# مطالعات ژئوفیزیکی

# جهت تعیین مقاومت ویژه الکتریکی

## پروژه: نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگا واتی

## کارفرما: شرکت سیمان تجارت مهریز

**مشاور: شرکت ابتکار انرژی ایساتیس**

**اردیبهشت ماه ۱۴۰۴**

# فصل ۱– مقدمه

## ۱-۱- پیشگفتار

این گزارش پیرو درخواست شرکت گروه صنعتی و معدنی سیمان تجارت مهریز به عنوان کارفرما و با هماهنگی شرکت ابتکار انرژی ایساتیس به عنوان مشاور و نماینده کارفرما در خصوص انجام آزمایش ژئوالکتریک جهت تعیین مقاومت ویژه خاک پروژه نیروگاه خورشیدی می باشد که توسط مهندسین مشاور سازه آزما گوهر ایساتیس تهیه و تدوین گردیده است.

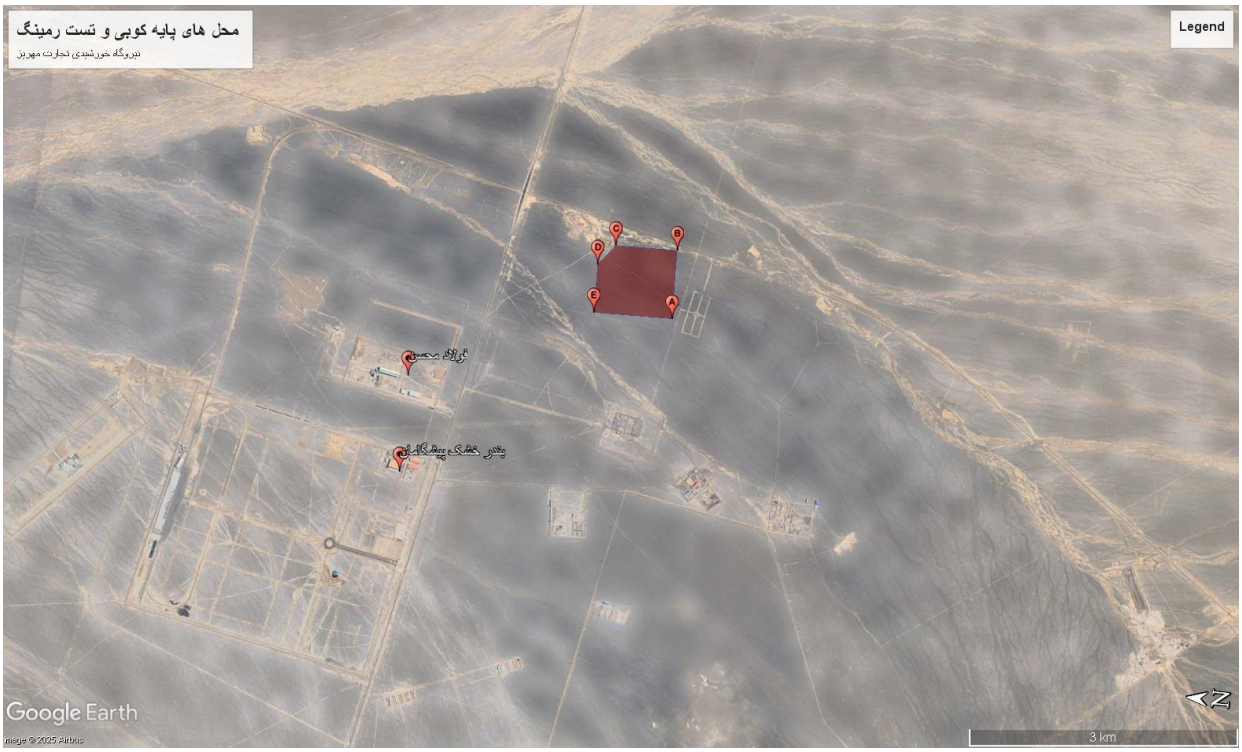
در این مطالعه از روش ونر برای اندازه گیری مقاومت ویژه خاک استفاده شده است. نوع و ابعاد سیستم های ارتینگ رابطه مستقیم با مقاومت ویژه خاک محل اجرای آن دارد. در برخی موارد برای اندازه گیری میزان خورندگی زمین یک منطقه نیز می توان از مقاومت ویژه خاک آن منطقه استفاده نمود . واحد اندازه گیری مقاومت ویژه خاک اهم-متر (یا اهم-سانتی متر ) می باشد. اندازه مقاومت ویژه خاک می تواند از یک اهم-متر (آب دریا) تا چند میلیون اهم-متر(ماسه سنگ) تغییر یابد.

روش ونر جهت تعیین مقاومت ویژه زمین همگن و ناهمگن به کار می‌رود. در روش مقاومت سنجی جریان‌های الکتریکی مصنوعی توسط دو الکترود به زمین تزریق می‌شود و اختلاف پتانسیل منتجه بین دو نقطه در سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. انحراف از شکل اختلاف پتانسیل‌های قابل انتظار در مورد زون‌های همگن اطلاعاتی در مورد شکل و خواص الکتریکی ناهمگونی‌های زیر سطحی ارائه می‌دهد. با عبور جریان الکتریکی از درون زمین روی سطح زمین آثار قابل ثبت مشاهده می‌شود. واضح است که ویژگی این آثار متناسب با ویژگیهای درونی زمین تغییر می‌کند. روش اندازه‌گیری این آثار بر پتانسیل‌های الکتریکی یا میدانهای مغناطیسی متکی است که در زمین به طور طبیعی یا مصنوعی ایجاد می‌شوند. در واقع اساس این روش بر رسانایی یا قابلیت هدایت الکتریکی سنگها و کانیها استوار است که در نهایت با اندازه‌گیری مقاومت ظاهری نقطه‌ای همچنین

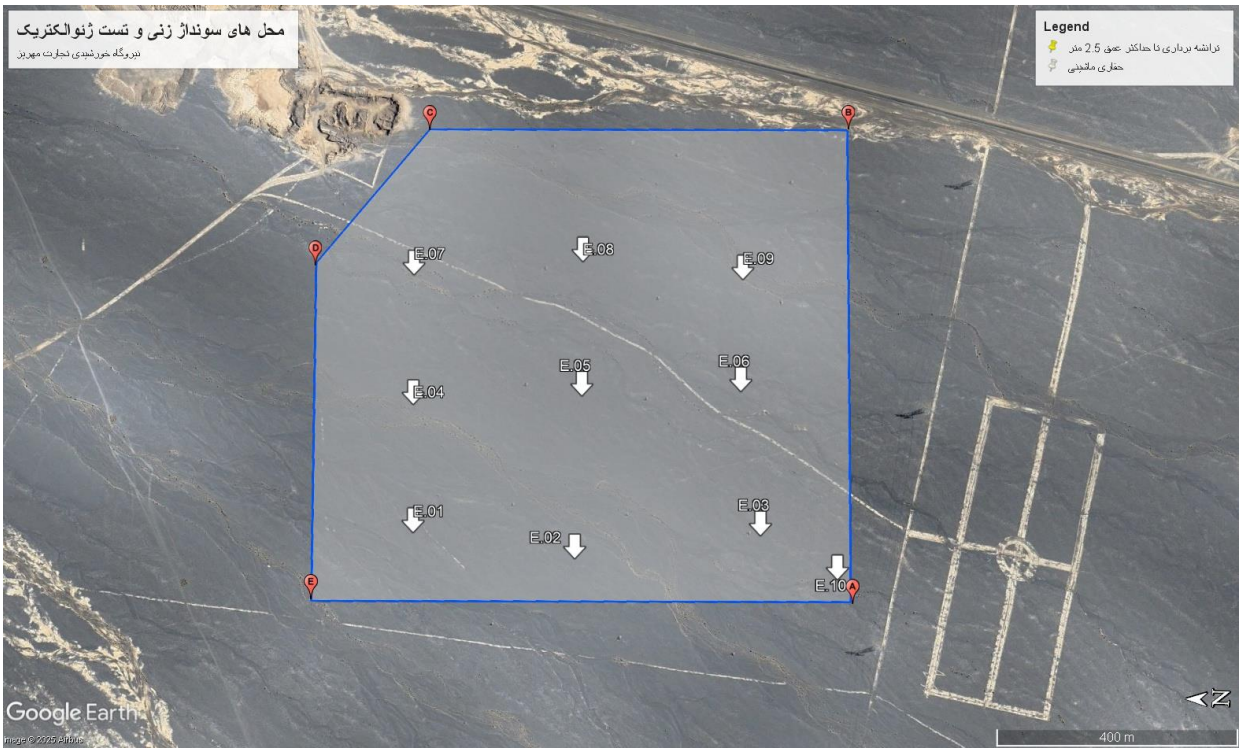
مقاومت ویژه لایه انجام می‌شود. در این پروژه مطالعات ژئوالکتریک از طریق سونداژزنی الکتریکی در ۱۰ نقطه با آرایه ونر در اعماق ۱ تا ۷ متر در نزدیکی محل حفر گمانه ها صورت گرفت.

### ۱-۲ -معرفی منطقه

پروژه مورد نظر در استان یزد- شهرستان مهریز- کیلومتر ۱۵ جاده کارخانه سیمان تجارت مهریز واقع شده است. که بر روی تصویر ماهواره‌ای شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای بزرگنمایی شده از منطقه مطالعاتی محل های انجام تست را نشان می دهد. همچنین در شکل ۲ نحوه قرارگیری پرفیل نقاط سونداژ ترسیم شده است. در جدول شماره ۱ مختصات سونداژهای انجام شده در پروژه ارائه گردیده است. لازم به ذکر است نقاط ذیل در سیستم UTM ارائه شده و این نقاط همگی در زون 40R واقع می باشند.




شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای نشان دهنده موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی




شکل ۲. نقشه ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی با درج موقعیت نقاط سونداژ زنی الکتریکی

**جدول ۱- مختصات سونداژ ها در پروژه**

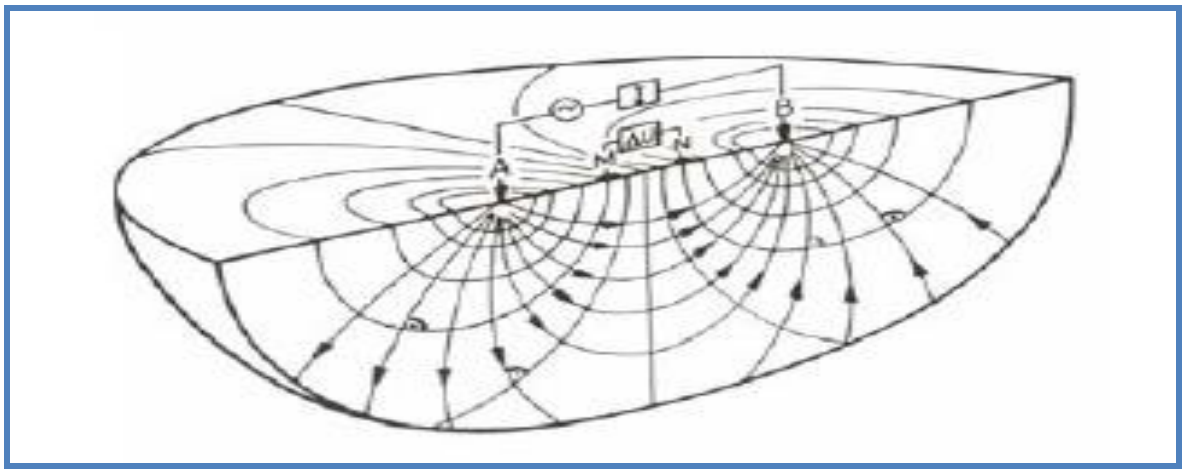
| شماره سونداژ | UTM (40R) | |
|---|---|---|
| | X | Y |
| **E.01** | 272653 | 3503171 |
| **E.02** | 272610 | 3502901 |
| **E.03** | 272649 | 3502591 |
| **E.04** | 272868 | 3503173 |
| **E.05** | 272883 | 3502890 |
| **E.06** | 272891 | 3502623 |
| **E.07** | 273088 | 3503174 |
| **E.08** | 273111 | 3502889 |
| **E.09** | 273081 | 3502619 |
| **E.10** | 272576 | 3502463 |

# فصل ۲–مطالعات ژئوالکتریک

## ۲-۱-مقاومت ویژه ظاهری و گمانه الکتریکی

اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی با مدارهایی که در آن زمین یک قسمت از مدار در نظر گرفته می‌شود انجام می‌شود در این مدار جریان با استفاده از دو الکترود با فاصله مشخص جریان الکتریکی به زمین فرستاده می‌شود و زمین در نقشه مقاومت عمل می‌کند و میزان اختلاف پتانسیل در دو سر الکترود پتانسیل اندازه گیری می‌شود. برای انجام این کار جریان الکتریکی مستقیم توسط دو الکترود فرستنده به زمین ارسال می‌شود، همزمان با آن اختلاف پتانسیل بین دو الکترود دیگر اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به چگونگی قرار گرفتن این چهار الکترود نسبت به یکدیگر و معلوم بودن مقادیر جریان ارسالی و اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده، مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho_a = \frac{K\,\Delta V}{I} \qquad (۱)$$



شکل ۳. وضعیت سه بعدی خطوط هم پتانسیل وخطوط جریان و آرایش الکترودها

عبارتی که در رابطه بالا با نماد K نشان داده شده، ضریب هندسی آرایه گفته می‌شود. مقدار آن بستگی به موقعیت هندسی الکترودها نسبت به یکدیگر دارد. کمیت فوق تنها در شرایطی که زمین از یک لایه کاملاً همگن و همسانگرد تشکیل شده باشد به ازاء فواصل مختلف الکترودها ثابت و برابر با مقدار واقعی مقاومت ویژه زمین خواهد بود. اما همانطور که میدانیم برآورده شدن چنین شرایطی در عمل بسیار بعید است و تنوع و تغییراتی که در جنس، دانه بندی، تراکم و رطوبت لایه‌های زمین وجود دارد موجب عدم یکنواختی مقادیر مقاومت ویژه به ازاء فواصل مختلف الکترودها شده و لذا کمیت فوق را مقاومت ویژه ظاهری میخوانیم.

مطالعه عوارض عمقی زمین که بارزترین نمونه آنها لایه بندی نسبتاً موازی با سطح افق می‌باشند با بررسی تغییرات عمقی مقاومت ویژه ظاهری صورت می‌گیرد. این بررسی‌ها که تحت عنوان گمانه (سونداژ الکتریکی) مطرح شده است و با افزایش پی در پی فاصله الکترودهای جریان و تکرار اندازه گیری مقاومت ویژه ظاهری در یک نقطه انجام می‌گیرد. (محل سونداژ الکتریکی در آرایه‌های متقارن در مرکز آرایه است). همراه با افزایش فاصله الکترودها، عمق نفوذ جریان در زمین افزایش می‌یابد. بدین ترتیب مقاومت ویژه لایه‌های عمیق تر نیز بر مقدار مقاومت ویژه ظاهری تأثیر می‌گذارد. چرا که مقاومت ویژه ظاهری بیانگر مقدار متوسط مقاومت ویژه محدوده‌ای از زمین است که به دو سطح هم پتانسیل که از محل الکترودهای پتانسیل می‌گذرند، محدود می-شود. عمق این محدوده برابر با عمق نفوذ مؤثر جریان الکتریکی است.

**۲-۲-تئوری روش ژئوالکتریک :**

در روش مقاومت سنجی، جریان الکتریکی مستقیم یا متناوب با فرکانس پایین (ایجاد شده توسط باتری یادستگاه مولد) از طریق دو الکترود نصب شده(C1, C2) در سطح زمین به داخل زمین فرستاده می شود .ولتاژ حاصل از این جریان در داخل زمین بوسیله دو الکترود(P1, P2 ) اندازه گیری می‌شود. پارامتر ژئوفیزیکی مورد استفاده در تفسیر داده های مقاومت سنجی، مقاومت ظاهری( ρ ) می‌باشد که در مورد زمین های همگن برابر با مقاومت حقیقی مصالح است .این پارامتر از رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho a = K.\ \Delta V / I$$

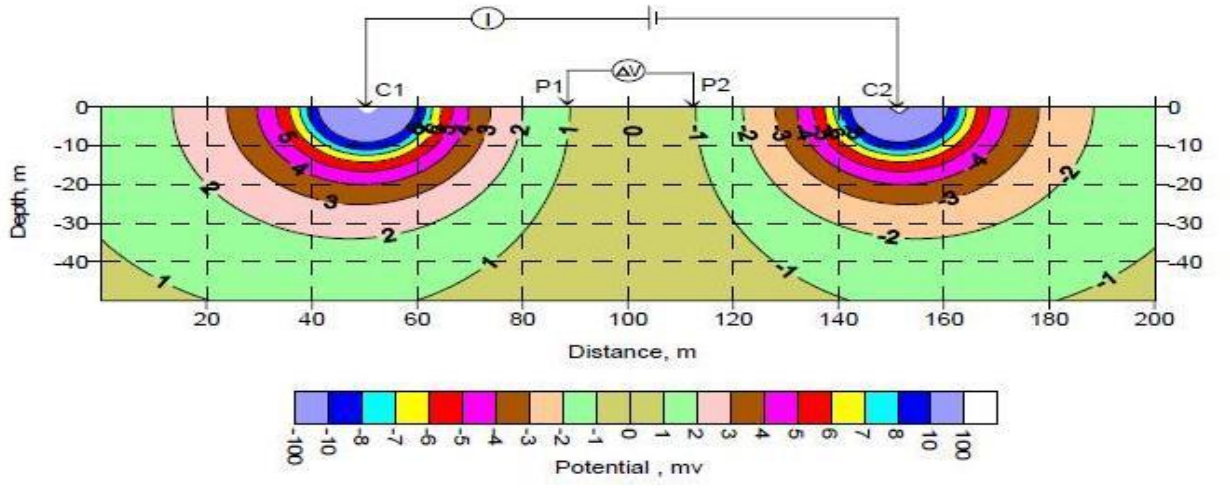
K : ضریب فاکتور هندسی که بستگی به فاصله بین الکترودها دارد.

ΔV : اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بین دو الکترود C1 و C2

I : شدت جریان ترزیق شده به زمین توسط دو الکترود P1 وP2

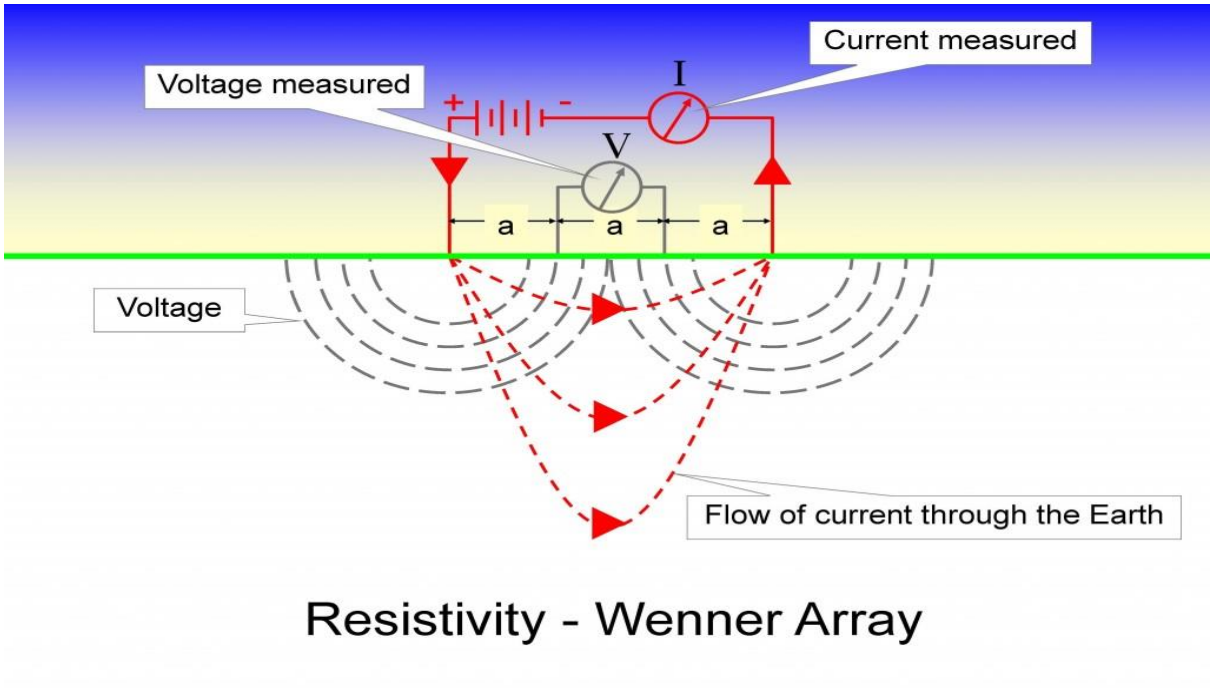
در شکل ۱ شمایی از انجام عملیات مقاومت سنجی نشان داده شده است .در این شکل خطوط جریان و هم پتانسیل در اطراف دو الکترود جریان نشان داده شده است .

شکل الکترودها میتوانند آرایشهای مختلفی داشته باشند، معمولا چهار روش شلومبرژه، ونر، قطبی -دو قطبی و دوقطبی -دو قطبی متداول ترند(شکل۴). در روش سونداژ الکتریکی به روش شلومبرژه و ونر، فاصله بین الکترودها به طور منظم در دو طرف یک نقطه مرکزی افزایش می یابد.




شکل ۴ - تصویر شماتیک از خطوط هم پتانسیل در عملیات مقاومت سنجی

داده های حاصل از برداشتهای صحرایی شامل ولتاژ و شدت جریان می باشد و از روی رابطه ذکر شده مقاومت مخصوص ظاهری محاسبه می شود




شکل ۵ - تصویر شماتیک مقاومت سنجی با ارایش الکترودی ونر

**۱-۲-۲تجهیزات مورد استفاده :**

- ۱ عدد دستگاه مگر چهار سیم METREL 2124
- کابل و قرقره های جریان و ولتاژ که در چهار قرقره مجزا قرار دارند
- الکترودهای فولادی جهت انتقال جریان هشت عدد
- متر ۵۰ متری و ۵ متری دو عدد
- چکشهای 2.5 kg دو عدد

**۲-۲-۲-روش کار :**

با ترزیق جریان I توسط دو الکترود جریان به زمین، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو الکترود، توسط دستگاه مگر اندازه گیری و با معلوم بودن مقادیر K و ΔV/I و رابطه ی $\rho_a = K^* \Delta V / I$ مقاومت الکتریکی برای هر عمق محاسبه می گردد.

تمامی سونداژها با آرایش الفا ونر و با توجه به نیاز پروژه از فاصله یک متر تا a=7 متر برای ۱۰ نقطه انجام گرفت.

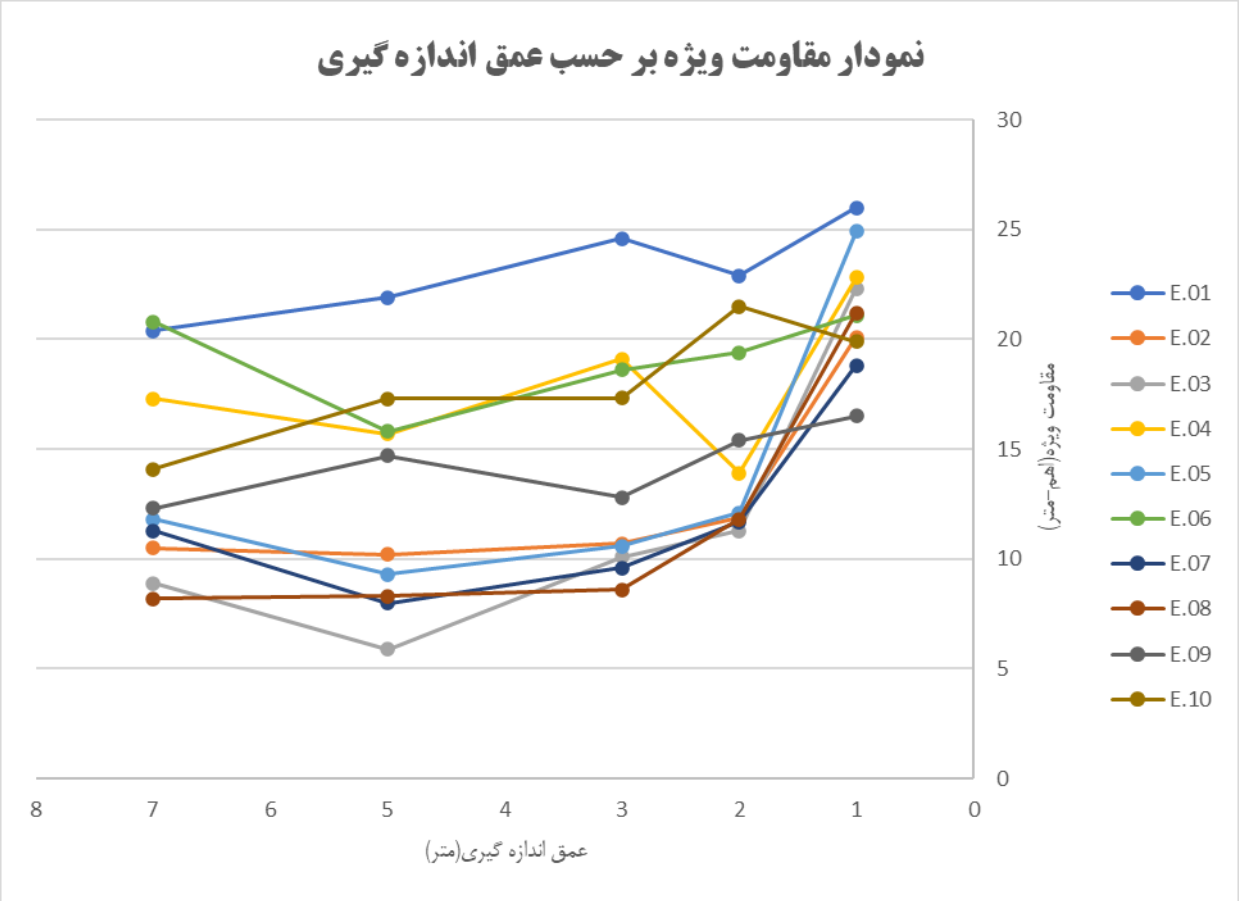
جریان برق توسط دو الکترود C1 و C2 که الکترودهای جریان هستند به داخل زمین فرستاده می شوند و پس از عبور از لایه های درون زمین , اختلاف ولتاژ توسط دو الکترود ( E1 و E2 ) دریافت می شوند . در نهایت با محاسبات انجام گرفته توسط دستگاه بر روی جریانهای ارسالی و ولتاژهای دریافت و ضریب هندسی که مربوط به فاصله الکترودها از هم هستند مقاومت مخصوص ظاهری تعیین می گردد.

**۲-۳-عملیات داده برداری و نتایج**

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شد تعداد ۱۰ سونداژ الکتریکی در نزدیکی محل حفر گمانه های ژئوتکنیک انجام شد. تمامی سونداژها با آرایش ونر انجام گرفتند. حداکثر عمق مورد مطالعه با توجه به نیاز کارفرما ۷ متر برای فواصل ۱، ۲، ۳ ، ۵ و ۷ متر در نظر گرفته شد و مقاومت ویژه محاسبه گردید. در جدول ۲ این مقادیر برای تمام سونداژها و ۷ نقطه نشان داده شده است.

جدول۲. مقادیر مقاومت ویژه برای اعماق مختلف در محل سوندژها

| E.10 | E.09 | E.08 | E.07 | E.06 | E.05 | E.04 | E.03 | E.02 | E.01 | عمق اندازه گیری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19.9 | 16.5 | 21.2 | 18.8 | 21.1 | 24.9 | 22.8 | 22.3 | 20.11 | 26 | **1** |
| 21.5 | 15.4 | 11.8 | 11.7 | 19.4 | 12.1 | 13.9 | 11.3 | 11.9 | 22.9 | **2** |
| 17.32 | 12.8 | 8.6 | 9.6 | 18.6 | 10.6 | 19.1 | 10.1 | 10.7 | 24.6 | **3** |
| 17.3 | 14.7 | 8.3 | 8 | 15.8 | 9.3 | 15.7 | 5.9 | 10.2 | 21.9 | **5** |
| 14.1 | 12.3 | 8.2 | 11.3 | 20.8 | 11.8 | 17.3 | 8.9 | 10.5 | 20.4 | **7** |



**نتیجه گیری:**

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی می توان ویژگی لایه ها را از نظر خورندگی مورد بررسی قرار داد. برای این منظور با مراجعه به طبقه بندی BS-1377 لایه های زیر زمینی را می توان به چهار گروه خورنده شدید، خورنده، متوسط و کم تقسیم بندی کرد.

جدول ۳- میزان خوردگی خاک بر اساس استاندارد BS-1377

| Soil Resistivity (Ohm-m) | Soil Corrosivity |
|---|---|
| <10 | Severe |
| 10-50 | Corrosive |
| 50-100 | Moderately corrosive |
| >100 | Slightly Corrosive |

مقادیر بدست آمده از آزمایش نشان دهنده یک لایه هوازه به ضخامت تقریبی ۰/۲ متر در سطح و لایه دوم متشکل از ماسه لای دار با همراه کمی شن می باشد. ذرات تشکیل دهنده این لایه بصورت متوسط سیمانی شده اند و در نهایت دو لایه بالایی بر روی لایه ماسه سنگ قرار می گیرد.

با رجوع به طبقه بندی BS-1377 از سطح تا عمق نفوذ و مطالعه شده تمام لایه ها در رده خاک های با خاصیت خورندگی "خورنده تا خورنده شدید" قرار می گیرد.

مقاومت الکتریکی خاک در عمق کمتر نسبت به قسمت عمیق تر مقدار بیشتری دارد که دلیل اصلی آن می تواند خشکی خاک سطحی و تراکم کمتر باشد( در سطح زمین شاهد خاک سست با تراکم کم هستیم) و با رسیدن به عمق دارای رطوبت دائمی و تراکم بالاتر مقاومت کمتری را شاهد هستیم. البته از تغییر جنس خاک هم به عنوان یک عامل مهم و موثرنمی توان غافل بود. بهرحال در طراحی ارت به روش های سطحی و عدم تعویض خاک بایستی در محاسبات ازنتایج ردیف های بالا استفاده کرد.

# تصاویر پروژه





