



Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 2

Comparison of geoelectric sections of underground dams in low water and desert areas (Case study: Ravar underground dam in Kerman province)

Najmeh HajSeyed Alikhani^{1*}, Hamzeh Saeediyan², Mohammad Reza Aminizadeh³

¹ Researcher, 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, Department of Watershed Management, Kerman Province Natural Resources Office, Kerman, Iran

Received: 27.09.2022; Accepted: 26.12.2022

Abstract

Geoelectric method has become one of the most valuable methods in the field of groundwater studies in recent decades due to its many applications in the development and strengthening of groundwater. In this study, 35 sondages were carried out in the reservoir and axis of Ravar underground dam, as well as the depth of the bed stone and the topography was determined using geoelectric data. The results showed that A section represents a two-layer model and the upper layer is the alluvial layer. B section also represents a two-layer model. The thickness of alluvial layer varies between 6 meters at the S29 to 15 m at the S8 sondage site. The C section also represents a two-layer model. The thickness of alluvial layer varies between 5 meters at the S28 to 11 m at the S7 sondage site. The alluvial thickness during the H section is low and the bed stone is marl type and around the S28 sondage site is probably conglomerate type. Simultaneous investigation of geoelectric sections shows that in terms of strait width and alluvial thickness, the proposed axis for underground dam construction has been chosen in a suitable location.

Keywords: Geoelectric, Groundwater, Section, Ravar



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"

دوره اول، شماره دوم

<http://Nawee.gonbad.ac.ir>

مقایسه شرح مقاطع ژئوالکتریک سدهای زیر زمینی مناطق کم آب و کویری (مطالعه موردی: سد زیرزمینی راور استان کرمان)

نجمه حاج سیدعلی خانی^{۱*}، حمزه سعیدیان^۲، محمد رضا امینی زاده^۳

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

ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

^۳ محقق بخش آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی استان کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

چکیده

روش ژئوالکتریک در دهه‌های اخیر به علت کاربردهای فراوان در توسعه و تقویت آب‌های زیرزمینی به یکی از مهمترین روش‌های ارزشمند در زمینه مطالعات آب‌های زیر زمینی تبدیل شده است. در این پژوهش تعداد ۳۵ سونداژ در مخزن و محور سد زیر زمینی راور انجام شده است و همچنین عمق سنگ کف و توپوگرافی سنگ کف با استفاده از اطلاعات ژئوالکتریک نیز مشخص شده است. نتایج نشان داد که مقطع A نشان دهنده یک مدل دو لایه است و لایه بالایی همان لایه آبرفتی است. مقطع B نیز نشان دهنده یک مدل دو لایه است. ضخامت لایه آبرفتی بین ۶ متر در محل سونداژ S29 تا ۱۵ متر در محل سونداژ S8 متغیر است. مقطع C نیز نشان دهنده یک مدل دو لایه است. ضخامت لایه آبرفتی بین ۵ متر در محل سونداژ S28 تا ۱۱ متر در محل سونداژ S7 متغیر است. ضخامت آبرفت در طول مقطع H کم است و سنگ کف از نوع مارن و در پیرامون محل سونداژ S28 احتمالاً از نوع کنگلومرا می‌باشد. بررسی همزمان مقاطع ژئوالکتریک نشان می‌دهد که از نظر عرض تنگه و ضخامت آبرفت، محور پیشنهادی برای احداث سد زیرزمینی در محل مناسبی انتخاب شده است.

کلمات کلیدی: ژئوالکتریک، آب زیرزمینی، مقطع، راور

*. نویسنده مسئول، Email: n.sedalikhani@areeo.ac.ir

مقدمه

آب‌های زیرزمینی در طی سالیان متمادی در سنگ‌ها و مواد متخلخل جمع می‌شوند و محدوده‌هایی را به نام سفره آبدار تشکیل می‌دهند و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی مساعد به‌طور میانگین حدود ۲۸۰ سال طول می‌کشد تا یک سفره آب زیرزمینی به دوره‌ی بازیابی خود دست یافته و تجدید شود. در آینده‌ای نزدیک رفاه و آسایش جمعیت جهان به بهره‌برداری بهینه و پایدار آب‌های زیرزمینی و سطحی به‌طور قابل ملاحظه‌ای وابسته خواهد داشت (Bear et al., 2000; Minciardi et al., 2007). سدهای زیرزمینی سازه‌هایی سازگار با شرایط زیست محیطی به حساب می‌آیند (Telmer and Best, 2004). یکی از فن‌آوری‌های جدیدی که در زمینه توسعه آب‌های زیرزمینی به‌کارگرفته می‌شود، سد زیرزمینی است که این نوع سد برای اهداف و موارد مختلف دیگری نیز مانند جلوگیری از پیشروی آب‌های شور در حاشیه کوير، کاربرد دارد. اجرای این نوع سدها نیازمند مطالعات اولیه کامل و جامعی است. از جمله این پیش نیازها، مطالعه ژئوتکنیک می‌باشد که انجام این بررسی‌ها به صورت عملیات اکتشافی زیر سطحی، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و در نهایت استفاده از نتایج آنها برای تعیین ویژگی‌های آبرفت داخل مخزن سد و تعیین خصوصیات سنگ بستر و تعیین ویژگی‌های مصالح مورد استفاده در ساخت بدنه سد، الزامی است. مطالعات ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و لرزه زمین ساخت از بخش‌های مهم و اصلی ساخت سدهای زیرزمینی می‌باشند (Cheng et al., 2007). بررسی‌های ژئوتکنیکی از پر هزینه‌ترین 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 حتما انجام شوند تا موجب صرفه جویی در تحمیل هزینه‌های اضافی در روند اجرای پروژه گردند. اولین سد بزرگ زیر سطحی دنیا که فن‌آوری امروزی ساخت سدهای زیر سطحی را پایه ریزی نمود در پاکوئما کریک کالیفرنیا اجرا شد (Nilsson, 1988). امروزه مطالعات ژئوفیزیکی بخش مهمی از بررسی‌های تحت‌الارضی زیر سطحی را تشکیل می‌دهد چرا که با

استفاده از این روش‌ها می‌توان بدون انجام حفاری و روش‌های پر خرج دیگر تصویر جامع و مفیدی از اعماق زمین بدست آورد و برای ابهاماتی همچون لیتولوژی، عمق سنگ کف، محل شکستگی‌ها و گسله‌ها، همبری لایه‌ها، تعیین ضرایب دینامیکی پاسخ مناسب یافت. روش ژئوالکتریک یکی از روش‌های ژئوفیزیکی است که کاربرد فراوانی در آب‌های زیرزمینی دارد (Naseri, 2005). روش ژئوالکتریک یکی از جدیدترین روش‌هایی است که با هزینه کم و دقت قابل قبول می‌تواند نقش مهمی را در تعیین پارامترهای هیدرولیکی لایه آبدار ایفا کند (Taheri Tizro et al., 2022). همچنین با توجه به کاربردهای مختلف، روش‌های متفاوتی از عملیات ژئوالکتریک انجام می‌شود و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید (Qalamkari et al., 2016). با توجه به نیاز روز افزون به آب‌های زیرزمینی، روش ژئوفیزیکی کمک قابل توجهی به حل این مشکل می‌کند (Ansari et al., 2020). برای احداث یک بند زیرزمینی، وجود یک سنگ بستر نفوذ ناپذیر مثل سنگ‌های سخت و یا یک لایه رسی و همچنین یک مخزن مناسب با ضریب ذخیره بالا نیاز می‌باشد (Silva and. Rego Neto, 1992). تاریخچه استفاده از بندهای زیرزمینی در ایران و جهان به تمدن‌های قدیمی بر می‌گردد، در زمان رومیان در جزیره ساردینیا و در عصر صفویه در ایران که برای افزایش آب مادرچاه قنوات وزوان در میمه اصفهان، آب دیگر قنات‌ها توسط این بندها را به مادر چاه منحرف می‌کردند (Safinejad and Dadras, 2000). مطالعه منابع آب-های زیرزمینی برای حفاظت و استفاده پایدار از آنها امری ضروری است (Moshkelgosha et al., 2014). Sk et al (2018) مناطق حاوی آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری در سنگ‌های افیولیتی منطقه جنوب آندمان را در اعماق ۳ تا ۲۰ متری به کمک روش ژئوالکتریک بررسی کردند و با انجام گمانه‌های اکتشافی در نقاط پیشنهادی، نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک را تایید نمودند. Sun et al (2019) بیان کردند که احداث سد زیرزمینی وانگ در چین علاوه بر بهبود جریان آب زیرزمینی از نظر کیفیت و جذب مواد معدنی نیز باعث بهبود منابع آبی شده است. هدف از احداث سدهای زیرزمینی در مناطق کویری تقویت سفره‌های آب‌های زیرزمینی به منظور مصارف مختلف

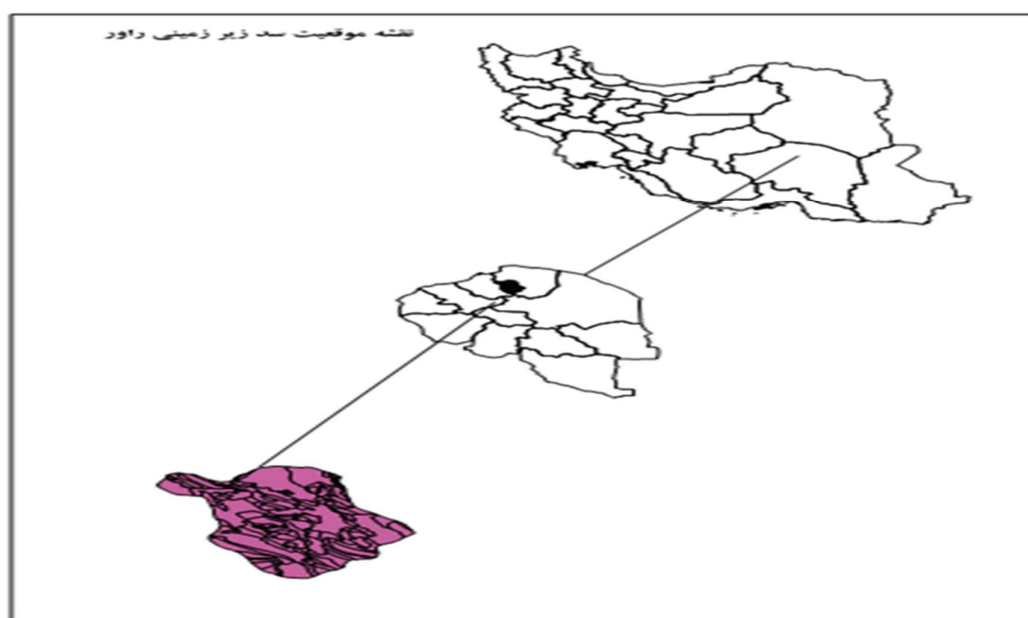
است) در حاشیه کویر لوت در ۱۰ کیلومتری شرق شهر راور واقع است. روستای ده میان و ده پائین که حدود ۲ کیلومتر پایین تر از محل اجرای سد قرار دارند با کم آبی مفرط مواجه بوده و بخش وسیعی از اراضی آنها کشت نمی‌شود و در سال‌های اخیر بخشی از باغات آنها خشک شده و از بین رفته است. این درحالیست که از کنار این دو روستا از درون آبرفت‌های بستر رودخانه در عمق حدود ۱۵ متری در خشک‌ترین فصل سال حدود ۲۰ لیتر در ثانیه آب خارج و به کویر تخلیه و شور می‌شوند. اجرای سد زیرزمینی باعث شده که آب‌های زیرسطحی که از دسترس خارج می‌شدند استحصال و به مزارع و باغات روستاها منتقل شوند و زندگی مردم را دگرگون سازند.

می‌باشد. یکی از اهداف عمده این پژوهش بررسی عملکرد سد زیرزمینی و تأثیر آن بر روی تقویت سفره‌های آب زیرزمینی پس از احداث سد در استان کویری مانند کرمان می‌باشد که از مزیت این پژوهش محسوب می‌شود و کمبود و نقطه ضعف پژوهش‌های دیگر را پوشش می‌دهد.

مواد و روش‌ها

موقعیت سد زیرزمینی راور

محل اجرای سد زیرزمینی راور بر روی رودخانه میان رود در نقطه‌ای به مختصات $28^{\circ} 31'$ و 56° واقع شده است، که حوزه بالادست آن ۱۷۲۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. در بالادست روستاهای ده میان و ده پائین (فاصله محل اجرای سد تا روستاهای فوق حدود ۲ کیلومتر)



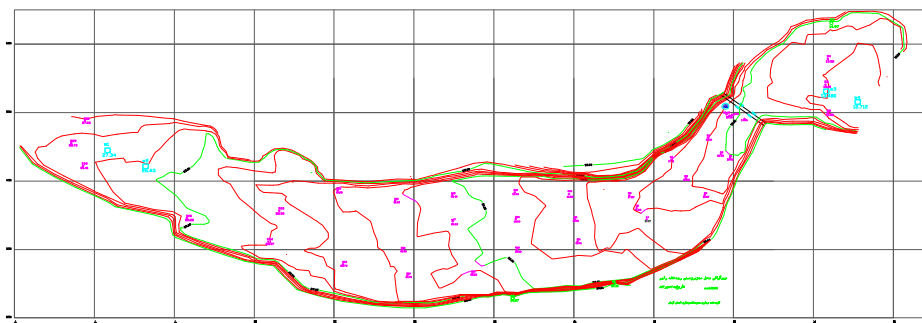
شکل ۱- نقشه موقعیت سد زیرزمینی راور

دسترسی به این محل از طریق جاده خاکی راور به روستای دهمیان امکان پذیر است. آبادی‌های داخل حوضه شامل شهر راور و روستاهای (تیران - ریحان - کهن - قدرون - کمر پیش ده - مدیون - حتکن - باباگهر) می باشد. حوضه مورد مطالعه در دو شیت: رفسنجان (برگ NH40-6 سری K551) راور (برگ NH40-2 سری K551) قرار گرفته است. نقشه‌ها در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. از نظر موقعیت حوضه باید گفت که حوزه آبخیز سد زیرزمینی راور از نظر جغرافیایی در محدوده ۵۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۰۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۰۰ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. مساحت کل حوضه ۱۷۲۰/۴۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد.

نحوه اقدامات ژئوالکتریک سد زیر زمینی راور

به منظور تعیین بازه بهینه برای اجرای سد ابتدا بررسی‌های صحرائی و دفتری انجام و سپس با حفر گمانه‌های دستی در سه نقطه در بستر رودخانه، عمق تقریبی سنگ کف، ضخامت آبرفت و نیز وضعیت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید. سه گمانه حفر شده در بستر رودخانه بطور متوسط توانسته پوشش مناسب اطلاعاتی لازم از میانه و طرفین و بنحوی از کل محل محور را ایجاد نماید. میتوان از حفر گمانه‌های بیشتری برای دقت کار استفاده کرد ولی به دلیل کوچک بودن عرض بستر و کمبود اعتبارات پروژه همین سه گمانه کافی است. با انجام عملیات حفاری ماشین‌های و به روش ضربه ای و دورانی چهار حلقه چاهک پی‌زومتری در کف حفر شده که این چاهک ها یک متر در سنگ بستر هم ادامه یافتند تا بتوان علاوه بر مشخص شدن عمق سنگ کف، میزان سلامت سنگ کف را نیز بررسی کرد. برای تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف که یکی از ابزارهای اصلی تحلیل سنگ بستر و مکانیابی مناسب احداث سد زیرزمینی است با استفاده از سونداژهای ژئوالکتریک، به تعداد ۳۵ سونداژ در مخزن و محور سد بطوری که تمام

اطلاعات لازم، محل خط القعر و پستی و بلندی‌ها و تغییرات لایه بندی را شامل شود، انجام شده و عمق سنگ کف و توپوگرافی سنگ کف با استفاده از اطلاعات ژئوالکتریک نیز مشخص شده است. در راستای اجرای تحقیقات بستر رودخانه میان رود در نزدیکی روستای ده پائین در شرق شهرستان راور مورد پیمایش ژئوالکتریک قرار گرفت. سونداژهای نمونه ژئوالکتریک در ابتدا در چهار تنگه با فواصل نسبتاً زیاد در بستر رودخانه میان رود، به منظور انتخاب محور مناسب برای احداث سد انجام شد. برداشت‌ها از پائین دست به سوی بالادست رودخانه صورت گرفت و در نتیجه تنگه سوم برای مطالعات تفصیلی انتخاب گردید. برداشت‌های تفصیلی ژئوالکتریک در محل تنگه سوم، پائین دست آن و محدوده احتمالی مخزن در چند مرحله صورت گرفت و در مجموع تعداد ۳۵ سونداژ الکتریک با فواصل مختلف در محدوده یادشده انجام شد. در این برداشت‌ها حداکثر فاصله الکترودهای جریان، براساس نتایج اولیه سونداژهای نمونه، معادل $AB=100$ متر انتخاب شد که عمق نفوذ حدود ۲۵ متر را میسر می‌سازد. این برداشت‌ها شامل ۳۰ سونداژ الکتریک در محدوده محو پیشنهادی و مخزن (S_1-S_{30}) و ۵ سونداژ الکتریک در پائین دست محل محور (S_0-S_4) بوده است. در مجموع این تعداد و توزیع سونداژها توانسته، اطلاعات مناسب و نسبتاً جامعی از لایه بندی آبرفت و تغییرات توپوگرافی سطح سنگ بستر در تعیین گمانه ها و محور سد و طول و حجم دریاچه ایجاد نماید و چون حداکثر فاصله الکترودهای جریان حدود ۱۰۰ متر میباشد. محل سونداژها و موقعیت گمانه ها روی شکل مشخص است. بنابراین پوشش اطلاعاتی مناسب و در حد قابل قبول ژئوالکتریک می‌باشد. پس از تعبیر و تفسیر داده‌ها، مقاطع ژئوالکتریک با استفاده از نتایج همه سونداژها و همچنین لوگ چاه اکتشافی حفر شده در پیرامون محور پیشنهادی رسم گردید. این مقاطع شامل ۳ مقطع طولی در امتداد رودخانه و ۵ مقطع عرضی در جهت عمود بر مسیر رودخانه می باشد.



شکل ۲- موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک

موازی- نیمه موازی و شاخه درختی است. واحد K_1 : این واحد مربوط به دوران مزوزوئیک و سنی معادل ژوراسیک را دارا می‌باشد و از نظر لیتولوژی از سنگ ماسه و شیل قرمز در بخش فوقانی بصورت میکروکنگلومرا تا کنگلومرا. این واحد ماسه سنگ قرمز در زیر واحد آهک‌های روشن قرار گرفته است و از ارتفاع خوبی برخوردارند و فاقد پوشش گیاهی و عدم واریزه و خاک است و بصورت صخره ای و دارای لایه بندی هستند و فرسایش شباری در آنها وجود دارد و دارای سیستم درز و گسل است. واحد K_2 : این واحد مربوط به دوران مزوزوئیک و سنی معادل کرتاسه را دارا می‌باشد و از نظر لیتولوژی شامل آهک بستر تا میان لایه خاکستری رنگ، آهک شیلی و شیل آهکی تشکیل شده است این واحد در بالای واحد ماسه سنگ قرمز رنگ قرار دارد و فاقد پوشش گیاهی بصورت صخره ای دیده می‌شوند این واحد بصورت یک تاقدیس با محور نشسته است.

واحد K_{1sh} : این واحد مربوط به دوران مزوزوئیک و سنی معادل کرتاسه را دارا می‌باشد و از نظر لیتولوژی از آهک نازک تا میان لایه، شیل آهکی، گچ و مارن تشکیل شده است. در داخل حوزه رسوبات دریاچه‌ای نیز وجود دارد که از نظر لیتولوژی شامل سیلت، دانه‌های ماسه و مواد آهکی و رسی است این رسوبات بسیار سست و نرم است و از مقاومت کمی برخوردارند و از نفوذپذیری بالایی برخوردارند و فرسایش در آنها کنار رودخانه‌ای می‌باشد.

سنگ‌شناسی پی:

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساخت جزء مناطق فعال محسوب می‌گردد. گسل تراستی گچارک در شرق، جنوب و جنوب شرقی ده پائین و در تماس با واحدهای سنگی کرتاسه و ژوراسیک است. گسل تراستی دهوج نیز در جنوب و جنوب باختری محدوده مورد مطالعه در کوه سرگردان، در حد فاصل کوه و دشت عمل نموده است. گسل معروف لکرکوه نیز در شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

نتایج و بحث

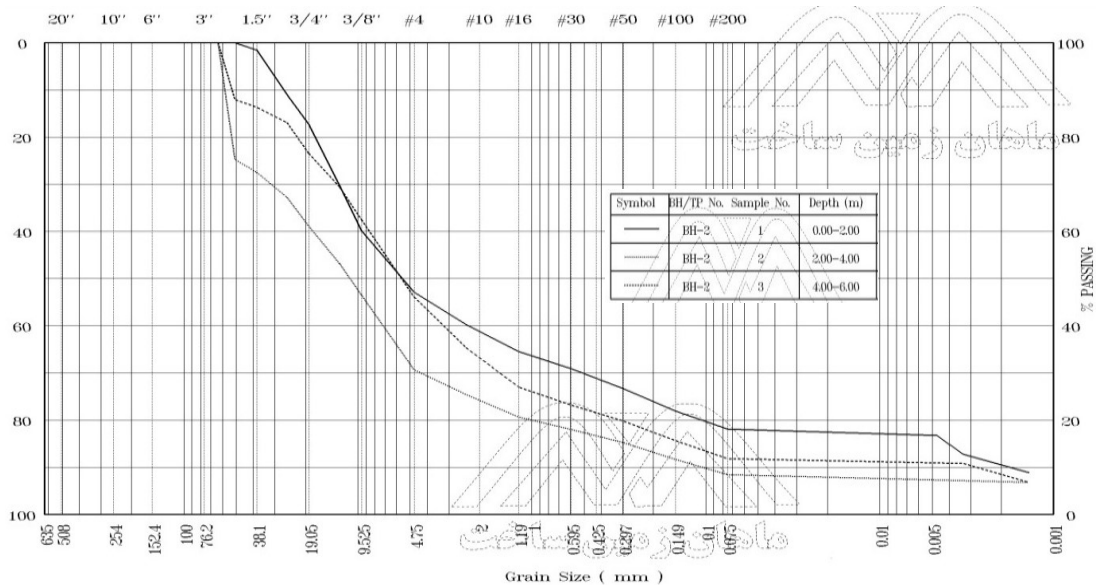
ارزیابی واحدهای موجود در محدوده محور سد راوور واحد I_p : این واحد مربوط به دوران مزوزوئیک و سنی معادل ژوراسیک را دارا می‌باشد این واحد از نظر سنگ شناسی از گچ و مارن گچ دار به رنگ ارغوانی تا قرمز روشن، تناوب آهک خاکستری رنگ پکتین دار تشکیل شده است این واحد از نظر مقاومت از مقاومت نسبتاً کمی برخوردار است. بدلیل وجود مقدار گچ و خاصیت انحلال پذیری گچ است این واحد مارنی دارای سیستم گسله و درز است که درز و شکستگی آنها عمیق نیست و بصورت صخره ای و فاقد پوشش گیاهی و واریزه هستند و از ارتفاع خوبی برخوردارند فرسایش بارانی - شیاری و آبراهه ای در واحدهای مارنی و گچی وجود دارد. واحد I_r : این واحد مربوط به دوران مزوزوئیک و سنی معادل ژوراسیک را دارا می‌باشد و از نظر لیتولوژی از آهک ورقه‌ای تیره رنگ و بدبو، گچ و مارن گچ دار، دولومیت مایل به قهوه‌ای، ماسه سنگ دانه ریز میکاسه ای بنفش تا ارغوانی است فرسایش در این واحدها بصورت شیاری و سیستم آبراهه آنها نیز بصورت

بر اساس مطالعات و بررسی‌های صحرایی، ستون چینه شناسی، نتایج حاصل از سونداژهای ژئوالکتریک و حفاری‌هایی که در بالادست و پائین دست محور سد صورت گرفته است. سنگ پی در محل محور سد متشکل از واحدهای شیل و مارن و کنگلومرای مقاوم و فشرده می‌باشد. لایه‌های شیل و مارن که به شدت چین خورده‌اند، دارای لایه بندی نازک می‌باشند و در عمق و جایی که در معرض هوا نباشند دارای فشردگی مناسب بوده و پتانسیل مناسب برای آب بندی را دارا می‌باشند. وضعیت لایه بندی شیل و مارن در جناحین سد بخوبی مشخص است و شیب لایه‌ها در خلاف جهت شیب آب زیرزمینی می‌باشد زیرا اگر شیب لایه‌ها در جهت شیب هیدرولیکی باشد، امکان فرار آب از مرز لایه‌ها که نقاط ضعیف سیستم‌های چینه‌ای می‌باشند، وجود دارد ولی اگر شیب لایه‌ها در خلاف جهت شیب هیدرولیکی باشد این موضوع تا حد زیادی منتفی است. علاوه بر مارن و شیل که هم در پی سد و هم در جناحین آن وجود دارد یک رگه کنگلومرای همراه با این واحد شیب

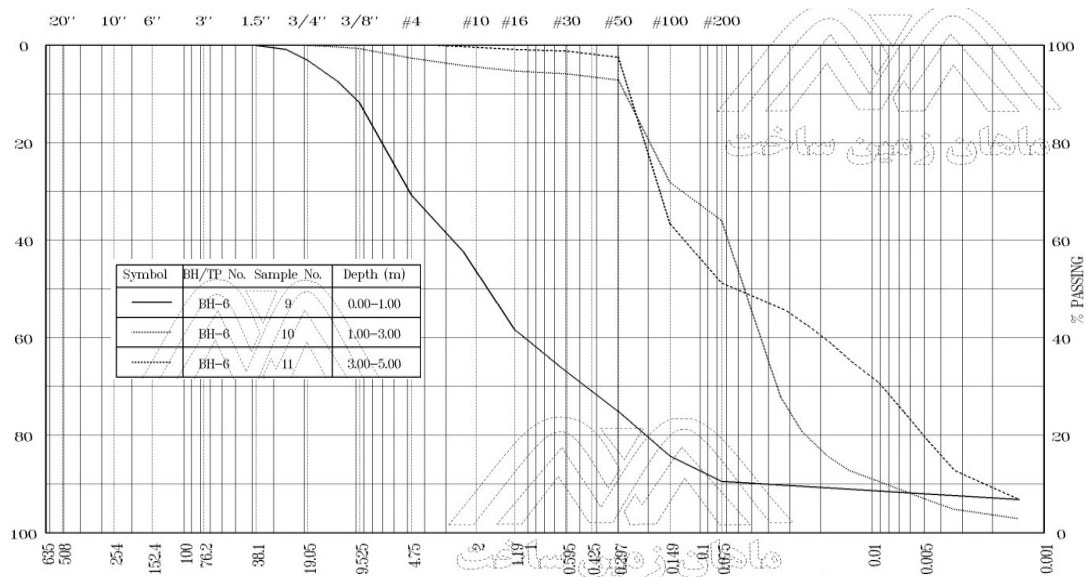
و مارنی وجود دارد که دارای ضخامت قریب ۵ متر بوده و در بعضی قسمت‌ها در بستر رودخانه برونزدگی هم دارد که به‌طور مورب عرض رودخانه را قطع می‌کند. یک بخش از این واحد کنگلومرایی در محل محور سد نیز مشاهده شد که این واحد نیز دارای فشردگی کافی بوده و امکان فرار آب از آن وجود ندارد یا خیلی ناچیز است. این قطعه کنگلومرایی در پائین دست محور سد وجود دارد و در محلی که جهت احداث سد خاکبرداری صورت گرفت فقط واحد مارنی و شیل وجود داشت.

خصوصیات دانه‌بندی آبرفت محورسد

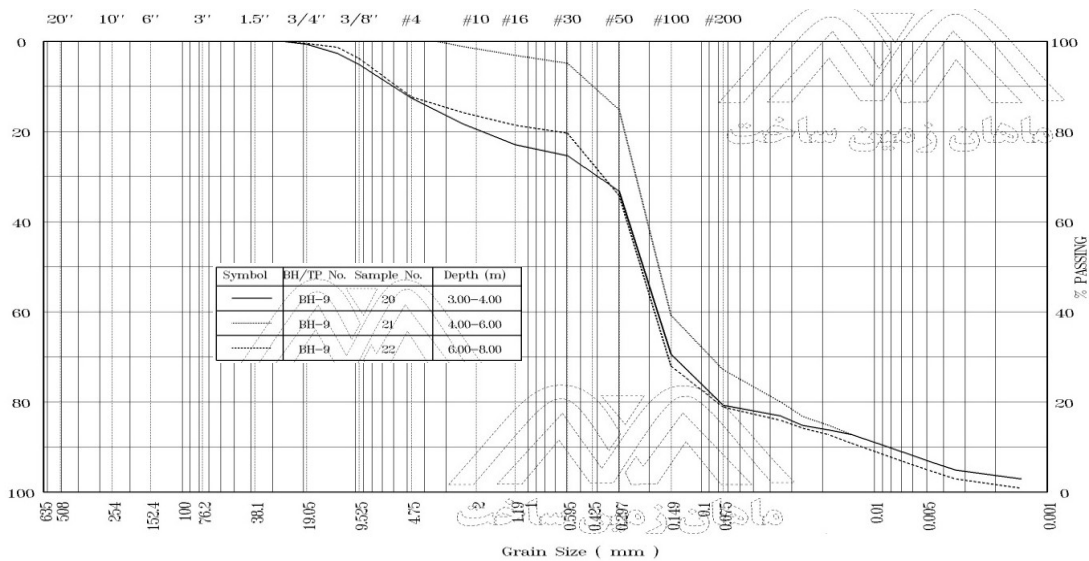
برای مشخص شدن وضعیت رسوبات آبرفتی از چهار مورد گمانه اکتشافی در بستر رودخانه که دو تای آنها در ۸۰۰ متر بالادست محور سد و دوتای دیگر در ۵۰ متری پائین محور سد حفر شدند، استفاده شده است.



شکل ۳- منحنی دانه بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه عمق ۶-۲ متری



شکل ۴- منحنی دانه بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه عمق ۵-۱ متری



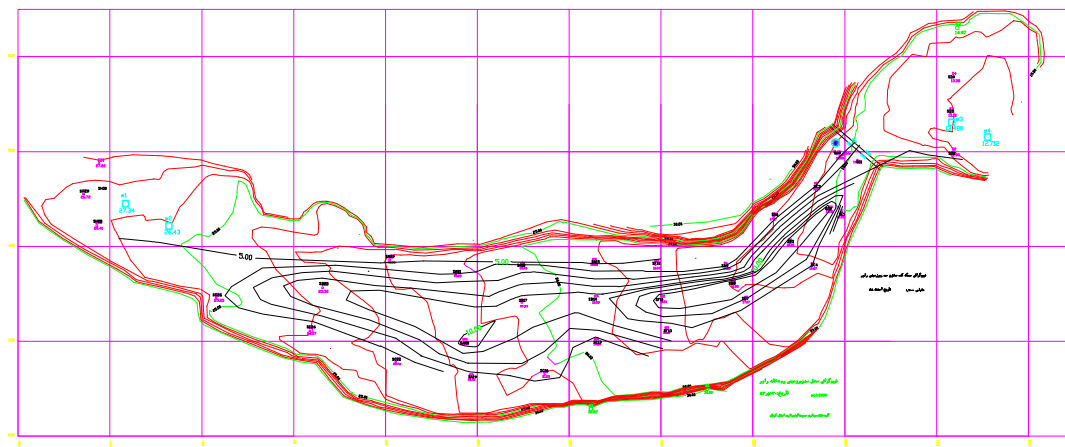
شکل ۵- منحنی دانه بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه عمق ۸-۳ متری

جدول ۱- دانه بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه بر اساس طبقه بندی یونیفاید

عمق نمونه برداری (متر)	دانه بندی	D10	D30	D60	(cu)	(C _c)
۰-۲	GM	۰/۰۰۰۱۸	۰/۵۱۱۴	۹/۴۵	۴	۳
۲-۴	GP-GM	۰/۱۰۳۸	۴/۳۲	۱۸/۰۴	۴	۳
۴-۶	GP-GM	۰/۰۷۵۰	۱/۵۲	۸/۵۸	۴	۳
۰-۱	SW-SM	۰/۰۷۵۰	۰/۴۵۹	۲/۷۲۸	۶	۱/۰۱
۱-۳	CL-ML	۰/۰۰۸۲	۰/۰۳۵۵	۰/۰۶۸۶	۸/۳۱	۲/۲۲
۳-۵	CL-ML	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۸۷	۰/۱۲۳	۵۶/۱۴	۱
۳-۴	SM	۰/۰۰۸۲	۰/۱۴۴	۰/۲۶۰۹	۶	۳
۴-۶	SM	۰/۰۰۸۲	۰/۰۸۷۹	۲/۲۰۴	۶	۳
۶-۸	SM	۰/۰۱۱۷	۰/۱۵۵	۰/۲۶۷	۶	۳

تعیین توپوگرافی سنگ بستر سد زیرزمینی راور با استفاده از برداشت های سطحی و تهیه نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ از بستر روخانه و محل محور سد و مخزن سد و با کمک اطلاعات ژئوالکتریک اقدام به تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف نموده است. این نقشه یکی از ابزارهای اصلی تحلیل سنگ بستر و مکانیابی مناسب احداث سد زیرزمینی است. سونداژهای ژئوالکتریک، به

تعداد ۳۵ سونداژ در مخزن و محور سد تعبیه شده، به نحوی که تمام اطلاعات لازم، محل خط القعر و پستی و بلندی‌ها و تغییرات لایه بندی را شامل شود، نقشه توپوگرافی سنگ کف بدست آمده است. همچنین برای تعیین دقیق عمق و جنس سنگ کف حفاری ضربه‌ای در آبرفت و حفاری دورانی در سنگ کف انجام شده است.



شکل ۶- تلفیق نقشه توپوگرافی سطحی و سنگ کف سد زیرزمینی راور

مقیاس مقاومت مخصوص لایه ها

از مقایسه مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها در

سونداژهای مختلف، در محدوده محور و مخزن، مقیاس مقاومت مخصوص الکتریکی لایه ها بدست آمده است که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقیاس مقاومت مخصوص لایه ها

نوع لایه	محدوده مقاومت مخصوص الکتریکی (اهم متر)
لایه آبرفتی	۳۵-۳
سنگ کف	۹۷-۱۳

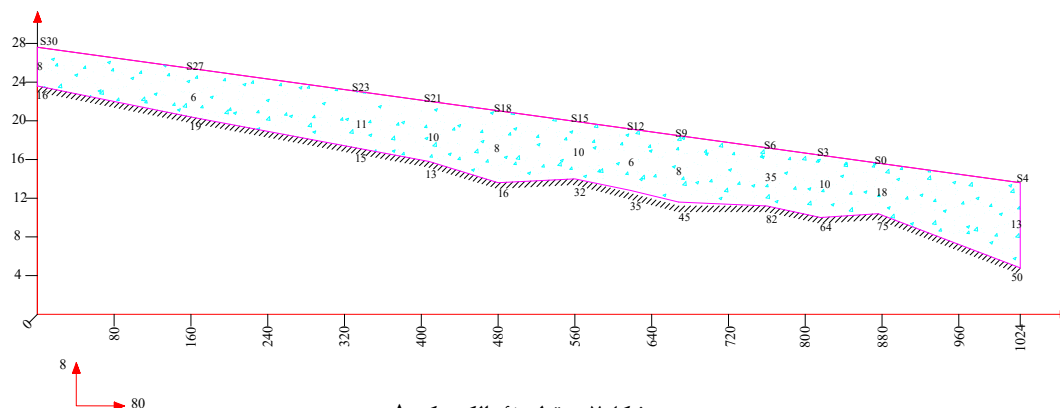
شرح مقاطع ژئوالکتریک سد زیرزمینی راور

نقاط برداشت سونداژهای الکتریکی در محدوده محور و مخزن طوری انتخاب شده است که می توان با استفاده از نتایج آنها سه مقطع طولی (مقاطع A, B, C) در امتداد آبراهه یعنی تقریباً با راستای شرقی- غربی و همچنین پنج مقطع عرضی (مقاطع H, G, F, E, D) در جهت عمود بر مسیر رودخانه ترسیم نمود. مقاطع A, B, C، محدوده محور و مخزن را پوشش می دهند. مقطع عرضی E بر محل محور پیشنهادی منطبق است و مقاطع عرضی G, H و F, D بصورت تقریباً موازی با مقطع E، تغییرات زیر سطحی را در نقاط مختلف مخزن و پائین دست محور نشان می دهند.

مقطع ژئوالکتریک طولی A

مقطع A، تغییرات ضخامت آبرفت را از حدود ۲۰۰ متری پائین دست محل محور تا ۸۵۰ متری بالادست آن نشان می دهد. سونداژهای S30, S27, S23, S21, S18, S15, S12, S9, S6, S3, S0, S4

S-4, S0, S3, S6, S9, S12, S15, S18 با فواصل مختلف بر روی این مقطع قرار دارند. مقطع A نشان دهنده یک مدل دو لایه است. لایه بالایی که مقاومت ویژه الکتریکی بین ۶ تا ۳۵ اهم متر را نشان می دهد، همان لایه آبرفتی است. ضخامت این لایه بین ۱/۴ متر در محل سونداژ S30 تا ۸/۲ متر در محل سونداژ S-4 متغیر می باشد. سنگ کف تقریباً شیب یکسانی را با تغییرات شیب جزئی در طول مقطع نشان می دهد و شیب کلی سنگ کف از شیب عمومی توپوگرافی تبعیت می نماید. مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف در نیمه شرقی مقطع ۱۹-۱۵ اهم متر و در نیمه غربی آن ۸۲-۳۲ اهم متر می باشد. بنابراین بنظر می رسد که جنس سنگ کف در این دو بخش متفاوت می باشد با توجه به رخنمون های اطراف رودخانه، سنگ کف احتمالاً در بخش غربی مقطع و در محدوده محور از جنس شیل و در بخش شرقی مقطع از جنس مارن می باشد که مقاومت ویژه پائین تر آن به علت وجود رس در بافت آن است.



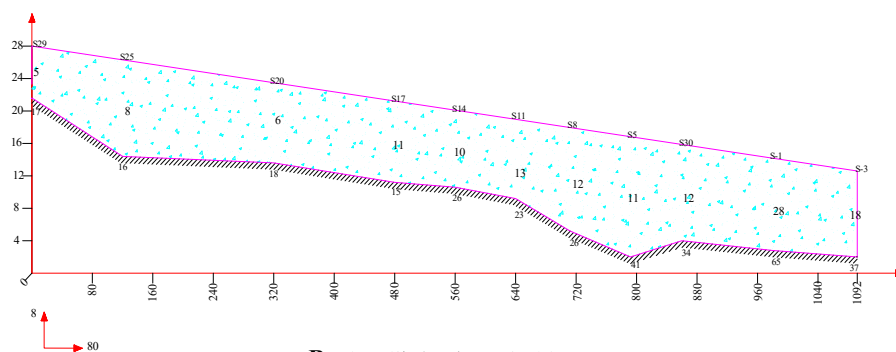
شکل ۷- مقطع ژئوالکتریک A

مقطع ژئوالکتریک طولی B

مقطع B نیز تغییرات زیرسطحی را از حدود ۲۰۰ متری پائین دست محور پیشنهادی تا ۹۰۰ متری بالادست آن نشان می دهد. سونداژهای S29, S25, S20, S17, S14, S11, S8, S5, S-1, S-3 و سونداژ کمکی H با فواصل مختلف بر روی این مقطع قرار دارند. مقطع B نشان دهنده یک مدل دو لایه است. لایه آبرفتی مقاومت ویژه ۲۸-۵ اهم

متر را نشان می دهد که ضخامت آن بین ۶ متر در محل سونداژ S29 تا ۱۵ متر در محل سونداژ S8 متغیر است. سنگ کف در طول این مقطع شیب متغیری را نشان می دهد. در ابتدا و بخش میانی مقطع پرشیب و در بقیه قسمت ها بسیار کم شیب است. مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف در نیمه شرقی مقطع ۱۸-۱۵ اهم متر و در نیمه غربی آن ۶۵-۲۳ اهم متر است. احتمالاً مشابه مقطع A به

ترتیب از جنس مارن و شیل می‌باشد.

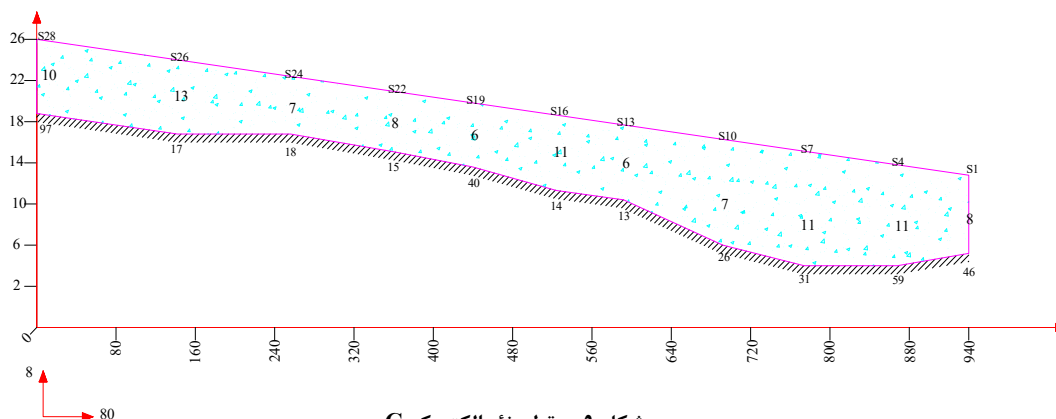


شکل ۸- مقطع ژئو الکتریک B

متغیر است. سنگ کف در طول این مقطع شیب متغیری را نشان می‌دهد. اما در مجموع کم شیب است. مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف، مشابه مقاطع A و B، در بخش شرقی مقطع و بخش غربی آن متفاوت بوده و به ترتیب ۵۹-۱۳ اهم متر و ۱۵/۱۸ اهم متر است. البته سونداژ S28 در بخش غربی مقطع استثناء بوده و بعلت وجود رخنموم یک لایه کنگلومرای در نزدیکی آن سنگ کف مقاومت ویژه الکتریکی ۹۷ اهم متر را نشان می‌دهد. بنابراین در محدوده سونداژ، سنگ کف احتمالاً از جنس کنگلومرا است.

مقطع ژئوالکتریک طولی C

این مقطع نیز تغییرات زیر سطحی را از محور پیشنهادی تا حدود ۹۲۰ متری بالادست آن نشان می‌دهد. سونداژهای S26, S24, S22, S19, S16, S13, S10, S28 و S7, S4, S1 بر روی این مقطع قرار دارند. مقطع C نشان دهنده یک مدل دو لایه است. لایه آبرفتی مقاومت ویژه ۱۳-۶ اهم متر را نشان می‌دهد ضخامت آن بین ۵ متر در محل سونداژ S28 تا ۱۱ متر در محل سونداژ S7

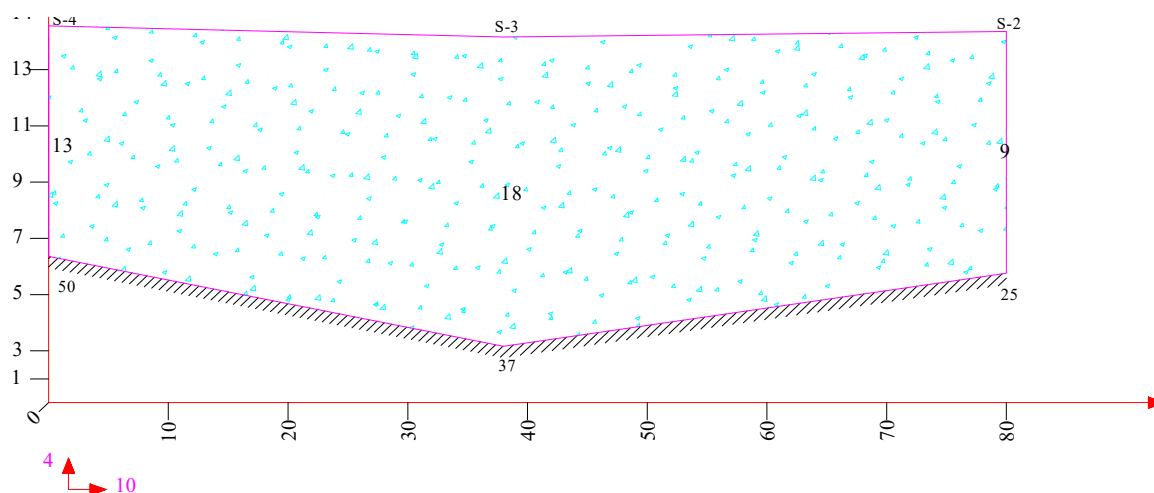


شکل ۹- مقطع ژئو الکتریک C

لایه آبرفتی مقاومت ویژه ۱۸-۹ اهم متر و ضخامت آن ۱۱-۸/۲ متر را نشان می‌دهد و بیشترین ضخامت آن در محل سونداژ S-3 است. شیب سنگ کف ملایم و از دو طرف به سمت مرکز می‌باشد. مقاومت ویژه سنگ کف ۵۰-۲۵ اهم متر و با توجه به رخنمونهای دو طرف رودخانه از جنس شیل است.

مقطع ژئوالکتریک عرضی D

این مقطع تغییرات زیر سطحی را در فاصله ۲۰۰ متری پائین دست محور پیشنهادی نشان می‌دهد. سونداژهای S-2, S-3 و S-4 بر روی این مقطع قرار دارند. طول مقطع D حدود ۸۰ متر و امتداد آن تقریباً شمالی - جنوبی است.

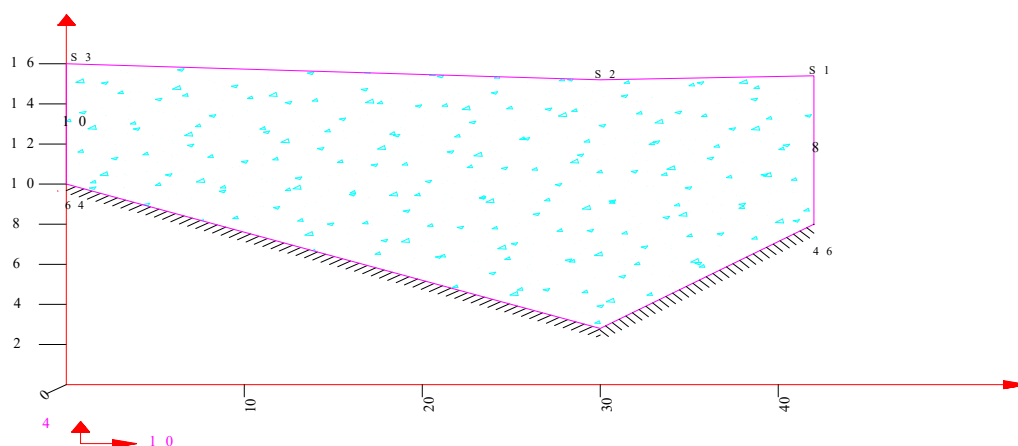


شکل ۱۰- مقطع ژئوالکتریک D

متر و ضخامت آن ۶-۱۲/۴ متر را نشان می‌دهد و بیشترین ضخامت آن در محل سونداژ S2 اندازه گیری شده است. سنگ کف پرشیب بوده و به نظر می‌رسد که خط القعر به تکیه گاه راست نزدیک تر است. مقاومت ویژه سنگ کف ۶۴-۴۶ اهم متر و جنس آن با توجه به رخنمون‌های اطراف رودخانه از جنس شیل می‌باشد.

مقطع ژئوالکتریک عرضی E

این مقطع تغییرات زیر سطحی را در فاصله ۲۰۰ متری پائین دست محور پیشنهادی نشان می‌دهد. سونداژهای S1, S2, و S3 بر روی این مقطع قرار دارند. طول مقطع E حدود ۵۰ متر و امتداد آن تقریباً شمال باختری - جنوب خاوری است. لایه آبرفتی مقاومت ویژه ۱۰-۸ اهم

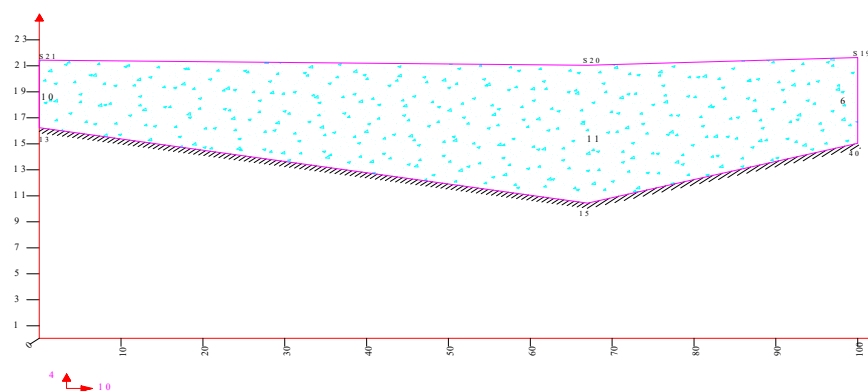
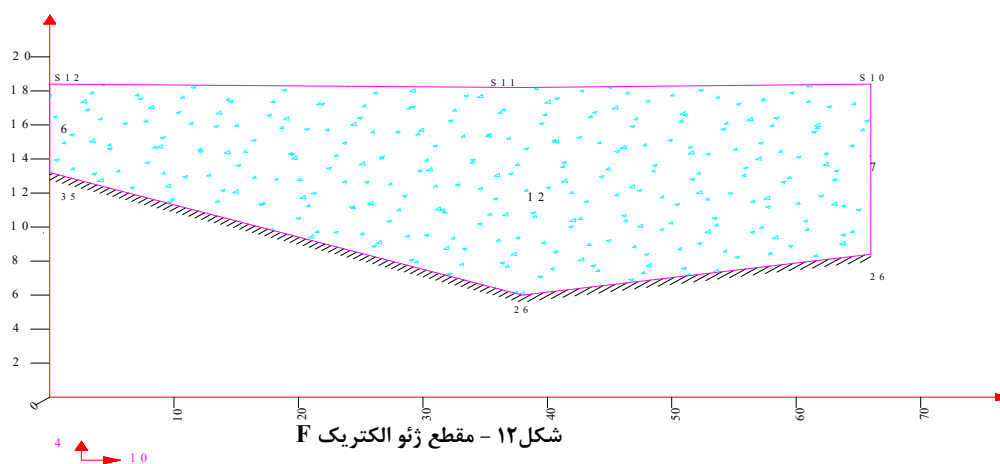


شکل ۱۱- مقطع ژئوالکتریک E

ضخامت آن ۵-۱۲ متر را نشان می‌دهد. بیشترین ضخامت آن در محل سونداژ S11 می‌باشد. سنگ کف در بخش شمالی مقطع پرشیب و در بخش جنوبی آن کم شیب می‌باشد و به نظر می‌رسد که خط القعر در مرکز مقطع قرار دارد. مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف ۴۰-۱۳ اهم متر و احتمالاً از نوع مارن است.

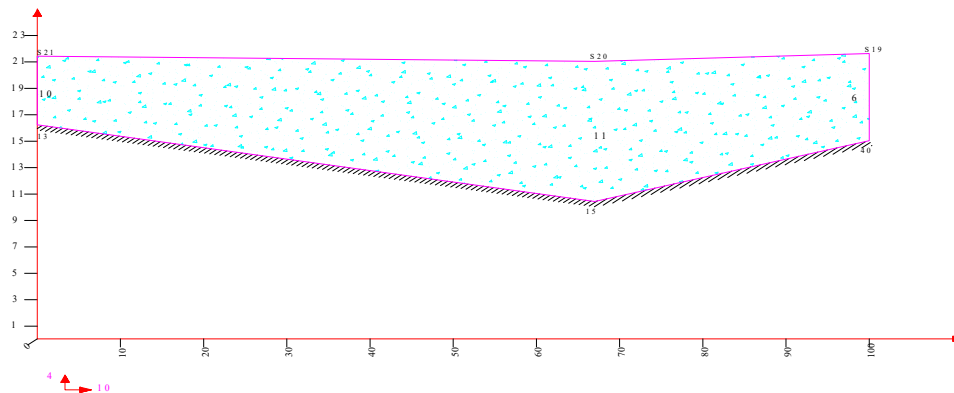
مقطع ژئوالکتریک عرضی F

این مقطع تغییرات زیر سطحی را در فاصله ۲۰۰ متری بالاتر از محل محور پیشنهادی نشان می‌دهد. سونداژهای S10, S11, و S12 بر روی این مقطع قرار دارند. طول مقطع F حدود ۷۰ متر و امتداد آن تقریباً شمال غربی - جنوب شرقی است. لایه آبرفتی مقاومت ویژه ۱۲-۶۸ اهم متر و



شمال غربی - جنوب شرقی است. مقاومت ویژه الکتریکی لایه آبرفتی ۱۱-۶ متر و ضخامت آن ۵-۱۰/۵ متر است. بیشترین ضخامت آبرفت در محل سونداژ S20 و نزدیک به تکیه گاه راست وجود دارد. سنگ کف در بخش شرقی نسبت به بخش غربی بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی ۱۳-۴۰ اهم متر می‌باشد.

این مقطع تغییرات زیر سطحی را در حدود ۴۰۰ متری بالاتر از محل محور پیشنهادی نشان می‌دهد. سونداژهای S19, S20, و S21 بر روی این مقطع قرار دارند. طول مقطع G بیش از ۱۰۰ متر و امتداد آن تقریباً

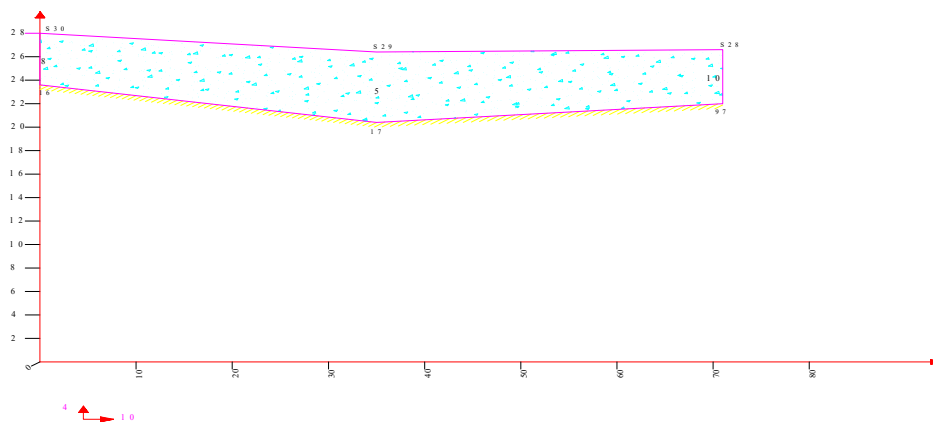


شکل ۱۳- مقطع ژئوالکتریک G

مقطع H حدود ۷۰ متر و امتداد آن تقریباً شمالی - جنوبی است. مقاومت ویژه الکتریکی لایه آبرفتی ۱۰-۵ اهم متر و ضخامت آن ۴-۶ متر است. ضخامت آبرفت در طول این مقطع کم است و سنگ کف از نوع مارن و در پیرامون محل سونداژ S28 احتمالاً از نوع کنگلومرا می باشد.

مقطع ژئوالکتریک عرضی H

این مقطع تغییرات زیر سطحی را در حدود ۸۵۰ متری بالاتر از محل محور پیشنهادی نشان می دهد. سونداژهای S28, S29, S30 بر روی این سونداژ قرار دارند. طول



شکل ۱۴- مقطع ژئوالکتریک H

سد و دو تای دیگر در ۵۰ متری پایین محور سد حفر شده- اند که فاصله گمانه ها از یکدیگر نیز ۵۰ متر است که از آن ها جهت تعیین عمق دقیق سنگ کف و نیز بدست آوردن شیب هیدرولیکی و محاسبه حجم جریان زیر قشری و همچنین پایش های قبل و بعد از ساخت سد استفاده می- شود. نتایج بدست آمده از این سونداژهای ژئوالکتریک نشان دهنده وجود یک مدل دو لایه در عمق مورد بررسی است. این دو لایه شامل لایه آبرفتی و سنگ کف زیرین می باشد.

نتیجه گیری

تعداد سونداژهای ژئوالکتریک و آرایش و جانمایی آن ها در سد زیرزمینی راور به نحوی بوده که با وجود صرف هزینه کمتر، بتوان اطلاعات جامع و کاملی را از محل خط القعر و پستی و بلندی ها و توپوگرافی سنگ بستر و همچنین تغییرات دانه بندی خاک نشان داد. با حفر ۴ گمانه اکتشافی در بستر رودخانه که دو تای آنها در ۸۰۰ متر بالادست محور

البته لایه آبرفتی، خود نیز شامل دو بخش آبدار و بدون آب است. نتایج نشان داد که ضخامت آبرفت در محدوده محور و مخزن، حداقل ۴ متر و حداکثر ۱۵ متر می‌باشد و در زیر آبرفت‌ها سنگ کف هادی از نوع شیل و مارن و در بعضی از نقاط، کنگلومرا وجود دارد. و شیب سنگ کف تقریباً از شیب توپوگرافی تبعیت می‌کند. بخش زیرین لایه آبرفتی آبدار است اما به دلیل تغییر شرایط و اختلاف در سطح ایستابی در مراحل مختلف برداشت‌های ژئوالکتریک، این لایه در مقاطع ژئوالکتریک تفکیک نگردید. مقطع A نشان دهنده یک مدل دو لایه است. لایه بالایی همان لایه آبرفتی است. مقطع B نیز نشان دهنده یک مدل دو لایه است. ضخامت لایه آبرفتی بین ۶ متر در محل سونداژ S29 تا ۱۵ متر در محل سونداژ S8 متغیر است. مقطع C نیز نشان دهنده یک مدل دو لایه است. ضخامت لایه آبرفتی بین ۵ متر در محل سونداژ S28 تا ۱۱ متر در محل سونداژ S7 متغیر است. طول مقطع D حدود ۸۰ متر است و بیشترین ضخامت لایه آبرفتی در محل سونداژ S-3 است. طول مقطع E حدود ۵۰ متر است و بیشترین ضخامت لایه آبرفتی در محل سونداژ S2 اندازه‌گیری شده است. طول مقطع F حدود ۷۰ متر است و بیشترین ضخامت لایه آبرفتی در محل سونداژ S11 می‌باشد. طول مقطع G بیش از ۱۰۰ متر است و بیشترین ضخامت لایه آبرفتی در محل سونداژ S20 و نزدیک به تکیه گاه راست وجود دارد. طول مقطع H حدود ۷۰ متر است و ضخامت آبرفت در طول این مقطع کم است و سنگ کف از نوع مارن و در پیرامون محل سونداژ S28 احتمالاً از نوع کنگلومرا می‌باشد. بررسی همزمان مقاطع ژئوالکتریک نشان می‌دهد که از نظر عرض تنگه و ضخامت آبرفت، محور پیشنهادی برای احداث سد

زیرزمینی در محل مناسبی انتخاب شده است. بنابراین نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش ژئوالکتریک برای کشف سفره‌های آب‌های زیرزمینی و احداث سدهای زیرزمینی روشی ارزشمند است و نتایج مناسبی می‌دهد که با نتایج تحقیقات (Sk et al (2018 و (Ugwu et al (2016 مطابقت دارد. نتایج حاصل از حفاری‌ها و سونداژهای ژئوالکتریک نشان داد که عمق سنگ کف در محل محور سد ۱۱ متر و جنس آن از مارن و شیل-های فشرده و متراکم می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه استفاده از مصالح محلی و در دسترس در صرفه جویی وقت و هزینه موثر است لذا تصمیم‌های اولیه بر این شده است که دیواره آب بند با خاک ریزدانه با نفوذپذیری کم که در مجاورت محور سد وجود داشت اجرا شود. لذا در بررسی-های صحرایی از نزدیکترین خاک‌های ریزدانه محل که فاصله کمی تا محل داشتند نمونه‌گیری و آزمایش‌های دانه-بندی، حدود آتربگ و نفوذپذیری با بار متغیر بر روی آنها صورت گرفت و نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که مصالح ریز دانه محلی کیفیت لازم جهت اجرای پرده آب بند سد را دارند. همچنین آزمایش شیمیایی جهت تعیین درصد گچ و نمک و سایر املاح موجود در خاک صورت گرفت. با توجه به اینکه املاح موجود در خاک در حد مجاز بود استفاده از آن مصالح جهت پرده آب بند تجویز گردید.

منابع

- Ansari A., Kheir K., Zarei M., Ebrahimzadeh M. 2020. Investigation of groundwater conditions in MorcheKhort plain using geoelectric method, Proceedings of The Iranian Geophysical Conference, Pp. 675-679. (In Persian)
- Bear J., Cheng A. H. D., Sorek S., Ouazar D., Herrera I. 2000. Seawater intrusion in coastal aquifers-concepts, methods and practices, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers p. 625.
- Cheng R. W., Chin T. L., Huang C.C. 2007. Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, Building and Environment, 42: 1431-1444.
- Minciardi R., Robba M., Roberta S. 2007. Decision models for sustainable groundwater planning and control, Journal of control Engineering Practice. 15: 1013-1029.
- Moshkelgosha M., Rahmanian M., Karimi M. 2014. Study of geoelectric method in assessing the amount of groundwater near the sea, National Conference on Solutions to water crisis in Iran and the Middle East, Pp. 7-1. (In Persian)
- Naseri A. 2005. Application of geoelectric method in groundwater studies, 2nd National Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management, Pp.: 514-509. (In Persian)
- Nilsson A. 1988. Groud water Dams for small-scale water supply. IT Publication, 69 p.
- Qalamkari S., Asadi A., M, Pour Kermani M. 2016. Using geoelectric method in identifying hidden faults of Roniz plain, 2nd National Conference on Petroleum Engineering of Iran, Omidieh Islamic Azad University, Pp. 1-7.
- Safinejad J., Dadras B. 2000. Vazvan-Meymeh Aqueduct Underground Dam in Esfahan, Water National Ganjeh Institute of Iran, 240 Pp. (In Persian)
- Silva D.A., Rego Neto j. 1992. Araliaceous de Barrages Subversives Para Fins de Explores Areola no Semi- arid, In Congress National de Irrigacao e Derange Natal, Vol.9. PP. 335.
- SK M., 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.
- Sun Y., Xu S.G., Kang P.P., Fu Y.Z., and Wang T.X. 2019. Impacts of Artificial Underground Reservoir on Groundwater Environment in the Reservoir and Downstream Area, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(11), 1-21.
- Taheri Tizro A., Abdollahi A., Fasihi R. 2022. Application of geoelectric method in investigation of hydraulic parameters of groundwater, new findings of applied geology, 14(31): 149-162. (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.