



## مکان‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی در واحدهای آذرآواری با روش ژئوالکتریک (مطالعه موردی منطقه کال واقع در جنوب دماوند)

فاضل خالقی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن حیدریان<sup>۲</sup>، علیرضا فاتح دیزجی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

۲- کارشناس مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای تهران

۳- کارشناس مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت آب منطقه‌ای تهران

\* نویسنده مسئول: fazel\_khaleghi@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۱

### چکیده

با توجه به افت سطح آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشورمان و افزایش تقاضای آب، شناسایی مخازن آب زیرزمینی در سازندهای سخت به‌ویژه سنگ‌های غیر کربناته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به منظور شناسایی مخازن آب زیرزمینی در واحدهای آذرآواری منطقه کال در جنوب شهر دماوند تعداد ۱۵ عدد سونداژ ژئوالکتریک با استفاده از سیستم آرایه‌های چهار قطبی متقارن شولومبرژه و بی‌شینه طول فرستنده جریان ۱۵۰۰ متر اجرا و سپس اطلاعات به دست آمده از صحرا پردازش شده‌اند. بر اساس یافته‌های ژئوالکتریک در این منطقه ۵ لایه زمین‌شناسی شامل رسوبات آبرفتی و تخریبی با مقاومت ۳۵ تا ۱۱۰ اهم‌متر، لایه کنگلومرای سازند هزار دره با مقاومت ۱۵ تا ۶۰ اهم‌متر، لایه توف بالایی با مقاومت ۵۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر، لایه توف پایینی با مقاومت بیش از ۶۰ اهم‌متر و لایه توف خرد شده میانی با مقاومت ۴۰ تا ۵۰ اهم‌متر شناسایی شده است. در راستای مقطع B-B یک گسل مدفون زیرزمینی شناسایی شده که فعالیت گسل مذکور باعث ایجاد خردشدگی در توف‌های موجود در منطقه شده است. لایه توفی خرد شده حاوی آب زیرزمینی در اعماق ۵۰ تا ۱۰۰ متری شناسایی شده و چاه‌های حفر شده در این زون نسبت به سایر چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه دارای آبدهی بیشتری بوده و سونداژهای شماره ۲، ۳ و ۸ دارای پتانسیل آب زیرزمینی بهتری می‌باشند. مطالعات ژئوالکتریک در این منطقه نشان داد سنگ‌های آذرین و آذرآواری می‌توانند به عنوان منابعی جدید جهت تأمین نیاز آب شرب منطقه مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، توف، دماوند، روش ژئوالکتریک.

### مقدمه

بی‌رویه از منابع سطحی و زیرزمینی و وقوع افت مستمر سطح آب زیرزمینی در بیشتر دشت‌های کشور گردیده است (یونسکو، ۱۹۸۴). افت مستمر سطح آب زیرزمینی در دشت‌های کشور باعث بروز مخاطرات محیطی متعددی از جمله وقوع پدیده فرونشست یا حرکت رو به پایین سطح زمین، خشک شدن قنوات

آب زیرزمینی به عنوان یک منبع استراتژیک و قابل دسترس، نقش مهمی را در تأمین مصارف مختلف شرب، صنعت و کشاورزی در کشور کم‌آبی هم چون ایران دارد. از سوی دیگر رشد فزاینده جمعیت و افزایش تقاضا به آب سبب بهره‌برداری

آب‌های زیرزمینی با کیفیت پایین‌تر (آب با میزان مواد محلول بالاتر) و یا رسوبات با محتوی رس بالاتر دارای مقاومت پائین‌تری می‌باشند. میزان مقاومت الکتریکی برحسب اهم‌متر بیان می‌گردد و یک تخمینی از مقاومت محاسبه شده زمین با استفاده از روابط میان مقاومت زمین، الکتریسیته لایه‌های زمین و دانسیته جریان می‌باشد. از آنجا که لایه‌های زمین‌شناسی ناهمگن و ناهم‌سو می‌باشند، لذا میزان آن برحسب مقاومت ظاهری بیان می‌گردد که متوسط مقاومت حقیقی اندازه‌گیری شده از لایه‌های مختلف زمین می‌باشد (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۱). بعضی از کاربردهای این روش در آبخوان‌های آبرفتی شامل مشخص کردن عمق، ضخامت و مرز آبخوان (جکسون و همکاران، ۱۹۷۸)، میزان تخلخل (جکسون و همکاران، ۱۹۷۸)، میزان هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال (کوسینکی و کلی، ۱۹۸۱) و مقدار ضریب ذخیره (فروهلش و کلی، ۱۹۸۷) می‌باشد. در تحقیق انجام گرفته در مخروط‌افکنه واقع در ناحیه شلاتین در ساحل دریای سرخ توسط محمد و اهاب (۲۰۱۷) دو لایه آبرفتی اشباع و غیراشباع و همچنین سنگ کف هوازده از سنگ کف هوازده نشده تفکیک گردید و در پایان نتیجه‌گیری شد که آبخوان آبرفتی در نیمه غربی دارای آب شیرین بیشتری نسبت به آبخوان نیمه شرقی منطقه می‌باشد. اس‌کی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش ژئوالکتریک در جنوب آندامان، مناطق حاوی آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری در اقیانوسها را در اعماق ۳ تا ۲۰ متری شناسایی و با انجام گمانه‌های اکتشافی در نقاط پیشنهادی، نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک را تصدیق نمودند. در ایران نیز روش مقاومت الکتریکی در شناسایی آبخوان‌های آبرفتی کاربرد گسترده‌ای دارد که به عنوان نمونه می‌توان به مطالعات ژئوالکتریک دشت هادیشهر جهت اکتشاف آب زیرزمینی (مردمی و همکاران، ۱۳۸۸)، مطالعات ژئوالکتریک شمال سمنان به‌منظور مطالعه سفره آب زیرزمینی (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۸) و برآورد پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های آبدار دشت چهاردولی، کردستان با روش ژئوالکتریک (طاهری تیزرو و همکاران، ۱۳۹۶)

و کاهش آبدهی منابع آب زیرزمینی در سطح دشت‌های آبرفتی کشور شده و مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده که به‌عنوان مثال می‌توان به افت ۱۷ متری سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان (رهنما و کاظمی، ۱۳۸۵)، افت ۴۰ متری سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد (رهنما و همکاران، ۱۳۸۶)، افت بیش از ۳۴ متری سطح آب زیرزمینی در دشت ورامین (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۱) و... اشاره نمود. از اوایل دهه ۱۳۹۰ کاهش شدید آبدهی چاه‌های محفوره در آبخوان‌های آبرفتی و کارستی باعث شده تا مخازن آب زیرزمینی موجود در سازندهای سخت غیر کربناته مورد توجه مسئولین تأمین آب به‌ویژه در بخش شرب در بیشتر نقاط کشور قرار گیرد، ولیکن در مورد تأمین آب شرب از سازندهای آذرآواری تاکنون مطالعات جامعی در سطح کشور انجام نگرفته است. اولین گام در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی می‌باشد. جهت شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی روش‌های ژئوفیزیکی شامل روش‌های مقاومت الکتریکی، لرزه‌نگاری، مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی می‌باشد. روش مقاومت الکتریکی جهت شناسایی ابعاد هندسی مخازن آب زیرزمینی یک روش شناخته شده، قابل اعتماد و ارزان می‌باشد. مقاومت الکتریکی سنگ‌ها به شرایط تحکیم آن‌ها و مایع محتوی آن‌ها بستگی دارد. مقاومت الکتریکی سنگ‌های تحکیم یافته اشباع از آب شیرین بیشتر از رسوبات تحکیم نیافته با شرایط اشباع مشابه است. مقاومت الکتریکی سنگ‌ها به میزان املاح موجود در مایع داخل سنگ بستگی دارد (تاد و میز، ۲۰۰۵). اساس روش مقاومت الکتریکی بر پایه اندازه‌گیری مقاومت ویژه ظاهری لایه‌های زمین‌شناسی می‌باشد. مقاومت الکتریکی خاصیت اصلی لایه‌های زمین بوده و بسته به نوع رسوب (یا سنگ)، تخلخل، کیفیت و کمیت آب موجود در فضاهای خالی رسوبات یا سنگ‌ها متغیر می‌باشد. جریان الکتریسیته داخل زمین می‌تواند توسط مایع بین حفره‌ای (معمولاً آب) به‌صورت الکترونیزه و توسط مواد خاصی همچون کانی‌های رسی به‌صورت تبادل یونی القاء گردد.

در تحقیقی پتانسیل منابع آب زیرزمینی موجود در سازندهای سخت منطقه شمال حسینییه واقع در مرز استان‌های خوزستان و لرستان با استفاده از GIS و سنجش دور ارزیابی شد و ضمن ارائه نقشه پتانسیل آبدهی سازندهای سخت منطقه این نتیجه حاصل گردید که سازندهای سخت رخنمون یافته در اراضی دارای کمترین ارتفاع و زارعت کاری شده و دارای شکستگی فراوان از پتانسیل بالایی جهت پیدایش آب زیرزمینی برخوردار بوده و در مقابل لایه‌های رسوبی تخریبی - تبخیری دارای کمترین پتانسیل جهت پیدایش آب زیرزمینی می‌باشند (ماه گلی و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیق انجام گرفته به منظور پتانسیل سازندهای آهکی موجود در منطقه لار واقع در شمال تهران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ضمن بررسی تأثیر عوامل مختلف در ایجاد چشمه‌ها و پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه منابع آب این نتیجه گرفته شد که لیتولوژی بالاترین وزن را در گسترش زون‌های آبدار داشته و زیرلایه کربناته به تنهایی ۴۴ درصد از وزن این لایه را تشکیل داده است. لایه‌های بعدی به ترتیب اهمیت شامل لایه شیب و طبقات ارتفاعی، لایه فاصله از عناصر ساختاری، خطواره‌ها، کنتاکت آهکی و شبکه آبراه‌ای می‌باشد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۴). حیدریان و همکاران (۱۳۹۲) زون‌های آهکی حاوی آب موجود در مناطق آهکی سمیرم واقع در شمال استان اصفهان را با انجام مطالعات ژئوالکتریک شناسایی کردند و در انتها محل‌های مناسب جهت حفر چاه پیشنهاد نمودند. همان طوری که در بالا شرح داده شد در کشور ایران بیشتر مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در رابطه با سنگ‌های سخت مربوط به مخازن آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های آهکی (از جمله اکتشاف آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی جنوب کوه‌دشت، لرستان توسط احمدی و همکاران، ۱۳۹۶) بوده و کمتر به تشکیل مخازن آب زیرزمینی در واحدهای آذرین و آذرآواری پرداخته شده است. همچنین بیشتر پژوهش‌های انجام شده در سنگ‌های سخت توصیفی بوده و کمتر جنبه عملیاتی و بهره‌برداری داشته است. بدین ترتیب

اشاره نمود. اوگو و همکاران (۲۰۱۶) در منطقه جنوب غرب نیجریه با استفاده از روش ژئوالکتریک به این نتیجه رسیدند که لایه آبدار با ضخامت بین ۰/۷ تا ۳۷ متر و حدود ۷۰ درصد منطقه را فرا گرفته است. مطالعات ژئوالکتریک دشت هومند - آسبرد به منظور شناسایی ابعاد هندسی آبخوان آبرفتی دشت هومند - آسبرد، محورهای رسوبی مدفون شده و نواحی مناسب از لحاظ تشکیل آب زیرزمینی شناسایی و تعیین شده‌اند و تأثیر تکتونیک در تکوین دشت مذکور (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۱) و... اشاره نمود.

همچنین این روش برای شناسایی مخازن آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های سخت نیز استفاده شده است. در منطقه اوگومه ایالت دلتا کشور نیجریه روش مقاومت الکتریک جهت تشخیص سازندهای زمین‌شناسی و پتانسیل آب زیرزمینی موجود در آن‌ها استفاده شده است (اوکولی، ۲۰۱۰). در ناحیه مونیای کشور نیجریه با استفاده از این روش تعداد ۴ لایه زمین‌شناسی موجود در اعماق زمین از همدیگر تفکیک شده و در انتها زون‌های هوازده و خرد شده حاوی آب و فاقد آب از همدیگر تفکیک گردیده است (جوשו و همکاران، ۲۰۱۰). اولوسوگون و همکاران (۲۰۱۶) در دانشگاه اوسان نیجریه به منظور شناسایی ابعاد مخزن آب زیرزمینی در سازندهای سخت اطراف دانشگاه و نحوه حفاظت آبخوان در مقابل آلودگی ناشی از جریان‌های سطحی با استفاده از روش ژئوالکتریک ضمن تشخیص لایه هوازده (آبخوان منطقه) به ضخامت ۱۰ تا ۱۵ متر مناطق آسیب‌پذیر آبخوان نسبت به آلودگی را شناسایی نمودند. در مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در سازندهای سخت منطقه کوه آیجن بلاوان کالیج‌دنگ ضخامت مخزن آب زیرزمینی موجود در سازندهای آذرین منطقه بین ۱ تا ۱۵ متر شناسایی گردیده است (وایونو و همکاران، ۲۰۱۷). در ایران مخازن آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های سخت (کربناته و غیر کربناته) نیز مورد توجه متخصصین و پژوهشگران منابع آب بوده و در این زمینه نیز مطالعات متعددی انجام شده است.

لحاظ هیدروژئولوژی مخازن آب زیرزمینی موجود در منطقه دماوند بیشتر شامل آبخوان آبرفتی دشت‌های کیلاوند و دماوند می‌باشد که با توجه به وسعت پایین دشت‌های مذکور، آبخوان آبرفتی موجود در این دشت‌ها تأمین کننده آب مورد نیاز منطقه نبوده و از اوایل دهه ۱۳۸۰ به منظور تأمین نیاز آب شرب منطقه تعداد چند حلقه چاه در سنگ‌های آهکی منطقه حفر گردیده است. بر اساس نتایج آماربرداری سراسری دور دوم از منابع و مصارف آب در منطقه تعداد ۱۱۲۲ حلقه چاه با تخلیه ۱/۹۱ میلیون مترمکعب در سنگ‌های آذرین (سازند کرج) حفر شده که متوسط آبدهی چاه‌های مذکور ۰/۸ لیتر در ثانیه بوده و ساعات کارکرد آن‌ها کمتر از ۱۲ ساعت در شبانه روز می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۲).

#### بررسی‌های ژئوفیزیکی

در این مطالعه به منظور انجام بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش مقاومت الکتریکی تعداد ۱۵ عدد سونداژ ژئوالکتریک (با فاصله متفاوت بین ۱۰۰ تا بیش از ۳۰۰ متر) در راستای ۶ پروفیل با بیشینه طول فرستنده جریان ۱۵۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه اجرا شده است (شکل ۲). در این مطالعات از دستگاه اکسون ۲ با شدت جریان ۱ میلی‌آمپر تا ۱۰ آمپر، اختلاف جریان ۱۰ میکرو ولت تا ۲۰ ولت، سیستم حذف اتوماتیک پتانسیل خودزا و زمان تزریق جریان بیشینه ۲ ثانیه جهت انجام عملیات صحرائی با روش آرایه ژئوالکتریک شولمبرژه استفاده شده است (شکل ۳). در روش آرایه ژئوالکتریک شولمبرژه فاصله دو الکتروود جریان (بیرون) بیشتر از فاصله دو الکتروود پتانسیل (درون) می‌باشند، بنابراین زوج الکتروودهای جریان و پتانسیل دارای یک نقطه مشترک O می‌باشند، اما فاصله بین الکتروودهای مجاور متفاوت می‌باشد. از این رو افزایش فاصله الکتروودهای جریان در مقیاس لگاریتمی است (ماماه و اکین، ۱۹۸۹).

این تحقیق اولین مطالعات ژئوالکتریک جهت شناسایی مخازن آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های آذرآواری به‌ویژه در منطقه دماوند است و تاکنون مطالعات ژئوالکتریک جهت شناسایی مخازن آب زیرزمینی در سنگ‌های آذرین منطقه انجام نشده است. لذا هدف این مطالعات انجام عملیات ژئوفیزیک به طریق ژئوالکتریک جهت شناسایی نواحی آبدار موجود در واحدهای آذرآواری منطقه جهت تأمین نیاز آبی منطقه است. امید می‌رود با توجه به گسترش سنگ‌های آذرآواری در سطح کشور نتایج این پژوهش بتواند در تصمیم‌گیری مدیران صنعت آب کشور به منظور تأمین نیاز آب شرب مناطق کم آب مفید باشد.

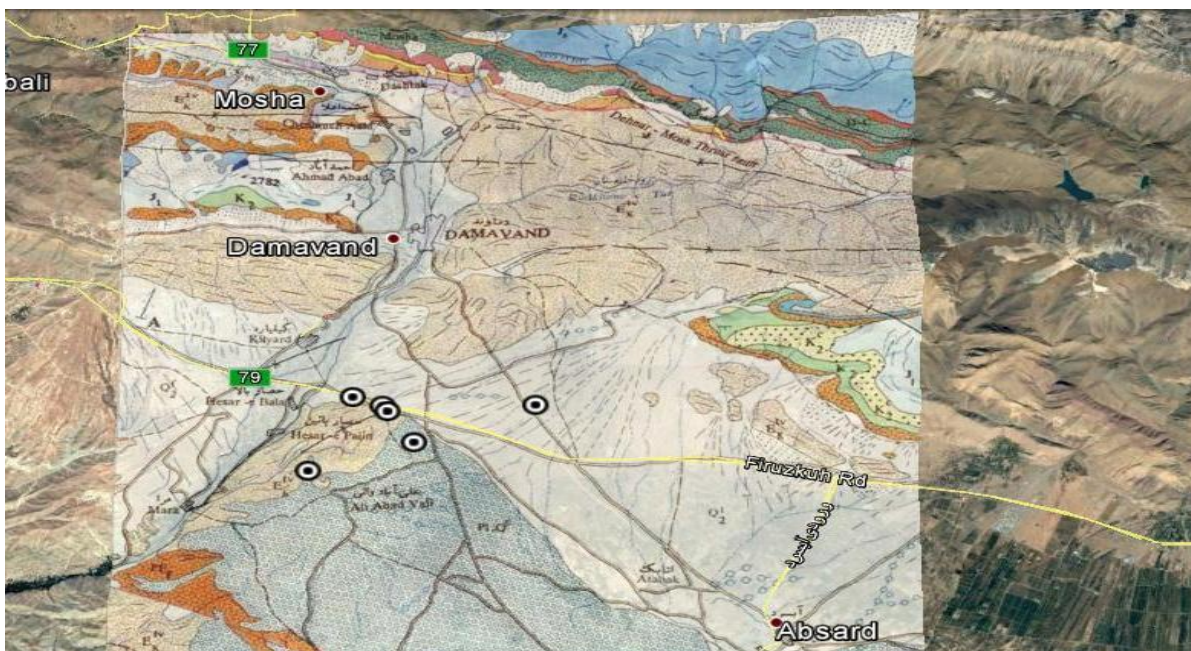
#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شرق استان تهران و در شرق شهر کیلاوند و جنوب شهر دماوند واقع شده است (شکل ۱ الف). از لحاظ زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱ ب) واحد توف میانی سازند کرج شامل توف سبز ضخیم لایه، شیل توفی، کمی گدازه، آذرآواری‌ها، توف و برش متعلق به ترشیری رخمون دارند (امامی و باباخانی، ۱۳۷۴). به سمت شمال در ارتفاعات واقع در شمال و شمال غرب شهر دماوند رخمون رسوبات ماسه‌سنگی سازند شمشک، آهک‌های مارنی دلیچای و آهک‌های کرتاسه به چشم می‌خورد. از پدیده‌های تکتونیکی مهم منطقه می‌توان به ناودیسی اشاره کرد که با راستای شمال شرق - جنوب غرب در سازندهای ائوسن امتداد دارد. در این منطقه رسوبات آبرفتی گسترش و ضخامت ناچیزی داشته و سونداژهای ژئوالکتریک بر روی واحدهای توفی سازند کرج و رسوبات واریزه‌ای کواترنری اجرا شده است. مهم‌ترین جریان سطحی منطقه رودخانه دماوند رود بوده که از فاصله حدود ۱/۵ کیلومتری غرب اراضی با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی عبور می‌نماید. متوسط بارش منطقه ۳۷۰ میلی‌متر در سال است. از



الف

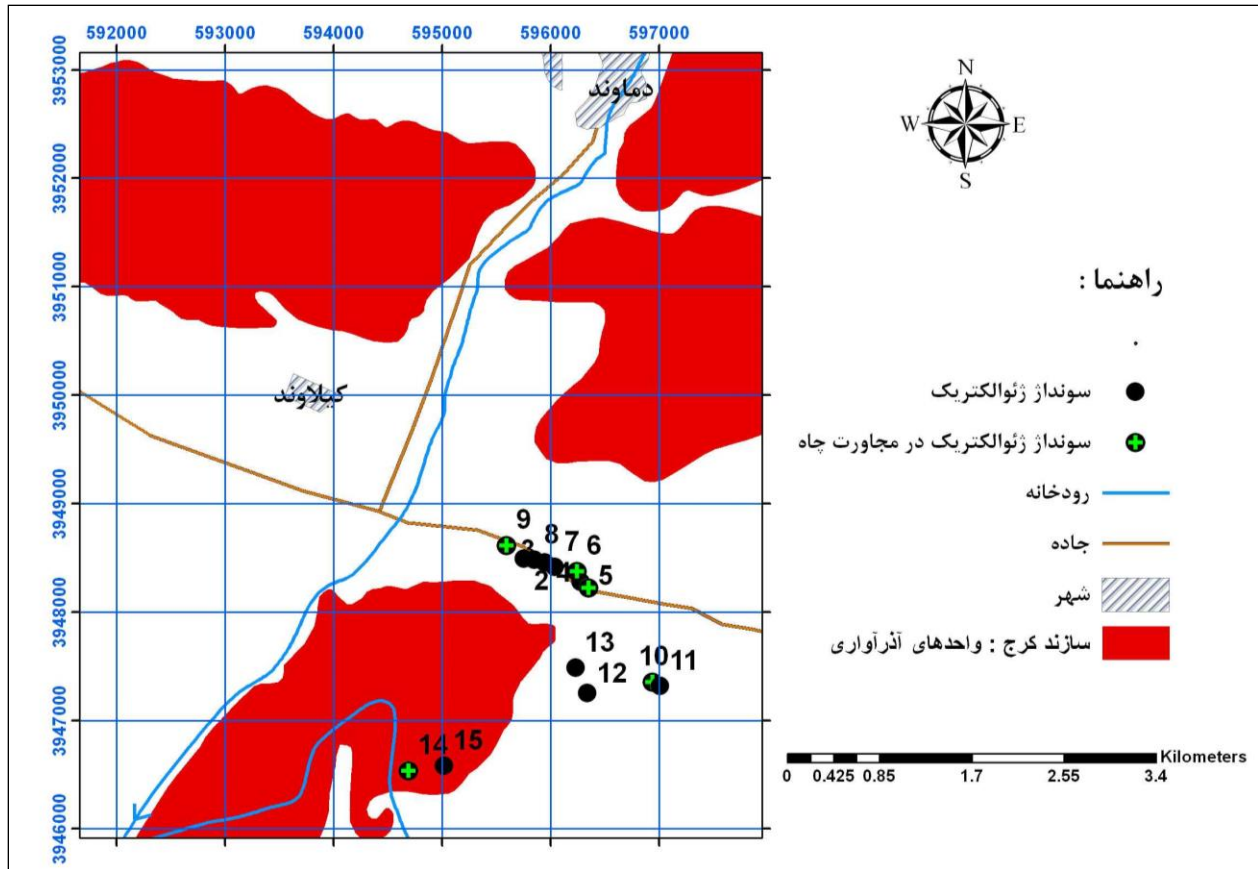


ب

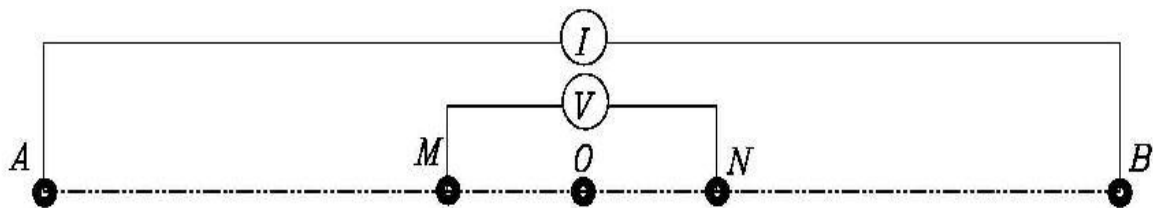
شکل ۱- الف - موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران؛ ب - موقعیت منطقه در نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار دماوند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) با زمینه تصویر ماهواره‌ای Google Earth (موقعیت سونداژها نیز نشان داده شده است)

مناسب جهت حفر چاه پیشنهاد گردید. پس از حفاری چاه‌ها در نقاط پیشنهادی، نیمرخ زمین‌شناسی آن‌ها با نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک مطابقت داده شد و صحت نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک مورد ارزیابی قرار گرفت.

پس از انجام عملیات صحرائی با استفاده از نرم‌افزار Res1div داده‌های ژئوفیزیک تفسیر و لایه‌های ژئوالکتریک در منطقه تفکیک شده است. پس از بررسی و تفسیر داده‌ها و نقشه‌های مربوطه لایه‌های آذرآواری خرد شده حاوی آب و نواحی مناسب جهت حفر چاه مشخص شده و سپس نقطه



شکل شماره ۲- موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۳- آرایه شولمبرژه استفاده شده در این مطالعات

## نتایج و بحث

مربوط به لایه رسوبات آبرفتی و واریزه‌ای سطحی بوده و متعلق به سازندهای سخت منطقه نمی‌باشد. در سونداژهای شماره ۱، ۶ و ۹ زون خرد شده حاوی آب زیرزمینی در اعماق ۵۰ تا ۱۰۰ متری قرار گرفته و آبدهی محل سونداژ شماره ۶ کمتر از آبدهی محل سونداژهای شماره ۱ و ۹ می‌باشد. در جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای سونداژهای ژئوالکتریک و تطبیق آن‌ها با نیمرخ زمین‌شناسی ۶ حلقه چاه بهره‌برداری ارائه شده است. در شکل ۱ ب موقعیت سونداژها روی سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مشخص شده است.

در این مطالعه به منظور آشنایی بهتر با مقاومت لایه‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه، تعداد ۶ عدد از ۱۵ سونداژ ژئوالکتریک انجام شده در مجاورت چاه‌های بهره‌برداری محفوره در منطقه اجرا گردید که مشخصات چاه‌های مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس جدول ۱ در سونداژهای شماره ۵، ۱۰ و ۱۴ علی‌رغم بالا بودن عمق حفر چاه‌ها، آبدهی آن‌ها کمتر از ۱ لیتر در ثانیه است و با توجه به نیمرخ زمین‌شناسی چاه‌ها میزان آبدهی چاه‌ها می‌توان نتیجه گرفته که این میزان آبدهی

جدول ۱- مشخصات چاه‌های حفر شده در مجاورت تعدادی از سونداژهای اجرا شده در منطقه مورد مطالعه

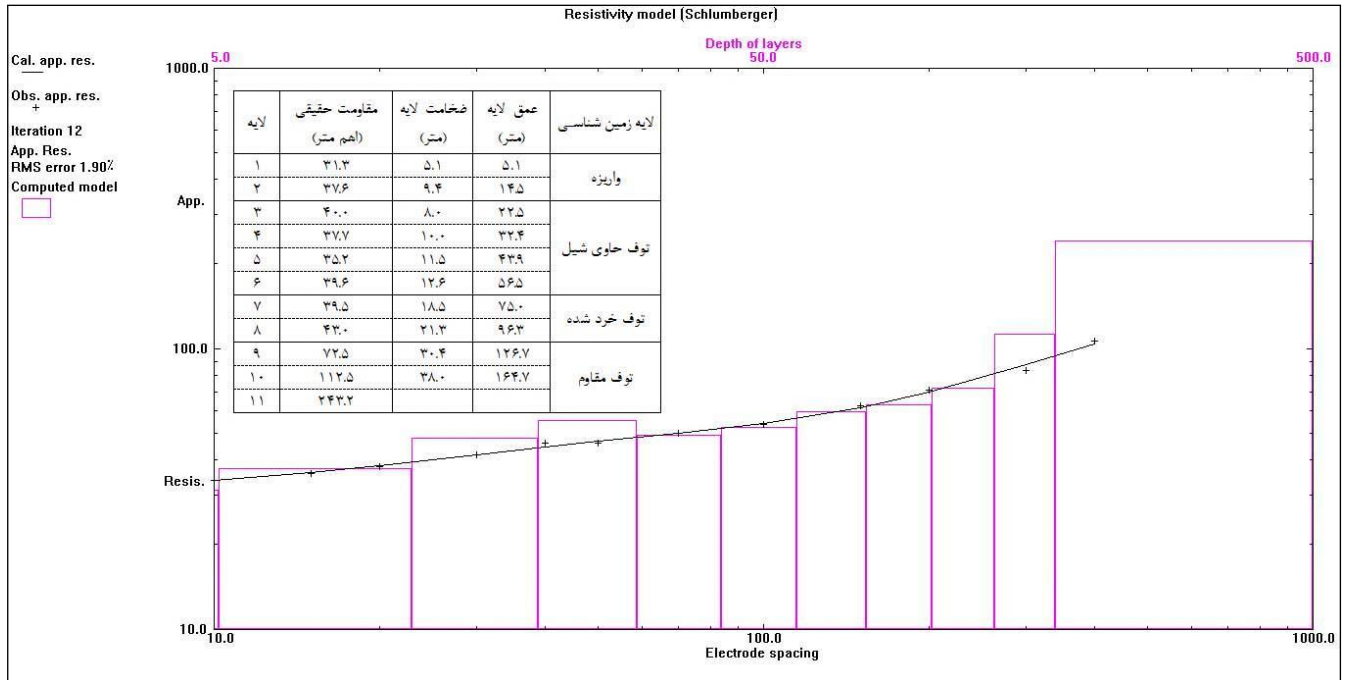
| طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | شماره سونداژ | عمق حفر (متر) | سطح آب زیرزمینی (متر) | آبدهی (لیتر در ثانیه) |
|---------------|---------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| ۵۹۹۵۲۹        | ۳۹۴۸۴۳۲       | ۱            | ۱۱۰           | ۵۵                    | ۳۰                    |
| ۵۹۶۳۵۲        | ۳۹۴۸۲۲۳       | ۵            | ۱۷۰           | سفره سطحی             | کمتر از ۱             |
| ۵۹۶۲۴۴        | ۳۹۴۸۳۷۷       | ۶            | ۱۰۰           | ۶۰                    | کمتر از ۵             |
| ۵۹۵۵۹۴        | ۳۹۴۸۶۱۶       | ۹            | ۹۵            | ۵۰                    | ۳۰                    |
| ۵۹۶۹۴۱        | ۳۹۴۷۳۵۴       | ۱۰           | ۹۰            | سفره سطحی             | کمتر از ۱             |
| ۵۹۴۶۹۰        | ۳۹۴۶۵۳۳       | ۱۴           | ۱۵۰           | سفره سطحی             | کمتر از ۱             |

در جدول ۲ مقاومت حقیقی لایه‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه ارائه گردیده است. مقاومت لایه رسوبات آبرفتی و واریزه‌های سطحی بین ۳۰ تا ۱۱۰ اهم‌متر بوده و مقاومت توف‌های موجود در منطقه بین ۴۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر متغیر است که لایه‌های توفی با مقاومت پایین خرد شده و حاوی آب زیرزمینی بوده و یا دارای میان لایه‌های شیلی می‌باشند. با توجه به مقاطع ژئوالکتریک تهیه شده، سونداژ های شماره ۹ و ۱ در راستای مقطع A-A اجرا شده است. در شکل ۴ نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۹ نمایش داده شده است. در راستای این مقطع لایه توفی خرد شده حاوی آب زیرزمینی در اعماق ۵۷ تا ۱۰۰ متری شناسایی شده و با مقاومت ۴۰ تا ۴۵ اهم‌متر بین دو لایه توف پایینی (مقاومت بیش از ۷۰ اهم‌متر) و توف حاوی شیل (مقاومت ۳۵ تا ۴۰ اهم‌متر) قرار گرفته است (شکل ۵). در راستای مقطع D-D سونداژ های شماره ۱۰ و ۱۱ اجرا شده و در شکل ۶ نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۱۰ نمایش داده شده است. در راستای مقطع D-D و در محل سونداژ شماره ۱۰ در زیر لایه واریزه‌های سطحی و رسوبات آبرفتی، لایه کنگلومرای سازند

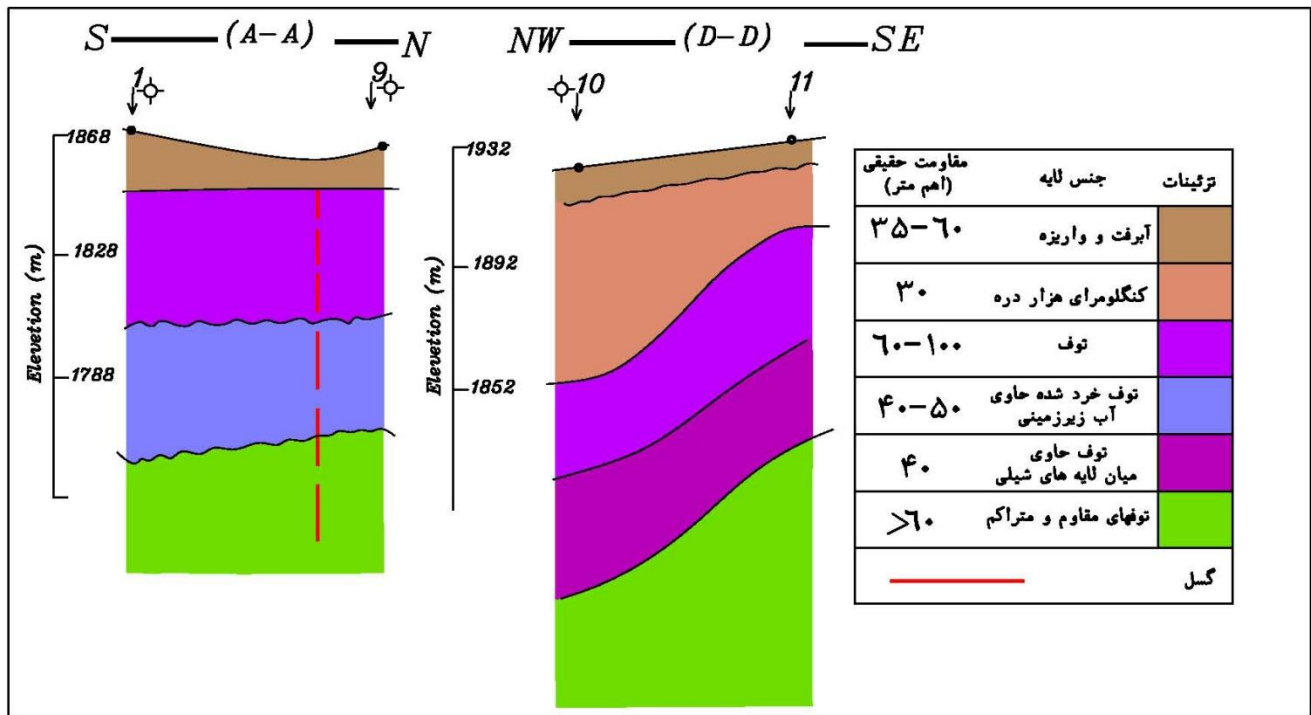
هزاردره با مقاومت ۱۵ تا ۶۰ اهم‌متر و ضخامت ۶۵ متر شناسایی شده است که پتانسیل آب زیرزمینی بسیار ضعیفی دارد. لایه کنگلومرای مذکور بر روی لایه توف با مقاومت ۶۵ اهم‌متر قرار گرفته و لایه مذکور بر روی لایه توفی حاوی شیل با مقاومت ۴۰ اهم‌متر واقع شده است. در راستای مقطع B-B از سطح زمین به طرف اعماق ابتدا لایه رسوبات واریزه‌ای با مقاومت ۳۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر بوده و سپس لایه توف با مقاومت ۶۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر شناسایی شده و سپس لایه با مقاومت بین ۴۰ تا ۵۰ متری توف خرد شده حاوی آب زیرزمینی بر روی لایه توفی مقاوم و متراکم با مقاومت بیش از ۶۰ اهم‌متر قرار گرفته است. در پاره‌ای نقاط لایه مذکور، لایه میان لایه‌های شیلی با مقاومت ۳۵ تا ۴۰ اهم‌متر شناسایی گردیده است. لایه توف خرد شده حاوی آب زیرزمینی در محل سونداژ شماره ۲ دارای بیشینه ضخامت (۶۰ متر) است که به سمت شرق از ضخامت آن کاسته شده و در اراضی حدفاصل سونداژهای ۳ و ۷ به ۴۰ متر و در محل سونداژ شماره ۴ به ۱۱ متر کاهش می‌یابد (شکل ۷). در شکل ۸ نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۲- میزان مقاومت مخصوص و ضخامت لایه‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه

| ضخامت متوسط (متر) | مقاومت حقیقی (اهم‌متر) | لایه زمین‌شناسی                             |
|-------------------|------------------------|---|
| ۲۵                | ۳۰-۱۱۰                 | واریزه‌های سطحی و رسوبات آبرفتی             |
| ۳۰                | ۵۰-۱۰۰                 | توف   |
| ۴۵                | ۴۰-۵۰                  | توف خرد شده حاوی آب زیرزمینی با کیفیت مناسب |
| بیش از ۱۰۰        | بیش از ۶۰              | توف های مقاوم و متراکم                      |
| -                 | ۳۵-۴۰                  | توف های حاوی میان لایه‌های شیلی             |
| ۵۰                | ۱۵-۶۰                  | کنگلومرای سازند هزار دره                    |

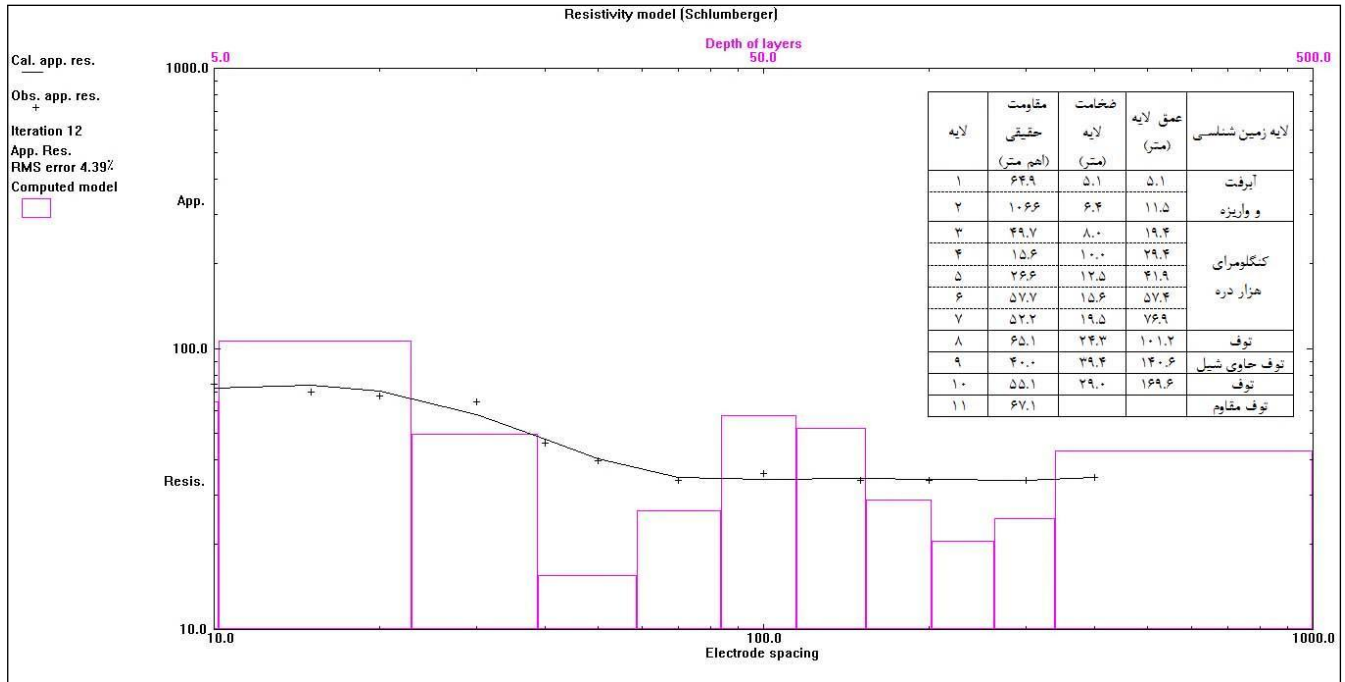


شکل ۴- نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۹ و نتایج شبیه‌سازی برنامه Res1Div برای دوره تکرار دوازدهم

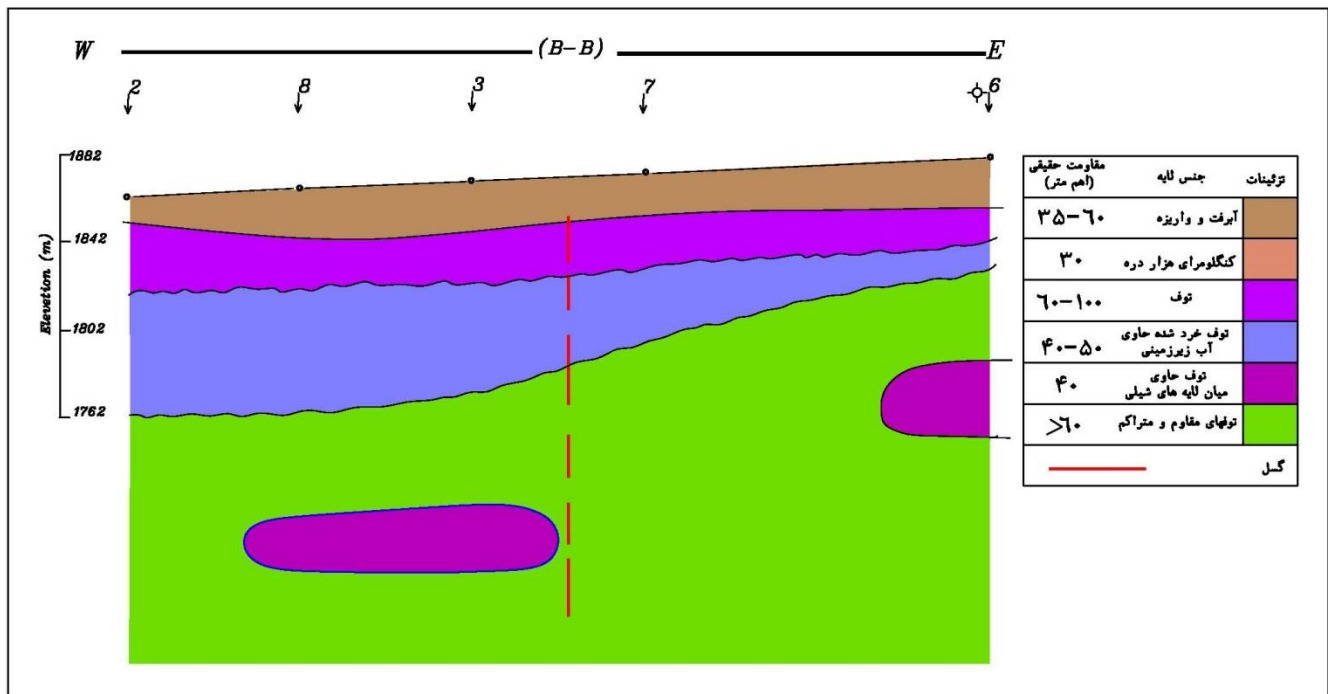


شکل ۵- مقاطع ژئوالکتریک A-A با راستای شمالی-جنوبی و D-D با راستای شمال غرب - جنوب شرق

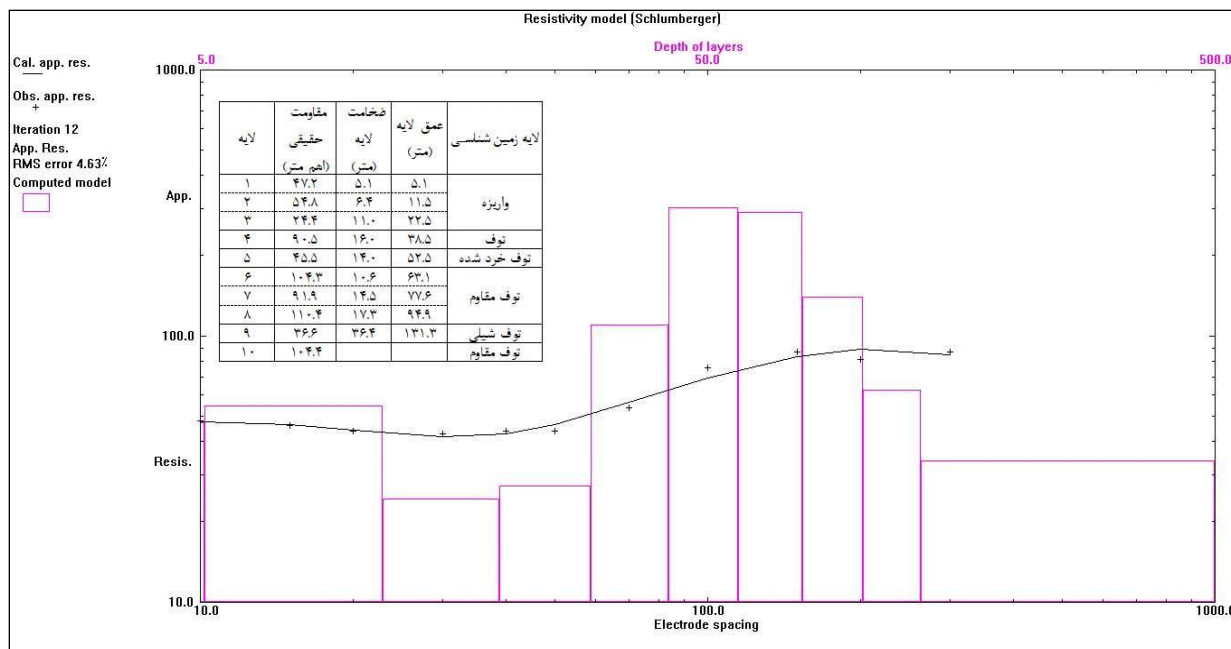




شکل ۶- نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۱۰ و نتایج شبیه‌سازی برنامه Res1Div برای دوره تکرار دوازدهم



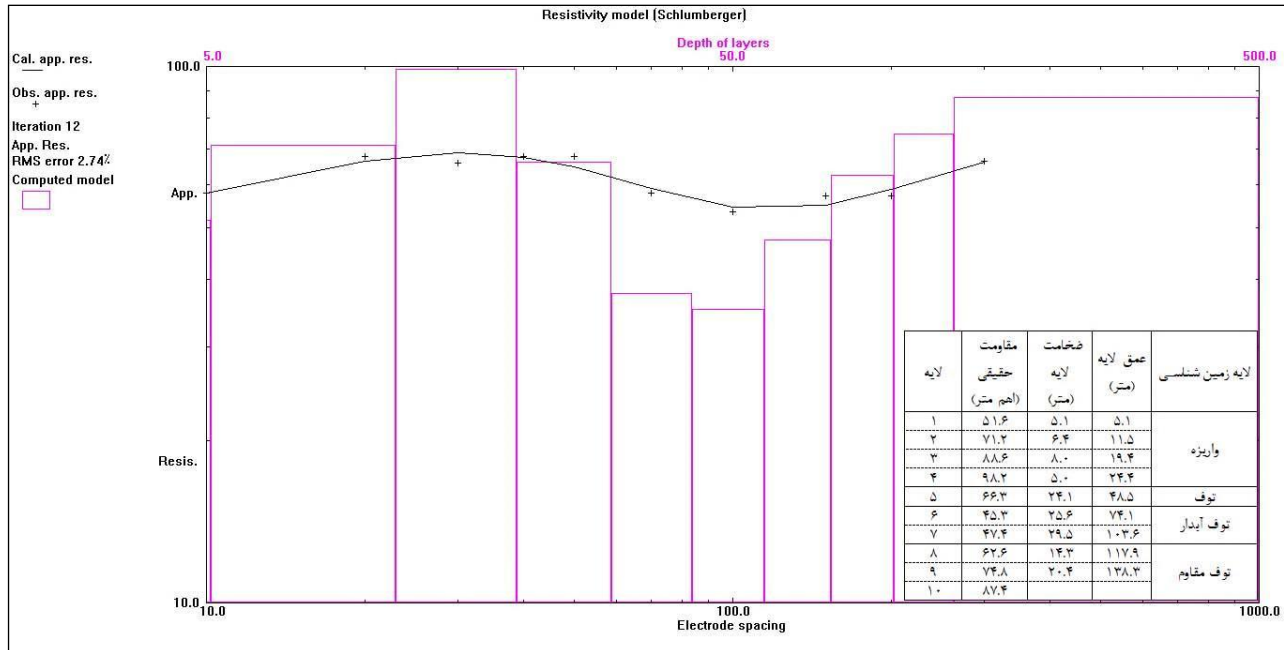
شکل ۷- مقطع ژئوالکتریک B-B با راستای شرقی - غربی



شکل ۸- نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۶ و نتایج شبیه‌سازی برنامه ResIDiv برای دوره تکرار دوازدهم

مقاومت الکتریکی سازندهای توفی ائوسن در محل سونداژهای شماره ۲، ۳ و ۸ خرد شده می‌باشند و لذا نقاط مذکور از لحاظ برداشت آب زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشند و با توجه به حریم چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه مورد مطالعه محل سونداژ شماره ۳ حفر چاه به عمق ۱۰۰ متر پیشنهاد می‌گردد. در شکل ۹ نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۳ نمایش داده شده است. در این محل لایه توفی خرد شده حاوی آب زیرزمینی با مقاومت الکتریکی بین ۴۵ تا ۴۷ اهم‌متر و ضخامت ۵۵ متر در عمق ۴۸ متری لغایت ۱۰۳ متری زمین قرار گرفته است. در پایان بر اساس یافته‌های حاصل از مطالعات ژئوالکتریک در منطقه و با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی، کاهش پتانسیل مخازن کارستی، آلوده شدن مخازن آب زیرزمینی و گسترش واحدهای آذرآواری در سطح کشور، پیشنهاد می‌گردد انجام بررسی‌های اکتشافی در سطح سنگ‌های آذرین و آذرآواری به منظور شناسایی مخازن آبی موجود در آن‌ها جهت تأمین نیاز آب شرب در اولویت قرار گیرد.

مطابق یافته‌های ژئوالکتریک ضخامت لایه توفی خرد شده حاوی آب در این محل برابر با ۱۴ متر است. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در محل سونداژ شماره ۶ در سال ۱۳۹۵ قبل از انجام این مطالعات چاه بهره‌برداری با عمق ۱۷۰ متر حفاری شده و آبدهی آن کمتر از پنج لیتر در ثانیه است که گواه بر صحت مطالعات ژئوالکتریک انجام شده می‌باشد. با تلفیق نتایج حاصل از یافته‌های ژئوالکتریک و نیز بررسی آبدهی چاه‌های محفوره در محل سونداژهای شماره ۹ و ۱ با آبدهی چاه محفوره در محل سونداژ شماره ۶ در منطقه مورد مطالعه، یک گسل احتمالی مدفون در زیرزمین با راستای شرقی - غربی در منطقه تشخیص داده شده است. راستای گسل مذکور از محدوده سونداژهای شماره ۳، ۸ و ۲ و از بین سونداژهای شماره ۹ و ۱ عبور می‌نماید و به سمت غرب (رودخانه دماوند رود) تأثیر آن بر خردشدگی سازندهای سخت منطقه بیشتر می‌شود. فعالیت گسل احتمالی مذکور در منطقه باعث ایجاد درز و شکاف و افزایش تخلخل ثانویه در واحدهای توفی منطقه شده و با توجه به بالا بودن ریزش‌های جوی منطقه باعث شده تا چاه محفوره در اراضی مابین سونداژهای ۱ و ۹ دارای بیشترین آبدهی باشد. با توجه به ارقام



شکل ۹- نمودار سونداژ ژئوالکتریک اجرا شده در محل سونداژ شماره ۳ و نتایج شبیه‌سازی برنامه Res1Div برای دوره تکرار دوازدهم

## نتیجه‌گیری

پیشنهاد شده و مقایسه نیمرخ زمین‌شناسی چاه‌های بهره‌برداری محفوره در نقاط پیشنهادی و آبدهی آن‌ها گواه بر صحت مطالعات ژئوالکتریک انجام شده، دارد. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش ژئوالکتریک یک روش کارآمد جهت شناسایی مخازن آب زیرزمینی در سنگ‌های آذرآواری است و با توجه به گسترش قابل توجه سنگ‌های پیروکلاستیک در سطح کشور انجام بررسی‌های اکتشافی در سطح سنگ‌های آذرین و آذرآواری به منظور شناسایی مخازن آبی موجود در آن‌ها جهت تأمین نیاز آب شرب پیشنهاد می‌گردد.

## منابع

احمدی، ف.، علیجانی، ف.، ناصری، ح. ۱۳۹۶. کاربرد روش‌های سنجش از دور و ژئوالکتریک در اکتشاف آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی جنوب کوه‌دشت، لرستان، هیدروژئولوژی، دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۲۹-۴۳.  
امامی، م.ح.، باباخانی، ا. ۱۳۷۴. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، سازمان زمین‌شناسی کشور.

حیدریان، م.ح.، کابلی، ع.ر.، فاتح دیزجی، ع.ر. ۱۳۹۱. اثرات محیطی برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت ورامین،

در این مطالعه مخازن آب زیرزمینی در واحدهای آذرآواری منطقه کال در جنوب شهر دماوند با اجرای ۱۵ عدد سونداژ ژئوالکتریک با استفاده از سیستم آرایه‌های چهار قطبی متقارن شولومبرژه و بیشینه طول فرستنده جریان ۱۵۰۰ متر شناسایی شده است. بر اساس یافته‌های ژئوالکتریک و حفاری‌های انجام شده در این منطقه از سطح زمین به سمت اعماق تعداد ۴ لایه زمین‌شناسی شامل الف: لایه واریزه‌های سطحی و رسوبات آبرفتی با مقاومت ۳۰ تا ۱۱۰ اهم‌متر و ضخامت متوسط ۲۰ تا ۲۵ متر، ب: لایه توفی با مقاومت ۶۰ تا بیش از ۱۰۰ اهم‌متر و ضخامت متوسط ۳۰ متر، ج: لایه توف خرد شده حاوی آب زیرزمینی با مقاومت ۴۰ تا ۵۰ اهم‌متر و ضخامت متوسط ۴۵ متر با کیفیت آب زیرزمینی مناسب، د: لایه توف‌های مقاوم و متراکم با مقاومت بالاتر از ۶۰ اهم‌متر و ضخامت بیش از ۱۰۰ متر. در پاره‌ای نقاط لایه مذکور دارای میان لایه‌های شیلی است، شناسایی شده است. همچنین ساختارهای زمین‌شناسی مؤثر در ایجاد مخازن آب زیرزمینی و نقاط مناسب جهت حفر چاه در سنگ‌های آذرآواری منطقه بر اساس مطالعات ژئوالکتریک

ماه گلی، آه، چیت‌سازان، م، میرزایی، ی. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور، مطالعه موردی: شمال حسینیه، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

مرادزاده، ع، دولتی، ف، طالبی، ک، پیشدادیان، م. ۱۳۸۸. مطالعه سفره آب‌های زیرزمینی منطقه شمال سمنان با تفسیر و مدل سازی داده‌های ژئوفیزیکی، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، انجمن علوم مهندسی و منابع آب ایران، تهران.

مردمی، ه، علی‌پور کفشگیر، ر، مرادزاده، ع. ۱۳۸۸. مطالعات ژئوالکتریکی دشت هادیشهر جهت اکتشاف آب زیرزمینی، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، انجمن علوم مهندسی و منابع آب ایران، تهران.

Alile, O. M., Ujuanbi, O., Evbuomwan, I. A. 2011. Geoelectric investigation of groundwater in Obaretin – yanomon locality, Edo state, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*. 3(1): 13-20.

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.

Joshua, E.O., Odeyemi, O.O., Fawehinimi, O.O. 2011. Geoelectric investigation of the groundwater potential of Moniya Area mIbadan, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*. 3(3): 54-62.

Kossinski, W.K., Kelly, W.E. 1981. Geoelectric sounding for predicting Aquifer Properties. *Journal of Groundwater*. 19: 163-171.

Mamah, I., Ekine, A.S. 1989. Electrical resistivity aristography and techtonism in basal Nsukka formation. *Journal of Mining Geology*. 25: 121-129.

Mohamaden, M.I.I., Ehab, D. 2017. Application of electrical resistivity for groundwater exploration in Wadi Rahaba, Shalateen, Egypt. *Journal of Astronomy and Geophysics*. 45: 1234-1254

Okolie, E.C. 2010. Geoelectric investigation of treasured formation strata and groundwater potential in Ogume, Delta State, Nigeria. *International Journal of the Physical Sciences*. 6(5): 1152-1160.

Alabi, O.O., Ojo, A.O., Akinpelu, D.F. 2016. Geophysical Investigation for Groundwater Potential and Aquifer Protective Capacity around Osun State University (UNIOSUN) College of Health Sciences. *American Journal of Water Resources*. 4: 137-143.

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

شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۴-۱۶ شهریور، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز، شیراز.

حیدریان، م.ح، فاتح دیزجی، ع.ر، دمهری، خ. ۱۳۹۱. شناسایی حوضه رسوبی دشت هومند - آبرسد و تأثیر تکتونیک در تکوین آن با استفاده از روش مقاومت الکتریکی، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

حیدریان، م.ح، طوفان تبریزی، ب، کابلی، ع.ر. ۱۳۹۲. اکتشاف زون‌های کارستی آبدار با استفاده از روش ژئوالکتریک مطالعه موردی منطقه سمیرم واقع در استان اصفهان، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و اولین نشست بین‌المللی کوهزاد زاگرس، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

خالقی، فاضل، موید، محسن. ۱۳۸۹. شناسایی منابع آب کارست با استفاده از روش‌های مورفوتکتونیک و ژئوالکتریک در جنوب غرب هادیشهر، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، کرمانشاه، صفحات ۱۴۹-۱۵۸.

رهنما، م.ب، فراهم کاظمی، ا. ۱۳۸۵. فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت رفسنجان، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه چمران، اهواز.

رهنماریاد، ج، فرهنگ، ر، حسینی، ع. ۱۳۸۶. فرونشست دشت مشهد بر اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی - بررسی مقدماتی، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و سوانح، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران.

شرکت آب منطقه‌ای تهران. ۱۳۹۲. مطالعات آماربرداری سراسری دور دوم از منابع و مصارف آب در سطح محدوده مطالعاتی دماوند (۴۱۳۵)، تهیه شده توسط مهندسین مشاور سامان آب سرزمین.

طاهری تیزرو، ع، عابدینی، ش، کمالی، م. ۱۳۹۶. برآورد پارامترهای هیدرولیکی لایه‌های آبدار با روش ژئوالکتریک (مطالعه موردی: دشت چهاردولی، استان کردستان)، هیدروژئولوژی، دوره ۲، شماره ۱، صفحات ۸۵-۱۰۱.

کاظمی، ر، شادفر، ص، بیات، ر. ۱۳۹۴. بررسی عوامل مؤثر در پتانسیل منابع آب سازندهای سخت، مطالعه موردی: منطقه کارستی لار، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۷، شماره ۴، صفحات ۳۸۹-۴۰۱.

- UNECCO. 1984. Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal, Printed under the direction of the American Geophysical Union, by Book Crafters, Chelsea. Michigan ISBN 92-3-102213-X.
- Wiyono, Soemarno, Maryanto, S., Rachmansyah. A. 2017. Interpretation Capacity of Natural Waters (Sediments) and Depth at Belawan Kaligedang around Ijen mount with Geoelectric Methods Resistivity Mapping and Metal Content (Fe, Pb) of Natural Water American Journal of Environmental Engineering. 7(1): 10-13.
- Resistivity Tomography Imaging Technique: Securing Water Scarcity at the Time of Seasonal Rainfall Failure, South Andaman. International Journal of Geosciences. 9: 59-70.
- Todd, D.K. and Mays, L.W. 2005. Groundwater Hydrogeology 3 edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Ugwu, N.U., Ranganai, R.T., Simon, R.E. and 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.