

## Study of susceptible alluvial semi-arid areas using geoelectric studies for underground dams construction

Najmeh Haj Seyed Ali Khani<sup>\*1</sup>, Hamzeh Saeediyani<sup>2</sup>, Fereydu Solaimani<sup>3</sup>

- 1- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 3- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, khuzestan, Iran

\* Corresponding author: n.sedalikhani@areeo.ac.ir

(Received: 28 September 2022

Revised: 22 October 2022

Accepted: 30 October 2022)

### Extended Abstract

**Introduction:** In arid and low rainfall regions where evaporation is high due to special climatic conditions, the possibility of surface storage of waters in many cases, on a small scale, is difficult and uneconomic because part of the water is out of reach due to evaporation and the other part of the water is out of reach due to infiltration. Also, many surface reservoirs do not have a long shelf life and are filled and out of reach due to accumulation of sediments. Therefore, underground dam studies are very important. One of the new technologies used in the field of groundwater development is the underground dam, which is used for various purposes such as preventing the movement of saline waters in desert. Underground dams are compatible with environmental conditions.

**Materials and methods:** To do this research, the watershed of The Rayen Underground Dam in the south of The City of Rayen and southeast of Karman city was selected. Geoelectric studies of the underground dam in The Reyen area were carried out in several stages with a total of 35 electric sondages. After harvesting the data and processing them by IPI2win software, the information of each of the harvest points in the region has been determined. The type of used geoelectric method is the harvesting method of four electrodes with Schlumberger array.

**Results and Discussion:** The importance of underground dams has been considered by most researchers around the world in recent years, and new types of methods are also used for their detailed studies, among which is the use of geoelectric method for studying underground dams. This has been considered in this research. Also, according to geological studies of Rayen region and geoelectric and topographic samples of the region, it can be concluded that the studied section is confined to two rock extrusions with the genus rhyolite and pyroclastic. Also, subsurface information of geoelectric sodages indicates the persistence of volcanic Igneous Stone below the intermediate surface between the two mentioned rock extrusions at a depth of 8 to 14 meters above the river bed surface and the slope of the bedrock from the sides to the center of the cross section in such a way that the maximum depth is in the center of the river and the minimum depth of bedrock is in the vicinity of rock extrusions. Considering the high importance of underground dams, it is suggested that the geoelectric studied methods in this study be studied more and more accurately to study underground dams in different watersheds throughout the country.

**Conclusions:** The results showed that the specific electrical resistance of the bedrock increases from upstream to the proposed axis. This indicates the change of bedrock in close range to the proposed axis compared to the upstream points. However, the specific resistance values related to alluvial layer in the whole study area do not change much and this state indicates the uniformity of alluvial layer in the study period. The specific resistance values of the bedrock are generally higher than the specific amounts of alluvial layer and the alluvial layer shows low specific resistance due to its abundant salts and brackish water. In addition, the specific resistance range of sediments and rocks showed a total of at least 36 ohms -meters and a maximum of 1313 ohms- meters.

**Keywords:** Bedrock, Geotechnical, Drought, Rayen

Citation: Haj seyed ali khani, N., Saeediyani, H., & Solaimani, F. (2022). Study of susceptible alluvial semi-arid areas using Geoelectric studies for underground dams Construction. *Integrated Watershed Management*, 2(3), 44-57. doi: 10.22034/iwm.2022.562739.1045

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی

نجمه حاج سید علی‌خانی<sup>۱\*</sup>، حمزه سعیدیان<sup>۲</sup>، فریدون سلیمانی<sup>۳</sup>

۱- محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۲- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خوزستان، ایران

\* نویسنده مسئول: n.sedalikhani@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶

### چکیده

در مناطق خشک و کم باران به دلیل شرایط خاص جوی و اقلیمی که تبخیر بالا است، امکان ذخیره‌سازی سطحی آب‌ها در بسیاری از موارد، در مقیاس کوچک مشکل و غیراقتصادی است؛ بنابراین مطالعات سدهای زیرزمینی اهمیت بسزایی دارد. برای انجام این تحقیق، حوزه آبخیز سد زیرزمینی راین در جنوب شهر راین در استان کرمان انتخاب شد. مطالعات ژئوالکتریک سد زیرزمینی منطقه راین در چند مرحله و در مجموع با ۳۵ سونداژ الکتریک انجام گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد. این مسئله بیانگر تغییر سنگ کف در محدوده نزدیک به محور پیشنهادی نسبت به نقاط بالادست است اما مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و این حالت بیانگر وجود یکنواختی لایه آبرفتی در بازه مورد مطالعه است. مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه الکتریکی لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه الکتریکی پائینی را نشان می‌دهد. ضمناً دامنه مقاومت ویژه الکتریکی رسوبات و سنگ‌های مختلف در مجموع حداقل ۳۶ اهم - متر و حداکثر ۱۳۱۳ اهم - متر را از خود نشان دادند و نوع روش ژئوالکتریک به کار برده شده نیز به شیوه برداشت چهار الکترودی با آرایه شلومبرژه است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌بستر، ژئوتکنیک، خشک‌سالی، راین

استناد: حاج سید علی‌خانی، ن.، سعیدیان، ح؛ سلیمانی، ف. (۱۴۰۱). مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۴۴-۵۷.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ‌شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

در طی سالیان اخیر با سوء مدیریت و عدم شناخت صحیح منابع آب‌و خاک و با روند رو به رشد تخلیه و استحصال منابع آب، سفره‌های زیرزمینی با کم‌آبی و افت شدید مواجه شده‌اند. بحران کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک عاملی محدودکننده برای فعالیت‌های انسان و توسعه پایدار کشاورزی است. یکی از فناوری‌های نوین در حل این بحران، سد زیرزمینی است (Habibzadeh *et al.*, 2020) که این نوع سد برای اهداف و موارد مختلف دیگری نیز مانند جلوگیری از پیشروی آب‌های شور در حاشیه کویر، کاربرد دارد. سد زیرزمینی از جمله تکنیک‌هایی است که به کمک آن می‌توان از طریق بهبود منابع آبی موجود، بهره‌وری از آن‌ها را افزایش داد (Sheikh Bahayee *et al.*, 2010). سدهای زیرزمینی بناهایی سازگار با شرایط زیست‌محیطی محسوب می‌شوند (Telmer & Best, 2004). احداث سدهای زیرزمینی به‌خصوص در فصل پاییز، آب با کیفیت مناسبی را برای مصارف بهداشتی و همچنین شرب دام جمع‌آوری می‌کنند (Salahadin *et al.*, 2014). سدهای زیرزمینی در بسیاری از مناطق مختلف دنیا به‌منظور توسعه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از تلفات آب با توجه به روند رو به رشد مصرف و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی که افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی را در پی داشته است، در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. همچنین سدهای زیرزمینی از فناوری‌های سازگار با طبیعت نیز است (Saffarian & Ajal Lueian, 2014). اجرای سدهای زیرزمینی نیازمند مطالعات اولیه کامل و جامعی است که از جمله این پیش‌نیازها، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و ژئوالکتریک می‌باشند که انجام این بررسی‌ها به‌صورت عملیات اکتشافی زیرسطحی، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و درنهایت استفاده از نتایج آن‌ها برای تعیین ویژگی‌های آبرفت داخل مخزن سد و تعیین خصوصیات سنگ‌بستر و تعیین ویژگی‌های مصالح

مورد استفاده در ساخت بدنه سد، الزامی است. برخی از کاربردهای مهم روش ژئوالکتریک در بررسی و شناسایی آبخوان‌های آبرفتی شامل میزان هدایت الکتریکی و ضریب قابلیت انتقال (Kossinski & Kelly, 1981) و همچنین تعیین عمق، ضخامت و مرز آبخوان (Jackson *et al.*, 1978)، میزان تخلخل و مقدار ضریب ذخیره (Frohlich & Kelly, 1987) است. بررسی‌های مختلفی در سراسر دنیا در ارتباط با سدهای زیرزمینی انجام شده است که هر کدام مزایا و معایب روش‌های مختلف احداث سدهای زیرزمینی در اقلیم‌های متفاوت در سراسر دنیا را بیان می‌کنند. Davoodi (2004) بیان کردند که بررسی‌های ژئوتکنیکی جزء ضروری‌ترین بخش مطالعاتی در ارتباط با سدهای زیرزمینی است. Khalifa و همکاران (۲۰۱۳) با توجه به نیم‌رخ‌های ژئوالکتریک و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بیان کردند که در مناطقی که ضخامت آبرفت افزایش می‌یابد، حفر گمانه‌ها بیشتر برای به دست آوردن خصوصیات مهندسی آبرفت باشد. Nilssin (۱۹۸۸) مجموعه‌ای از مطالعات شامل هیدروژئولوژی، اقتصادی، اجتماعی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، اقلیمی را ضروری می‌داند و توصیه می‌کند که با توجه به پرهزینه بودن آزمایش‌های لرزه‌نگاری و یا ژئوالکتریک، محدود کردن آن‌ها حائز اهمیت است. Ugwu و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی روش ژئوالکتریک در منطقه جنوب غرب نیجریه بیان کردند که لایه آبدار با ضخامت بین ۰/۷ تا ۳۷ متر، حدود ۷۰ درصد منطقه را فراگرفته است. Maniruzzaman و همکاران (۲۰۱۸) مناطق حاوی آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری در سنگ‌های افیولیتی منطقه جنوب آندمان را در اعماق ۳ تا ۲۰ متری به کمک روش ژئوالکتریک شناسایی کردند و با انجام گمانه‌های اکتشافی در نقاط پیشنهادی، نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک را تصدیق نمودند. هدف از این مطالعه بررسی و شناسایی آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت

### روش تحقیق

حوزه آبخیز سد زیرزمینی راین از لحاظ جایگاه زمین‌شناسی در زون ساختاری ارومیه - دختر واقع شده که بیشتر سنگ‌های آن آتشفشانی است. بروندهایی از پیروکلاست‌ها و روانه‌های بازیکی تا اسیدی، ریولیت‌هایی با توف در قسمت شرق و غرب محل مورد مطالعه و همچنین توف، توفیت و ریولیت در سمت شمال و شمال غرب، وجود دارد. سن این مجموعه رخنمون یافته مربوط به ائوسن فوقانی است. رسوبات عهد حاضر و کواترنری محل شامل پادگانه‌ها، آبرفت‌ها و آواری‌های قدیمی و جوان و رسوبات آبرفتی بستر رودخانه است. به لحاظ ساختاری ریولیت‌های شرق و جنوب شرقی منطقه به صورت تاقدیس با پلانژ به سمت جنوب شرق رخنمون دارد. ریز گسله‌ها بر برونزدها و محل تماس آن‌ها با رسوبات عهد حاضر تأثیرگذار بوده‌اند و همچنین جابجایی‌هایی در طول مسیر آبراه‌های ایجاد نموده‌اند که روند غالب آن‌ها شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند. منطقه مورد مطالعه واقع در بستر رودخانه تهرود واقع شده است. رودخانه با دبی بالا از ارتفاعات دوردست شرق و جنوب شرق نشأت گرفته و با روند شمال شرق - جنوب غرب در منطقه جریان دارد. منطقه مورد مطالعه به لحاظ تغذیه سفره‌های زیرزمینی در شرایط مساعد و مناسبی از نظر قرارگیری در بین ساختارها و عوامل توپوگرافی است (شکل ۲).



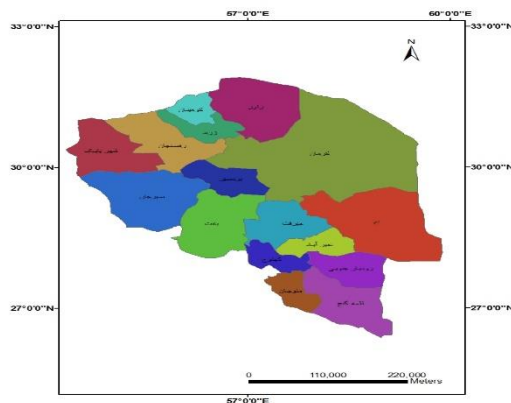
شکل ۲- تعیین محل اجرای سد زیرزمینی توتک  
Figure 2- The site selection of the Tutak underground dam

احداث سدهای زیرزمینی است که با توجه به اهمیت بالای کشف و شناسایی منابع آبی جدید در مناطق نیمه‌خشک و همچنین سایر مناطق با اقلیم‌های مختلف، می‌تواند راهگشای کارهای علمی نوین در زمینه کشف سفره‌های آبی جدید در حوزه‌های آبخیز مختلف در سراسر کشور باشد. همچنین این روش مطالعه کمک می‌کند که به منابع آبی پایدارتر در عمق‌های مختلف زمین با کم‌ترین هزینه اکتشاف دست یافت و گام‌های اساسی‌تر و مهم‌تری در رفع نیازهای آبی بخش‌های مختلف کشور به‌خصوص بخش‌های کشاورزی و همچنین شرب و بهداشتی ایجاد شود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

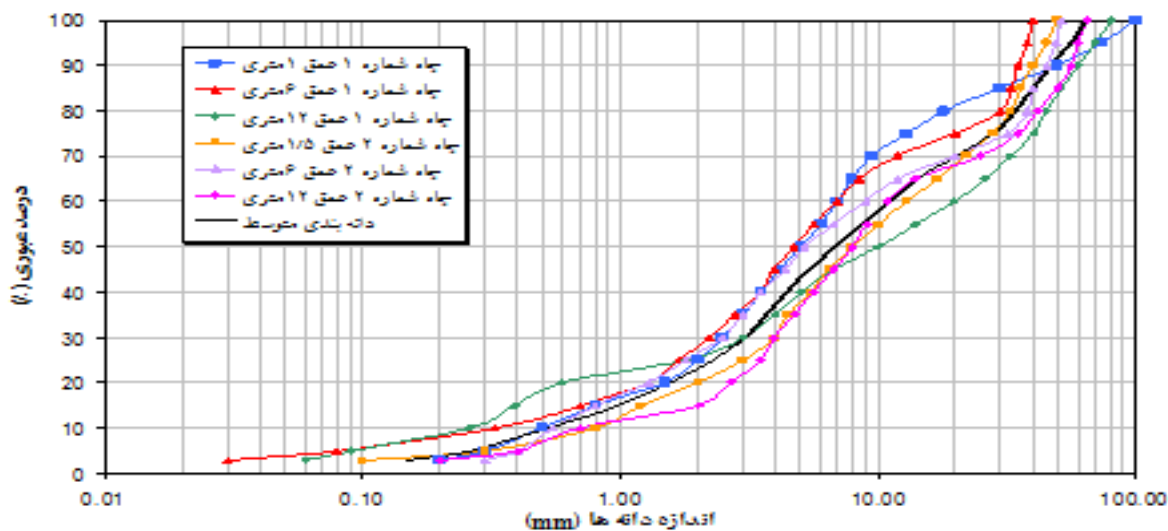
حوزه آبخیز سد زیرزمینی راین در جنوب شهر راین در استان کرمان و در فاصله حدوداً ۳۰ کیلومتری شهر راین و ۱۵۵ کیلومتری شهر کرمان قرار دارد و حدود ۱۲ کیلومتر از مسیر دسترسی به آن خاکی است. این محدوده جغرافیایی بین  $14^{\circ} 00'$  تا  $29^{\circ} 30'$  طول جغرافیایی و  $29^{\circ} 00'$  تا  $29^{\circ} 00'$  عرض جغرافیایی قرار دارد. این محدوده یکی از زیر حوزه‌های رودخانه‌ی تهرود بم و در محدوده کویر مرکزی واقع شده است. ارتفاع شهر راین از سطح دریا ۲۲۰۱ متر و میانگین بارش سالانه آن نیز ۹۳/۸ میلی‌متر است و دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کرمان  
Figure 1- Location of the study area in Kerman province

برآورد میزان نفوذپذیری مصالح آبرفتی بستر رودخانه و همچنین افزایش میزان دقت در مکان‌یابی سد زیرزمینی است.

در منحنی دانه‌بندی مصالح (شکل ۳)، ملاحظه می‌گردد که در این منحنی‌ها دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید به شرح جدول ۱ است. علت استفاده از این طبقه‌بندی برای



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه  
Figure 3- Grading curve of alluvial materials of river bed

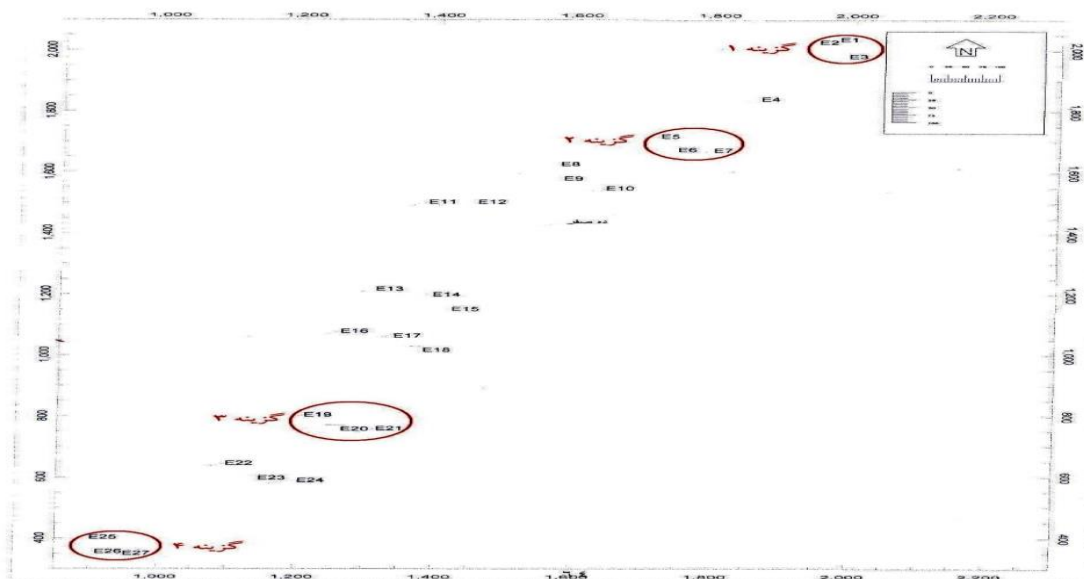
جدول ۱- دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه راین بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید

Table 1- Grading alluvial materials of the Rayen River Bed based on unified classification

ضریب همبستگی (Cz)	ضریب یکنواختی (cu)	D <sub>60</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>10</sub>	شرح دانه‌بندی	دانه‌بندی	عمق نمونه برداری (متر)	شرح
1.79	14	7	2.5	0.5	شن با دانه‌بندی خوب	GW	1	
2.10	21.21	7	2.2	0.33	شن با دانه‌بندی خوب	GW	6	چاه شماره 1
1.73	76.92	20	3	0.26	شن با دانه‌بندی خوب	GW	12	
1.54	16.25	13	4	0.8	شن با دانه‌بندی خوب	GW	1.5	
1.26	16.36	9	2.5	0.55	شن با دانه‌بندی خوب	GW	6	چاه شماره 2
2.08	15.71	11	4	0.7	شن با دانه‌بندی خوب	GW	12	
1.75	26.74	11.17	3.03	0.52	شن با دانه‌بندی خوب	GW	-	دانه‌بندی متوسط

و (۴). پس از برداشت داده‌ها و پردازش آن‌ها توسط نرم‌افزار IPI2win اطلاعات هر کدام از نقاط برداشتی در منطقه، مشخص گردیده است. آرایه شلومبرژه به‌طور گسترده در اکتشافات ژئوالکتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش برداشت در منطقه مورد مطالعه به شیوه برداشت چهار الکترودی با آرایه شلومبرژه صورت پذیرفت که در چهار نقطه سونداژی، فاصله بین ABهای برداشتی (خط فرستنده جریان و فاصله الکترودهای فرستنده) تا ۲۵۰ متر و MNها (فاصله الکترودهای گیرنده) به فاصله ۱، ۵ و ۱۰ متری اعمال گردیده است (شکل ۲



شکل ۴- موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک  
Figure 4- Position of geoelectric sondages

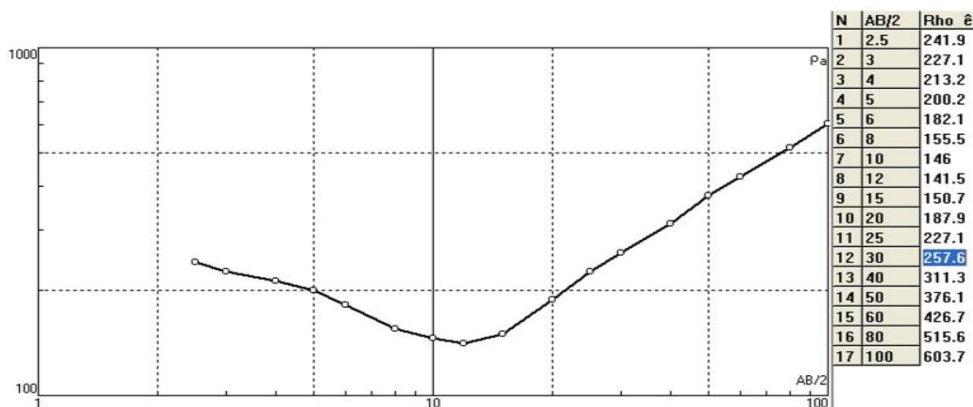
دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۴۹ اهم - متر است، همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۶ متر و مقاومت ۷۱ اهم - متر در عمق ۳ تا ۹ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۹ متر با مقاومت ۱۱۴۵ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۵ و ۶).

### نتایج

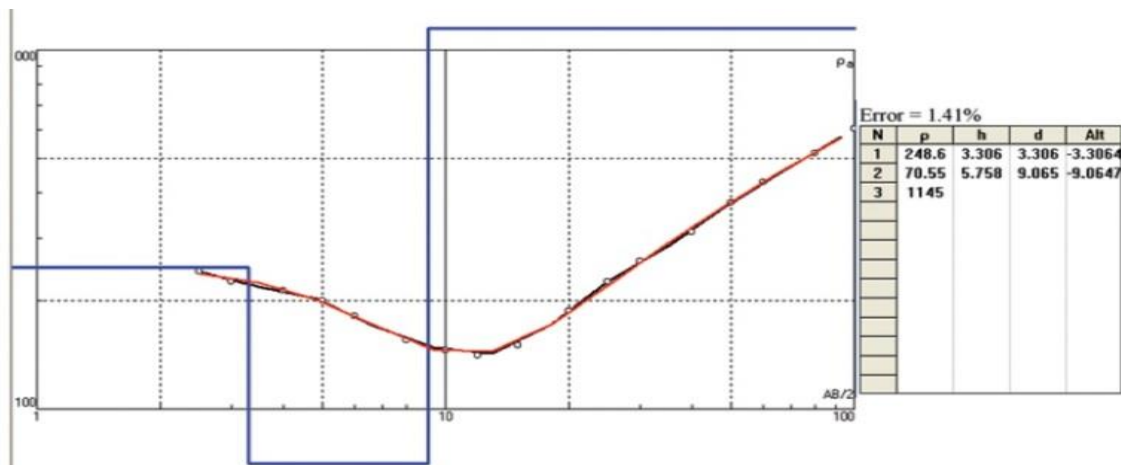
اطلاعات هرکدام از نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win و همچنین نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک سونداژهای مختلف در شکل‌های ۱ تا ۱۰ ارائه شده است.

### سونداژ شماره یک

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره یک 19.9 25 29 N: و 09.8 35 57 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات



شکل ۵- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۱  
Figure 5- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 1



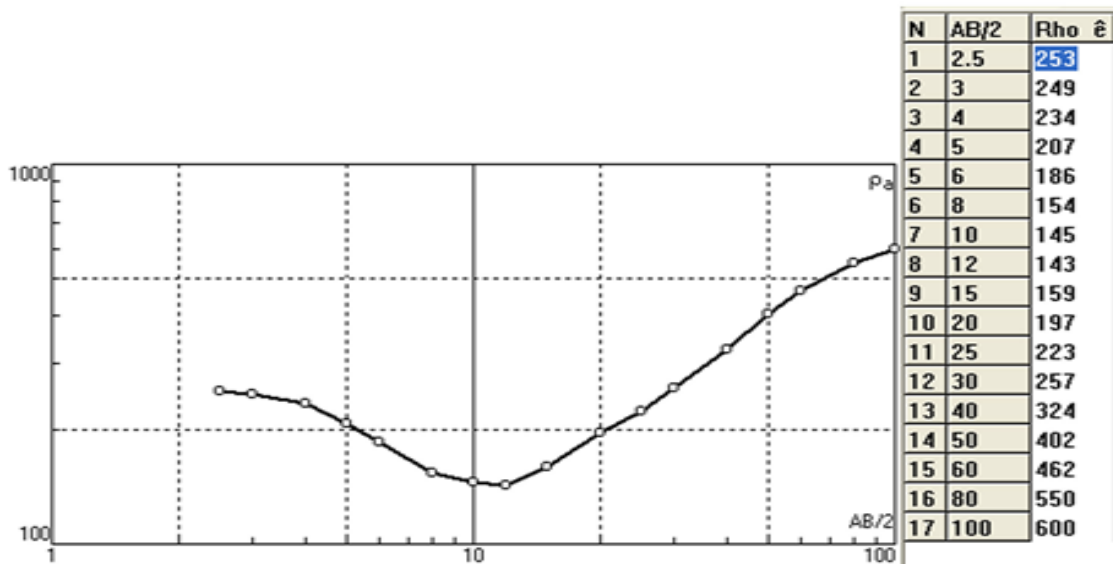
شکل ۶- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۱

Figure 6- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 1

همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۶ متر و مقاومت ۷۴ اهم - متر در عمق ۳ تا ۹ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۹ متر با مقاومت ۱۲۳۳ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۷ و ۸).

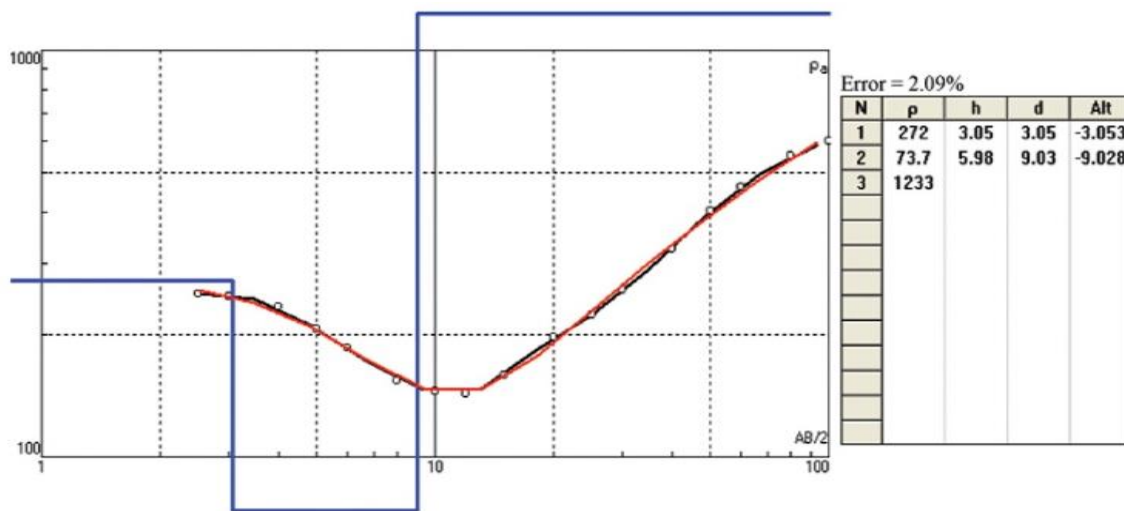
### سونداژ شماره دو

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره دو 29 25 20.3 N: و 57 35 09.8 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۷۲ اهم - متر است،



شکل ۷- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۲

Figure 7- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 2



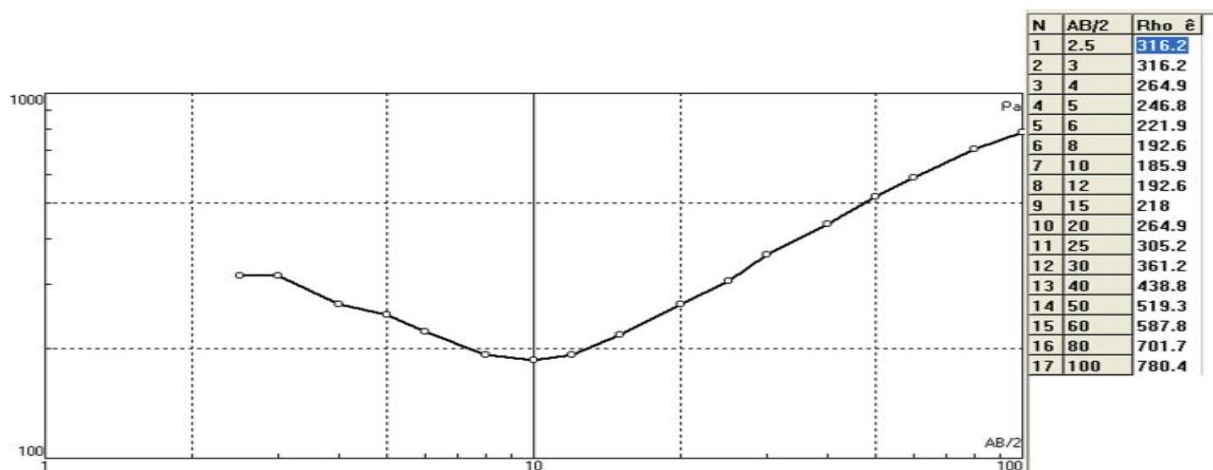
شکل ۸- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۲

Figure 8- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 2

است، همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۵/۵ متر و مقاومت ۹۸ اهم - متر در عمق ۲/۸ تا ۸/۵ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیک در عمق تقریبی ۸/۵ متر با مقاومت ۱۳۱۳ اهم - متر وجود دارد (شکل- های ۹ و ۱۰).

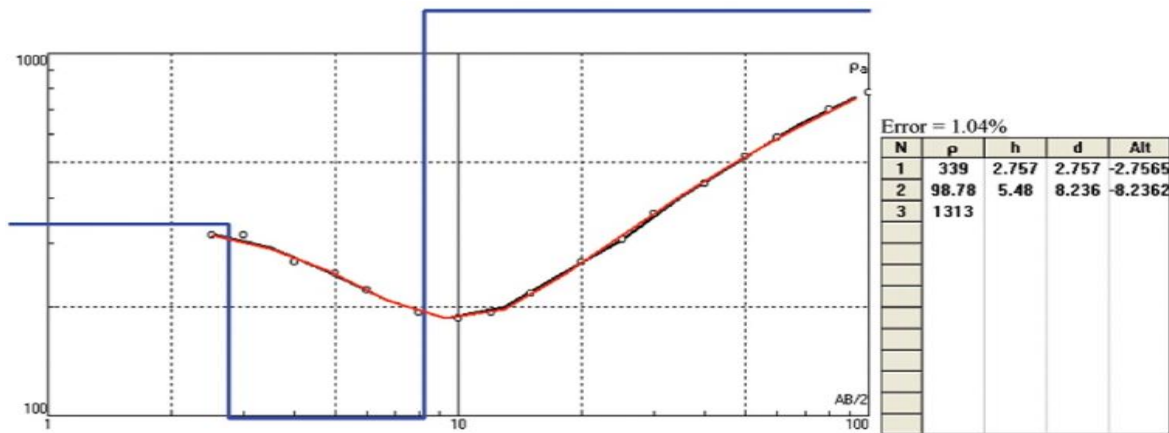
## سونداژ شماره سه

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره سه 29 25 20.5 N: و 57 35 09.9 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۲/۸ متر و مقاومت ۳۳۹ اهم - متر



شکل ۹- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۳

Figure 9- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 3

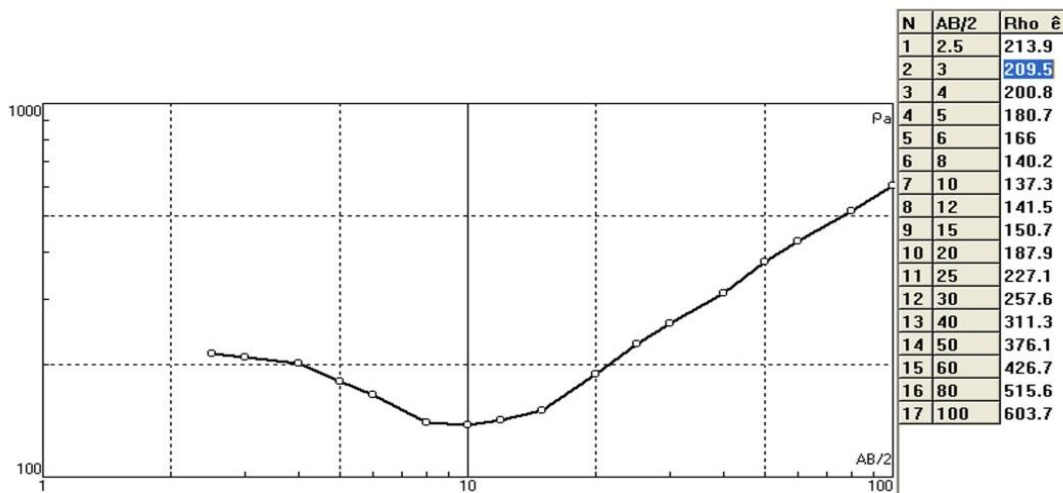


شکل ۱۰- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۳  
 Figure 10- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 3

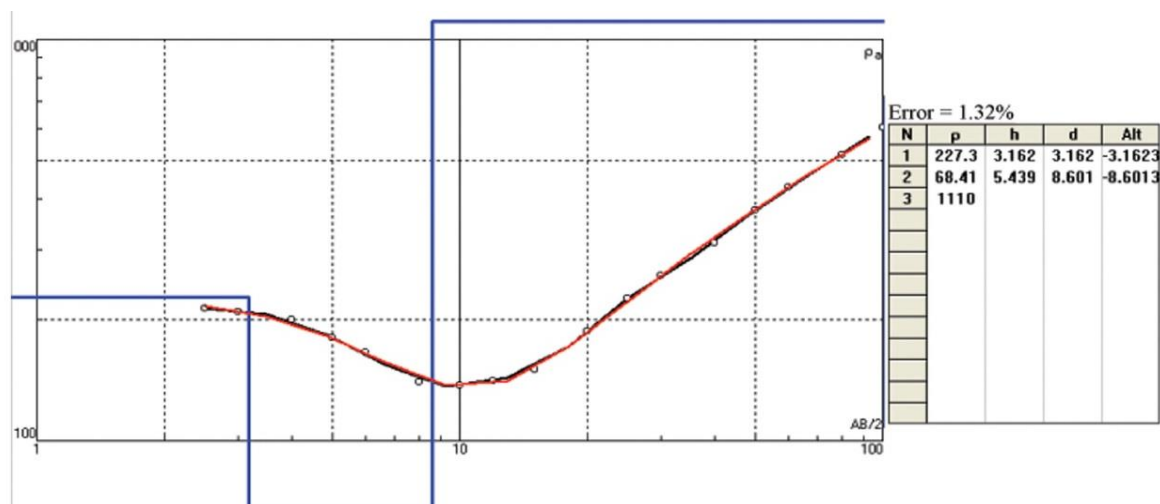
همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۵/۵ متر و مقاومت ۶۹ اهم - متر در عمق ۳ تا ۸/۵ متر، و لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۸/۵ متر با مقاومت ۱۱۱۰ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

#### سونداژ شماره چهار

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره چهار N: 29 25 و E: 57 35 10.1 است و اطلاعات به دست آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۲۷ اهم - متر، و



شکل ۱۱- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۴  
 Figure 11- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 4



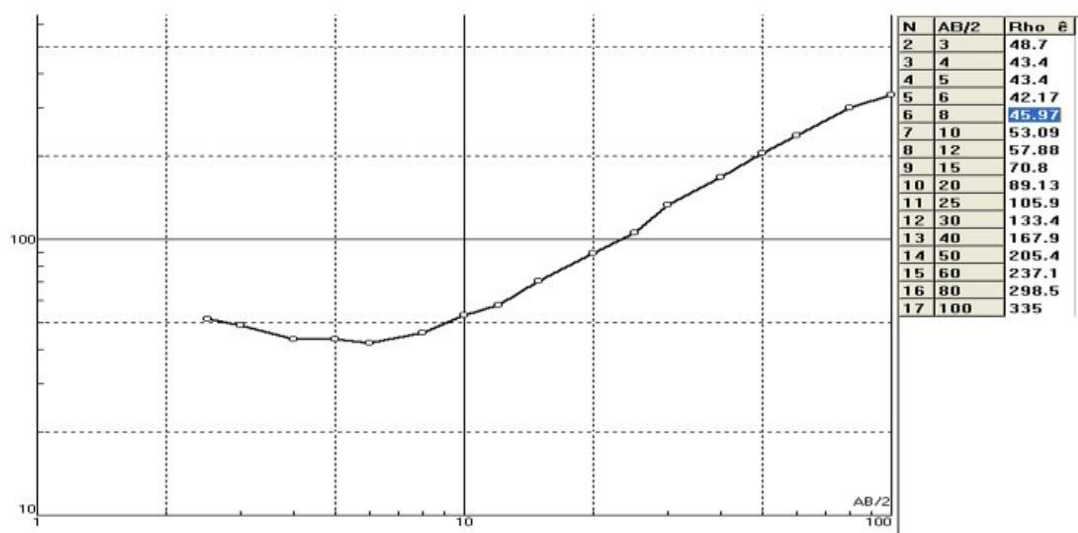
۱۲- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۴

Figure 12- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 4

اهم - متر، و همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای و دانه‌ریز واجد آب با ضخامت حدوداً ۶/۵ متر و مقاومت ۳۶ اهم - متر در عمق ۱ تا ۷/۵ متر، و لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیک در عمق ۷/۵ متر با مقاومت ۱۰۸۸ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

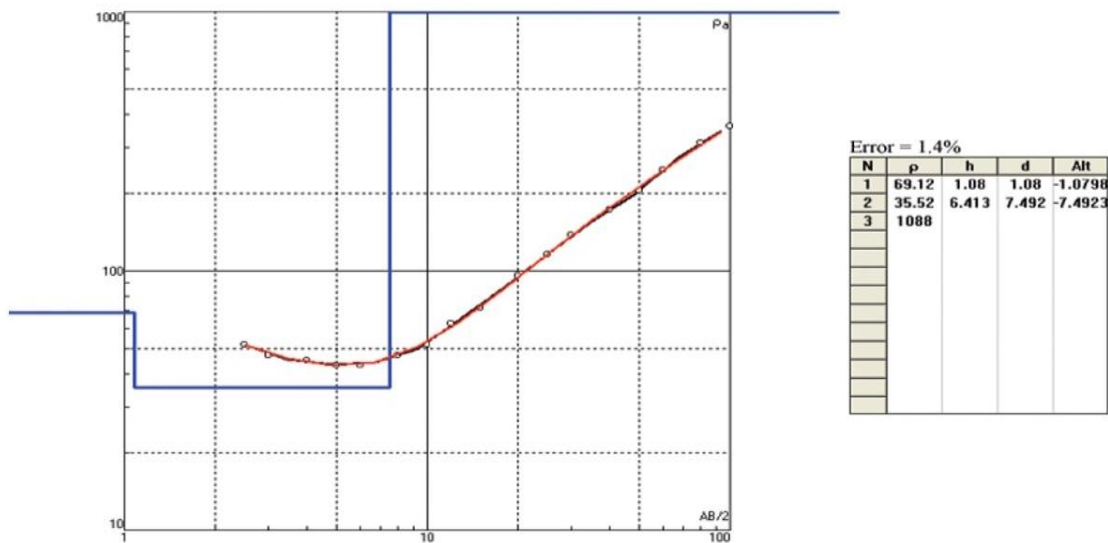
#### سونداژ شماره پنج

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره پنج ۲۹ ۲۵ ۲۰.۷ N: و ۵۷ ۳۵ ۰۸.۹ E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه‌ای از رسوبات سطحی و آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) مرطوب و آبدار با ضخامت تقریبی ۱ متر و مقاومت ۷۰



شکل ۱۳- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۵

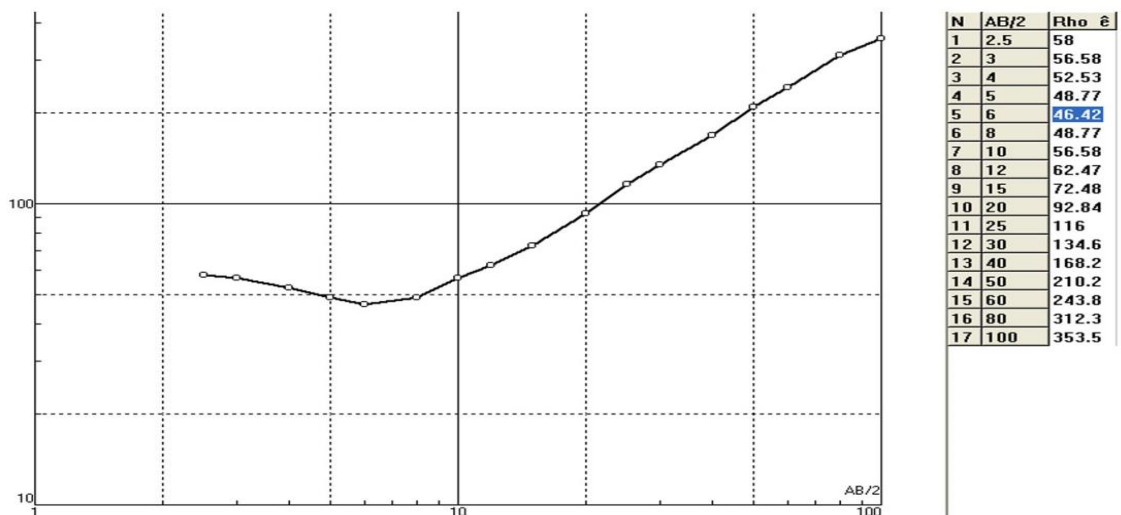
Figure 13- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 5



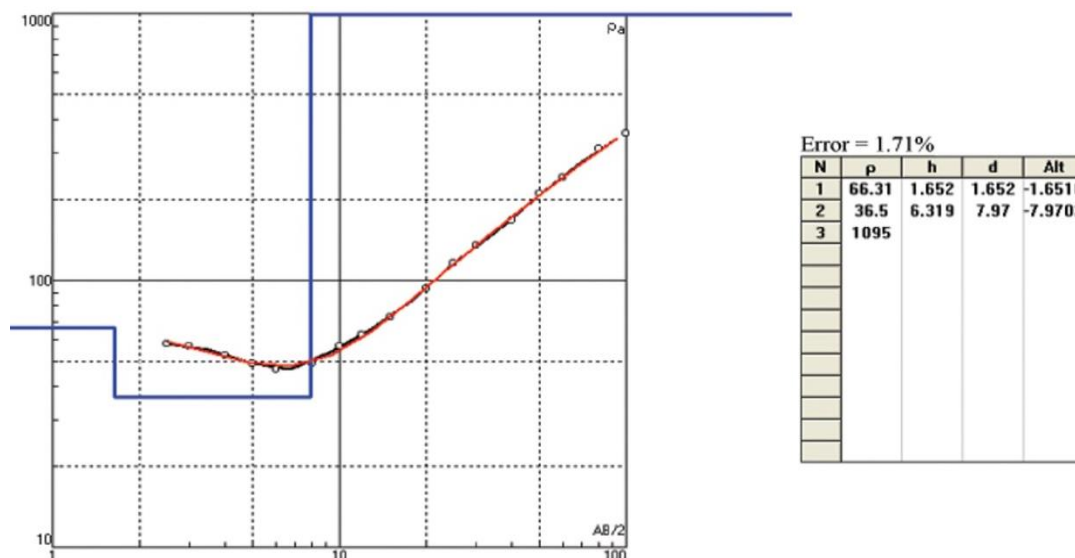
شکل ۱۴- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۵  
Figure 14- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 5

۶۷ اهم - متر، و همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای و دانه‌ریز واجد آب با ضخامت حدوداً ۶/۵ متر و مقاومت ۳۷ اهم - متر در عمق ۱/۵ تا ۸ متر، و لایه‌ای از سنگ-های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق ۸ متر با مقاومت ۱۰۹۵ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

سونداژ شماره شش  
مختصات جغرافیایی سونداژ شماره شش 20 25 29 N: و 09 35 57 E است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه‌ای از رسوبات سطحی و آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) مرطوب و آبدار با ضخامت تقریبی ۱/۵ متر و مقاومت



شکل ۱۵- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۶  
Figure 15- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 6



شکل ۱۶- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۶  
Figure 16- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 6

سنگ کف) در محل سد شماره ۱ طبق اطلاعات حاصل از سونداژهای ژئوالکتریک نقاط E1، E2 و E3 حدود ۱۶ متر است. ضخامت آبرفت در محل گزینه پیشنهادی برای سد ۲، ۲۱/۵ متر است. ضخامت آبرفت در محل گزینه شماره ۳ حدود ۲۹ متر است. با جمع‌بندی مطالب فوق نتیجه می‌شود که محل پیشنهادی سد ۱ که دارای آبرفت با ضخامت ۱۶ متر است، دارای قابلیت اجرایی و ضخامت مناسب است و بعلاوه عرض دره و طول تاج پرده آب‌بند در محل سد ۱ کمتر از سایر گزینه‌ها بوده و به‌عنوان گزینه نهایی انتخاب می‌شود. در مجموع طبق مطالعه انجام‌شده استفاده از روش ژئوالکتریک برای اندازه‌گیری ضخامت آبرفت‌ها و کشف لایه‌های آبدار و همچنین آب‌های زیرزمینی مناسب است که با نتایج تحقیقات Maniruzzaman و همکاران (۲۰۱۸) و Ugwu و همکاران (۲۰۱۶) که از روش ژئوالکتریک برای کشف لایه‌های آبدار و همچنین کشف آب‌های زیرزمینی با عمق‌های مختلف استفاده کرده و نتایج مناسبی گرفتند، مطابقت دارد. تفسیر نتایج این سونداژها نشان می‌دهد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد. این مسئله بیانگر تغییر سنگ کف در

## بحث

مطالعات ژئوالکتریک سد زیرزمینی راین در چند مرحله و در مجموع با ۳۵ سونداژ الکتریک انجام شد و در آن‌ها حداکثر فاصله الکتروادهای جریان معادل  $AB=100$  متر بود. بررسی‌های مربوط به سنگ کف ضخامت و نوع آبرفت مخزن سد یکی از پارامترهای مهم تعیین‌کننده جهت اطمینان از امکان ذخیره آب در فضاهای متخلخل آبرفت و نیز اطمینان از سهولت اجرای سد زیرزمینی است. جهت تعیین عمق سنگ کف مطالعات ژئوالکتریک و به‌طور ویژه سونداژهای ژئوالکتریک صورت گرفته است. محل‌های پیشنهادی برای اجرای سازه با شماره‌های اختصاری ۱، ۲، ۳ و ۴ شماره‌گذاری گردیده و در مجموع ۲۷ مورد سونداژ صورت پذیرفته است. با ترسیم داده‌های ژئوتکنیک و ترسیم گراف‌های مربوطه عمق سنگ کف در محل سونداژها مشخص گردید و نقشه‌های هم عمق سنگ کف و هم ضخامت آبرفت ترسیم گردید. با مراجعه به اطلاعات مذکور مشاهده گردید که بیش‌ترین مقدار عمق سنگ کف یا ضخامت آبرفت در محل مقطع ژئوالکتریکی E26، E27 و E25 است که عمق سنگ کف ۴۰ متر است که محل پیشنهادی برای سد ۴ است. ضخامت آبرفت (عمق

### نتیجه‌گیری

اهمیت سدهای زیرزمینی در سال‌های اخیر مورد توجه اکثر محققان در سراسر دنیا قرار گرفته است به طوری که از انواع روش‌های نوین نیز برای مطالعات دقیق آن‌ها استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از روش ژئوالکتریک برای مطالعه سدهای زیرزمینی است که این روش مهم در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌های ژئوتکنیکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های اجرای پروژه سد زیرزمینی است و به دلیل نیاز به عملیات صحرایی، زمان طولانی را نیز به خود اختصاص می‌دهد؛ اما علی‌رغم هزینه بالا و صرف زمان طولانی، چون این بررسی‌ها مهم‌ترین نقش را در اجرای این سازه‌ها به عهده دارد بایستی حتماً انجام شوند تا موجب صرفه‌جویی در تحمیل هزینه‌های اضافی در روند اجرای پروژه گردند. نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد اما مقادیر مقاومت ویژه مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و مقادیر مقاومت ویژه سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه پائینی را نشان می‌دهد. علاوه بر این دامنه مقاومت ویژه رسوبات و سنگ‌های مختلف در مجموع حداقل ۳۶ اهم - متر و حداکثر ۱۳۱۳ اهم - متر را از خود نشان دادند. با توجه به اهمیت بالای سدهای زیرزمینی پیشنهاد می‌شود روش‌های ژئوالکتریکی مورد مطالعه در این تحقیق برای مطالعه سدهای زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز مختلف در سراسر کشور مورد پژوهش بیشتر و دقیق‌تر قرار گیرد.

### References

Davoodi, M.H. (2004). Underground dams, economic strategies and effective in the management and development of water resources, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*. (In Persian)

محدوده نزدیک به محور پیشنهادی نسبت به نقاط بالادست است؛ اما مقادیر مقاومت ویژه مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و این حالت بیانگر وجود یکنواختی لایه آبرفتی در بازه مورد مطالعه است. مقادیر مقاومت ویژه سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه پائینی را نشان می‌دهد. هم‌چنین با توجه به مطالعات زمین‌شناسی منطقه راین و برداشت‌های ژئوالکتریک و توپوگرافی منطقه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقطع مورد مطالعه محصور به دو برونزد سنگی با جنس ریولیت و پیروکلاستیک است. هم‌چنین اطلاعات زیرسطحی سونداژهای ژئوالکتریک نشانگر تداوم سنگ آذرین ولکانیکی در زیر سطح حد واسط بین دو برونزد فوق‌الذکر در عمقی معادل با ۸ تا ۱۴ متر از سطح بستر رودخانه است و شیب سنگ بستر از طرفین به سمت مرکز مقطع است به طوری که بیشینه عمق در مرکز رودخانه و کمینه عمق سنگ‌بستر در مجاورت برونزدها است؛ بنابراین احداث سدهای زیرزمینی و تأثیر آن‌ها بر ذخیره آب در آبخوان‌ها بسیار تأثیرگذار است که با نتایج تحقیق Rezazadeh و همکاران (۲۰۱۰) که معتقد است احداث سدهای زیرزمینی رویکردی مفید در افزایش ذخیره آب موجود در آبخوان‌ها به خصوص نواحی ساحلی است، مطابقت دارد؛ بنابراین روش ژئوالکتریک اگر با فناوری‌های نوین همراه شود، می‌تواند روشی مفید و ارزشمند در کشف سفره‌های آب‌های زیرزمینی محصور و غیر محصور باشد و در رفع خشک‌سالی مناطق مختلف دنیا نقش بسزایی داشته باشد.

Frohlich, R.K. & Kelly, W.E. (1987). Estimates of specific yield with the geoelectric resistivity method in glacial aquifers. *Journal of Hydrology*, 97, 33-44.

Jackson, P.N., Taylor Smith, D., & Stanford, P.N. (1978). Resistivity- porosity- particle shape relationships for marine

- sands. *Journal of Geophysics*, 43, 1250-1268.
- Habibzadeh, A., Hosseinpour, A., & Soleimanzadeh, S. (2020). Feasibility study and construction of an underground dam in the Daryan watershed (Case Study: Mashnaqchy Underground Dam), *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(25), 53-65. (In Persian)
- Khalifa, M.H., Lashkaripour, Gh.L., & Marandi, M.H. (2013). *Geotechnical Studies Requirements and their role in the construction of underground dam (Case Study: Pesband Lamerd Underground Dam)*, The 8th Conference of Geological Society of Engineering and Environment of Iran, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Kossinski, W.K., & Kelly, W.E. (1981). Geoelectric sounding for predicting Aquifer Properties. *Journal of Groundwater*. 19, 163-171.
- Maniruzzaman, SK., Ramanujam, N., Champoil, V., Biswas, S.K., Rasool, Q.A & Ojha, C. (2018). Identification of Groundwater in Hard Rock Terrain Using 2D Electrical Resistivity Tomography Imaging Technique: Securing Water Scarcity at the Time of Seasonal Rainfall Failure, South Andaman. *International Journal of Geosciences*, 9, 59-70.
- Nilssin, A. (1988). *Groud water Dams for small-scale water supply*. IT Publication, 69 p.
- Rezazadeh, N., Torabi Kachosangi, F., & Baghvand, A. (2010). *Underground dams and its impact on aquifer storage*, the 1st National Conference on Coastal Water Resources Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, December 8-9, Department of Water Engineering. (In Persian)
- Saffarian, A., & Ajal Lueian, R. (2014). Geotechnical Attributes Assessment of Underground Dams. *Journal of Engineering Geology*, 8(4), 2413-2434.
- Salahadin, S., Foad, A., Umary, A., Sarkawt, G.S., Nadhir, A., & Ansari, S. (2014). Evaluation of Selected Site Location for Subsurface Dam Construction within Isayi Watershed Using GIS and RS Garmiyan Area. Kurdistan Region. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 972-987.
- Sheikh Bahayee, A., Aminizadeh, M.R., Khodaei, A., & Nohegar, A. (2010). *The role of Geotechnical and geomorphologic factors in the groundwater dams (case study. Kahnouj Dam)*, the 4th International Conference on Geoengineering and Soil Mechanics of Iran. (In Persian)
- Telmer, K. & Best M. (2004). Underground Dams: A Practical Solution for the Water Needs of Small Communities in Semi-Arid Regions, *School of Earth and Oceans Sciences*, University of Victoria. 6 pp.
- Ugwu, N.U., Ranganai, R.T., Simon, R.E., & Ogubazghi, G. (2016). Geoelectric Evaluation of Groundwater Potential and Vulnerability of Overburden Aquifers at Onibu Eja Active Open Dump site, Osogbo, Southwestern Nigeria. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 311-329.