | 27    |
| 4 | 150 | 0 | 210 | 0 | 175 | 0 | 185 | 0 | 26    |
| 4 | 155 | 0 | 215 | 0 | 180 | 0 | 190 | 0 | 27    |
| 4 | 160 | 0 | 220 | 0 | 185 | 0 | 195 | 0 | 26.5  |
| 4 | 165 | 0 | 225 | 0 | 190 | 0 | 200 | 0 | 22.5  |
| 4 | 170 | 0 | 230 | 0 | 195 | 0 | 205 | 0 | 21.5  |
| 4 | 175 | 0 | 235 | 0 | 200 | 0 | 210 | 0 | 31.5  |
| 4 | 180 | 0 | 240 | 0 | 205 | 0 | 215 | 0 | 36    |
| 4 | 185 | 0 | 245 | 0 | 210 | 0 | 220 | 0 | 28.5  |
| 4 | 190 | 0 | 250 | 0 | 215 | 0 | 225 | 0 | 30    |
| 4 | 195 | 0 | 255 | 0 | 220 | 0 | 230 | 0 | 36.5  |
| 4 | 200 | 0 | 260 | 0 | 225 | 0 | 235 | 0 | 40    |
| 4 | 205 | 0 | 265 | 0 | 230 | 0 | 240 | 0 | 40    |
| 4 | 210 | 0 | 270 | 0 | 235 | 0 | 245 | 0 | 41.5  |
| 4 | 215 | 0 | 275 | 0 | 240 | 0 | 250 | 0 | 41.5  |
| 4 | 220 | 0 | 280 | 0 | 245 | 0 | 255 | 0 | 41    |
| 4 | 225 | 0 | 285 | 0 | 250 | 0 | 260 | 0 | 46    |
| 4 | 230 | 0 | 290 | 0 | 255 | 0 | 265 | 0 | 49    |
| 4 | 235 | 0 | 295 | 0 | 260 | 0 | 270 | 0 | 56.5  |
| 4 | 240 | 0 | 300 | 0 | 265 | 0 | 275 | 0 | 56    |
| 4 | 245 | 0 | 305 | 0 | 270 | 0 | 280 | 0 | 70    |
| 4 | 250 | 0 | 310 | 0 | 275 | 0 | 285 | 0 | 82    |
| 4 | 255 | 0 | 315 | 0 | 280 | 0 | 290 | 0 | 124   |
| 4 | 260 | 0 | 320 | 0 | 285 | 0 | 295 | 0 | 75    |
| 4 | 265 | 0 | 325 | 0 | 290 | 0 | 300 | 0 | 84    |
| 4 | 270 | 0 | 330 | 0 | 295 | 0 | 305 | 0 | 94.5  |
| 4 | 275 | 0 | 335 | 0 | 300 | 0 | 310 | 0 | 139   |
| 4 | 280 | 0 | 340 | 0 | 305 | 0 | 315 | 0 | 159.5 |
| 4 | 285 | 0 | 345 | 0 | 310 | 0 | 320 | 0 | 181.5 |
| 4 | 290 | 0 | 350 | 0 | 315 | 0 | 325 | 0 | 134.5 |

|   |     |   |     |   |     |   |     |   |       |       |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-------|-------|
| 4 | 295 | 0 | 355 | 0 | 320 | 0 | 330 | 0 | 83.5  |       |
| 4 | 300 | 0 | 360 | 0 | 325 | 0 | 335 | 0 | 160   |       |
| 4 | 305 | 0 | 365 | 0 | 330 | 0 | 340 | 0 | 169.5 |       |
| 4 | 310 | 0 | 370 | 0 | 335 | 0 | 345 | 0 | 142.5 |       |
| 4 | 315 | 0 | 375 | 0 | 340 | 0 | 350 | 0 | 125.5 |       |
| 4 | 320 | 0 | 380 | 0 | 345 | 0 | 355 | 0 | 175   |       |
| 4 | 325 | 0 | 385 | 0 | 350 | 0 | 360 | 0 | 219.5 |       |
| 4 | 330 | 0 | 390 | 0 | 355 | 0 | 365 | 0 | 189.5 |       |
| 4 | 335 | 0 | 395 | 0 | 360 | 0 | 370 | 0 | 124.5 |       |
| 4 | 340 | 0 | 400 | 0 | 365 | 0 | 375 | 0 | 118   |       |
| 4 | -20 | 0 | 20  | 0 | -5  | 0 | 5   | 0 | 144   | AB=40 |
| 4 | -15 | 0 | 25  | 0 | 0   | 0 | 10  | 0 | 127.5 |       |
| 4 | -10 | 0 | 30  | 0 | 5   | 0 | 15  | 0 | 123.5 |       |
| 4 | -5  | 0 | 35  | 0 | 10  | 0 | 20  | 0 | 123.5 |       |
| 4 | 0   | 0 | 40  | 0 | 15  | 0 | 25  | 0 | 114   |       |
| 4 | 5   | 0 | 45  | 0 | 20  | 0 | 30  | 0 | 121   |       |
| 4 | 10  | 0 | 50  | 0 | 25  | 0 | 35  | 0 | 132   |       |
| 4 | 15  | 0 | 55  | 0 | 30  | 0 | 40  | 0 | 127.5 |       |
| 4 | 20  | 0 | 60  | 0 | 35  | 0 | 45  | 0 | 166.5 |       |
| 4 | 25  | 0 | 65  | 0 | 40  | 0 | 50  | 0 | 108.5 |       |
| 4 | 30  | 0 | 70  | 0 | 45  | 0 | 55  | 0 | 104.5 |       |
| 4 | 35  | 0 | 75  | 0 | 50  | 0 | 60  | 0 | 109   |       |
| 4 | 40  | 0 | 80  | 0 | 55  | 0 | 65  | 0 | 123.5 |       |
| 4 | 45  | 0 | 85  | 0 | 60  | 0 | 70  | 0 | 88    |       |
| 4 | 50  | 0 | 90  | 0 | 65  | 0 | 75  | 0 | 92    |       |
| 4 | 55  | 0 | 95  | 0 | 70  | 0 | 80  | 0 | 88    |       |
| 4 | 60  | 0 | 100 | 0 | 75  | 0 | 85  | 0 | 73    |       |
| 4 | 65  | 0 | 105 | 0 | 80  | 0 | 90  | 0 | 107.5 |       |
| 4 | 70  | 0 | 110 | 0 | 85  | 0 | 95  | 0 | 87    |       |
| 4 | 75  | 0 | 115 | 0 | 90  | 0 | 100 | 0 | 74    |       |
| 4 | 80  | 0 | 120 | 0 | 95  | 0 | 105 | 0 | 144   |       |
| 4 | 85  | 0 | 125 | 0 | 100 | 0 | 110 | 0 | 104.5 |       |
| 4 | 90  | 0 | 130 | 0 | 105 | 0 | 115 | 0 | 92.5  |       |
| 4 | 95  | 0 | 135 | 0 | 110 | 0 | 120 | 0 | 91    |       |
| 4 | 100 | 0 | 140 | 0 | 115 | 0 | 125 | 0 | 93.5  |       |
| 4 | 105 | 0 | 145 | 0 | 120 | 0 | 130 | 0 | 82.5  |       |
| 4 | 110 | 0 | 150 | 0 | 125 | 0 | 135 | 0 | 72.5  |       |
| 4 | 115 | 0 | 155 | 0 | 130 | 0 | 140 | 0 | 58    |       |
| 4 | 120 | 0 | 160 | 0 | 135 | 0 | 145 | 0 | 47    |       |
| 4 | 125 | 0 | 165 | 0 | 140 | 0 | 150 | 0 | 43.5  |       |
| 4 | 130 | 0 | 170 | 0 | 145 | 0 | 155 | 0 | 29.5  |       |
| 4 | 135 | 0 | 175 | 0 | 150 | 0 | 160 | 0 | 23    |       |
| 4 | 140 | 0 | 180 | 0 | 155 | 0 | 165 | 0 | 21.5  |       |
| 4 | 145 | 0 | 185 | 0 | 160 | 0 | 170 | 0 | 25.5  |       |
| 4 | 150 | 0 | 190 | 0 | 165 | 0 | 175 | 0 | 22.5  |       |
| 4 | 155 | 0 | 195 | 0 | 170 | 0 | 180 | 0 | 24    |       |
| 4 | 160 | 0 | 200 | 0 | 175 | 0 | 185 | 0 | 19    |       |
| 4 | 165 | 0 | 205 | 0 | 180 | 0 | 190 | 0 | 25.5  |       |
| 4 | 170 | 0 | 210 | 0 | 185 | 0 | 195 | 0 | 24    |       |
| 4 | 175 | 0 | 215 | 0 | 190 | 0 | 200 | 0 | 19    |       |
| 4 | 180 | 0 | 220 | 0 | 195 | 0 | 205 | 0 | 18.5  |       |
| 4 | 185 | 0 | 225 | 0 | 200 | 0 | 210 | 0 | 29.5  |       |

|   |     |   |     |   |     |   |     |   |       |
|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-------|
| 4 | 190 | 0 | 230 | 0 | 205 | 0 | 215 | 0 | 33.5  |
| 4 | 195 | 0 | 235 | 0 | 210 | 0 | 220 | 0 | 30    |
| 4 | 200 | 0 | 240 | 0 | 215 | 0 | 225 | 0 | 32    |
| 4 | 205 | 0 | 245 | 0 | 220 | 0 | 230 | 0 | 37    |
| 4 | 210 | 0 | 250 | 0 | 225 | 0 | 235 | 0 | 44.5  |
| 4 | 215 | 0 | 255 | 0 | 230 | 0 | 240 | 0 | 37.5  |
| 4 | 220 | 0 | 260 | 0 | 235 | 0 | 245 | 0 | 41.5  |
| 4 | 225 | 0 | 265 | 0 | 240 | 0 | 250 | 0 | 46    |
| 4 | 230 | 0 | 270 | 0 | 245 | 0 | 255 | 0 | 44    |
| 4 | 235 | 0 | 275 | 0 | 250 | 0 | 260 | 0 | 41.5  |
| 4 | 240 | 0 | 280 | 0 | 255 | 0 | 265 | 0 | 53.5  |
| 4 | 245 | 0 | 285 | 0 | 260 | 0 | 270 | 0 | 58.5  |
| 4 | 250 | 0 | 290 | 0 | 265 | 0 | 275 | 0 | 59.5  |
| 4 | 255 | 0 | 295 | 0 | 270 | 0 | 280 | 0 | 75    |
| 4 | 260 | 0 | 300 | 0 | 275 | 0 | 285 | 0 | 92    |
| 4 | 265 | 0 | 305 | 0 | 280 | 0 | 290 | 0 | 74    |
| 4 | 270 | 0 | 310 | 0 | 285 | 0 | 295 | 0 | 91    |
| 4 | 275 | 0 | 315 | 0 | 290 | 0 | 300 | 0 | 100   |
| 4 | 280 | 0 | 320 | 0 | 295 | 0 | 305 | 0 | 110.5 |
| 4 | 285 | 0 | 325 | 0 | 300 | 0 | 310 | 0 | 143   |
| 4 | 290 | 0 | 330 | 0 | 305 | 0 | 315 | 0 | 182   |
| 4 | 295 | 0 | 335 | 0 | 310 | 0 | 320 | 0 | 187   |
| 4 | 300 | 0 | 340 | 0 | 315 | 0 | 325 | 0 | 125   |
| 4 | 305 | 0 | 345 | 0 | 320 | 0 | 330 | 0 | 74.5  |
| 4 | 310 | 0 | 350 | 0 | 325 | 0 | 335 | 0 | 152   |
| 4 | 315 | 0 | 355 | 0 | 330 | 0 | 340 | 0 | 197.5 |
| 4 | 320 | 0 | 360 | 0 | 335 | 0 | 345 | 0 | 140.5 |
| 4 | 325 | 0 | 365 | 0 | 340 | 0 | 350 | 0 | 95    |
| 4 | 330 | 0 | 370 | 0 | 345 | 0 | 355 | 0 | 125.5 |
| 4 | 335 | 0 | 375 | 0 | 350 | 0 | 360 | 0 | 176.5 |
| 4 | 340 | 0 | 380 | 0 | 355 | 0 | 365 | 0 | 166   |
| 4 | 345 | 0 | 385 | 0 | 360 | 0 | 370 | 0 | 108.5 |
| 4 | 350 | 0 | 390 | 0 | 365 | 0 | 375 | 0 | 111   |

topography in separate list

|     |     |
|-----|-----|
| 1   |     |
| 8   |     |
| -50 | 876 |
| 0   | 876 |
| 45  | 874 |
| 95  | 877 |
| 145 | 880 |
| 295 | 880 |
| 370 | 876 |
| 425 | 876 |
| 1   |     |
| 0   |     |
| 0   |     |
| 0   |     |
| 0   |     |

در فایل ورودی پروفیل CRP، ستون دهم میانگین مقاومت ویژه های عقبی و جلویی نیم شلومبرگر متقارن است.



### **Abstract**

A landslide is a geological phenomenon which includes a wide range of ground movements and considerable amount of cracks on the earth's surface which causes total destruction sum of structures such as buildings, roads, tunnels and bridges. Consequently creates serious environment and life-style hazards. Qazvin- Rasht highway is located in 52 Km. off-the-mentioned cities is under construction, but due to passing through unresistant tectonic zone, it created some technical problems. to show executive solution to counter act with landslide and making it stable, it is necessary to recognize extreme of slide mass such as precise depth of slide surface. To approach, we need to undertake two methods; direct and indirect. In direct method, the slide surface under the ground is studied by digging exploratory wells, which are not fairly economical. For these convincing reason, indirect method (surface geophysics) is necessarily required to obtain information about the slide surface of the possible slopes. in this project, Electrical resistivity method has been utilized due to its being low-cost method, to gain basic assessment of landslide. by mapping the area, the exact locations were marked for exploratory wells. To pursue mentioned aims, I cooperate with zamin physics consulting company to gathering the data. First obtained data qualitatively were assessed then to measure the precise thickness of layers and their resistivity, we processed the data through two ditional inverse modeling.