



وزارت صنعت، معدن و تجارت  
سازمان زمین شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور  
Ministry of Industry, Mine and Trade  
Geological Survey of Iran

معاونت اکتشاف

مدیریت اکتشافات ناحیه‌ای

گروه ژئوفیزیک زمینی

مطالعات ژئوالکتریک جهت تدقیق گسل‌های مدفون در محدوده بوستان‌های

جوانمردان و یاس فاطمی واقع در مناطق ۴ و ۵ شهر تهران

حسین ایرانشاهی

سپیده صمیمی نمین

محمد فولادی

سال تهیه

۱۴۰۱



وزارت صنعت، معدن و تجارت  
سازمان زمین شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور  
Ministry of Industry, Mine and Trade  
Geological Survey of Iran

معاونت اکتشاف

مدیریت اکتشافات ناحیه ای

گروه ژئوفیزیک زمینی

مطالعات ژئوالکتریک جهت تدقیق گسل های مدفون در محدوده بوستان های

جوانمردان و یاس فاطمی واقع در مناطق ۴ و ۵ شهر تهران

حسین ایرانشاهی

سپیده صمیمی نمین

محمد فولادی

سال چاپ

۱۴۰۲



گزارش حاضر طبق کد ۱۴۰۲/۲۵ گک ۳۱۲۳-۳۳۰۰-۱۴۰۰ از شورای ارزیابی انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور مجوز انتشار گرفته است.

کشور  
سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی



## فهرست مطالب

فصل اول .....	۶
کلیات .....	۶
مقدمه .....	۶
۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده های مورد مطالعه .....	۷
۱-۱-۱- بوستان جوانمردان .....	۷
۱-۱-۲- بوستان یاس فاطمی .....	۹
۲-۱- زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ محدوده های مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهران و شرق تهران) .....	۱۱
فصل دوم .....	۱۵
تئوری روشهای ژئوالکتریکی .....	۱۵
۱-۲- مقاومت ویژه الکتریکی .....	۱۵
۲-۲- روشهای اندازگیری داده های مقاومت ویژه .....	۱۹
۱-۲-۲- سونداژ قائم الکتریکی (VES) .....	۱۹
۲-۲-۲- آرایش های الکترودی مورد استفاده در محدوده های مورد مطالعه .....	۲۰
۱-۲-۲-۲- آرایش شلومبرژه .....	۲۰
۲-۲-۲-۲- آرایش دوقطبی - دوقطبی .....	۲۱
فصل سوم .....	۲۳
تجهیزات مورد استفاده و نحوه پیمایش .....	۲۳
۱-۳- تجهیزات روش الکتریکی .....	۲۳
۲-۳- برداشت داده ها و نحوه پیمایش .....	۲۵
۱-۲-۳- بوستان جوانمردان .....	۲۶
۲-۲-۳- بوستان یاس فاطمی .....	۲۸
۳-۳- نحوه پردازش و مدل سازی داده های مقاومت ویژه .....	۳۰
فصل چهارم .....	۳۱
بررسی نتایج .....	۳۱
۱-۴- برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی بوستان جوانمردان .....	۳۱
۱-۱-۴- پروفیل P1-J .....	۳۱
۲-۱-۴- پروفیل P2-J .....	۳۶



۴۰	۲-۴- برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی بوستان یاس فاطمی .....
۴۰	۱-۲-۴- پروفیل <i>PI-Y</i> .....
۴۴	۲-۲-۴- پروفیل <i>P2-Y</i> .....
۴۸	۳-۲-۴- سونداژ الکتریکی <i>PI-Y</i> .....
۵۰	۳-۴- نمایش سه بعدی داده ها .....
۵۳	فصل پنجم .....
۵۳	نتیجه گیری و پیشنهادات .....
۵۵	تشکر و قدردانی .....
۵۶	فهرست منابع .....

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

## فصل اول

### کلیات

#### مقدمه

به درخواست مدیریت محترم مخاطرات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مطالعات ژئوفیزیک جهت تدقیق گسل های مدفون در شهر تهران در دو محدوده ی بوستان جوانمردان و بوستان یاس فاطمی صورت پذیرفت.

بدین منظور در اسفند ماه سال ۱۴۰۰ در یک مأموریت ۱۵ روزه، اکیپ ژئوفیزیک متشکل از مهندس حسین ایرانشاهی، مهندس سپیده صمیمی نمین به عنوان سرپرست و دکتر محمد فولادی، مهندس مهدی چاکری و مهندس فرناز برنا به عنوان کارشناس و همچنین مهندس فیروز جعفری رئیس گروه ژئوفیزیک به عنوان ناظر، جهت انجام برداشت های ژئوفیزیک در منطقه حضور داشتند. در این مطالعه جمعا ۱۵۴۹۳ ایستگاه با روش ژئوالکتریک در ۴ پروفیل مقاومت ویژه الکتریکی با آرایش دوقطبی - دوقطبی با فاصله الکترودی ۵ متر طراحی گردید. دو پروفیل به طول های ۲۳۵ و ۴۷۵ متر در بوستان جوانمردان همچنین دو پروفیل دیگر به طول های ۹۵۵ و ۵۵۵ متر در بوستان یاس فاطمی برداشت گردید. موقعیت این پروفیل ها، با توجه به محدودیت های مکانی موجود (از قبیل ساختمانها، فضای سنگ فرشی داخل بوستان ها، پوشش درختان و غیره) و همچنین اولویت های اصلی گروه مخاطرات، طراحی و اجرا گردیده اند.

همچنین یک سونداژ الکتریکی با استفاده از آرایش شلومبرژه با بیشینه فواصل الکترودی جریان ۱۰۰۰ متر در بوستان یاس فاطمی با درخواست کارشناس گروه مخاطرات جهت تعیین ضخامت آبرفت بر روی یکی از پروفیل ها برداشت شد.

## ۱-۱- موقیعت جغرافیایی و راههای دسترسی به محدوده های مورد مطالعه

از نظر موقیعت جغرافیایی هر دو محدوده در استان تهران واقع شده‌اند که موقیعت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به هر دو محدوده به طور مختصر در ذیل آمده است.

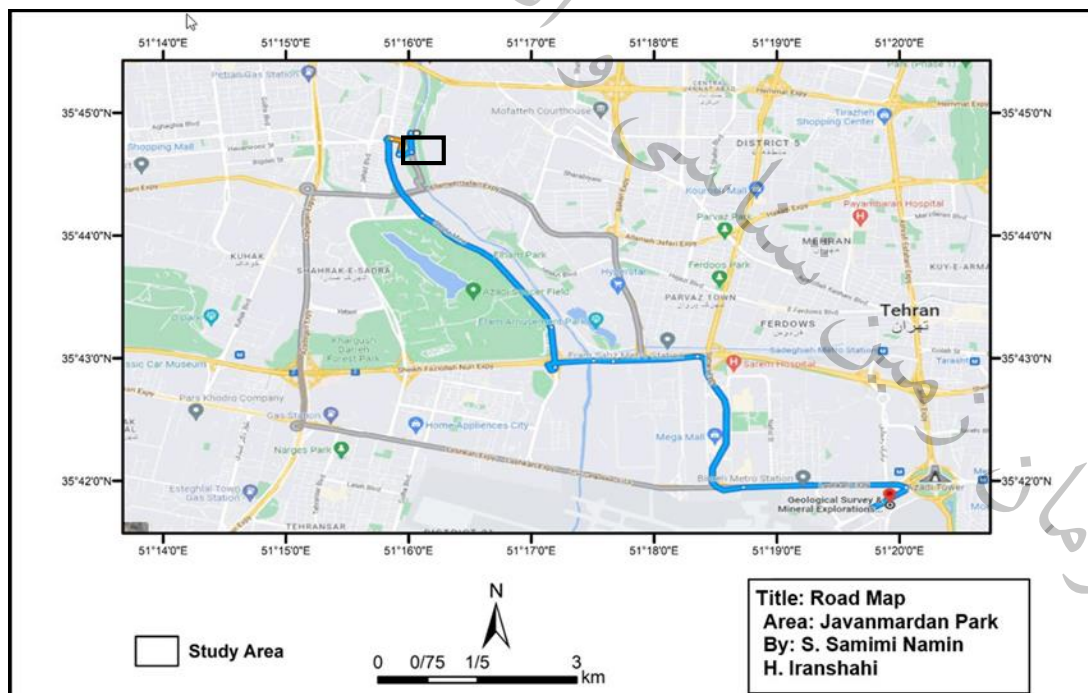
### ۱-۱-۱- بوستان جوانمردان

بوستان جوانمردان از سال ۹۱ تا به حال به یکی از تفرجگاه‌های محبوب در غرب پایتخت تبدیل شده است. بوستان جوانمردان با وسعت ۱۵۰ هکتار و فضاهای سرسبزی که دارد محل مناسبی برای گذران اوقات فراغت و تفریح و گردش جوانان و خانواده‌ها محسوب می‌شود. نکته جالب درباره این بوستان گذر رود کن از میانه آن است که بوستان را به دو بخش غربی و شرقی تقسیم می‌کند. بخش غربی بوستان به منطقه ۲۲ و بخش شرقی آن به منطقه ۵ مربوط است و ارتباط میان دو بخش نیز از طریق پلی برقرار می‌شود (شکل ۱-۱).

دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه از مبدا سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور واقع در میدان آزادی تهران بدین صورت می‌باشد. پس از ورود به اتوبان لشکری و پس از طی کردن ۴ کیلومتر به سمت غرب، وارد بلوار استادبوم آزادی شده، سپس پس از طی طریق حدود ۶ کیلومتر از خروجی سمت راست به بوستان جوانمردان میرسیم. به ترتیب شکل‌های شماره ۱-۲ و ۱-۳ موقیعت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه را در تصویر هوایی نشان می‌دهند.

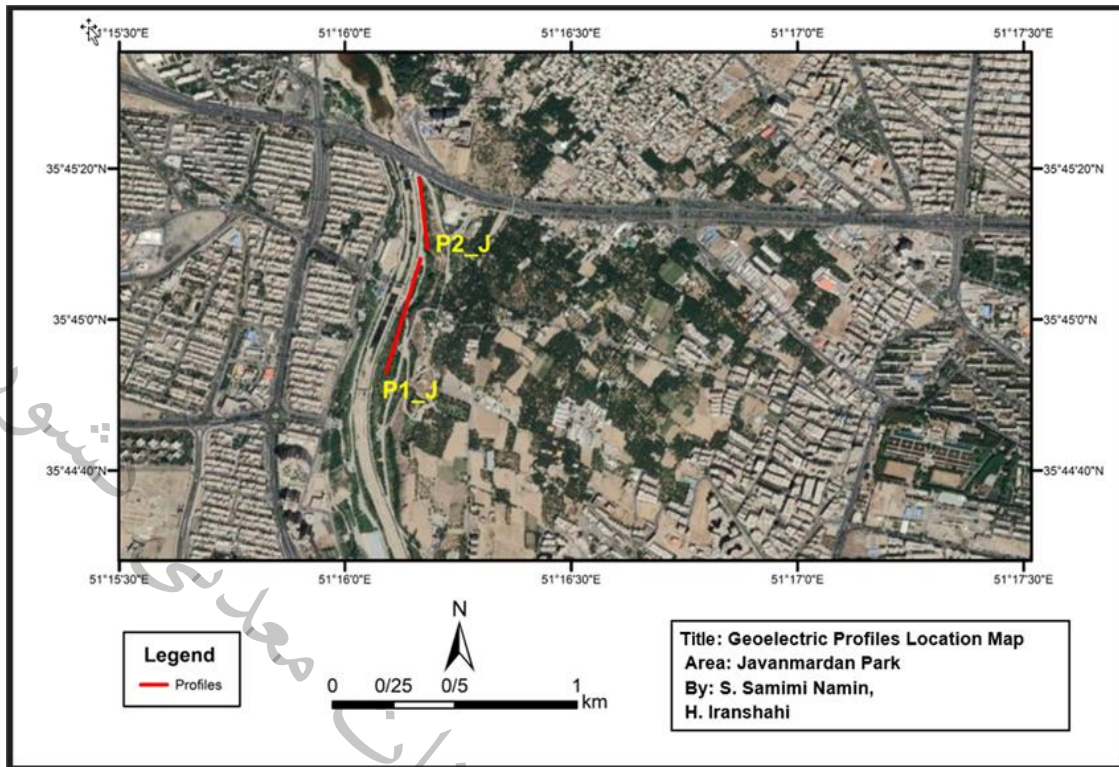


شکل ۱-۱: تصویر بوستان جوانمردان (دید شرق به غرب)



شکل ۱-۲: راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه، واقع در بوستان جوانمردان





شکل ۱-۳: موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیک بر روی عکس هوایی در محدوده‌ی بوستان جوانمردان (برگرفته از نرم افزار Google Earth)

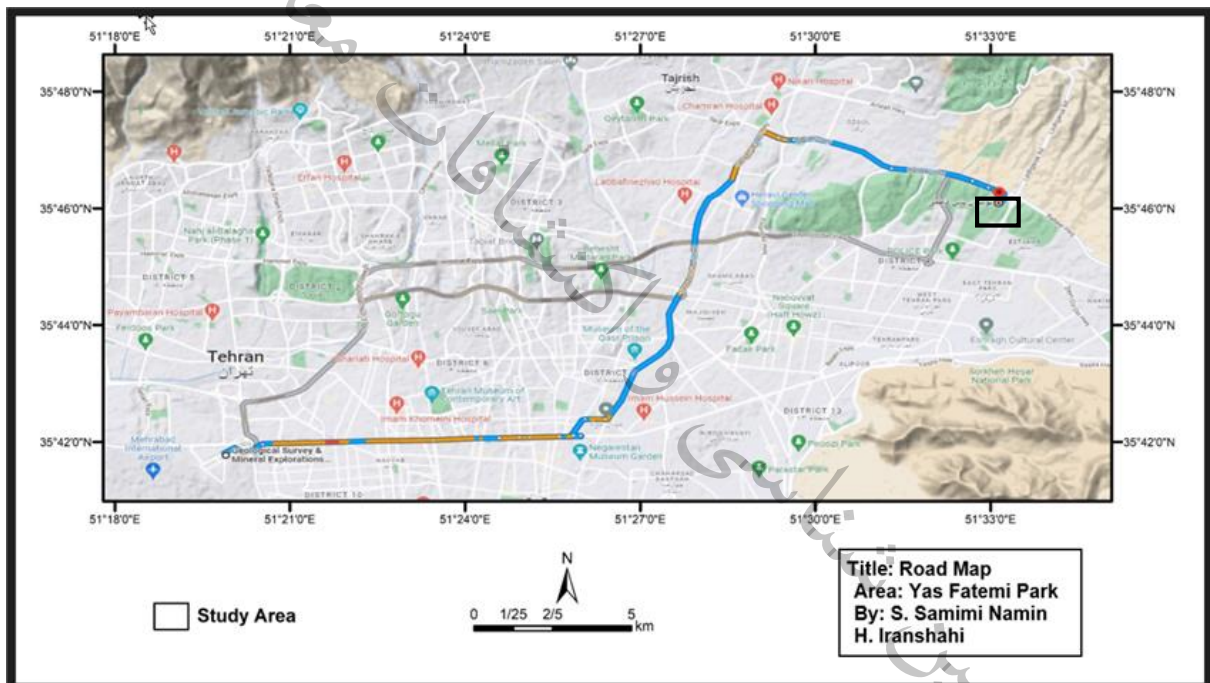
### ۱-۲- بوستان یاس فاطمی

بوستان یاس فاطمی بزرگ‌ترین بوستان جنگلی در تهران می‌باشد. این بوستان از دو فاز تشکیل شده است که این دو فاز، کمی با هم متفاوت هستند. فاز شمالی این بوستان در منطقه ۱ شهر تهران و فاز دوم آن در منطقه ۴ قرار دارد. موقعیت مکانی دقیق این بوستان در شمال شرقی تهران و در مجاورت اتوبان شهید بابایی می‌باشد (شکل ۱-۴).

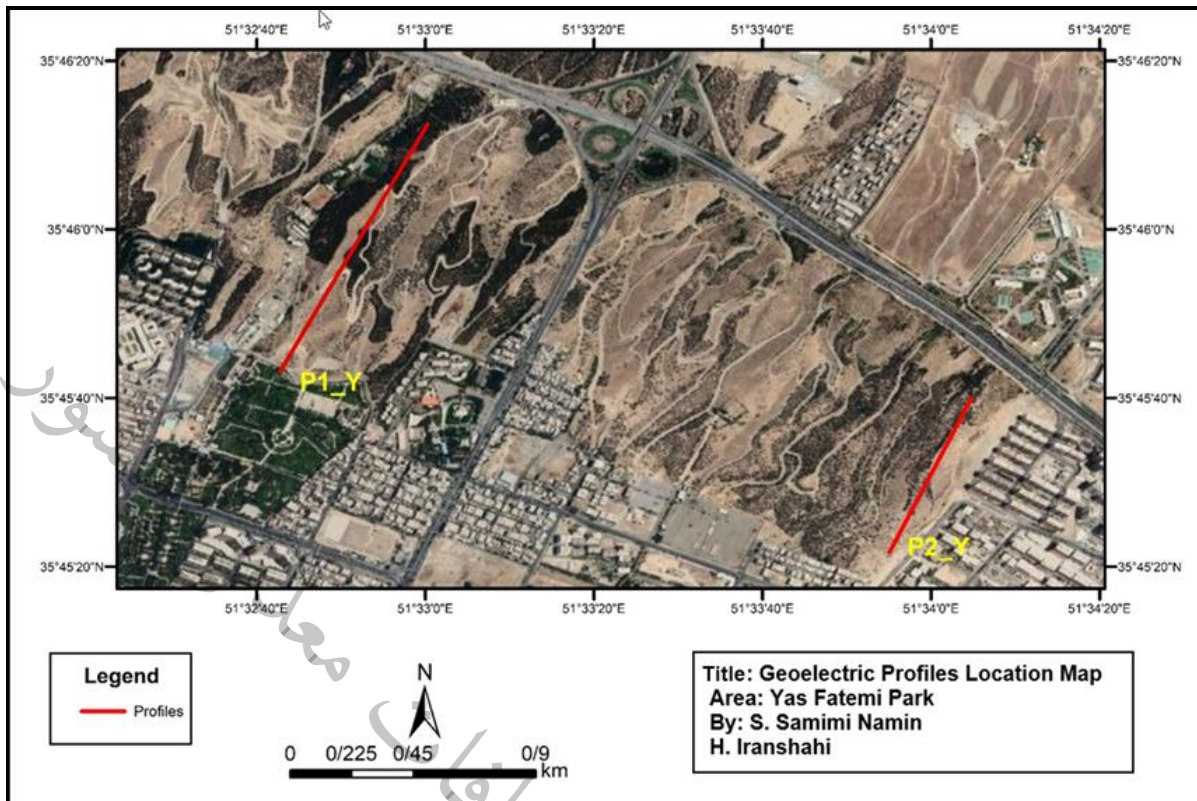
دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه از مبدا سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور واقع در میدان آزادی تهران در ادامه ذکر شده است. پس از ورود به بزرگراه یادگار و سپس ورود به بزرگراه همت شرق و پس از طی طریق حدوداً ۱۹ کیلومتر از خروجی اتوبان بابایی وارد بلوار استخر شده و در آخر به محدوده‌ی مورد مطالعه می‌رسیم. به ترتیب شکل ۱-۵ و شکل ۱-۶ موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه را در تصویر هوایی نشان می‌دهند.



شکل ۱-۴: تصویر بوستان یاس فاطمی (دید جنوب به شمال)



شکل ۱-۵: راه دسترسی به محدوده‌ی مورد مطالعه، واقع در بوستان یاس فاطمی



شکل ۱-۶: موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیک بر روی عکس هوایی در محدوده‌ی بوستان یاس فاطمی (برگرفته از نرم افزار GoogleEarth)

۱-۲- زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ محدوده‌های مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهران<sup>۱</sup> و شرق تهران<sup>۲</sup>)

ناحیه مورد بررسی در محدوده طول جغرافیایی  $30^{\circ} 30'$  تا  $36^{\circ}$  و عرض جغرافیایی  $51^{\circ}$  تا  $30^{\circ} 51'$  قرار دارد و بخشی از رشته کوه البرز مرکزی و دشت تهران را دربرمی گیرد. شهر تهران، در جنوب شرقی محدوده قرار گرفته و بزرگترین منطقه مسکونی کشور را تشکیل می‌دهد. قسمتی از شهرستان کرج در باختر ناحیه واقع می‌گردد.

قسمتی از رشته کوه البرز بخش کوهستانی را در قسمت شمالی برگه تشکیل داده است. بلندترین نقطه آن قله توچال با ارتفاع ۳۹۵۷ متر از سطح دریا است که در شمال تهران قرار دارد.

<sup>۱</sup> - توسط بهروز امینی ۱۳۸۰

<sup>۲</sup> - تلفیق توسط فرهاد وحدتی دانشمند ۱۳۷۶

برگه تهران به دو محدوده اصلی البرز مرکزی و ایران مرکزی تقسیم می گردد. محدوده البرز مرکزی خود به سه زیر محدوده (محدوده ی کوچکتر) به نام های کرج- سولقان، توچال و میگون قابل تقسیم است. محدوده ایران مرکزی که در بخش جنوبی ناحیه قرار دارد بیشتر شامل نهشته های کواترنری و برونزدهایی از سازندهای کهن تر (در کوه بی بی شهربانو) و سنگهای آتشفشانی ائوسن (در قسمت جنوبی برگه است).

## واحد PI-Q

(سازند هزاردره) با آبرفت های بخش A از تقسیمات رین (Rieben, 1955, 1966) معادل است. این واحد در قسمتهای شمالی تهران، شمال محدوده البرز مرکزی و همچنین در جنوب غربی محدوده برونزد دارد و شامل کنگلومرای همگن همراه با میانلایه هایی از ماسه سنگ و رس است. کنگلومرای این واحد سیمان نسبتاً خوبی دارد و طبقه بندی مشخص نشان می دهند. قطعات بیشتر شامل سنگهایی از سازند کرج و به مقدار کم از سنگهای قدیمی پالئوزوئیک و مزوزوئیک است. رنگ آنها خاکستری مایل به کرم بوده و ضخامتی بیش از ۱۰۰۰ متر دارد. لایه ها اغلب شیب دار بوده و شیب آنها در بعضی موارد به ۸۰ درجه می رسد. بر اثر فعالیت سیلابهایی که از ارتفاعات البرز به سمت جنوب و جنوب غربی جاری شده، تشکیل یافته است. با توجه به بررسی های بربریان، قریشی و همکاران (۱۳۶۴) در زمان رسوبگذاری واحد یاد شده، کوههای البرز در حال بالا آمدن و فرسایش بوده است و سن آن پلیوسن جوان تا پله ایستوسن گزارش شده است. نیروهای وارده به رسوب های این سازند در راستای شمالی - جنوبی و یا شمال شرقی - جنوب غربی باعث چین خوردگی و گسلش آنها گردیده است و پس از فرسایش، رسوبات شمال تهران (واحد Rieben Bn) با دگرشیبی آن را پوشانده است.

## واحد Q

مربوط به پادگانه ها و مخروط افکنه های کنگلومرایی می باشد.

## واحد Q<sup>1</sup>

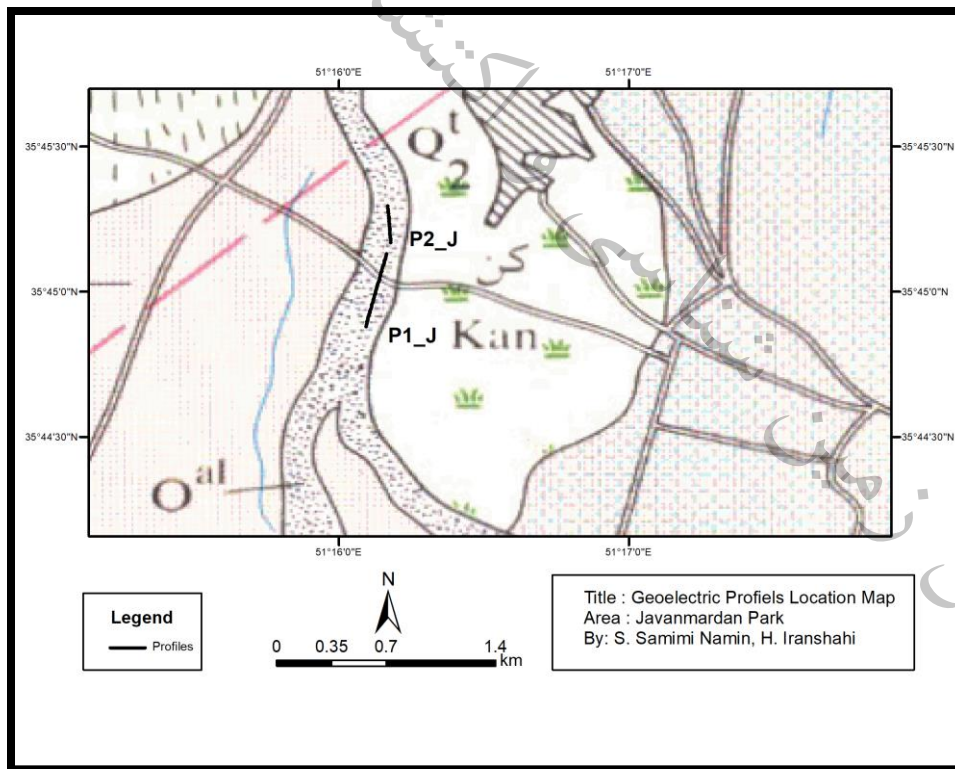
مربوط به مخروط افکنه ها و پادگانه های آبرفتی قدیم منجمله سازند کهریزک (واحد B) می باشد.

## واحدهای $Q^f$ ، $Q_2^t$

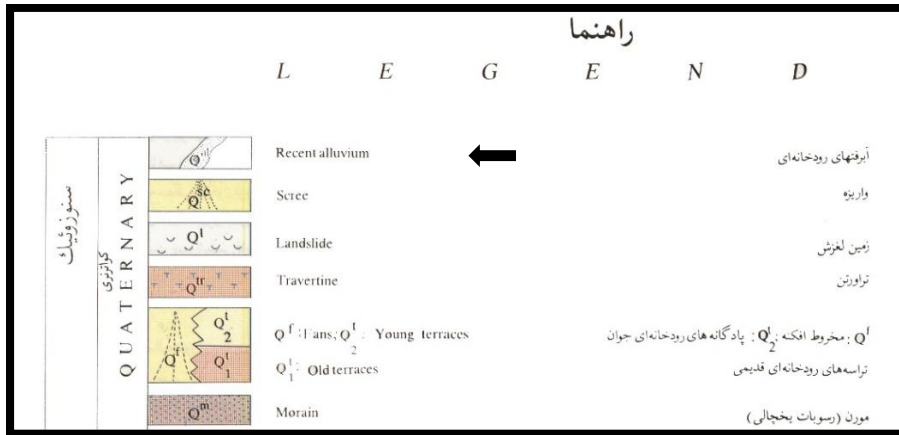
شامل رسوب‌های آبرفتی پادگانه‌های رودخانه و مخروط افکنه پای کوهها است. آنها در محدوده البرز و دشت تهران (محدوده ایران مرکزی) گسترش فراوانی نشان می‌دهد. براساس تقسیمات (Rieben, 1955, 1966) شامل آبرفت‌های ناهمگن شمال تهران (آبرفت‌های واحد Bn)، سیلت‌های رسی کهریزک (آبرفت‌های واحد Bs) و سازند آبرفتی تهران (آبرفت‌های واحد) هستند. شیب لایه‌های آبرفتی کمتر از ۱۵ درجه بوده و بطور دگرشیب بر روی کنگلومرا و ماسه سنگ سازند هزاردره و یا واحدهای قدیمی تر قرار گرفته است. عده‌ای از گسل‌های کاری، این نهشته‌ها را مورد تاثیر قرار داده اند.

## واحد $Q^{al}$

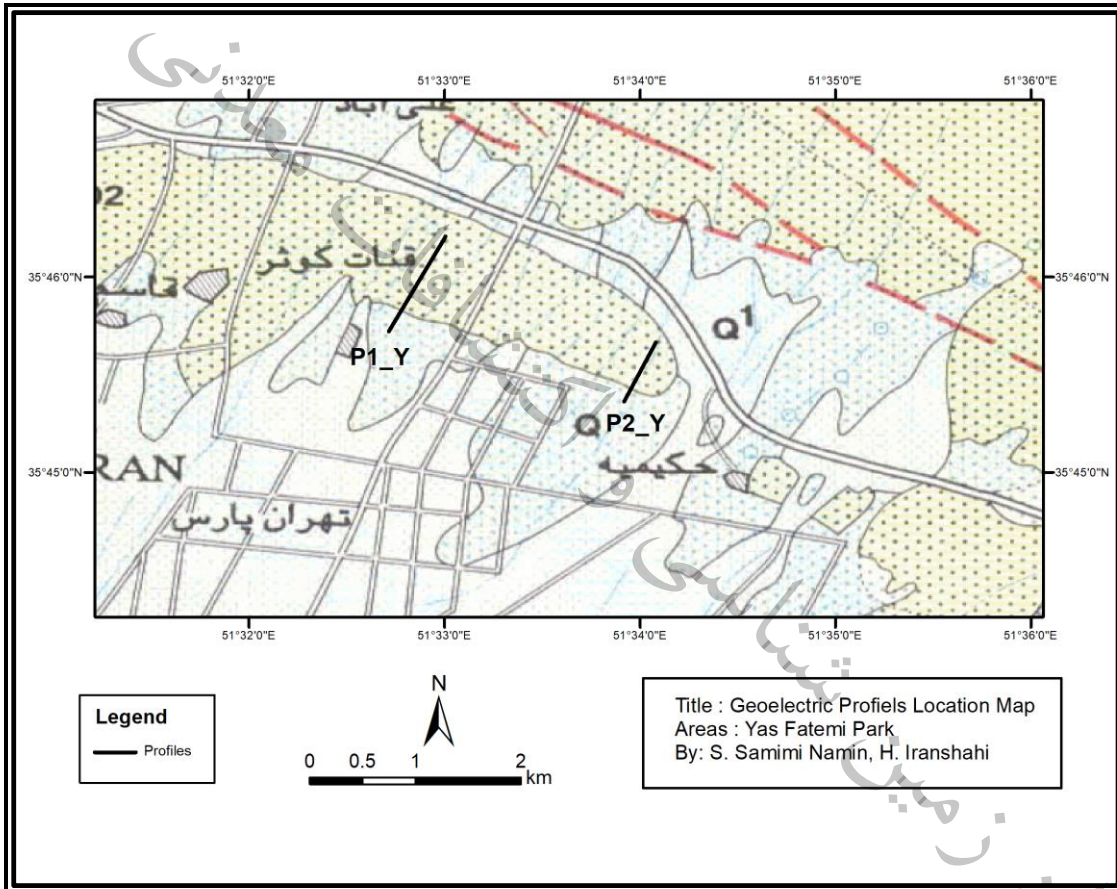
رسوبات آبرفتی جوان را که اغلب در بستر رودخانه قرار دارند شامل می‌گردد.



شکل ۱-۷: نمایش پروفیل‌های برداشت شده بر روی نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار تهران در محدوده‌ی بوستان جوانمردان (بهرز امینی ۱۳۸۰)



شکل ۸-۱: راهنمای نقشه زمین شناسی یکصد هزار تهران در محدوده‌ی مورد مطالعه (بهروز امینی)



شکل ۹-۱: نمایش پروفیل‌های برداشت شده بر روی نقشه زمین شناسی یکصد هزار شرق تهران در محدوده‌ی بوستان یاس فاطمی (تلفیق: توسط وحدتی دانشمند ۱۳۷۶)



شکل ۱۰-۱: راهنمای نقشه زمین شناسی یکصد هزار شرق تهران در محدوده‌ی مورد مطالعه (تلفیق توسط وحدتی دانشمند)

## فصل دوم

### تئوری روشهای ژئوالکتریکی

در این فصل تئوری روشهای ژئوالکتریکی مورد استفاده در این مطالعه به اختصار آورده می شود.

#### ۲-۱- مقاومت ویژه الکتریکی

در کاوش های الکتریکی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین آشکارسازی می شوند. در مقایسه با دیگر روش های ژئوفیزیک نظیر گرانی سنجی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آنها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی هنجار مورد استفاده قرار می گیرد، روش های الکتریکی از تنوع بیشتری نسبت به دیگر روش های ژئوفیزیک برخوردارند. هدف اصلی عمده روش های الکتریکی، اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش ها، برای اینکه یک ویژگی زیرسطحی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به طور بارزی متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روش های الکتریکی، به حالت هایی که یک تباین مقاومت ویژه وجود داشته باشد، محدود می شود. در این روش ها، ویژگی های زمین شناسی، آب های زیرزمینی و سایر خصوصیات موجود، به طور مستقیم اندازه گیری نمی شود. بلکه برای تفسیر مناسب داده های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی می باشد.

روش مقاومت ویژه الکتریکی که از جمله روش های شناخته شده ژئوالکتریک است، به طور مؤثری برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی انواع آلودگی های آب های زیرزمینی، آشکارسازی محل حفره های زیرسطحی، گسل ها و مناطق خردشده، در مسائل مهندسی و همچنین بقایای ساختارهای مدفون در بررسی های باستان شناسی و کاربردهای متنوع دیگر، مورد استفاده قرار می گیرند. هدف از برداشت های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه گیری های سطحی می باشد. از این اندازه گیری ها، مقاومت ویژه واقعی توده های زیرسطحی قابل تخمین است.

در اندازه گیری های مقاومت ویژه با تزریق جریان به درون زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه گیری اختلاف ولتاژ حاصل میان دو الکتروود پتانسیل، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی قابل تخمین است. در شکل ۱-۲ که یک آرایش چهار الکتروودی را نشان می دهد. الکتروودهای  $A$  و  $B$  الکتروودهای جریان و الکتروودهای  $M$  و  $N$  الکتروودهای پتانسیل می باشند. معادله (۱-۲) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایش الکتروودی است.

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

در این رابطه،  $I$  شدت جریان ارسالی (برحسب آمپر)،  $\Delta V$  اختلاف پتانسیل قرائت شده (برحسب ولت) و  $\rho_a$  مقدار مقاومت ویژه ظاهری (برحسب اهم متر) می باشد. در صورتی که اگر زمین غیرهمگن باشد (که معمولاً چنین است) و فواصل الکتروودی تغییر کنند و یا فواصل ثابت بوده در حالی که مجموعه آرایش تغییر مکان یابد، مقاومت ویژه کلاً تغییر خواهد یافت. نتیجه این است که در هر اندازه گیری مقدار متفاوتی از مقاومت ویژه ظاهری حاصل می شود. واضح است که بزرگی این مقدار با آرایش الکتروودها ارتباط نزدیک دارد. اگر چه این مقاومت ویژه ظاهری تا حدودی مشخص کننده مقاومت ویژه واقعی منطقه ای در نزدیکی مجموعه الکتروودها است، ولی قطعاً یک مقدار مطلق نخواهد بود.

<sup>1</sup> Apparent resistivity



## ۲-۱-۱- مقاومت ویژه ساختارهای زیر سطحی

برداشت‌های مقاومت ویژه، تصاویری از تغییرات مقاومت ویژه ساختارهای زیر سطحی در اختیار قرار می‌دهند. برای تبدیل این تصاویر به تصاویر زمین‌شناسی، اطلاعاتی در خصوص مقادیر مقاومت ویژه انواع ساختارهای زیر سطحی و همچنین زمین‌شناسی محیط تحت بررسی حائز اهمیت است. مقاومت ویژه برخی از مواد، سنگ‌ها، کانی‌ها و محیط‌های معمول زمین‌شناسی در جدول ۲-۱ آورده شده است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با کمیت‌های فیزیکی که در دیگر روش‌های ژئوفیزیک محاسبه می‌شوند بسیار بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف از  $10^{-8} \Omega m$  تا  $10^{16} \Omega m$  برای نقره خالص تا برای گوگرد خالص متغیر است. سنگ‌های دگرگون و آذرین نوعاً دارای مقادیر با مقاومت ویژه بالا هستند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها اساساً وابسته به درجه شکستگی و درصد پرشدگی آنها از آب‌های زیر سطحی است.

سنگ‌های رسوبی به علت تخلخل و به واسطه آن محتوی آب بیشتر، معمولاً دارای مقاومت ویژه پایین می‌باشند. خاک‌های مرطوب و آب‌های زیرزمینی شیرین، دارای مقاومت ویژه پایینی هستند. خاک‌های رسی از انواع ماسه‌ای آن دارای مقاومت ویژه پایین تری می‌باشند. مقدار مقاومت ویژه آب دریا که برابر مقدار پایین  $0.2$  اهم-متر است، ناشی از میزان بالای نمک‌های محلول آن است.

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

- حجم خلل و فرج موجود در سنگ و میزان شکستگی‌ها
- وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر
- حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب باشد
- قابلیت هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ

- جنس کانی های تشکیل دهنده سنگ

بنابراین مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه بستگی به وضعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه دارد. به

عبارت دیگر تفکیک لایه ها بر حسب جنس آنها از نظر زمین شناسی تنها با بدست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی

آنها میسر نمی باشد و مقاومت ویژه الکتریکی رسوبات، سازندها و واحدهای زمین شناسی موجود در هر منطقه باید

به طور جداگانه تعیین شود.

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

مقاومت ویژه (اهم متر)	مواد معمول زمین شناسی
۵۰۰ - > ۱۰۰۰	آهک های آسماری
۲۰۰ - ۵۰۰	آهک های کرتاسه
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	ماسه سنگ کوارتزیت
۲۰ - ۱۰۰	خاکستر (برش) آتشفشانی
۱۰ - ۱۰۰	آب زیرزمینی
۰/۲	آب دریا
۵۰ - ۵۰۰۰	سنگ آهک
۲۰ - ۲۰۰۰	شیل
۱ - ۱۰۰	رس
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	آبرفت های دانه درشت و کنگلومرا
۱۰۰ - ۳۰۰	آبرفت های دانه متوسط
۵۰ - ۱۰۰	آبرفت های دانه ریز
۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	شن و ماسه خشک
۵۰ - ۵۰۰	شن و ماسه اشباع از آب شیرین
۰/۵ - ۵	شن و ماسه اشباع از آب شور

## ۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه

داده‌های مقاومت ویژه به صورت یک بعدی، دو بعدی و همچنین سه بعدی اکتساب می‌شوند. یک عملیات یا برداشت ژئوالکتریک به یکی از دو روش سونداژزنی قائم الکتریکی (VES) و یا پروفیل‌زنی انجام می‌شود. در روش سونداژزنی، تغییرات عمقی یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما در روش پروفیل‌زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه مواد زیرسطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شود. در روش پروفیل‌زنی، آرایش مورد استفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می‌ماند و الکترودها در طول خط پروفیل جابه‌جا می‌شوند. در مواقعی که تغییرات مقاومت ویژه در طول پروفیل مورد بررسی هم به صورت جانبی و هم به صورت عمقی وجود دارد، داده‌ها به صورت دو یا سه بعدی (تلفیقی از سونداژزنی و پروفیل‌زنی) برداشت می‌شوند.

### ۲-۲-۱- سونداژ قائم الکتریکی (VES)

در سونداژهای ژئوالکتریک، تغییرات عمقی مقاومت ویژه و لایه‌بندی‌های موجود، با استفاده از آرایش‌هایی که فاصله میان بعضی از الکترودها و یا همه آنها به طور متقارن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شوند. مقادیر مقاومت ویژه با توجه به فاصله و بر روی نمودارهای لگاریتمی (هر دو محور لگاریتمی) رسم می‌شوند. سونداژزنی ژئوالکتریک تنها در مواقعی که فصل مشترک لایه‌ها افقی باشد به خوبی جواب می‌دهد. در روش سونداژ الکتریکی موقعیت مرکز آرایش ثابت مانده و در هر مرحله، بسته به نوع آرایش، الکترودها نسبت به محل مرکز آرایش جابه‌جا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می‌گیرند. با انجام این عمل، جریان به اعماق پایین‌تر نفوذ کرده و می‌توان اطلاعاتی از لایه‌های در اعماق پایین‌تر به دست آورد.

<sup>1</sup> Vertical electric sounding

<sup>2</sup> Profiling

## ۲-۲-۲- آرایش های الکترودی مورد استفاده در محدوده های مورد مطالعه

برای اندازه گیری های داده های مقاومت ویژه آرایش های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهم ترین آرایش هایی که در روش مقاومت ویژه بکار برده می شوند، می توان به آرایش های ونر، شلومبرژه، دو قطبی - دو قطبی، دو قطبی، دو قطبی - دو قطبی و گرادیان اشاره کرد. پرکاربردترین این آرایش ها، آرایش ونر، شلومبرژه و دو قطبی - دو قطبی می باشند. آرایش ونر در پروفیل زنی، آرایش شلومبرژه در سونداژ زنی و آرایش دو قطبی - دو قطبی در تهیه شبه مقاطع و برداشت های  $IP$  محبوبیت زیادی پیدا کرده اند.

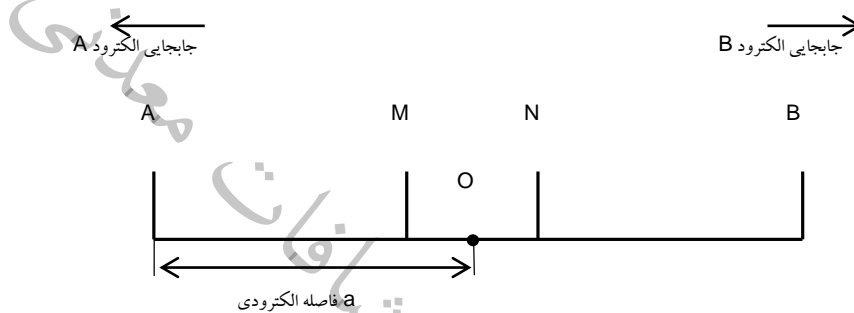
همانطور که ذکر شد، در این مطالعه از آرایش های دو قطبی - دو قطبی و شلومبرژه استفاده شده است که در ادامه شرحی از آنها به اختصار آورده می شود:

### ۲-۲-۲-۱- آرایش شلومبرژه

آرایش شلومبرژه یکی از پرکاربردترین آرایش ها جهت برداشتهای پایداری ویژه و اکتشافات الکتریکی و از آرایش های مورد استفاده در سونداژ زنی قائم (VES) می باشد. در این آرایش بطور معمول الکترودهای پتانسیل به فاصله کم از یکدیگر و بین الکترودهای جریان قرار می گیرند. الکترودهای جریان و الکترودهای پتانسیل روی یک خط بصورت متقارن نسبت به مرکز (نقطه O) قرار می گیرند که داده اندازه گیری شده به زیر این نقطه مرکزی نسبت داده می شود.

در این آرایش فاصله الکترودهای جریان همیشه مساوی یا بزرگتر از ۵ برابر الکترودهای پتانسیل است ( $AB \geq 5MN$ ) و نصف فاصله  $AB$  (OA) را برابر  $a$  در نظر می گیرند که به آن فاصله الکترودی می گویند (شکل ۲-۲). پس از انجام اندازه گیری های صحرائی و محاسبه  $\rho$  از رابطه  $K.V/I$  می توان نمودار تغییرات مقاومت

در مقابل زیاد شدن فاصله الکترودهای جریان یعنی افزایش عمق را رسم کرد. برای اینکار از کاغذهای مخصوص لگاریتمی استفاده می‌شود، بدین ترتیب که مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده روی محور قائم و فاصله  $OA=AB/2$  را روی محور افقی در نظر گرفته و منحنی سونداژ الکتریکی ترسیم می‌گردد که تغییرات این منحنی نشان دهنده تغییرات مقاومت در عمق‌های مختلف می‌باشد. ترتیب قرارگیری الکترودها در شکل زیر نشان داده شده است.



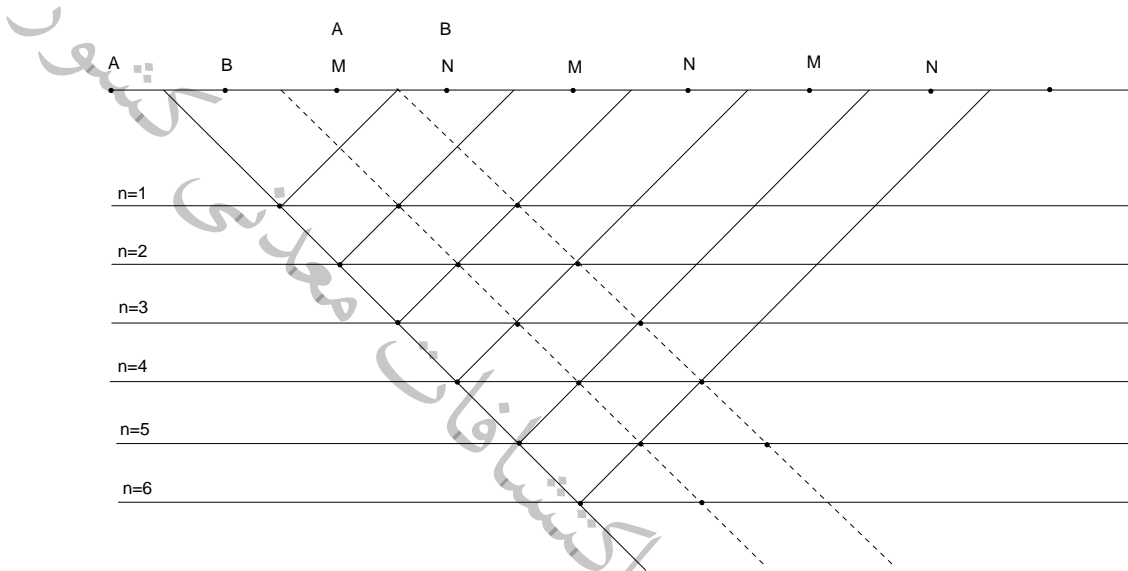
شکل ۲-۱- آرایش شلومبرژه

دستگاه‌های پیمایش مقاومت‌سنجی جهت اندازه‌گیری مقاومت زمین یعنی نسبت  $V/I$  طراحی شده‌اند. این دستگاه‌ها باید قادر به قرائت مقاومت‌های بسیار کم که معمولاً در پیمایش مقاومت‌سنجی با آن مواجه می‌شویم، باشند.

## ۲-۲-۲-۲- آرایش دوقطبی - دوقطبی

در این نوع آرایش هر چهار الکترودها  $A, B, M, N$  در امتداد یک پروفیل قرار داشته و عملاً فاصله الکترودهای فرستنده مساوی فاصله الکترودهای گیرنده و برابر مقدار ثابت  $a$  می‌باشد ( $AB=MN=a$ ). در هر اندازه‌گیری الکترودهای  $AB$  ثابت بوده و الکترودهای  $MN$  در امتداد پروفیل حرکت می‌کنند. فاصله بین نزدیکترین الکترودهای جریان و پتانسیل برابر  $na$  می‌باشد ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) و عمق هر اندازه‌گیری برابر  $(n+1)a/2$  خواهد بود. عدد اندازه‌گیری شده به نقطه ای در محل تلاقی دو خط با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح زمین که از وسط

$AB, MN$  رسم شده، نسبت داده می شود. به این ترتیب از مجموع نقاط اندازه گیری شده با این روش شبه مقطعی از مقاومت ویژه ظاهری در امتداد یک پروفیل بدست خواهد آمد (شکل ۲-۲). لازم به توضیح است که عمق به دست آمده از این روش عمق واقعی نبوده و برای دستیابی به اعماق واقعی تر روش های مختلف مدلسازی استفاده می شود.



شکل ۲-۲- آرایش دوقطبی - دوقطبی

## فصل سوم

### تجهیزات مورد استفاده و نحوه پیمایش

#### ۳-۱- تجهیزات روش الکتریکی

جهت انجام برداشت‌های مقاومت ویژه در مناطق مورد مطالعه با برداشت داده‌ها با آرایش دوقطبی-دوقطبی از دستگاه *ARES* ساخت شرکت *GF Instruments* کشور جمهوری چک و برای آرایش شلومبرژه از دستگاه *TERRAMETER SAS 300* ساخت شرکت *ABEM* کشور سوئد استفاده شده است.

**دستگاه *ARES*:** بیشینه جریان و ولتاژ قابل تأمین توسط این دستگاه به ترتیب ۵ آمپر و ۲۰۰۰ ولت می‌باشد. همچنین توان فرستنده آن تا ۸۵۰ وات را پشتیبانی می‌کند. این دستگاه همچنین قابلیت اندازه‌گیری داده‌های *IP, SP* و مطالعات درون چاهی به صورت دو بعدی و سه بعدی را دارا می‌باشد. از مزایای قابل توجه آن می‌توان به ۶ قطعه کابل همراه که مجموعاً اندازه‌گیری در ۴۸ کانال را میسر می‌سازند، اشاره کرد. وجود این کابل همراه با جابه‌جایی اتوماتیک فواصل میان الکترودی توسط دستگاه، امکان اندازه‌گیری تعداد نقاط زیاد همراه با صرفه جویی در وقت و هزینه را امکان پذیر می‌سازد. همچنین با ذخیره ضریب هندسی بسیاری از آرایش‌های الکترودی مرسوم نظیر ونر آلفا، بتا و گاما، ونر-شلومبرژه، دوقطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی، قطبی-قطبی در حافظه آن، مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری به صورت اتوماتیک محاسبه شده و حین اندازه‌گیری در صفحه نمایش آن قابل مشاهده خواهد بود. نرم افزار پشتیبانی کننده این دستگاه نیز قابلیت ارسال داده‌های اندازه‌گیری شده با فرمت ورودی نرم افزارهای *Res2Dinv, JPI2win, Res3Dinv* و *Surfer* و دیگر نرم افزارهای کاربردی ژئوفیزیک را دارا می‌باشد. این دستگاه با یک باتری ۱۲ولتی کار می‌کند و وزن کلی دستگاه ۵/۹ کیلوگرم بوده که ابعاد آن برابر ۴۰\*۲۱\*۱۵ سانتیمتر می‌باشد (شکل ۳-۱).

**دستگاه TERRAMETER SAS 300:** قابلیت ارسال جریان تا ۲۰ میلی آمپر و با ولتاژ ۱۶۰ ولت را

داراست که با اضافه کردن بوستر این مقدار تا ۴۰۰ ولت قابل افزایش است. مقادیر خروجی روی این دستگاه

بصورت  $V/I$  می باشد که با دقت ۰/۰۵ میلی اهم قابل اندازه گیری است. این دستگاه با یک باتری ۱۲ ولتی کار

می کند و وزن کلی دستگاه با باتری ۵/۶ کیلوگرم بوده که بسیار سبک است (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۱: دستگاه ARES



شکل ۳-۲: دستگاه TERRAMETER SAS 300



### ۲-۳- برداشت داده ها و نحوه پیمایش

همانطور که در فصل یک اشاره شد، مطالعات انجام شده در دو بوستان جوانمردان و یاس فاطمی انجام پذیرفت که هر منطقه به طور مجزا در زیر مورد بررسی قرار می گیرند. در جدول ۳-۱ مشخصات پروفیل ها، شامل نوع آرایش مورد استفاده، فاصله الکترودی و مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی را نشان می دهد. همچنین مشخصات سونداژ الکتریکی این پروفیل در جدول ۳-۲ آورده شده است.

جدول ۳-۱: مشخصات پروفیل ها، در دو محدوده بوستان جوانمردان و بوستان یاس فاطمی

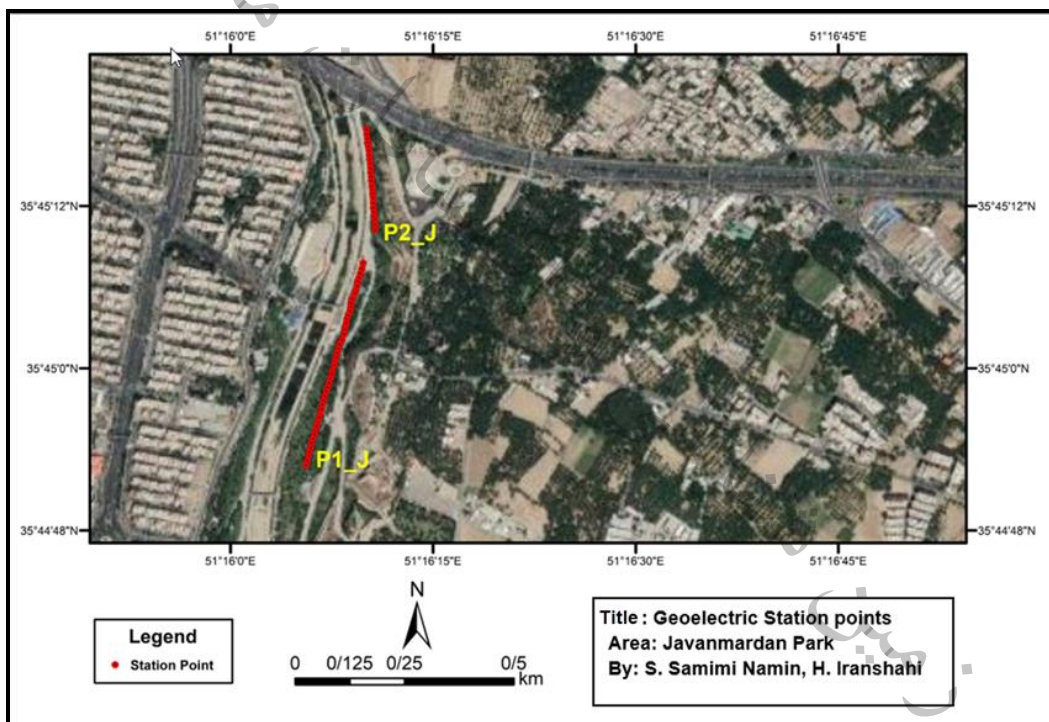
مختصات (UTM)		تعداد داده ها	فاصله الکترودی	آرایش	طول (m)	پروفیل	نام محدوده مورد مطالعه
انتهای	ابتدا						
524356/3956500	524251/3956032	۲۹۳۸	۵	دوقطبی-دوقطبی	۴۷۵	P1-J	بوستان جوانمردان
524360/3956804	524378/3956569	۹۴۷	۵	دوقطبی-دوقطبی	۲۳۵	P2-J	بوستان جوانمردان
549699/3958573	549315/3957697	۶۹۲۴	۵	دوقطبی-دوقطبی	۹۵۵	P1-Y	بوستان یاس فاطمی
551317/3957555	551096/ 3957052	۴۶۸۴	۵	دوقطبی-دوقطبی	۵۵۵	P2-Y	بوستان یاس فاطمی

جدول ۳-۲: مشخصات سونداژ بر روی پروفیل P1-Y

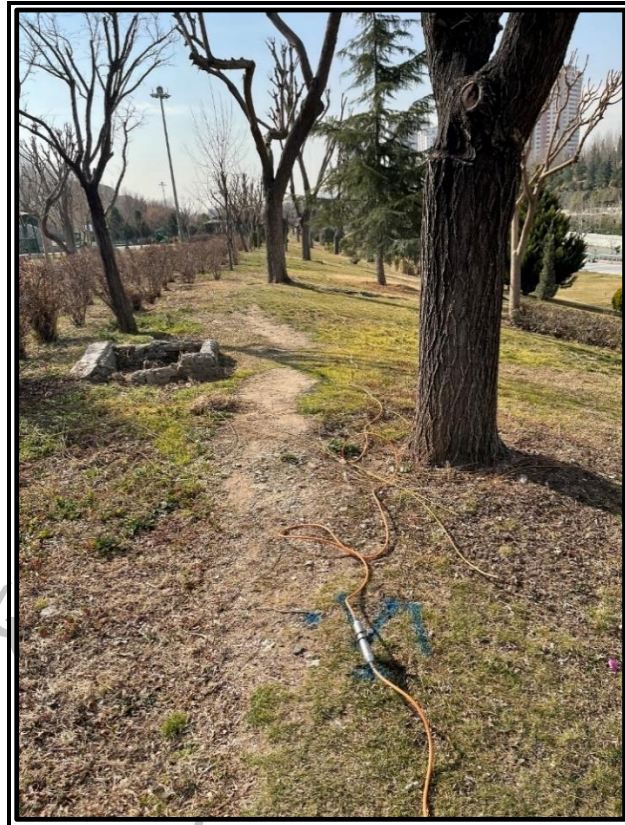
سونداژ	آرایش	AB= (m)	Location	Zone
P1_Y	شلومبرژه	1000	549519/3958158	39

### ۳-۲-۱- بوستان جوانمردان

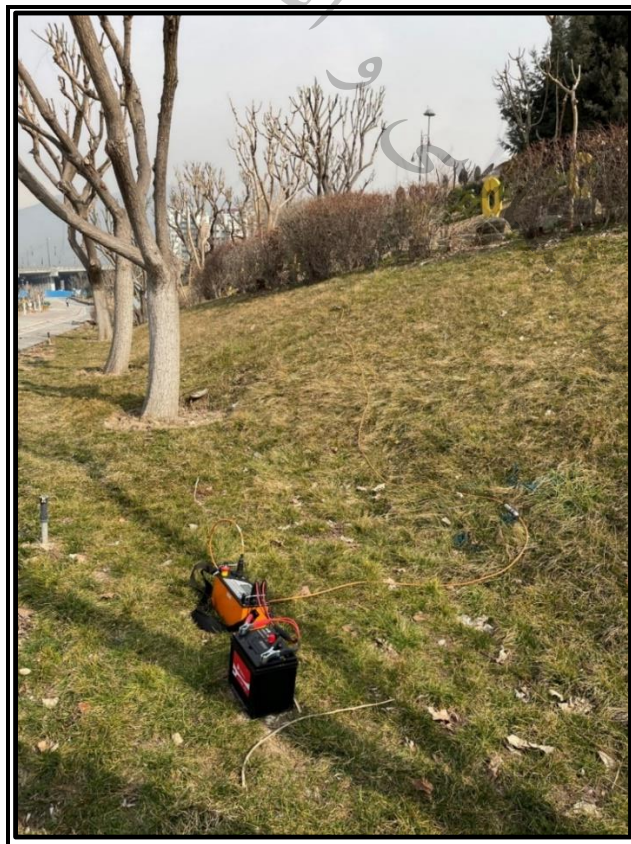
در این محدوده دو پروفیل به روش مقاومت ویژه و با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی صورت پذیرفت. این پروفیلها که عمود بر گسل احتمالی معرفی شده توسط کارشناس بخش مخاطرات سازمان، طراحی گردیده‌اند، به ترتیب  $P1-J$  و  $P2-J$  نامگذاری شده و در ادامه هر یک از آنها به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل ۳-۳ نقشه‌ای از موقعیت پروفیل‌های برداشتی که نقاط ابتدا و انتهای آنها در جدول ۳-۱ آورده شده را، بر روی عکس هوایی منطقه نشان می‌دهد. همچنین تصاویری از پروفیل‌های برداشتی در حین اندازه‌گیری داده‌ها در شکل ۳-۴ و شکل ۳-۵ آورده شده است.



شکل ۳-۳: موقعیت ایستگاه‌های برداشت مقاومت ویژه بر روی عکس هوایی در محدوده بوستان جوانمردان (برگرفته از نرم افزار Google Earth)



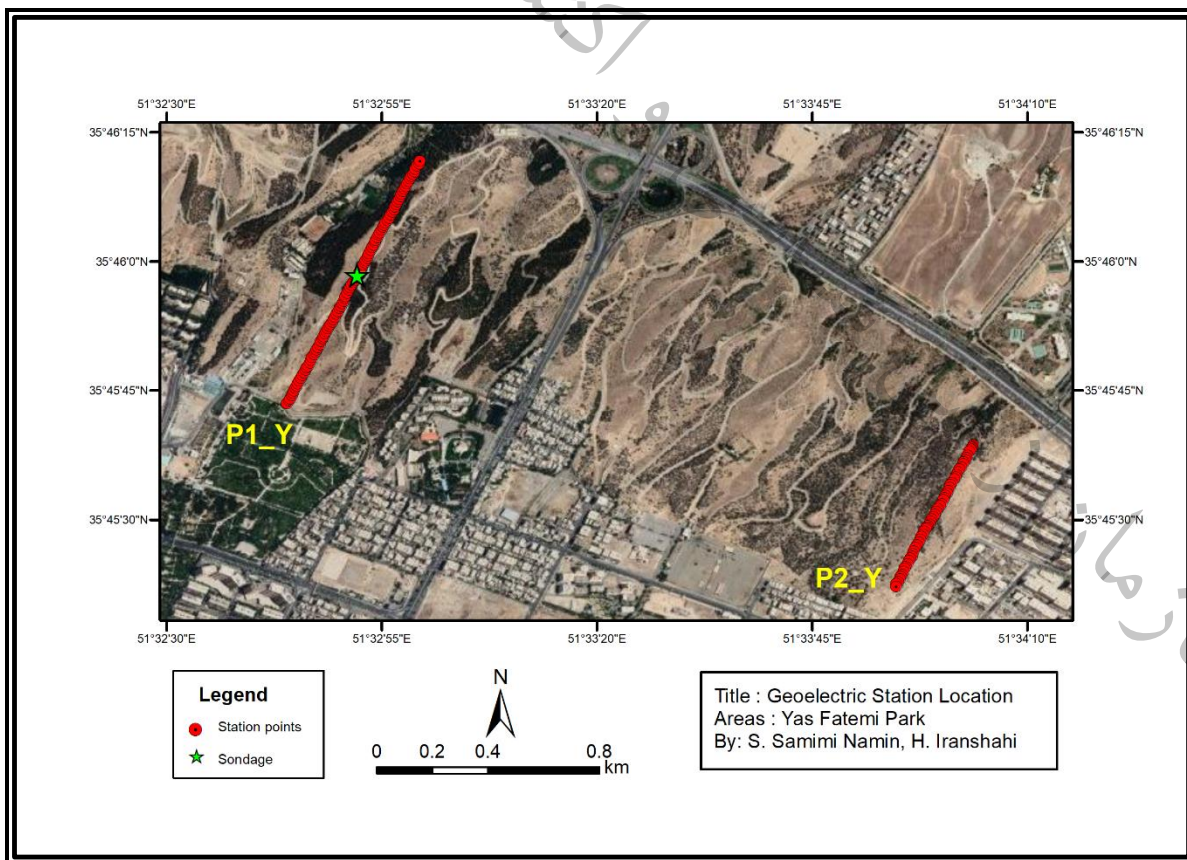
شکل ۳-۴: برداشت داده های مقاومت ویژه در امتداد پروفیل  $PI-J$  در محدوده بوستان جوانمردان (دید به سمت جنوب غربی)



شکل ۳-۵: برداشت داده های مقاومت ویژه در امتداد پروفیل  $P2-J$  در محدوده بوستان جوانمردان (دید به سمت شمال)

### ۳-۲-۲- بوستان یاس فاطمی

در این محدوده مطالعات به روش مقاومت ویژه و با استفاده از آرایش های دوقطبی - دوقطبی و شلومبرژه در مجموع ۲ پروفیل (دو پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی و یک ایستگاه با استفاده از آرایش شلومبرژه) صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که برداشت داده به روش شلومبرژه بر روی ایستگاه ۵۰۰ پروفیل  $PI-Y$  انجام گردید. این پروفیل ها که عمود بر گسل احتمالی طراحی گردیده اند به ترتیب  $P2-Y, PI-Y$  نامگذاری شده که در ادامه هر یک از آنها به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرند. شکل ۳-۶ نقشه ای از موقعیت پروفیل های برداشتی که نقاط ابتدا و انتهای آنها در جدول ۳-۱ آورده شده را، بر روی عکس هوایی منطقه نشان می دهد. همچنین تصاویری از پروفیل های برداشتی و نمایی از محدوده برداشت، در شکل های ۳-۷ الی ۳-۹ آورده شده است.



شکل ۳-۶: موقعیت ایستگاه های برداشت مقاومت ویژه و سونداژ بر روی عکس هوایی، در محدوده بوستان یاس فاطمی (بر گرفته از نرم افزار Google

(Earth



شکل ۳-۷: نمایی از برداشت مقاومت ویژه در امتداد پروفیل  $PI-Y$  (دید به سمت غرب)



شکل ۳-۸: برداشت داده‌های مقاومت ویژه با آرایش شلومبرژه در امتداد پروفیل  $PI-Y$  (دید به سمت شرق)



شکل ۳-۹: برداشت داده‌های مقاومت ویژه در امتداد پروفیل  $P2-Y$  (دید به سمت شمال شرقی)

### ۳-۳- نحوه پردازش و مدل سازی داده های مقاومت ویژه

یکی از متداول ترین و پیشرفته ترین روش ها در مدلسازی داده های ژئوفیزیک، مدلسازی وارون است که با روش ها و الگوریتم های گوناگونی صورت می پذیرد. همانطور که از نام این مدلسازی برمی آید، در برابر مدلسازی مستقیم قرار دارد. در این نوع مدلسازی فرایند محاسبات با شروع از یک مدل ساده و یا استفاده از نتایج مطالعاتی مانند زمین شناسی و ژئوتکنیک یک مدل اولیه فرضی بدست می آید. سپس با تغییر پارامترهای مدل در هر مرحله از فرآیند وارون سازی، سعی بر این است که اختلاف مابین پاسخ مدل حاصل با داده های مشاهده ای کمینه شود. از آنجا که عموماً در مسائل ژئوفیزیک مدل های بیشماری به داده های مشاهده ای قابل برازش هستند، لذا قیودی از جمله همواری مدل نیز در حین انجام محاسبات عددی در نظر گرفته می شود. در مدلسازی وارون بعد از تعیین پارامترهای مدل تمامی مراحل مدلسازی به صورت خودکار انجام می شود. در وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه این مطالعه از نرم افزار *Res2Dinv*، از محبوب ترین و شناخته شده ترین نرم افزارها در این زمینه، استفاده شده است.

نرم افزار دیگری که در این پروژه از آن استفاده شده است، نرم افزار *IPI2win* است. این برنامه بمنظور تفسیر اتوماتیک و نیمه اتوماتیک داده های مختلف سونداژ الکتریکی طراحی شده است و انتخاب فایل داده ها، ورودی توپوگرافی، تصحیح داده ها، نمایش منحنی های سونداژ و مدل ها و نمایش مقاطع عرضی در آن امکان پذیر است. آرایش های الکتروودی مورد قبول این نرم افزار شامل قطبی-دوقطبی، دوقطبی-دوقطبی، و نر (آلفا و بتا)، نیم و نر و و نر-شلومبرژه بوده و تفسیر منحنی سونداژ الکتریکی قائم (VES) از قابلیت های این نرم افزار می باشد.

## فصل چهارم

### بررسی نتایج

نتایج حاصل از برداشت پروفیل های مقاومت ویژه با آرایش دوقطبی - دوقطبی و شلومبرژه و وارون سازی داده های آن در این فصل به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرند.

#### ۴-۱- برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی بوستان جوانمردان

##### ۴-۱-۱- پروفیل PI-J

برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه صفراز سمت جنوب غربی روی پروفیل PI-J شروع شد و تا ایستگاه ۴۷۵ به سمت شمال شرقی ادامه یافت. این پروفیل متشکل از ۴۸ ایستگاه به فاصله ۵ متر از یکدیگر می باشد که مختصات این ایستگاه ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۴-۱ آورده شده است. این پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی و با کمینه فاصله الکترودی ۵ متر  $AB=MN=5\text{ m}$  که طول آن برابر با ۴۷۵ متر می باشد، برداشت گردید. همچنین امتداد این پروفیل به صورت جنوب غربی - شمال شرقی می باشد که ۲۹۳۸ داده در طول این پروفیل، برداشت گردید.

در شکل ۴-۱ تصویری از خروجی نرم افزار *Res2Dinv* به ترتیب شامل شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در این پروفیل آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۲۴/۹۸ و ۳۳۳/۸ اهم متر می باشد. در شکل ۴-۲ مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها همراه با تصحیح توپوگرافی به نمایش در آمده است. همانطور که در مدل مقاومت ویژه مشاهده می شود، از ابتدای پروفیل تا انتهای پروفیل احتمالاً به دلیل حضور نهشته های دانه ریز و وجود رطوبت ناشی از آبیاری، در نزدیکی سطح تا عمق حدود ۸ متری، مقاومت کاهش یافته است که با طیف رنگی آبی تا سبز مشخص می باشد. از این عمق به بعد، مقاومت دستخوش تغییرات شده است به نحوی که علاوه بر شکستگی ها، وجود رطوبت و تغییر دانه بندی آبرفت باعث



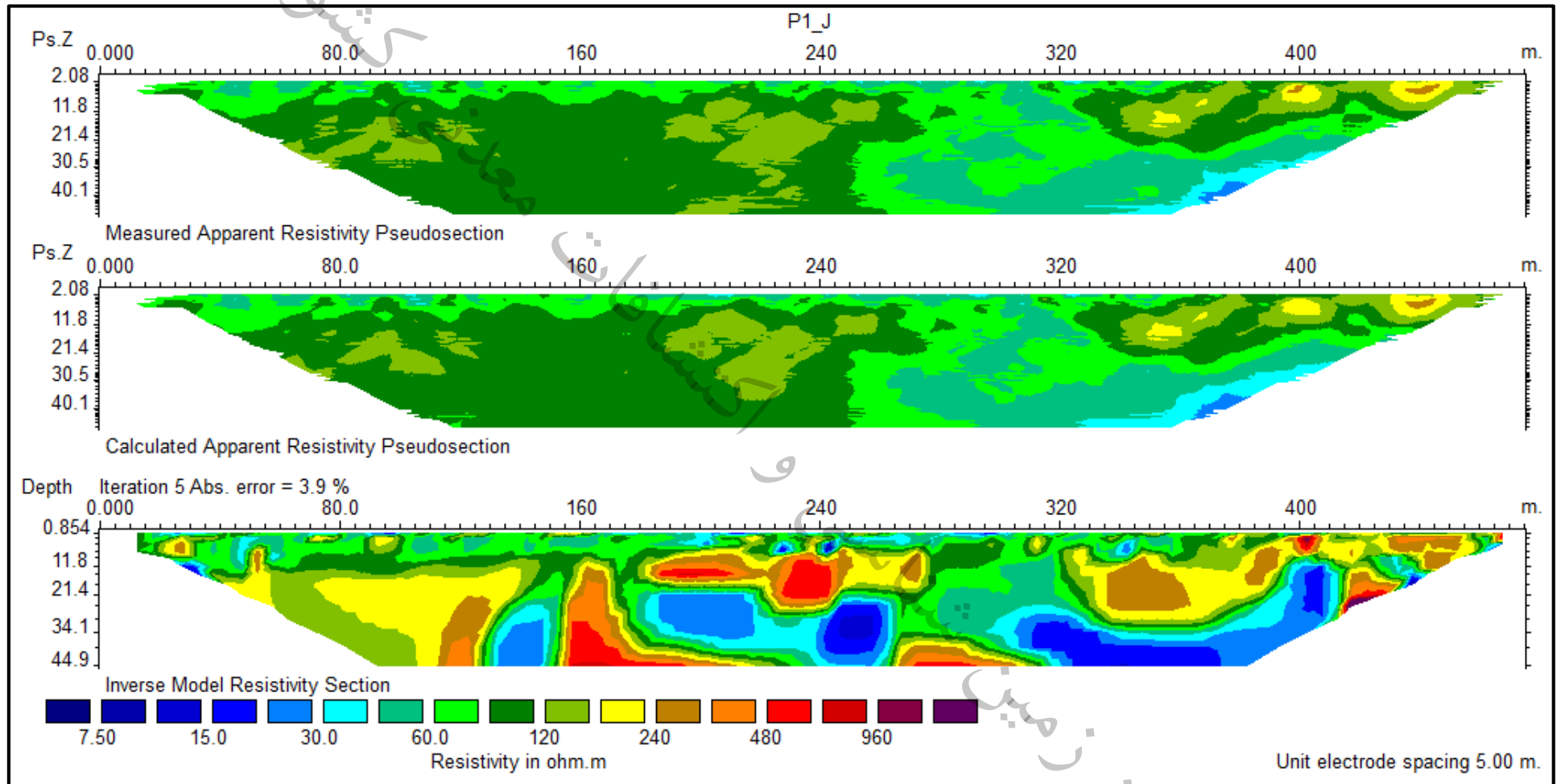
تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل گردیده است. حد فاصل ایستگاه های ۷۵ تا ۱۴۰، ۱۸۰ تا ۲۷۵ و ۳۲۰ تا ۳۹۰ از عمق حدود ۱۰ متر به پایین که با طیف رنگی زرد تا نارنجی نمایش داده شده است، احتمالاً به دلیل درشتی دانه بندی رسوبات، مقاومت افزایش یافته است. البته وجود شکستگی های متعدد باعث کاهش مقاومت الکتریکی در بعضی نواحی آن گردیده است که از جمله می توان به همبری یا گسل احتمالی در زیر ایستگاه ۱۴۰ با شیب تند در عمق حدود ۲۰ متری، ایستگاه ۱۵۵ در عمق حدود ۲۰ متری، در زیر ایستگاه ۱۷۰ با شیب تند در عمق حدود ۱۰ متری، ایستگاه ۲۲۰ در عمق حدود ۵ متری، در زیر ایستگاه ۲۴۵ با شیب حدود ۴۵ درجه در عمق حدود ۲۵ متری، در زیر ایستگاه ۲۶۵ با شیب تند در عمق حدود ۳۵ متری و در نهایت ایستگاه ۴۱۵ در عمق حدود ۱۰ متری اشاره نمود که با خط چین سیاه رنگ در مدل نشان داده شده است. از عمق حدود ۲۰ متر یک لایه با طیف رنگی آبی تیره تا آبی روشن حدفاصل ایستگاه های ۱۳۰ تا ۱۵۵، ۱۸۰ تا ۲۶۵ و ۳۰۰ تا ۴۱۰ دیده می شود که احتمالاً به دلیل وجود شکستگی های متعدد در این ناحیه یا آبرفت های درشت دانه آبدار، مقاومت کاهش یافته است.



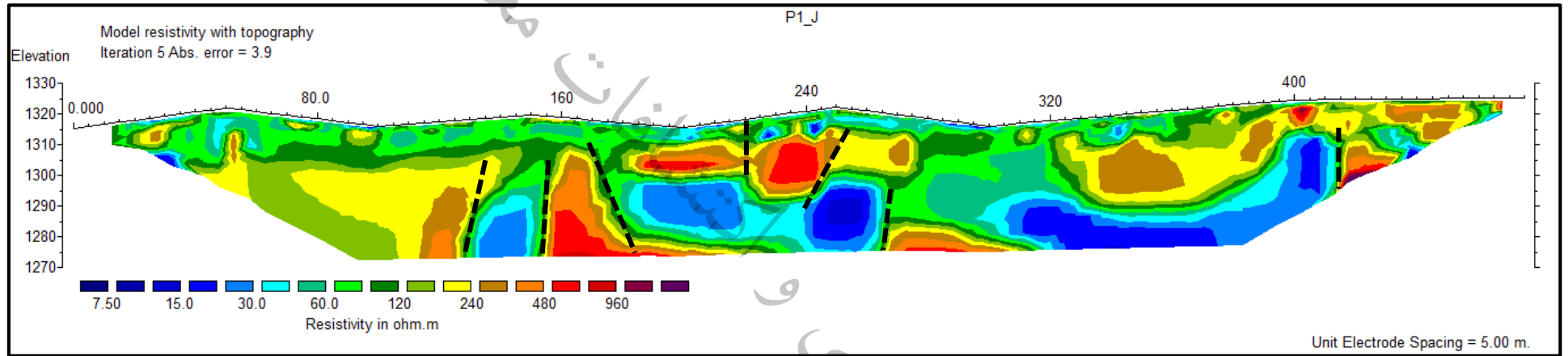


جدول ۱-۴: مختصات UTM ایستگاه های برداشتی پروفیل P1\_J بوستان جوانمردان

Station	Easting	Northing	Station	Easting	Northing
P1_J_0	524251	3956032	P1_J_250	524306	3956279
P1_J_10	524254	3956043	P1_J_260	524309	3956289
P1_J_20	524256	3956054	P1_J_270	524311	3956299
P1_J_30	524257	3956063	P1_J_280	524313	3956308
P1_J_40	524259	3956072	P1_J_290	524317	3956318
P1_J_50	524261	3956084	P1_J_300	524320	3956331
P1_J_60	524263	3956093	P1_J_310	524322	3956342
P1_J_70	524267	3956102	P1_J_320	524323	3956348
P1_J_80	524268	3956111	P1_J_330	524325	3956357
P1_J_90	524270	3956122	P1_J_340	524326	3956366
P1_J_100	524272	3956128	P1_J_350	524328	3956374
P1_J_110	524275	3956142	P1_J_360	524332	3956384
P1_J_120	524277	3956149	P1_J_370	524333	3956392
P1_J_130	524279	3956160	P1_J_380	524334	3956402
P1_J_140	524281	3956171	P1_J_390	524336	3956412
P1_J_150	524283	3956181	P1_J_400	524340	3956425
P1_J_160	524285	3956190	P1_J_410	524343	3956430
P1_J_170	524288	3956201	P1_J_420	524345	3956441
P1_J_180	524290	3956210	P1_J_430	524346	3956452
P1_J_190	524293	3956220	P1_J_440	524349	3956460
P1_J_200	524296	3956231	P1_J_450	524351	3956470
P1_J_210	524298	3956241	P1_J_460	524354	3956481
P1_J_220	524299	3956249	P1_J_470	524356	3956494
P1_J_230	524302	3956261	P1_J_475	524356	3956500
P1_J_240	524304	3956268	Zone	39	



شکل ۴-۱: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بالا)، پاسخ مدل وارون (وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی (پایین) داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل P1-J



شکل ۴-۲: مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه با اعمال تصحیح توپوگرافی بر روی پروفیل P1-J (گسل و همبری های احتمالی با خط چین سیاه مشخص شده اند)

#### ۴-۱-۲- پروفیل P2-J

برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه صفر از سمت جنوب، روی پروفیل P2-J شروع شد و تا ایستگاه ۲۳۵ به سمت شمال امتداد یافت. این پروفیل متشکل از ۲۴ ایستگاه به فاصله ۵ متر از یکدیگر می باشد که مختصات این ایستگاه‌ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۴-۲ آورده شده است. این پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی و با کمینه فاصله الکترودی ۵ متر  $AB=MN=5\text{ m}$  که طول آن برابر با ۲۳۵ متر می باشد، برداشت گردید. همچنین امتداد این پروفیل به صورت جنوبی- شمالی می باشد که ۹۱۲ داده در طول این پروفیل، برداشت گردید.

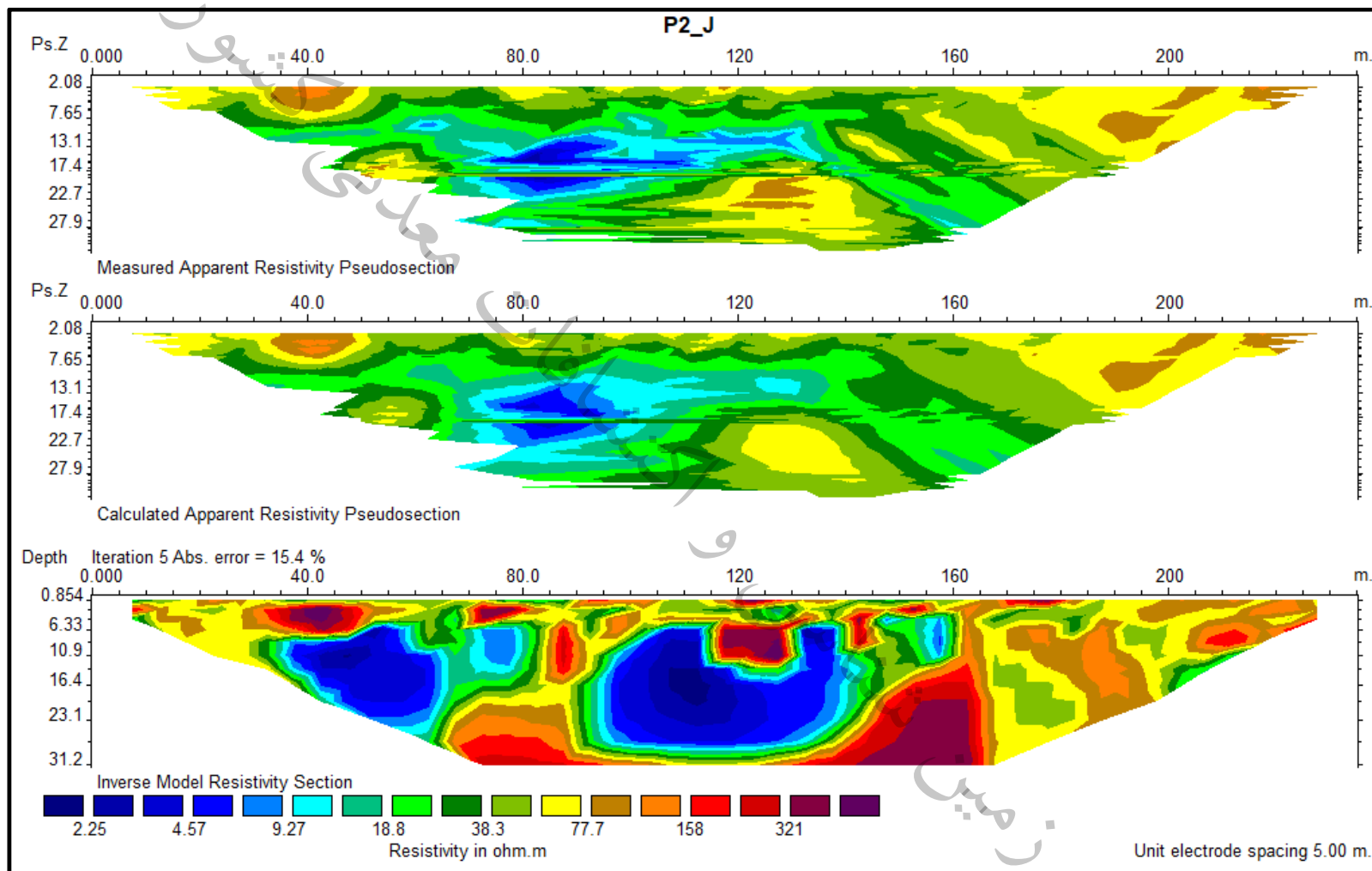
جدول ۴-۲: مختصات UTM ایستگاه‌های برداشتی پروفیل P2\_J بوستان جوانمردان

Station	Easting	Northing	Station	Easting	Northing
P2_J_0	524378	3956569	P2_J_130	524369	3956700
P2_J_10	524378	3956581	P2_J_140	524369	3956710
P2_J_20	524377	3956593	P2_J_150	524369	3956720
P2_J_30	524376	3956601	P2_J_160	524368	3956729
P2_J_40	524376	3956610	P2_J_170	524367	3956739
P2_J_50	524374	3956620	P2_J_180	524366	3956750
P2_J_60	524374	3956631	P2_J_190	524365	3956759
P2_J_70	524374	3956642	P2_J_200	524364	3956767
P2_J_80	524373	3956651	P2_J_210	524363	3956777
P2_J_90	524373	3956659	P2_J_220	524362	3956787
P2_J_100	524372	3956669	P2_J_230	524361	3956799
P2_J_110	524370	3956681	P2_J_235	524360	3956804
P2_J_120	524371	3956690	Zone	39	

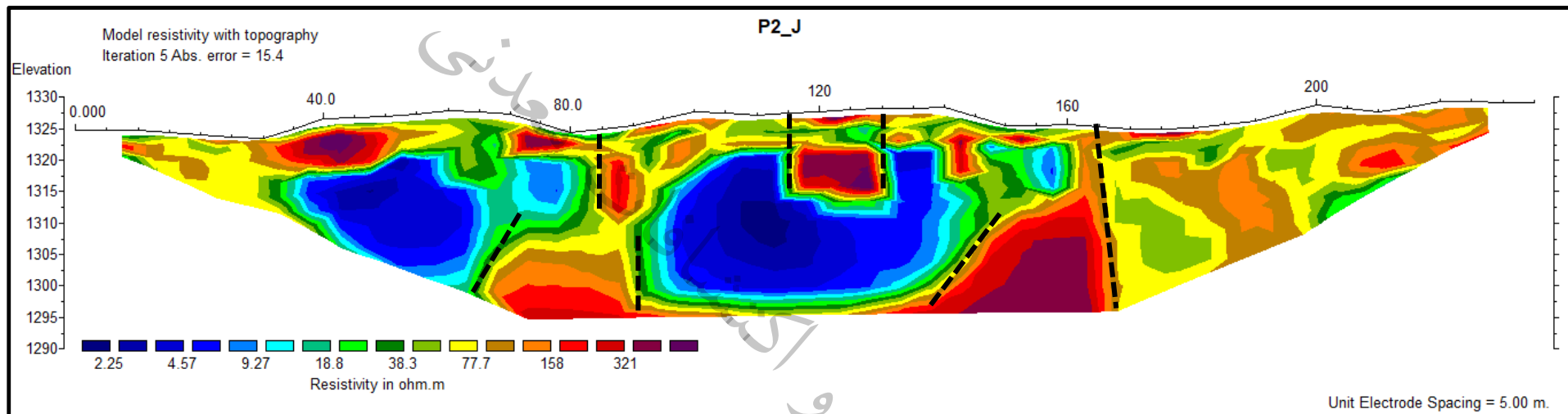
در شکل ۴-۳ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده‌های مقاومت ویژه در این پروفیل آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۱/۹۳ و ۶۳۰/۴۱ اهم متر می باشد. در شکل ۴-۴ مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده‌ها همراه با تصحیح توپوگرافی به نمایش در آمده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، حد فاصل ایستگاه های ۳۰ تا ۶۵ و ۹۵ تا ۱۴۰ در عمق حدود ۸ تا ۲۵ متر با یک لایه با طیف



رنگی آبی تیره تا آبی روشن مواجه هستیم که احتمالاً به دلیل تجمع رسوبات ریزدانه، وجود شکستگی ها و ناپیوستگی ها و همچنین نفوذ آب در لایه ها، باعث تجمع احتمالی آب در عمق های پایین تر در این ناحیه شده و در نتیجه موجب کاهش زیاد مقاومت ویژه نیز گردیده است. در انتهای پروفیل از حدود ایستگاه ۱۶۰ تا ۲۳۰ با لایه های مقاوم از سطح تا عمق وجود دارند که احتمالاً به علت تجمع رسوبات ریز دانه در لایه های سطحی و همچنین رسوبات درشت دانه در لایه های عمقی که نفوذ آب در این لایه ها میسر نبوده، با افزایش مقاومت ویژه مواجه هستیم. حد فاصل ایستگاه ۶۵، ۸۵، ۹۰، ۱۱۵ تا ۱۳۰، ۱۴۵ و ۱۶۵ همبری یا گسل احتمالی دیده می شود که همانند پروفیل قبل از سطح حدود ۵ متر تا عمق حدود ۳۵ متر متغیر می باشند، مشاهده می گردد که در شکل ۴-۴ بصورت خط چین قابل مشاهده می باشد.



شکل ۳-۴: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بالا)، پاسخ مدل وارون (وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی (پایین) داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل P2-J



شکل ۴-۴: مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه با اعمال تصحیح توپوگرافی بر روی پروفیل P2-J (گسل و همبری های احتمالی با خط چین سیاه مشخص شده اند)

## ۴-۲- برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی بوستان یاس فاطمی

### ۴-۲-۱- پروفیل PI-Y

برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه صفراز سمت جنوب غربی روی پروفیل PI-Y شروع و

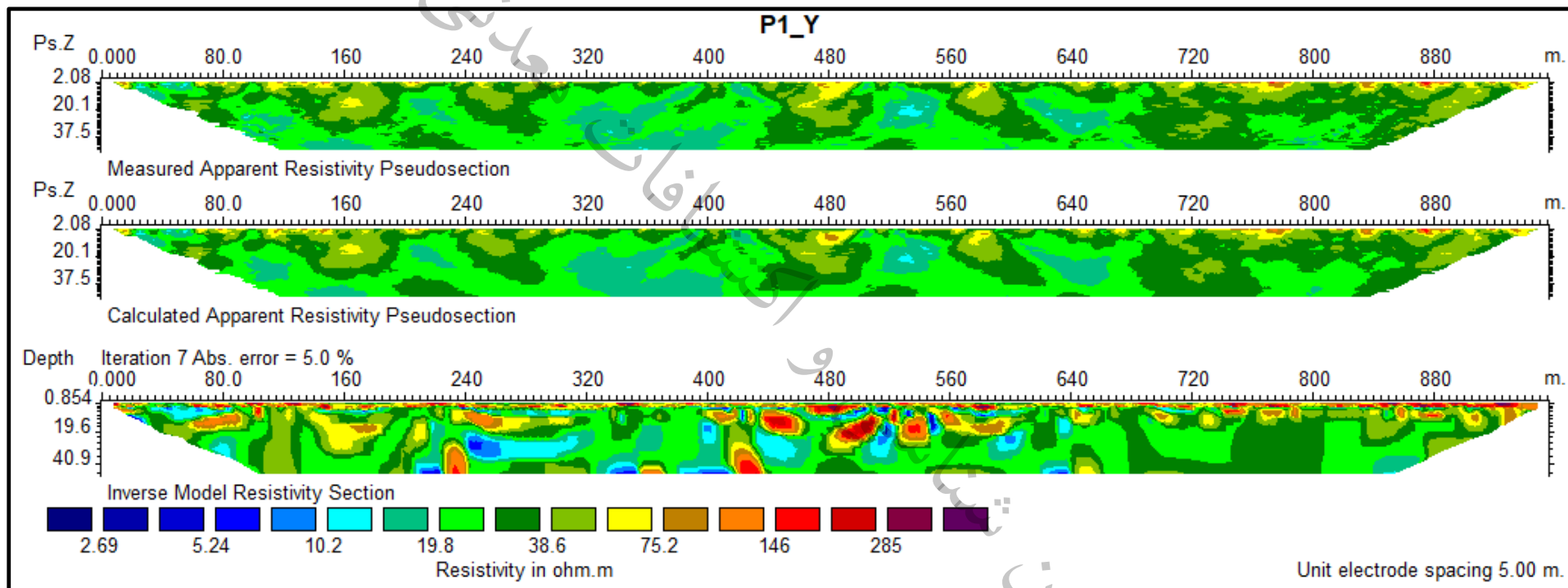
تا ایستگاه ۹۵۵ در شمال شرقی خاتمه یافت. این پروفیل متشکل از ۹۶ ایستگاه به فاصله ۵ متر از یکدیگر می باشد که مختصات این ایستگاه ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۴-۳ آورده شده است. این پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی و با کمینه فاصله الکترودی ۵ متر  $AB=MN=5\text{ m}$  که طول آن برابر با ۹۵۵ متر می باشد، برداشت گردید. همچنین امتداد این پروفیل به صورت جنوب غربی - شمال شرقی می باشد که ۶۸۳۰ داده در طول این پروفیل، برداشت گردید.

در شکل ۴-۵ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در این پروفیل آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۲/۸۴ و ۲۷۷/۷ اهم متر می باشد. در شکل ۴-۶ مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها همراه با تصحیح توپوگرافی به نمایش در آمده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، عمق بررسی در حدود ۴۰ متر است که عمده تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل پایین (طیف رنگی آبی تا سبز تیره) می باشد. به نحوی که در بیشتر نقاط مقاومت ویژه نهشته های زیر سطحی کمتر از ۴۰ اهم متر می باشند. این مسئله را می توان ناشی از گسترش رسوبات ریزدانه، رطوبت ناشی از آبیاری و شکستگی در رسوبات زیر سطحی این ناحیه دانست. در نواحی حد فاصل ایستگاه ۲۳۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۴۱۰ تا ۴۲۰ و ۵۱۰ تا ۵۴۰ همبری یا گسل احتمالی به صورت سطحی و عمقی در مقطع نشان داده می شود که در شکل ۴-۶ بصورت خط چین قابل مشاهده می باشد.

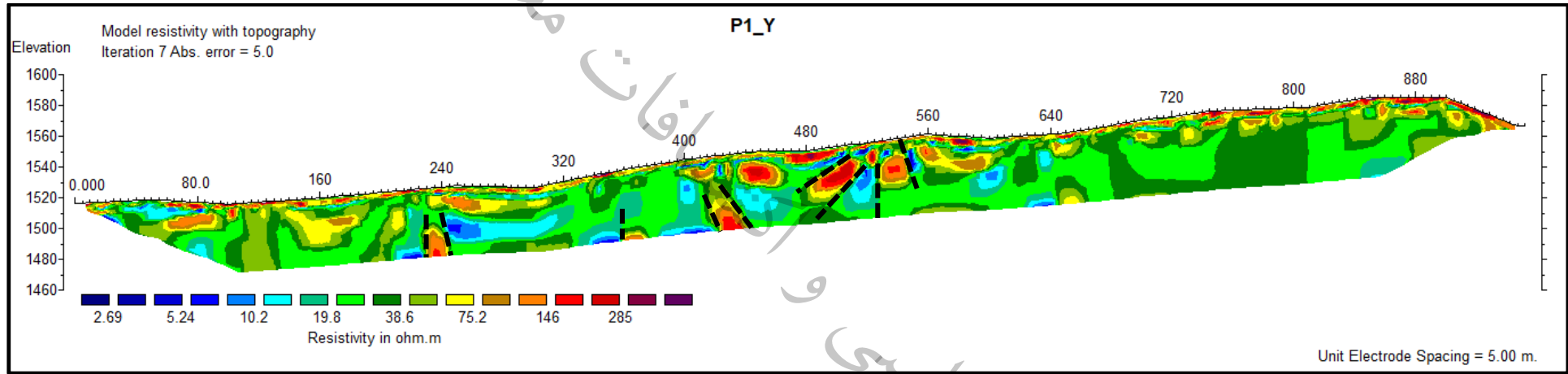


جدول ۳-۴: مختصات UTM ایستگاه های برداشتی پروفیل P1\_Y بوستان یاس فاطمی

Station	Easting	Northing	Station	Easting	Northing	Station	Easting	Northing
P1_Y_0	549315	3957697	P1_Y_330	549450	3957998	P1_Y_660	549580	3958303
P1_Y_10	549321	3957708	P1_Y_340	549453	3958006	P1_Y_670	549583	3958310
P1_Y_20	549324	3957715	P1_Y_350	549458	3958019	P1_Y_680	549589	3958320
P1_Y_30	549330	3957725	P1_Y_360	549463	3958028	P1_Y_690	549592	3958331
P1_Y_40	549333	3957734	P1_Y_370	549468	3958038	P1_Y_700	549595	3958338
P1_Y_50	549335	3957743	P1_Y_380	549471	3958046	P1_Y_710	549600	3958345
P1_Y_60	549340	3957752	P1_Y_390	549475	3958056	P1_Y_720	549606	3958354
P1_Y_70	549344	3957760	P1_Y_400	549479	3958065	P1_Y_730	549610	3958363
P1_Y_80	549346	3957769	P1_Y_410	549482	3958074	P1_Y_740	549614	3958374
P1_Y_90	549351	3957779	P1_Y_420	549483	3958081	P1_Y_750	549620	3958385
P1_Y_100	549355	3957789	P1_Y_430	549489	3958093	P1_Y_760	549626	3958393
P1_Y_110	549360	3957799	P1_Y_440	549495	3958105	P1_Y_770	549626	3958403
P1_Y_120	549365	3957807	P1_Y_450	549497	3958113	P1_Y_780	549630	3958412
P1_Y_130	549369	3957817	P1_Y_460	549501	3958122	P1_Y_790	549634	3958422
P1_Y_140	549373	3957825	P1_Y_470	549506	3958132	P1_Y_800	549638	3958431
P1_Y_150	549376	3957831	P1_Y_480	549512	3958140	P1_Y_810	549642	3958440
P1_Y_160	549381	3957842	P1_Y_490	549515	3958148	P1_Y_820	549646	3958449
P1_Y_170	549384	3957853	P1_Y_500	549519	3958158	P1_Y_830	549650	3958458
P1_Y_180	549387	3957862	P1_Y_510	549523	3958167	P1_Y_840	549654	3958467
P1_Y_190	549394	3957872	P1_Y_520	549527	3958176	P1_Y_850	549658	3958476
P1_Y_200	549398	3957882	P1_Y_530	549531	3958185	P1_Y_860	549662	3958486
P1_Y_210	549401	3957890	P1_Y_540	549535	3958194	P1_Y_870	549666	3958495
P1_Y_220	549405	3957899	P1_Y_550	549539	3958204	P1_Y_880	549670	3958504
P1_Y_230	549410	3957909	P1_Y_560	549542	3958210	P1_Y_890	549674	3958513
P1_Y_240	549414	3957921	P1_Y_570	549547	3958218	P1_Y_900	549679	3958520
P1_Y_250	549418	3957931	P1_Y_580	549549	3958227	P1_Y_910	549683	3958529
P1_Y_260	549422	3957938	P1_Y_590	549551	3958235	P1_Y_920	549685	3958539
P1_Y_270	549425	3957948	P1_Y_600	549557	3958247	P1_Y_930	549690	3958550
P1_Y_280	549430	3957955	P1_Y_610	549561	3958258	P1_Y_940	549697	3958557
P1_Y_290	549434	3957966	P1_Y_620	549565	3958266	P1_Y_950	549698	3958568
P1_Y_300	549438	3957975	P1_Y_630	549569	3958276	P1_Y_955	549699	3958573
P1_Y_310	549442	3957982	P1_Y_640	549571	3958283	Zone	39	
P1_Y_320	549447	3957990	P1_Y_650	549575	3958293			



شکل ۴-۵: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بالا)، پاسخ مدل وارون (وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی (پایین) داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل P1-Y



شکل ۴-۶: مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه با اعمال تصحیح توپوگرافی بر روی پروفیل P1-Y

#### ۴-۲-۲- P2-Y پروفیل

برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی از ایستگاه ۱۲۰ از سمت جنوب غربی روی پروفیل P2-Y شروع و تا ایستگاه ۶۷۵ در شمال شرقی خاتمه یافت. این پروفیل بطور موازی و با فاصله تقریبی ۲ کیلومتر از پروفیل P1-Y طراحی گردید. این پروفیل متشکل از ۵۸ ایستگاه به فاصله ۵ متر از یکدیگر می باشد که مختصات این ایستگاه‌ها در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۴-۴ آورده شده است. این پروفیل با استفاده از آرایش دوقطبی- دوقطبی و با کمینه فاصله الکترودی ۵ متر  $AB=MN=5\text{ m}$  که طول آن برابر با ۵۵۵ متر می باشد، برداشت گردید. همچنین امتداد این پروفیل به صورت جنوب غربی- شمال شرقی می باشد که ۴۶۸۴ داده در طول این پروفیل، برداشت گردید.

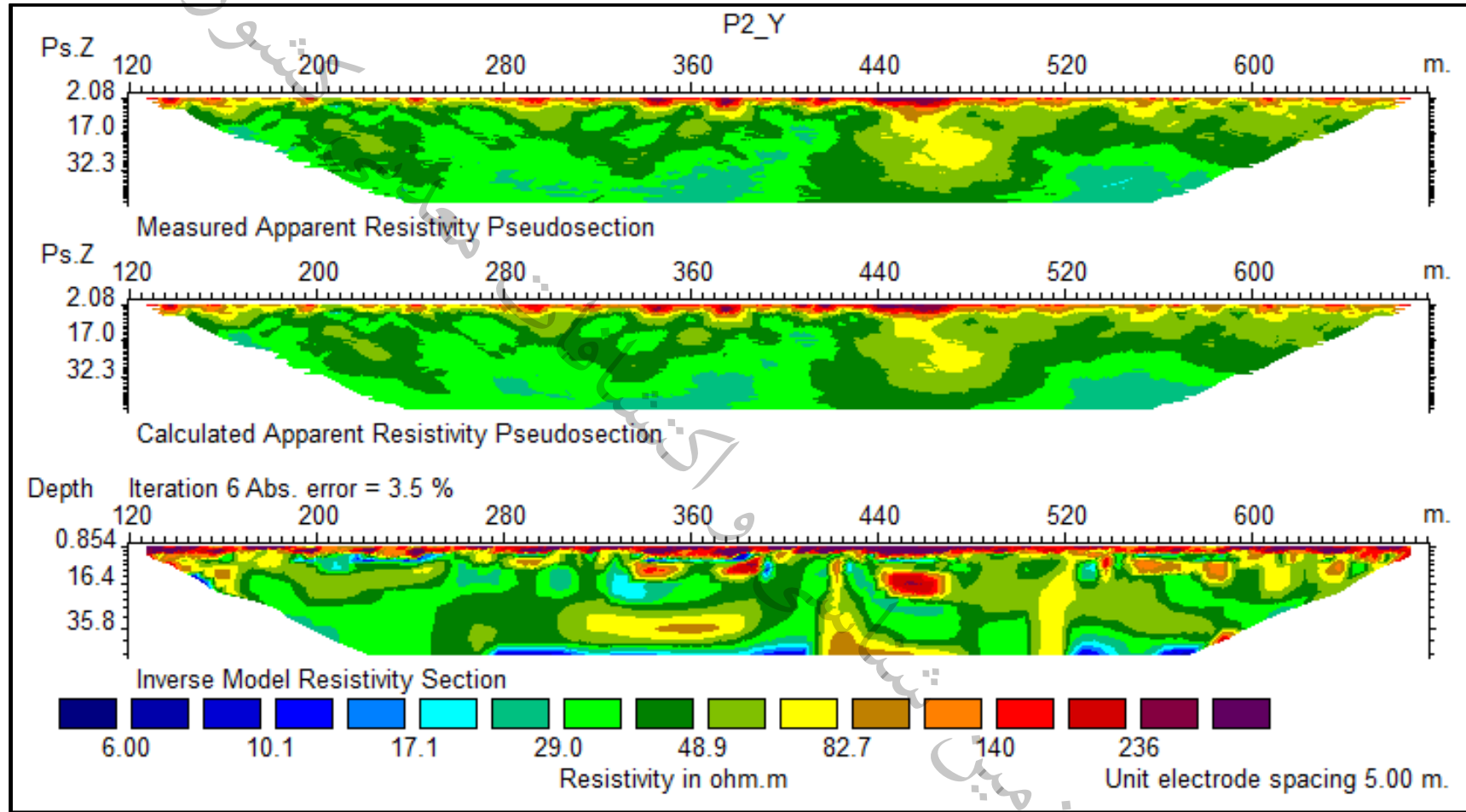
در شکل ۴-۷ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه در این پروفیل آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۱۸/۵ و ۵۵۴/۴ اهم متر می باشد.

در شکل ۴-۸ مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده‌ها همراه با تصحیح توپوگرافی به نمایش در آمده است. با توجه به نقشه مدل سازی شده مقاومت ویژه، همانند پروفیل قبل، به غیر از لایه سطحی، عمده تغییرات مقاومت ویژه در طول پروفیل در لایه‌ها، پایین (کمتر از ۱۵۰ اهم متر) می باشد که این کاهش مقاومت ویژه، در بعضی نواحی به دلیل گسل و شکستگی‌های احتمالی متعدد می باشد. این شکستگی‌ها که در ارتباط با همبری یا گسل احتمالی در ایستگاه‌های ۳۳۵، ۳۹۰، ۴۱۵ تا ۴۳۰ و ۵۱۰ تا ۵۱۵ به وجود آمده‌اند، در مدل به خوبی مشهود است. همچنین در بعضی نواحی به دلیل تغییر دانه بندی آبرفت باعث افزایش مقاومت ویژه (طیف رنگی زرد تا قرمز) نیز شده است.

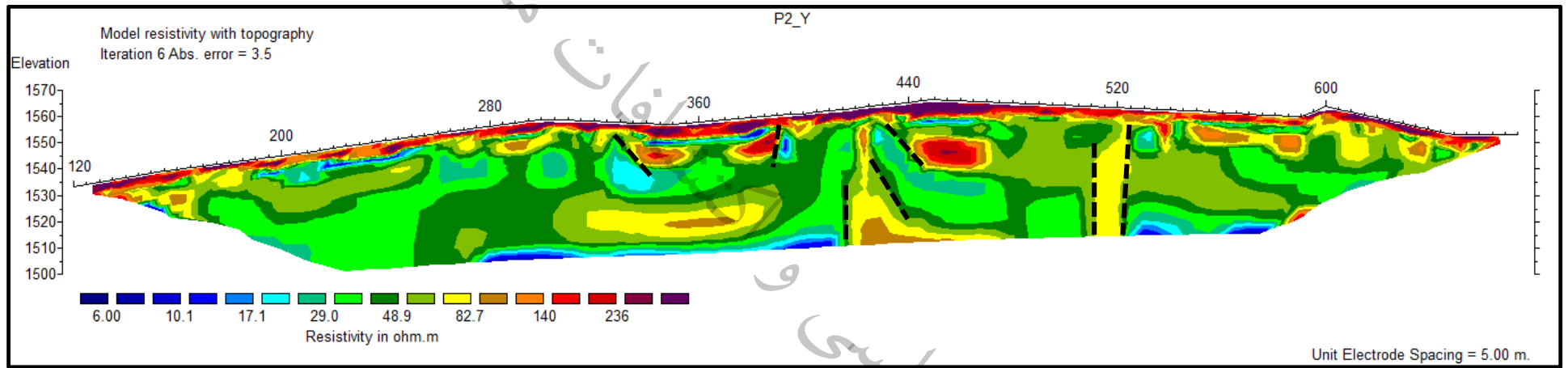


جدول ۴-۴: مختصات UTM ایستگاه های برداشتی پروفیل P2\_Y بوستان یاس فاطمی

Station	Easting	Northing	Station	Easting	Northing
P2_Y_120	551096	3957052	P2_Y_410	551208	3957311
P2_Y_130	551096	3957062	P2_Y_420	551212	3957322
P2_Y_140	551102	3957068	P2_Y_430	551216	3957331
P2_Y_150	551107	3957079	P2_Y_440	551223	3957341
P2_Y_160	551109	3957086	P2_Y_450	551226	3957349
P2_Y_170	551112	3957095	P2_Y_460	551232	3957363
P2_Y_180	551117	3957105	P2_Y_470	551234	3957369
P2_Y_190	551120	3957117	P2_Y_480	551238	3957379
P2_Y_200	551124	3957122	P2_Y_490	551242	3957388
P2_Y_210	551129	3957133	P2_Y_500	551246	3957396
P2_Y_220	551133	3957145	P2_Y_510	551249	3957407
P2_Y_230	551137	3957153	P2_Y_520	551252	3957418
P2_Y_240	551142	3957161	P2_Y_530	551256	3957425
P2_Y_250	551144	3957169	P2_Y_540	551264	3957437
P2_Y_260	551147	3957179	P2_Y_550	551267	3957445
P2_Y_270	551152	3957192	P2_Y_560	551270	3957453
P2_Y_280	551156	3957201	P2_Y_570	551274	3957463
P2_Y_290	551162	3957211	P2_Y_580	551278	3957474
P2_Y_300	551165	3957220	P2_Y_590	551283	3957480
P2_Y_310	551168	3957232	P3_Y_600	551289	3957493
P2_Y_320	551173	3957239	P3_Y_610	551291	3957500
P2_Y_330	551176	3957249	P3_Y_620	551296	3957506
P2_Y_340	551181	3957260	P3_Y_630	551299	3957515
P2_Y_350	551185	3957266	P3_Y_640	551301	3957522
P2_Y_360	551187	3957271	P3_Y_650	551307	3957538
P2_Y_370	551192	3957275	P3_Y_660	551312	3957544
P2_Y_380	551195	3957286	P3_Y_670	551315	3957551
P2_Y_390	551198	3957293	P3_Y_675	551317	3957555
P2_Y_400	551204	3957302	Zone	39	



شکل ۴-۷: شبه مقطع داده های اندازه گیری شده (بالا)، پاسخ مدل وارون (وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی (پایین) داده های مقاومت ویژه بر روی پروفیل P2-Y



شکل ۴-۸: مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه با اعمال تصحیح توپوگرافی بر روی پروفیل P2-Y (گسل ها و همبری های احتمالی با خط چین مشخص شده اند)

#### ۴-۲-۳- سونداژ الکتریکی PI-Y

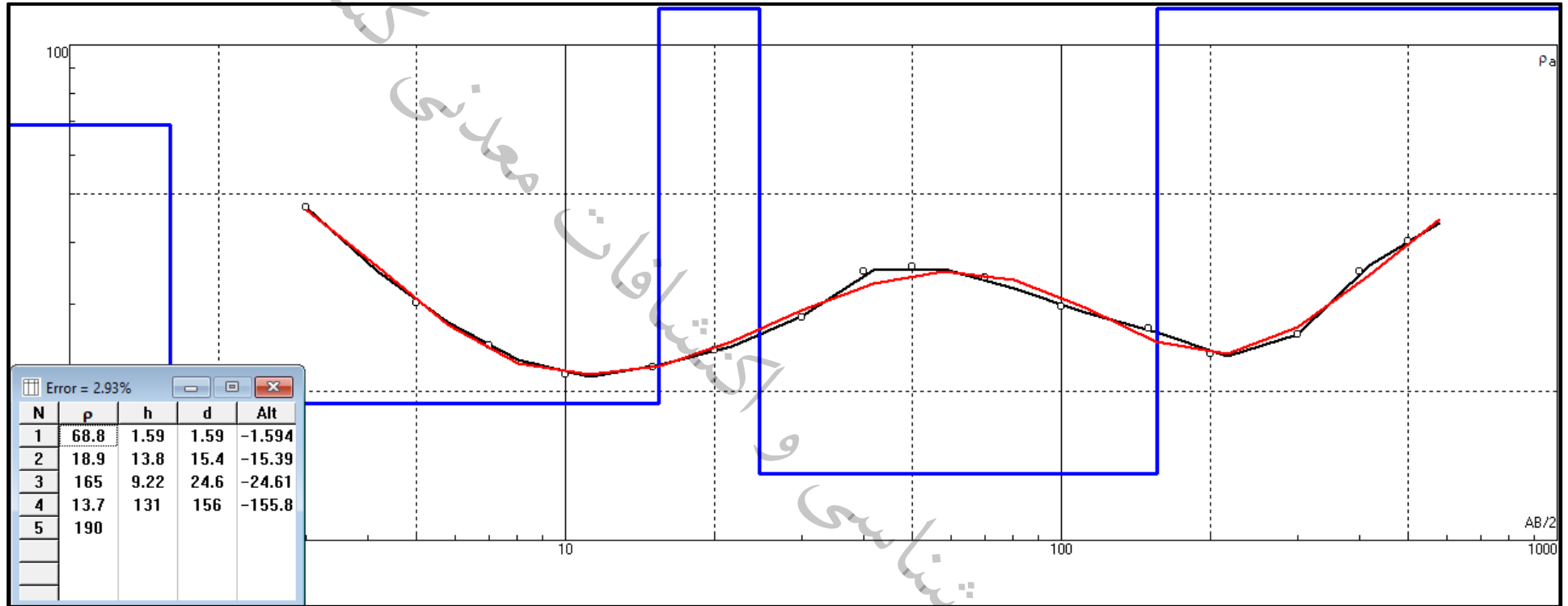
بر روی ایستگاه ۵۰۰ پروفیل PI-Y یک سونداژ مقاومت ویژه با آرایش شلومبرژه و فاصله الکترودی جریان AB=1000 متر اندازه گیری شد که مختصات آن در سیستم مختصات UTM و با استاندارد WGS84 در جدول ۳-۲ و همچنین موقعیت مکانی آن نیز در شکل ۳-۶ نمایش داده شده است.

در شکل ۴-۹ نتایج حاصل از وارون سازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه در محل این سونداژ همراه با جدول مشخصات لایه های تفسیر شده آن آورده شده است. در این شکل داده های مشاهده ای (اندازه گیری شده)، مدل حاصل از وارون سازی یک بعدی داده ها و پاسخ مدل وارون به ترتیب با خطوط مشکی، آبی و قرمز مشاهده می شود. لازم به ذکر است که مشخصات مدل لایه ای وارون (منحنی آبی رنگ) شامل مقاومت ویژه، ضخامت، عمق و ارتفاع از سطح تراز در جدول مجاور آورده شده است. همچنین نقاط برداشتی به صورت دایره های سفید رنگ بر روی منحنی داده های مشاهده ای مشخص شده اند.

بطور کلی با توجه به شبهه مقطع داده های مقاومت ویژه اندازه گیری شده به روش شلومبرژه، با یک ساختار ۵ لایه روبرو هستیم که بلافاصله پس از عبور از یک لایه نازک خشک سطحی، تناوبی از لایه ها با مقاومت نسبی متفاوت را که به علت تغییر در جنس و میزان رطوبت آنهاست، نشان می دهد.

سونداژ برداشت شده شامل یک لایه نسبتاً خشک سطحی با ضخامت حدود ۲ متری است که احتمالاً به علت برخورد به یک لایه نفوذپذیر (گسترش رسوبات ریزدانه) تا عمق ۱۵ متری، کمی مرطوب شده و سپس به یک لایه نفوذ ناپذیر و بشدت مقاوم (رسوبات درشت دانه) با ضخامت حدود ۱۰ متر تا عمق حدود ۲۵ متری برخورد کرده و دوباره با یک لایه با نفوذ پذیر بالا و مقاومت نسبی پایین مواجه و در نهایت احتمالاً به سنگ کف مقاوم برخورد می کنیم که مطابق نتایج، می توان گفت که ضخامت آبرفت حدود ۱۶۰ متر می باشد.



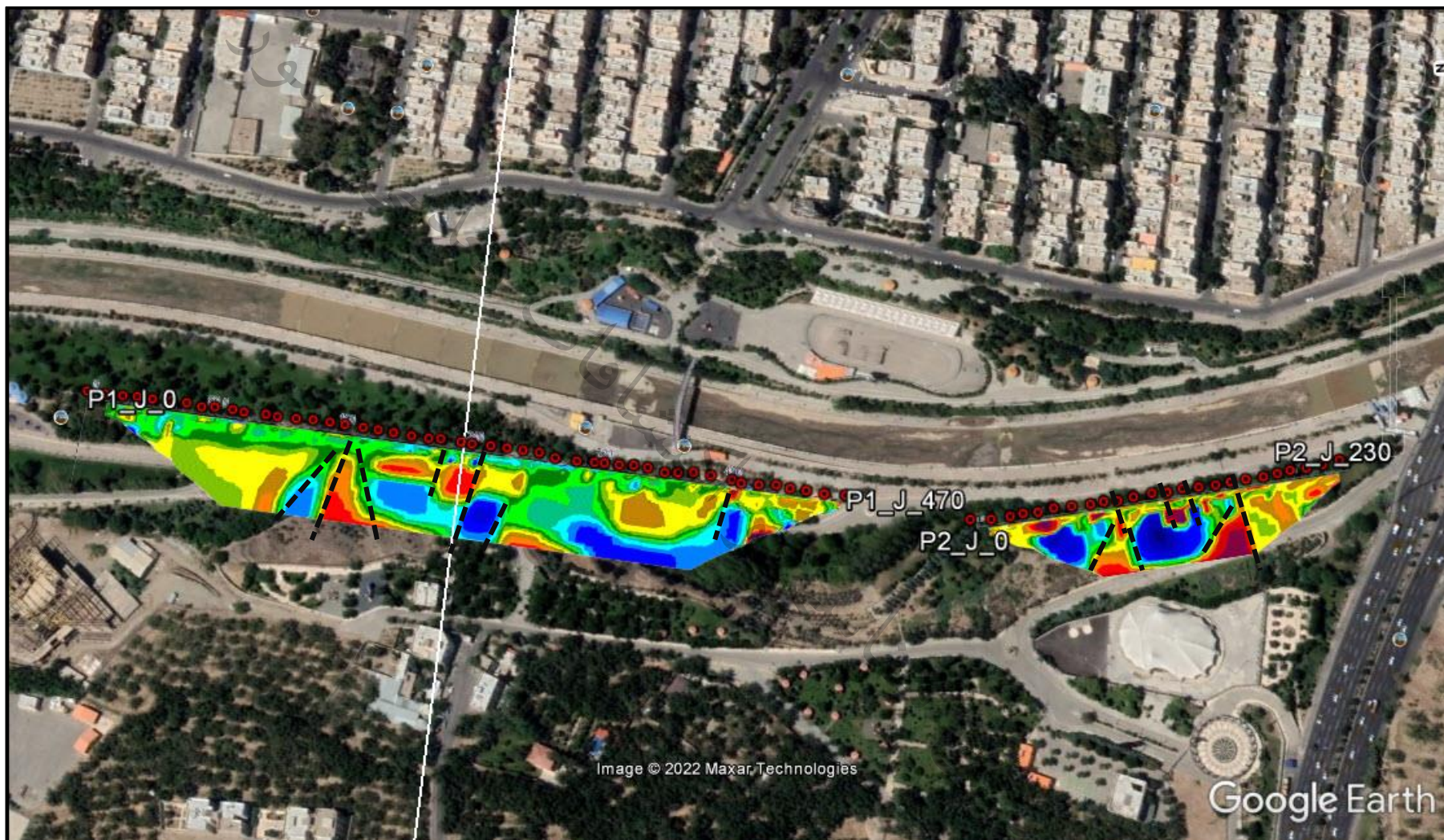


شکل ۴-۹: داده‌های مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده (دایره‌ها بر روی منحنی سیاه رنگ)، مدل حاصل از وارون‌سازی یک بعدی داده‌ها (مدل لایه‌ای آبی رنگ) و پاسخ مدل وارون (منحنی قرمز رنگ) به روش شلومبرژه در طول پروفیل  $PI-Y$

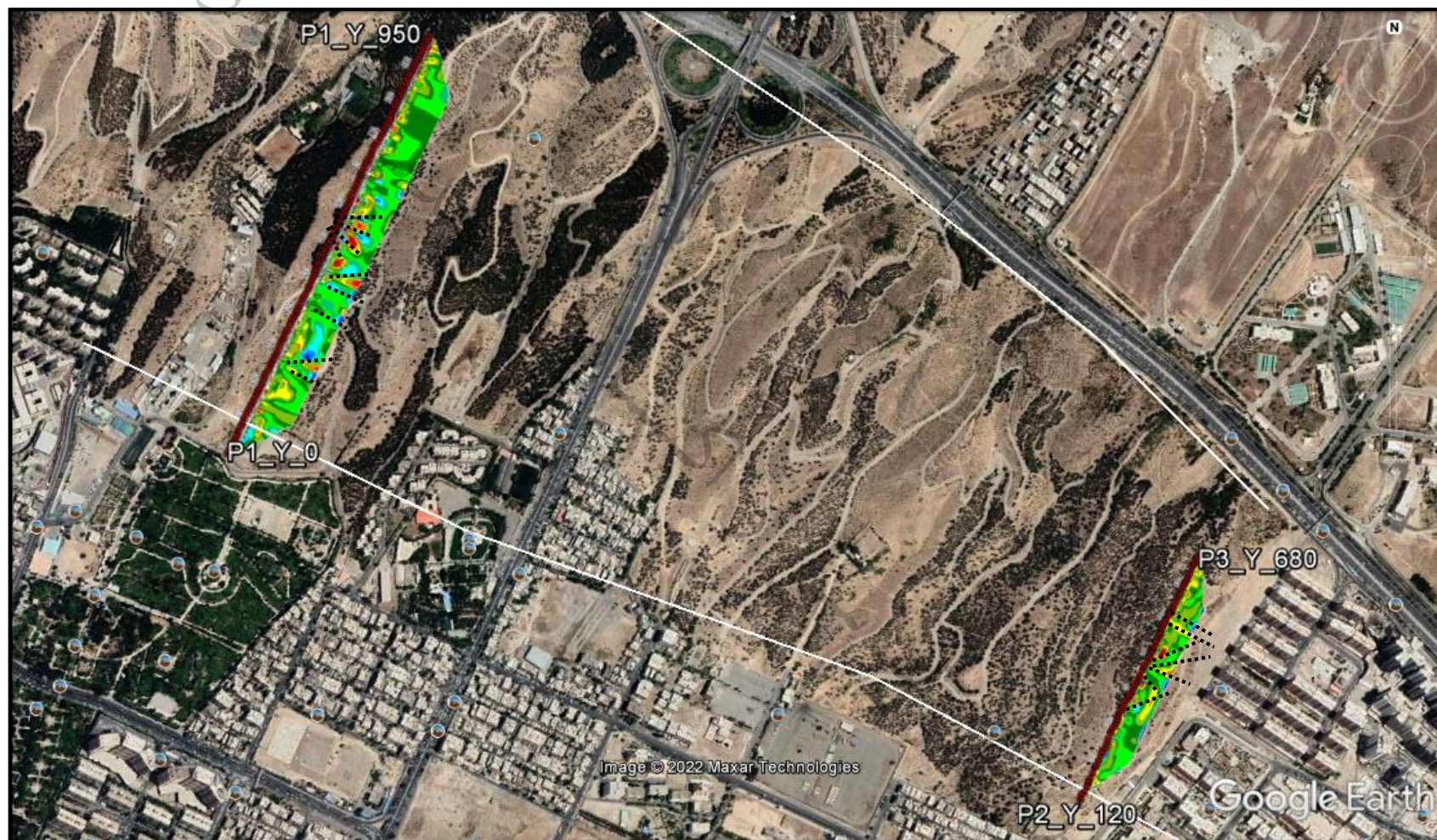


### ۴-۳- نمایش سه بعدی داده ها

در این بخش به منظور دید سه بعدی نسبت به نتایج پروفیل ها، مقاطع مدل سازی شده پروفیل ها حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه بهمراه گسل های معرفی شده توسط گروه مخاطرات در کنارهم به نمایش در آمده اند. برای جانمایی پروفیل ها از نرم افزار Google Earth استفاده شده است و در نهایت نمای سه بعدی حاصل در شکل های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ به نمایش در آمده است. این تصاویر دید بهتری نسبت به امتداد گسل ها و شکستگی ها در اختیار قرار می دهند. همچنین همبری یا گسل احتمالی با خط چین سیاه و گسل معرفی شده توسط گروه مخاطرات با خط سفید بر روی تصویر ماهواره ای نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰: نمایی از مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه بهمراه گسل معرفی شده توسط گروه مخاطرات (خط سفید رنگ) در محدوده بوستان جوانمردان بر روی تصویر ماهواره ای (برگرفته از نرم افزار Google Earth).



شکل ۱۱-۰۴: نمایی از مدل های حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه به همراه گسل معرفی شده توسط گروه مخاطرات (خط سفید رنگ) در محدوده بوستان جوانمردان بر روی تصویر ماهواره ای (بر گرفته از نرم افزار Google Earth).

## فصل پنجم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در دو محدوده تعیین شده جهت بررسی تدقیق گسل های مدفون، در مجموع ۴ پروفیل با آرایش دوقطبی- دوقطبی با فواصل الکترودی ۵ متر تا عمق حدود ۴۰ متر و یک سونداژ مقاومت ویژه با آرایش شلومبرژه و فاصله الکترودی جریان  $AB=1000$  متر برداشت گردید. همانطور که قبلا اشاره شد، برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی با توجه به محدودیت های مکانی موجود از قبیل ساختمان ها، فضای سنگ فرشی داخل بوستان ها، پوشش درختان و غیره طراحی و اجرا گردیدند. در ادامه نتایج حاصل در هر یک از مناطق مزبور به صورت جداگانه آورده شده است.

#### - بوستان جوانمردان

در این محدوده دو پروفیل مقاومت ویژه برداشت گردیده است که نتایج حاصل از مطالعات مقاومت ویژه در طول پروفیل های مزبور حاکی از تغییرات مقاومت ویژه نهشته ها در سطح و اعماق می باشد. این مسئله ناشی از گسترش قابل توجه رسوبات ریزدانه به ویژه در رسوبات نزدیک سطح، رسوبات درشت دانه حاوی شن، ماسه و قلوه سنگ در اعماق و همچنین عبور گسل های اصلی محدوده است. از طرفی وجود شکستگی ها و ناپوستگی های زیاد و رطوبت در لایه ها، تشخیص گسترش بعضی از گسل ها از عمق تا نزدیک سطح به سختی قابل شناسایی است. بعلاوه محدودیت های موجود نیز مزید بر علت بوده و امکان برداشت پروفیل های موازی جهت شناسایی بهتر روند گسل های احتمالی را نداده است. اما در نهایت با توجه به نتایج حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل های مزبور (شکل های ۴-۲ و ۴-۴) و شواهد موجود در منطقه، می توان وجود همبری یا گسل احتمالی که شروع آنها از حدود ۵ متر تا عمق حدود ۳۵ متر متغیر و برخی نیز



دارای شیب می باشند، را محتمل دانست. لازم به توضیح است از در پروفیل P1\_J، همبری یا گسل احتمالی در زیر ایستگاه ۲۴۵ مشاهده می شود که تقریباً منطبق بر امتداد گسل معرفی شده توسط گروه مخاطرات می باشد.

### - بوستان یاس فاطمی

در این محدوده دو پروفیل مقاومت ویژه و یک سونداژ الکتریکی برداشت گردیده است که نتایج حاصل از مطالعات مقاومت ویژه در طول پروفیل های مزبور حاکی از مقاومت ویژه بسیار پایین (عمدتاً کمتر از ۱۵۰ اهم متر) نهشته های زیر سطحی در اعماق کم می باشد. ضخامت آبرفت با توجه به نتایج مطالعات سونداژ الکتریکی پروفیل P1\_Y در حدود ۱۶۰ متر تخمین زده می شود. در این محدوده به دلیل وجود شکستگی های زیاد و رطوبت بالا، تشخیص گسترش و امتداد بعضی از گسل ها از عمق تا نزدیک سطح دشوار است. اما در نهایت با توجه به نتایج حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ها، عمده همبری یا گسل احتمالی تقریباً در راستای دو گسل اصلی معرفی شده توسط گروه مخاطرات می باشند.



## تشکر و قدردانی

در انتهای گزارش لازم می دانیم از آقایان دکتر علیرضا عامری مدیرکل دفتر اکتشافات ناحیه ای و مهندس فیروز جعفری رئیس گروه ژئوفیزیک که در تهیه گزارش، راهنمایی های لازم را ارائه نمودند تشکر نمائیم. همچنین از سرکار خانم مهندس صبوره، کارشناس بخش مخاطرات نیز کمال تشکر را داریم.

کشور  
سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی

## فهرست منابع

۱- ریبن ۱۹۵۵-۱۹۶۶

۲- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی / امینی، ب- ناظر علمی امامی، م. ح. ۱۳۸۰؛ نقشه زمین شناسیتهران

با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰

۳- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی / تلفیق توسط: وحدتی دانشمند، ف. ۱۳۷۶؛ نقشه زمین شناسی شرق

تهران با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰

4-Rieben, E.H., Geological observations on alluvial deposits in northern Iran,  
Geological Survey of Iran 9,39.