

## کاربرد روش ژئوالکتتریک در بررسی پارامترهای هیدرولیکی آب زیرزمینی

عبداله طاهری تیزرو<sup>۱\*</sup>، علیرضا عبدالهی<sup>۲</sup> و روزین فصیحی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- دانشجوی دکترا گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: ttizro@basu.ac.ir \*

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۷

دریافت: ۱۴۰۰/۲/۵

### چکیده

روش ژئوالکتتریک 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. در این پژوهش با استفاده از روش ژئوالکتتریک در مناطقی که سنگ بستر در سطح بالا قرار گرفته و لایه اشباع از ضخامت مناسب و قابلیت حفاری را دارا است استفاده شد. بر همین اساس به‌عنوان یک محدوده مطالعاتی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی، دشت زرین‌آباد گل‌تپه واقع در استان زنجان از استان‌های شمال غربی کشور ایران، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. تعیین ضرایب هیدرولیکی به روش ژئوالکتتریک بر اساس محاسباتی است که سینگال و نیواس ارائه کردند، محاسباتی که از مقاومت عرضی اصلاح شده بهره می‌گیرد. ۳۸ سونداژ برداشت شده در دشت زرین‌آباد گل‌تپه، ۱۸ سونداژ الکتتریک برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی انتخاب شد و تفسیر داده‌های سونداژ با استفاده از نرم‌افزار IPI2win انجام شد، بررسی‌های انجام شده نشان دادند که مقادیر  $k_0$  در دشت زرین‌آباد ۳ کلاس مستقل را تشکیل می‌دهند که دارای  $k_0$  ثابتی هستند. همانطور که سینگال و نیواس اشاره می‌کنند می‌توان با توجه به این دسته‌بندی دشت ضرایب هیدرولیکی را تعیین نمود. نتایج محاسبه شده نشان داد که در تعیین ضرایب هیدرولیکی هیچ تفاوت معنی‌داری بین دو روش لوگ‌های حفاری، و روش ژئوالکتتریک وجود ندارد. رابطه همبستگی که بین ضریب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی اصلاح شده بدست آمده (با ضریب همبستگی ۰/۹۷) نشان‌دهنده صحت آزمایشات در این دشت و همچنین تاییدی بر مطالعات قبلی سینگال و نیواس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضرایب هیدرولیکی، زرین‌آباد، ژئوالکتتریک، سینگال و نیواس

### پیشگفتار

پیشرفت علم و تجهیز شدن صنعت کشور به روش‌های نوین و دقیق، موجب گردید اتلاف وقت و هزینه به حداقل برسد. برای بررسی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی روش‌های زیادی از جمله روش ژئوفیزیک وجود دارد (خلیلی نفت‌چالی و خاشعی‌سیوکی، ۱۳۹۵). پژوهش‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی به‌دلیل ارائه شاخص‌هایی برای اکتشافات آب زیرزمینی و هدایت سریع پژوهش‌گران برای کشف نقاط دارای منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. مهمترین اشکال ژئومورفولوژی قابل مطالعه از نظر آب‌های زیرزمینی، مخروط‌افکنه‌ها، پادگان‌های آبرفتی و دشت‌های آبرفتی می‌باشند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۷). ژئوالکتتریک از جمله عملیات صحرائی ژئوفیزیک است که بر اساس انتقال جریان الکتتریکی به داخل زمین، ایجاد اختلاف پتانسیل بین دو نقطه و

محاسبه مقاومت ویژه عمق‌های مختلف زمین طراحی شده است. بسته به کاربردهای متفاوت، روش‌های مختلفی از عملیات ژئوالکتتریک انجام می‌شود و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید (قلمکاری و همکاران، ۱۳۹۵). روش‌های ژئوالکتتریک جهت به دست آوردن اطلاعات دقیقی درباره شرایط زیرزمینی نظیر نوع و عمق مواد، عمق شکاف‌دار یا متلاشی شده، عمق آب زیرزمینی، عمق تا کف سنگ کف و مقدار نمک آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (باوئر، ۱۹۷۸). تعیین ضرایب هیدرولیکی به روش ژئوالکتتریک بر اساس محاسباتی است که سینگال و نیواس ارائه کردند، محاسباتی که از مقاومت عرضی اصلاح شده بهره می‌گیرد. همانطور که سینگال و نیواس اشاره می‌کنند می‌توان با توجه به این دسته‌بندی دشت ضرایب هیدرولیکی را تعیین نمود (سینگال و نیواس، ۱۹۸۵). پژوهش‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته است از

مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب سازندهای سخت در منطقه لار با استفاده از پارامترهای مؤثر در ایجاد چشمه‌ها پرداختند، نتایج نشان‌دهنده تطابق ۷۶ درصدی نقشه نهایی با موقعیت چشمه‌ها منطقه بود. آبخوان‌ها از واحدهای زمین‌شناسی اشباع دارای قابلیت نفوذپذیری ایجاد شده‌اند که قادرند مقادیر قابل‌توجهی آب را تحت شیب‌های هیدرولیکی مختلف انتقال دهند در نتیجه در این پژوهش آبخوان دشت زرین‌آباد استان زنجان جهت بررسی برآورد پتانسیل لایه آبدار با روش الکترومغناطیس و بررسی دقت روش‌های الکترومغناطیس، ژئوالکتریک انجام گرفت. اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی با روش ژئوالکتریک در محدوده‌های انتخابی بررسی گردید. رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) در زمینه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت ارسنجان واقع در شمال شرقی شیراز با استفاده از شاخص هم‌پوشانی وزنی مطالعاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مناطقی با توان آبی بالا، بیشتر در شمال، شمال‌شرق و مرکز دشت و بخش‌های کوچکی در قسمت جنوب‌غربی قرار دارند که این مناطق منطبق با ارتفاع و شیب پایین، بیش‌ترین تراکم آبراهه و کمترین فاصله به آبراهه‌های رتبه ۳ و گسل‌ها هستند.

هدف از انجام این پژوهش بررسی پارامترهای اساسی لایه‌های آبدار تحت عنوان ضرایب هیدرولیکی لایه آبدار و انتخاب روش مناسب برای تخمین نقطه بهینه برای حفاری با روش جدید است. اهمیت این ضرایب از آنجاست که مبنای تفاسیری از وضعیت، موجودیت و چگونگی حرکت آب زیرزمینی می‌باشد. بدلیل همین اهمیت است که متناسب با سطح دقت مورد نیاز در تعیین ضرایب، روش‌های متعدد و متنوعی جهت تعیین آن‌ها توسط دانشمندان ارائه گردیده است. در این پژوهش سعی بر آنست که ابتدا با روش لوگ حفاری برآورد پارامترهای هیدرودینامیکی مورد بررسی و سپس و با روش ژئوالکتریک مقایسه گردد این مطالعات در بهبود روش‌های وقت‌گیر، پیچیده و پرهزینه می‌تواند اثر بخش باشد.

### مواد و روش‌ها

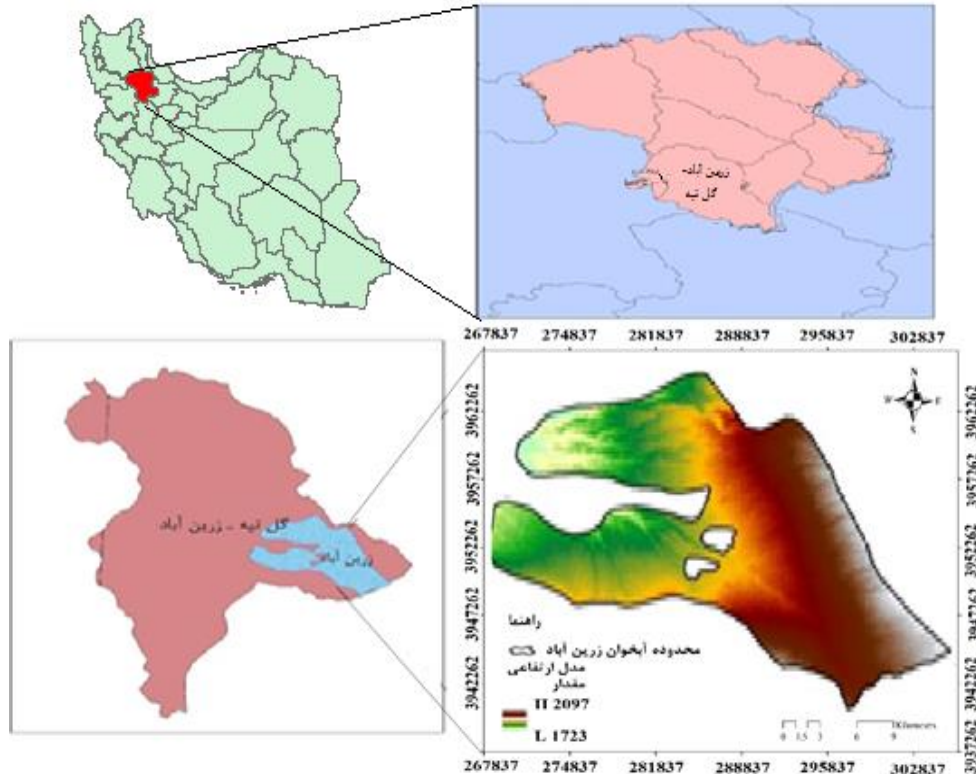
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت زرین‌آباد - گل‌تپه در شهرستان‌های خدابنده (زنجان)، کبودرآهنگ و رزن (همدان)، در جنوب

جمله: ابونگ و همکاران (۲۰۱۴) پارامترهای ژئوهیدرولوژیک آبخوان‌های ماسه‌سنگی و شیلی درز و شکاف‌دار را با استفاده از روش مقاومت الکتریکی و اندازه‌گیری‌های هیدروژئولوژیک به دست آوردند. نتایج مطالعه برای آبخوان‌های شیلی، مقاومت، هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال پایین و برای آبخوان‌های ماسه‌سنگی، مقادیر بالایی را از پارامترهای مذکور نشان داده است. اکینگبو و مبین (۲۰۱۴) با استفاده از سونداژهای قائم الکتریکی تخلخل و هدایت هیدرولیکی آبخوانی واقع در جنوب نیجره را برآورد کردند. هدایت هیدرولیکی برآورد شده از طریق ژئوالکتریک با نتایج حاصل از آزمون پمپاژ همبستگی داشته است. ستار و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از روش ژئوالکتریک فرمول‌هایی تجربی را بر حسب مقاومت الکتریکی آبخوان برای محاسبه هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال در شمال غرب بنگلادش ارائه کردند. نیواس و سیلک (۲۰۱۲) بر اساس معادلات کوزنی آرکی و قوانین اهم دارسی تخلخل و هدایت هیدرولیکی آبخوان را برآورد کردند. نتایج اندازه‌گیری‌های سطحی ژئوالکتریک در این مطالعه با داده‌های موجود آزمون پمپاژ همبستگی بالایی را نشان داد. اوتم و همکاران (۲۰۱۲) از پارامترهای دارزاروک به منظور برآورد قابلیت انتقال آبخوان استفاده کردند. نتایج مطالعه همبستگی بالایی را بین قابلیت انتقال آبخوان و هدایت الکتریکی طولی آبخوان نشان داد. طاهری‌تیزرو و همکاران (۲۰۱۰) با انجام ۲۸ سونداژ قائم الکتریکی با آرایش شلومبرژه در دشت کنگاور واقع در استان کرمانشاه چهارچوب هیدروژئولوژیکی دشت را تعیین کرده و با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه ضریب قابلیت انتقال را تخمین زدند. آنان همچنین با استفاده از داده‌های ژئوالکتریک تخلخل و ضریب ذخیره ویژه در آبخوان ماهیدشت را برآورد کردند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که تخلخل بین ۰/۱۸ و ۰/۶۶ و میانگین آبدهی ویژه ۰/۱۵ می‌باشد. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۴) با مدل آنتروپی شانون و جنگل تصادفی در دشت بجنورد خراسان شمالی به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی پرداختند و نتایج براساس مقایسه مدل جنگل تصادفی با آنتروپی شانون لایه‌های فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی و طبقات ارتفاعی بیشترین تأثیر را بر پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی داشته است. کاظمی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی عوامل

بالغ بر ۵۱۰۷ کیلومترمربع، از نظر هیدرولوژیکی بخشی از حوضه‌های آبریز رودخانه‌های بزینه و شور را تشکیل می‌دهد و جریان‌های آن پس از طی مسیری طولانی به قزل اوزن می‌ریزند.

شرقی استان زنجان و شمال استان همدان واقع شده است و از نظر جغرافیایی در ناحیه‌ای بین عرض شمالی  $36^{\circ}13'00''$  تا  $35^{\circ}10'00''$  و طول شرقی  $48^{\circ}57'30''$  تا  $47^{\circ}56'00''$  قرار دارد (شکل ۱). این دشت با وسعتی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

هیدرولیکی انتخاب شد، به طوری که این سونداژها تقریباً تمام دشت مطالعاتی را پوشش داده و از طریق تفسیر آن‌ها به لایه‌بندی، عمق، مقاومت و نوع تشکیلات زمین‌شناسی در منطقه پی بردیم.

روابط تحلیلی که نیواس و سینگال<sup>۱</sup> (۱۹۸۱) بین ضریب قابلیت انتقال لایه آبدار و مقاومت عرضی از یک سو و بین قابلیت انتقال و هدایت طولی از سوی دیگر بدست آوردند اساس کار روش ژئوالکتریک می‌باشد. دو قانون مهم و داری را به طور مقایسه می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$Q = KIA \quad (1)$$

$$J = \delta E \quad (2)$$

I: گرادیان هیدرولیکی،  $\delta$ : هدایت الکتریکی (عکس مقاومت  $1/\rho$ )، E: شدت میدان الکتریکی، و J: شدت جریان است.

### بررسی لوگ‌های حفاری و پیژومترها

با توجه به اینکه مطالعه پیژومترها و بررسی لوگ‌های زمین‌شناسی آن‌ها در تعیین وضعیت دانه‌بندی و جنس و اندازه دانه‌ها، می‌تواند شمای کلی دشت را به لحاظ مسائلی از جمله نفوذپذیری آبرفت و بخصوص آبدهی آن مشخص ساخت، در این بخش به بررسی لوگ‌های حفاری در منطقه پرداخته می‌شود و همانطور که ملاحظه خواهد شد در این بررسی هدف اصلی بدست آمدن یک الگو برای مطالعه دشت از نظر میزان قابلیت انتقال خواهد بود. در شکل ۲ موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و لوگ‌های حفاری آورده شده است.

### روش ژئوالکتریک

از تعداد ۳۸ سونداژ برداشت شده در دشت زرین‌آباد گل تپه، ۱۸ سونداژ الکتریکی برای تعیین پارامترهای

<sup>1</sup>Niwas and Singhal

و نیواس (۱۹۸۵) در مطالعات بعدی خود تأکید می‌کنند که روابط ۳ و ۴ باید به نوعی تصحیح گردند. پیشنهاد آن‌ها این است که مقادیر هدایت الکتریکی و مقاومت عرضی از طریق نرمالیزه شدن، اصلاح گردند و بدین منظور رابطه زیر را ارائه کردند:

$$T = (K\sigma')R' \quad (۵)$$

$$\sigma' = \sigma \frac{\rho_w}{\bar{\rho}_w} \quad (۶)$$

$$R' = R \frac{\bar{\rho}_w}{\rho_w} \quad (۷)$$

$\sigma'$  هدایت الکتریکی اصلاح شده و  $\sigma'$  مقاومت عرضی اصلاح شده می‌باشد.  $\bar{\rho}_w$  میانگین مقاومت آب در لایه آبدار و  $\rho_w$  مقاومت آب در یک نقطه لایه آبدار می‌باشد. اما به جهت تعیین مقاومت عرضی در منطقه مورد مطالعه می‌بایست که سونداژهای مقاومتی را در منطقه پیاده کنیم. روش‌ها و آرایه‌های متنوعی برای سونداژ وجود دارد که در این پروژه با توجه به امکانات موجود و همچنین دستگاه اندازه‌گیری مقاومت، از آرایه سونداژ شلومبرژه برای انجام عملیات سونداژ استفاده گردیده است.

نیواس و سینگال (۱۹۸۱) با مقایسه دو رابطه فوق برای یک مقطع عرضی از زمین که ضخامتی برابر  $h$  دارد دو رابطه زیر را ارائه کردند:

$$T = (K\sigma)R \quad (۳)$$

$$T = \left(\frac{K}{\sigma}\right)C \quad (۴)$$

که  $R = \sum h_i \sigma_i$  و  $C = \sum h_i \rho_i$  هدایت طولی،  $R =$  مقاومت عرضی لایه آبدار،  $h_i =$  ضخامت لایه  $i$  ام،  $\rho_i =$  مقاومت ویژه لایه  $i$  ام و  $\sigma_i =$  هدایت الکتریکی لایه  $i$  ام است.

روابط ۳ و ۴ به روابط دارزاروک معروف می‌باشند که دو پارامتر  $R$  و  $C$  نیز پارامترهای دارزاروک هستند. نیواس و سینگال (۱۹۸۱) اشاره می‌کنند که مبنای استفاده از رابطه ۳ یا ۴ آن است که آیا مقدار  $\left(\frac{K}{\sigma}\right)$  ثابت است یا  $(K\sigma)$  مشخص شدن این مطلب می‌تواند با محاسبه هدایت طولی و یا مقاومت عرضی در منطقه ضریب قابلیت انتقال را تعیین نمود. از آنجایی که کیفیت آب زیرزمینی در اندازه‌گیری‌های مقاومت تأثیر بسیار زیادی دارد، سینگال



شکل ۲. محدوده لوگ حفاری آبخوان زرين آباد گل تپه

VES از طریق روش انطباق منحنی می‌بایست منحنی مقاومت ویژه ظاهری در برابر فاصله الکترودی که از اندازه‌گیری‌های صحرائی به دست آمده است مورد استفاده قرار گیرد، به منظور دستیابی به پارامترهای مقطع ژئوالکتریکی، مقاومت لایه‌ها و ضخامت آن‌ها، استفاده از

### تفسیر داده‌های سونداژهای الکتریکی

مقادیر مقاومت ویژه ظاهری جمع‌آوری شده از محل مورد مطالعه می‌تواند در برابر نصف فاصله الکتروهای جریان در مقیاس منحنی‌های استاندارد دولایه‌ای و سه‌لایه‌ای، در یک کاغذ لگاریتمی رسم شود. به منظور تفسیر داده‌های

در محدوده‌های انتخابی با استفاده از روش ژئوالکتریک برداشت انجام شد که برای بررسی و شناسایی لایه‌های زیر سطحی انجام گردید تفسیر داده‌های صحرایی و تلفیق آن‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی مناطق مورد بررسی و سپس ضخامت رسوبات آبرفتی، عمق برخورد به سنگ کف ویژگی‌های رسوبات آبرفتی از نظر دانه‌بندی ضخامت لایه‌ها به متر و مقاومت الکتریکی به اهم متر تعیین می‌گردد.

### بررسی توزیع مکانی

کاربرد روش زمین آمار در قالب نرم‌افزار ArcGIS به منظور بررسی توزیع مکانی استفاده شد. جهت انتخاب روش مناسب میانمایی، روش ارزیابی متقابل مورد استفاده قرار گرفت و پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### نتایج پارامترهای هیدرولیکی برآمده از لوگ‌های

##### حفاری در دشت زرین آباد گل تپه

همانطور که اشاره شد بررسی لوگ‌های حفاری در دشت انجام شد این چاه‌ها پراکندگی لازم را برای پوشش کل دشت را داشتند. روش‌های تیس، ژاکوب مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر T (ضریب قابلیت انتقال) و K (هدایت هیدرولیکی) تعیین شد. این مقادیر در جدول ۲ نشان داده شده است. پس از آن مقادیر بدست آمده در نقشه زمین‌شناسی دشت منعکس شد تا نقشه هم T و هم K تهیه گردید. با توجه به جدول ۲ بیشترین ضریب قابلیت انتقال در محل چپقلو با ۳۵۰ متر مربع بر روز بود و در مقابل کمترین مقدار در محل قانقلو (۱۲۰ متر مربع بر روز) به دست آمد همچنین مقدار هدایت هیدرولیکی از ۰/۲۱ تا ۰/۴ متر بر روز متغیر می‌باشد.

### ژئوالکتریک

در کاوش‌های ژئوفیزیکی به منظور بررسی وضعیت ساختمانی سازندها، تفکیک لایه‌های زیرزمینی، تعیین موقعیت چاه‌ها و لایه‌های آبدار و بالاخره تعیین ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های زمین و مقاومت ویژه الکتریکی صورت می‌گیرد. روش‌های متفاوتی در بررسی‌های ژئوفیزیکی در مطالعات لایه‌های زیرسطحی انجام می‌گیرد که معمولی‌ترین این روش‌ها مطالعات ژئوالکتریک است که از توانایی خوبی در تشخیص لایه‌های زیرسطحی برخوردار

روش انطباق منحنی نیازمند شناسایی نوع منحنی و سپس مقایسه آن با منحنی‌های استاندارد مربوطه جهت دستیابی به بهترین تطابق می‌باشد. منحنی‌های دو لایه و سه لایه می‌توانند به منظور تفسیر کامل منحنی‌هایی با لایه‌های بیشتر با استفاده از روش نقطه کمکی انجام شوند. این اولین روش تفسیر داده‌های سونداژ است که از تکنیک‌های انطباق منحنی استفاده می‌کند. این تکنیک همچنین توسط محققین بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است مانند شانکار (۱۹۹۴).

روش انطباق منحنی یک تکنیک سنتی تفسیر داده‌های صحرایی VES می‌باشد و تنها زمانی کارآمد است که تعداد نقاط سونداژ اندک باشد و همچنین محدود به تفسیرهای دو لایه‌ای و سه لایه‌ای مقاومت الکتریکی است. لذا داده‌های صحرایی VES در این تحقیق از طریق روش معکوس‌سازی یک‌بعدی در نرم‌افزار IPI2win که توسط دانشگاه ایالتی مسکو برای تفسیر داده‌های سونداژ تا حداکثر ۳۰ لایه توسعه یافته است، صورت پذیرفت. در این نرم‌افزار فرض می‌شود که کاربر مفسری با تجربه است و می‌تواند پدیده‌های زمین‌شناسی را به گونه‌ای تفسیر نماید که منطبق با منحنی‌های گمانه زنی الکتریکی باشد. هدف در IPI2win و نرم‌افزارهای مشابه، تفکیک رخساره‌های مختلف زمین‌شناسی با استفاده از عملیات معکوس‌سازی است. به عبارت دیگر طراحان این نرم‌افزار همه عوامل موثر بر مقاومت ویژه زیر سطح زمین را در قالب یک رابطه ریاضی، بیان نموده‌اند و مدلی از مقاومت ویژه زیر سطحی، تهیه کرده‌اند. در عملیات معکوس‌سازی صورت پذیرفته در IPI2win، پارامترهای مدل یاد شده، آنقدر تغییر داده می‌شود تا مجموعه‌ای از مقادیر مقاومت ویژه به دست آید که بیشترین شباهت را به داده‌های مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده در صحرا)، داشته باشند (آریامنش، ۱۳۹۱).

### نحوه آزمایش الکترودها

در این روش ما با انتخاب ۴ محدوده برای مطالعه و برآورد بازدهی این روش مورد بررسی قرار گرفت که به شرح ذیل می‌باشد که ۳۸ سونداژ ژئوالکتریک در این محدوده‌های برداشت شد که به اختصار ۴ نقطه از این سونداژ‌ها به بحث قرار خواهد گرفت محدوده‌های مطالعاتی در جدول ۱ ذکر شده است.

نمی‌باشد بلکه مقاومت ویژه سازندهای زمین‌شناسی هر منطقه باید به طور جداگانه تعیین شود. جدول ۳ تغییرات مقاومت ویژه ظاهری را برای منطقه نشان می‌دهد.

می‌باشد. مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه بستگی به وضعیت زمین‌شناسی آن منطقه دارد. به عبارت دیگر تفکیک لایه‌ها بر حسب جنس آن‌ها از نظر زمین‌شناسی تنها با به دست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها میسر

جدول ۱. محدوده‌های مطالعاتی

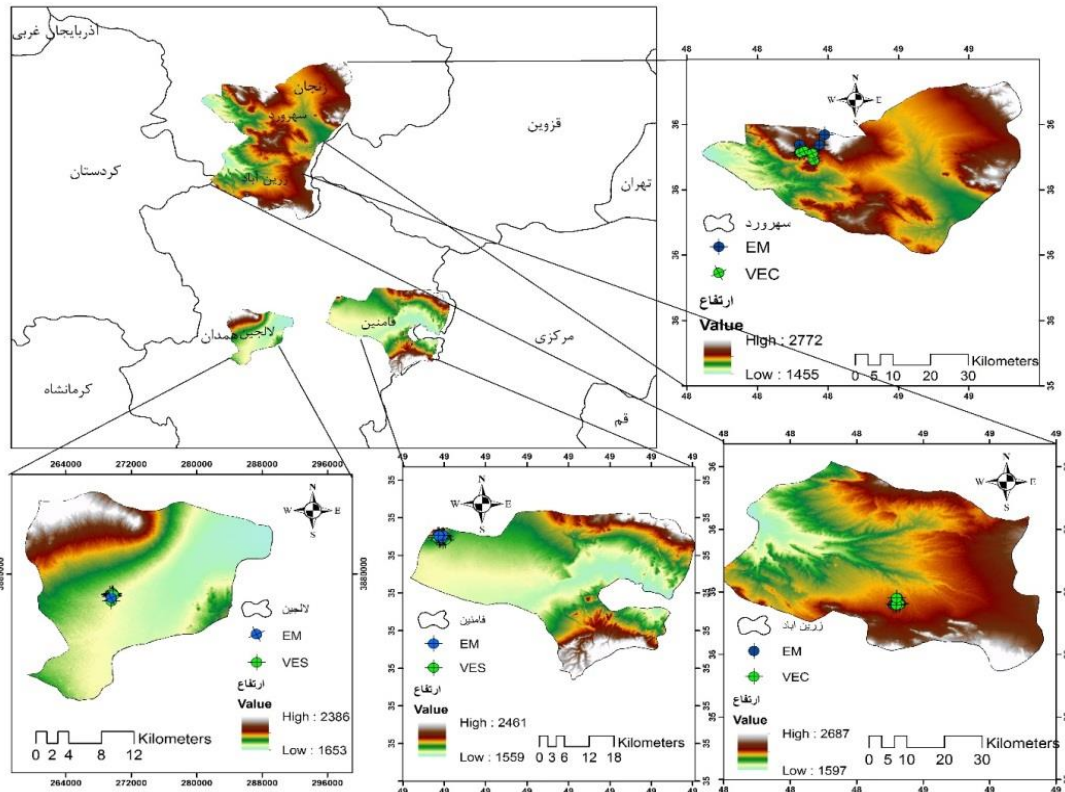
ردیف	محدوده مطالعاتی	روش به کار رفته	تعداد سونداژ ژئوالکتریک	نوع مصرف
۱	سهرورد (خدابنده-زنجان)	ژئوالکتریک	۴	شرب
۲	زرین رود (خدابنده-زنجان)	ژئوالکتریک	۱۰	کشاورزی
۳	لالجین (همدان)	ژئوالکتریک	۱۱	کشاورزی
۴	فامنین (همدان)	ژئوالکتریک	۱۲	صنعتی

جدول ۲. نتایج بررسی لوگ‌های حفاری برای دشت زرین آباد گل تپه

T (m <sup>2</sup> /day)	K (m/day)	محل
۱۴۰	۰/۰۲۲	محمد خلیج
۱۵۰	۰/۴	داش لق
۱۶۲	۰/۲۱	جاده کهلا ۱
۲۰۳	۰/۱	کهلا ۲
۱۴۶	۰/۱۵	کهلا به دیدار ۳
۱۲۰	۰/۲	قانتق لو
۱۶۲	۰/۰۴۱	قوشاقویی
۳۵۰	۰/۱۳	چپقلو
۳۰۵	۰/۰۲۱	آریا دره
۱۹۹	۰/۰۳۱	زرین آباد
۲۵۰	۰/۰۱	شهید آباد
۲۵۰	۰/۱۲	کهلا توزلو
۳۲۱	۰/۰۷	توزلو
۱۵۰	۰/۱	بالخلق
۵۵۲	۰/۱۴	توزلو یاستی کند
۳۰۵	۰/۰۴	قیاسکندی
۲۸۰	۰/۱۱	توزلو زرین آباد
۲۰۰	۰/۰۳	کهلا ۴

جدول ۳. تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در منطقه

نوع سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی (اهم - متر)
تشکیلات آهکی مارنی	۵۰ - ۱۰۰
تشکیلات آهک	۱۰۰ - ۳۰۰
مارن	۱۰
آبرفت‌های جدید	۲۰ - ۵۰
کنگومرا	۲۰ - ۹۰



شکل ۳. محدوده‌های انتخابی برای داده‌برداری ژئوالکتریک

مورد مطالعه و تعبیر و تفسیرهای انجام شده نشان می‌دهند که گستره شمال غربی از واریزهای دانه‌ریز (رسی) با مقاومت الکتریکی کم‌تر از ۲۰ اهم‌متر تشکیل یافته است. میزان مقاومت الکتریکی در قسمت مرکزی کاسته می‌شود که مبین وجود میوپلیوسین در اعماق است جدول ۴ گزارش مطالعات ژئوالکتریک گل تپه - زرین‌آباد می‌باشد.

با استفاده از تعیین مقادیر ویژه ظاهری فوق می‌توان نوع مواد لایه‌های تحت‌الارضی را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. با بهره‌گیری از مجموع سونداژهای انجام شده در نقاط مختلف و آنالیز داده‌های ژئوالکتریک به دست آمده عمق، ضخامت لایه‌ها و مقاومت ظاهری آن‌ها و محدوده گمانه‌های پیشنه‌ادی از نظر پتانسیل آب زیرزمینی تعیین می‌گردد. از مجموع سونداژهای برداشت شده در دشت

جدول ۴. گستره مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها در محل گل تپه - زرین‌آباد

مقاومت ویژه الکتریکی غالب (اهم - متر)	لایه
۱۰۰ >	آبرفت‌های دانه درشت و خشک و تراورتن (Q)
۸۰ - ۳۰	آبرفت‌های احتمالاً آبدار (Q)
۳۰ - ۱۰	آبرفت‌های دانه ریز (Q)
۱۰ <	سنگ کف هادی پلیوسن یا میوسن (PL)
۳۰ - ۷۰	سنگ‌های نیمه مقاوم دوران سوم (آهک‌های مارنی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ) $M_1$ و $M_2$
۵۰ - ۱۰۰	سنگ‌های مقاوم (آهک) (OMq1)
۷۰ - ۲۰	سنگ‌های کف از نوع ماسه‌سنگ و مارن و کنگلومرا (O)
۱۰۰ - ۳۰ >	شیل دوران سوم (KLS)
۲۰۰ - ۷۰۰	آهک اوربیتی (KLL)
۳۰ - ۱۰۰	شیست آهک متبلور (JM)
۱۰۰ - ۳۰۰	آهک‌های کریستالی و شیستی (J)

شده مقاومت حقیقی تفسیر شده، عمق از سطح زمین برای هر نقطه و نوع تشکیلات در جدول ۵ داده شده است.

شرح مهم‌ترین سونداژهای ژئوالکتریک برداشت شده در دشت زرین آباد گل تپه از بین ۳۸ سونداژ الکتریکی برداشت شده در منطقه، برای چند مورد از مهم‌ترین سونداژهای ژئوالکتریک برداشت

جدول ۵. تفسیر برخی از سونداژهای منطقه مطالعاتی

محل	سونداژ	لایه	عمق (متر)	مقاومت الکتریکی (اهم - متر)	تشکیلات
محمد خلیج	سونداژ ۱	اول	۱۱	۳۰	آبرفت و مخلوطی از رسوبات دانه متوسط تا درشت
	دوم	۲۰	۵ - ۶۰	دانه‌های بسیار درشت	
		۳۰	۶۰ - ۸۰	لایه سخت	
	سونداژ ۲	اول	۱۵	۳۰	آبرفت و مخلوطی از رسوبات دانه متوسط تا درشت
	دوم	۳۰	۵۰ - ۶۰	دانه‌های بسیار درشت	
		۴۰	۶۰ - ۸۰	لایه سخت	
سونداژ ۳	اول	۳۰	۳۰	آبرفت و مخلوطی از رسوبات دانه متوسط تا درشت	
	دوم	۴۰	۵۰ - ۶۰	دانه‌های بسیار درشت	
		سوم	۴۵	۶۰ - ۸۰	لایه سخت
داش لق	سونداژ ۱	اول	۹۰	۸ - ۱۰	رس فراوان
	دوم	<۹۰	۱۲	رس	
		اول	۶۰	۱۸	دانه‌های بسیار ریز و رس
	سونداژ ۲	دوم	۹۰	۱۰	رس فراوان
سوم	سوم	<۹۰	۱۲	رس	
		اول	۲۰	۲۷	دانه‌های ریز و رس
	دوم	۲۵	۳۶	دانه‌های متوسط	
		سوم	<۲۵	۶۰ - ۱۴۰	لایه سخت
جاده کهلا ۱	سونداژ ۳	اول	۱۴	۲۵ - ۳۰	دانه‌های متوسط و درشت همراه با رس زیاد
	دوم	۷۵	۵۷	رسوبات تراکم یافته	
		سوم	<۷۵	۱۵۰	لایه سخت
کهلا ۲	سونداژ ۱	اول	۳۴	۲۰ - ۲۸	دانه بندی متوسط
	دوم	۵۰	۳۲	دانه‌های درشت	
		سوم	۷۴	۴۴	تراکم یافته با دانه‌های درشت
	چهارم	<۷۴	۶۶	سنگ کف	
کهلا به دیدار ۳	سونداژ ۱	اول	۲۹	۲۰ - ۲۹	دانه بندی متوسط
	دوم	۶۲	۱۴ - ۱۶	رس بسیار زیاد	
		سوم	۹۱	۲۳	با دانه بندی متوسط
	چهارم	<۹۱	۷۲	سنگ کف	
قانع لو	سونداژ ۱	اول	۷	۱۵ - ۱۶	از رس و مخلوطی از ماسه ریز و رس
	دوم	۳۴	۲۴	مخلوطی از شن و ماسه	
		سوم	۷۳	۱۸ - ۱۹	دانه بندی بسیار ریز همراه با رس بسیار زیاد
	چهارم	<۷۳	۳۶	دانه‌های درشت	
قوشا قویی	سونداژ ۱	اول	۵۰	۴۴ - ۶۶	دانه بندی تراکم یافته
	دوم	۷۵	۲۱	مخلوطی از دانه‌های متوسط	
		سوم	۱۱۰	۱۸	رس بسیار زیاد
	چهارم	<۱۱۰	۱۴۰	سنگ کف	



پراکندگی‌شان در سطح دشت، تقسیم‌بندی شده و در نتیجه کل مقادیر  $k_6$  به پنج دسته تقسیم شده و لذا دشت نیز به سه ناحیه با  $k_6$  ثابت تقسیم گردید. بدین معنا که مقادیر  $k_6$  در هر کدام از این نواحی تقریباً حول و حوش یک مقدار ثابت تغییر می‌کند.

دسته‌بندی مقادیر  $k_6$  مطابق پیشنهادی است که سینگال و کلی در مطالعات خود بیان کرده‌اند. آن‌ها انتظار داشتند که مقادیر  $k_6$  می‌بایست به یک مقدار ثابت میل کند و در محاسباتی که خود در مطالعاتشان انجام داده‌اند این پارامتر را ثابت در نظر گرفته‌اند. آ.س. اکوو نیز مطابق با مطالعات سینگال در دشت مورد مطالعه خود به تعیین پارامتر  $k_6$  پرداخت و با بررسی تغییرات این پارامتر نتیجه گرفت که در منطقه مورد مطالعه خود می‌تواند چند ناحیه با مقادیر  $k_6$  ثابت به دست آورد. آنچه که نویسنده نیز در این تحقیق ارائه داده است مطابق با همین روش است که نشان داد ناحیه‌بندی منطقه بر اساس مقادیر  $k_6$  مصدق مطالعات پیشین سینگال و کلی و همچنین منطبق بر کاری است که آ.س. اکوو انجام دادند.

## استفاده از داده‌های ژئوالکتریک برای تعیین ضریب قابلیت انتقال

همانطور که اشاره شد برای تعیین ضریب قابلیت انتقال به روش ژئوالکتریک، از روشی استفاده شد که داده‌های مقاومت از طریق نرمالیزه شدن تصحیح می‌گردید. نرمالیز کردن این داده‌ها با استفاده از  $\rho_{sp}$  که مقاومت الکتریکی آب در لایه آبدار می‌باشد انجام می‌پذیرد این پارامتر در حقیقت عکس هدایت الکتریکی (EC) می‌باشد و لذا لازم است تا هدایت الکتریکی (EC) در دشت تعیین شود. با بدست آوردن آزمایشات کیفی آب در منطقه، که نمونه‌ای از آن در دشت زرین‌آباد مورد بررسی قرار گرفته و از طریق آن نقشه خطوط هم هدایت الکتریکی (EC) برای دشت تعیین شد. با توجه به آنچه به دست آمد جدول ۶ محاسبات روش ژئوالکتریک را برای محاسبه ضریب قابلیت انتقال نشان می‌دهد.

با توجه به جدول محاسبات روش ژئوالکتریک برای محاسبه ضریب قابلیت انتقال صورت گرفت که در نتیجه مقادیر به دست آمده در ستون دوازدهم با توجه به مقدار و

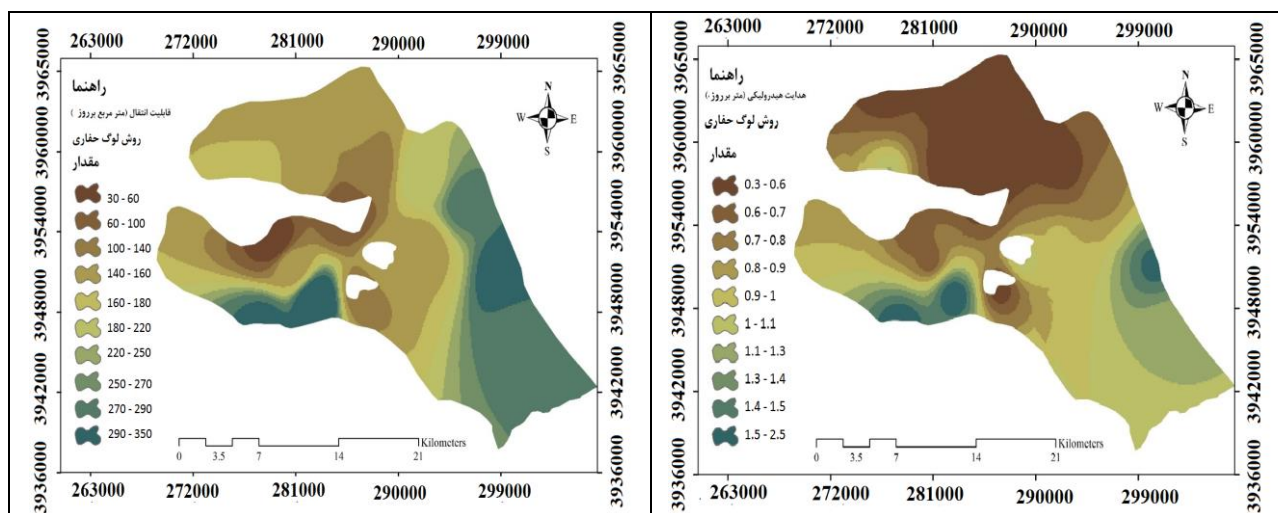
جدول ۶. محاسبات روش ژئوالکتریک

شماره سونداژ	پروفیل	EC	مقاومت آب زیرزمینی	مقاومت لایه آبدار	ضخامت واقعی	ضخامت الکتریکی	قابلیت انتقال	$\sigma$	$\sigma$	K	$K\sigma$	R	$R'$	(K $\sigma$ )	T=(K $\sigma$ )R
۱	AA	۱۰۱۴	۷/۳۴	۱۱/۷۶	۴۵	۶۵	۱۴۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۱/۱۲	۰/۱۸	۷۶۵	۷۶۷/۴	۰/۴۶	۳۱۲/۱۳
۲	BB	۱۰۰۵	۹/۵۲	۴۰	۷۰	۶۰	۱۵۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۳	۰/۰۸	۲۴۰۰	۱۸۵۵/۷۶	۰/۰۵	۷۵۴/۳۶
۳	CC	۱۱۰۱	۱۲/۵	۲۰	۷۵	۶۲	۱۶۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۳	۰/۲۲	۱۲۴۰	۷۳۰/۵۲	۰/۱۵	۲۹۶/۹۵
۴	DD	۸۹۱	۱۰/۴۱	۶/۰۸	۳۳	۴۱	۲۰۳	۰/۱۶	۰/۲۳	۶/۱۵	۱/۱۵	۲۴۹/۴	۱۷۶/۴۹	۰/۵۹	۷۱/۷۴
۵	EE	۸۹۶	۵/۴۹	۳	۲۵	۱۲۰	۱۴۶	۰/۳۳	۰/۲۴	۵/۸۴	۰/۳۰	۳۶۰	۴۸۲/۴۹	۰/۴۶	۱۹۶/۱۳
۶	FF	۹۵۴	۶/۳۶	۱۴/۹۲	۴۰	۵۲	۱۲۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۱/۴	۰/۱۳	۷۷۶	۸۹۸/۹۰	۰/۴۶	۳۶۵/۴۰
۷	JJ	۹۶۱	۷/۶۲	۴/۶۹	۳۴	۴۰	۱۶۲	۰/۲۱	۰/۲۲	۱/۱	۰/۸۹	۱۸۷/۶۸	۱۸۱/۳۳	۰/۵۹	۷۳/۷۱
۸	HH	۷۸۱	۱۲/۳۲	۹/۶۳	۸۰	۷۱	۳۵۰	۰/۱۰	۰/۰۴	۳/۳۵	۰/۲۳	۶۸۴	۱۵۱۱/۱۲	۰/۵۹	۶۱۴/۲۶
۹	II	۶۱۱	۱۳/۴۶	۵/۵۳	۴۵	۶۰	۳۰۵	۰/۱۸	۰/۰۹	۵/۵	۰/۴۶	۳۳۱/۸	۶۵۹/۷۲	۰/۷۶	۲۶۸/۱۷
۱۰	GG	۸۶۳	۱۲/۰۲	۹/۰۵	۲۴	۳۵	۱۹۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۴	۰/۸۶	۳۱۶/۸	۳۳۱/۱۶	۰/۷۶	۵۲/۷۹
۱۱	KK	۹۱۱	۱۴/۷۱	۴۵/۱۵	۱۰۵	۱۴۴	۲۵۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۱/۵	۰/۰۶	۶۵۰/۱۸۸	۲۸۷۷/۵۶	۰/۰۵	۸۸۵/۵۲
۱۲	LL	۱۱۱۳	۱۳/۷۹	۲۴/۰۷	۶۰	۱۱۴	۲۵۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۲	۰/۱۴	۲۷۴۲/۹۸	۱۷۴۴/۷۴	۰/۰۴	۳۹۸/۴۴
۱۳	MM	۷۴۵	۱۱/۸۵	۷/۰۷	۲۶	۵۰	۳۲۱	۰/۱۴	۰/۰۵	۴/۴	۰/۳۴	۵۳۵/۶	۹۳۰/۳۴	۰/۷۶	۲۱۲/۴۶
۱۴	NN	۹۹۴	۱۱/۱۱	۲۳	۶۰	۹۱	۱۵۰	۰/۰۴	۰/۰۵	۱/۴	۰/۰۹	۲۰۹۳	۱۶۵۲/۰۵	۰/۴	۳۷۷/۲۸
۱۵	OO	۷۸۴	۱۵/۱۵	۲۵	۹۲/۵	۶۰	۵۵۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۳	۰/۱۷	۱۵۰۰	۳۱۵۷/۲۸	۰/۴	۷۲۱/۰۳
۱۶	VV	۶۷۲	۵/۵۲	۷/۹۶	۴۹	۶۰	۳۰۵	۰/۱۲	۰/۰۴	۶/۲	۰/۲۱	۴۷۸	۱۴۲۵/۳۴	۰/۴۶	۳۲۵/۵۰
۱۷	WW	۸۳۱	۱۵/۳۸	۴۰/۰۲	۴۰	۳۶	۲۸۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۲/۶	۰/۰۸	۱۴۴۱	۳۴۱۲/۳۳	۰/۲۷	۷۷۹/۳۵
۱۸	XX	۱۱۱۴	۱۳/۱۶	۲۵	۶۵	۶۵	۲۰۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۲	۰/۰۸	۲۷۵۰	۲۴۹۹/۵۲	۰/۴	۵۷۰/۸۱

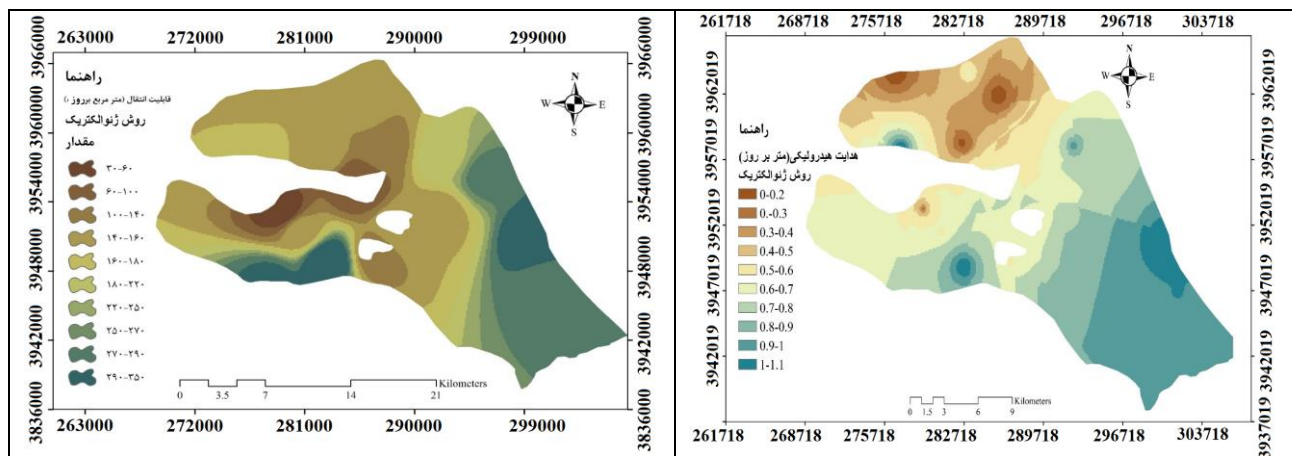
مترمربع بر روز) و تراکم خطوط تراز در محدوده غرب می‌باشد. تغییرات مقدار هدایت هیدرولیکی در منطقه مشابه قابلیت انتقال منطقه می‌باشد و مقدار آن در نواحی شمالی در بازه  $0/3$  تا  $0/7$  متر بر روز دارای کمترین مقدار می‌باشد. با توجه به این که مقدار قابلیت در ضخامت آبخوان ضرب می‌شود مقدار قابلیت بیشتر از هدایت هیدرولیکی منطقه می‌باشد.

با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نقشه پهنه‌بندی هم ضریب قابلیت انتقال و هم هدایت هیدرولیکی به دو روش بررسی لوگ‌های حفاری و روش ژئوالکتریک رسم گردید (شکل‌های ۴ و ۵).

با توجه به خطوط هم‌تراز رسم شده مقدرا قابلیت انتقال آبخوان در محدوده جنوب شرقی و بخش‌هایی از جنوب و جنوب غرب دارای بیشترین مقدار می‌باشد ( $270$  تا  $350$



شکل ۴. نقشه هم ضریب قابلیت انتقال و هم هدایت هیدرولیکی برای دشت مورد مطالعه به روش بررسی لوگ‌های حفاری



شکل ۵. نقشه ضریب هم قابلیت انتقال و هم هدایت هیدرولیکی برای دشت مورد مطالعه به روش ژئوالکتریک

انجام شده، همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار هدایت هیدرولیکی آبخوان در شرق و جنوب شرقی بیشتر است. همان‌طور که مشاهده گردید از دو روش برای تعیین این ضرایب استفاده شد که عبارت بودند از: بررسی لوگ‌های حفاری، و روش ژئوالکتریک. آزمایش پمپاژ روشی اگرچه وقت‌گیر و پرهزینه نسبت به سایر روش‌هاست اما دقت ضرایب به‌دست آمده از این روش بسیار بیشتر از روش‌های

در بررسی به روش ژئوالکتریک مقدار ضریب قابلیت انتقال بین  $83-880$  متر مربع بر روز متغیر می‌باشد و در نواحی شرقی مقادیر کم‌تر و در نواحی شمال غربی و غرب حداکثر مقدار را داراست. در مقابل مقدار هدایت هیدرولیکی در نواحی شرق و جنوب شرق بیش‌ترین مقدار و نواحی شمال و شمال شرق دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد. با توجه به خطوط هم‌تراز و نقشه‌های هدایت هیدرولیکی با دو روش

وجود دارد. این تفاوت در بین گروه‌هاست و نه در داخل هر کدام از گروه‌ها. چنانچه از جدول همبستگی تست پیرسون برمی‌آید، در سطح احتمال ۰.۹۵٪ تفاوت معنی‌داری بین روش بررسی لوگ‌های حفاری با روش‌های ژئوالکترونیک وجود ندارد اما این آزمون بیان می‌کند.  $R^2$  همبستگی بین دو روش در سطح کاملاً قابل قبولی قرار دارد. علاوه بر آنچه از تحلیل‌های آماری برای مقایسه روش‌های تعیین ضریب قابلیت انتقال به دست آمد، معیارهایی دیگری نیز وجود دارند که در انتخاب یک روش برای تعیین ضریب قابلیت انتقال می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

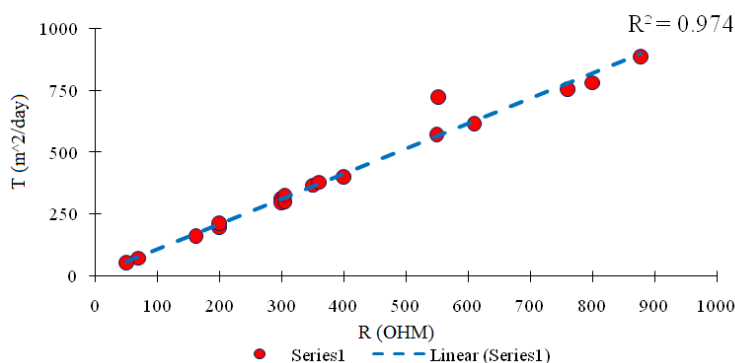
دیگر است و در مقام مقایسه به‌عنوان یک معیار برای سنجش دیگر روش‌ها بکار گرفته می‌شود از روش ژئوالکترونیک نیز برای تعیین ضریب قابلیت انتقال بهره گرفته که نتایج آن نیز در بخش پیش ارائه گردید. مقایسه آماری نتایج هر روش نشان می‌دهد همانطور که در جدول ۷ دیده می‌شود از تحلیل واریانس بین نتایج به‌دست آمده از روش‌های مختلف تعیین ضریب قابلیت انتقال نتایج زیر مشخص می‌گردد: بین دو روش تعیین ضریب قابلیت انتقال (روش بررسی لوگ‌های حفاری و روش ژئوالکترونیک) در سطح احتمال ۰.۹۵٪ تفاوت معنی‌دار

جدول ۷. ماتریس همبستگی پارمترهای هیدرولیکی به‌دست آمده در دو روش

Variables	EC	مقاومت آب زیرزمینی	مقاومت لایه آبدار	ضخامت واقعی	ضخامت الکتریکی	قابلیت انتقال پیمایز	$\sigma$	$\sigma'$	K	$K\sigma$	R	$R'$	$(K\sigma)$	$T=(K\sigma)R$
EC	۱	-۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۴۰	-۰/۵۹	-۰/۳۵	۰/۰۷	-۰/۵۶	-۰/۱۹	۰/۴۰	۰/۰۲	-۰/۵۰	۰/۰۵
مقاومت آب زیرزمینی	-۰/۰۲	۱	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۵۳	-۰/۵۴	-۰/۴۵	-۰/۲۰	-۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۶۰	-۰/۱۴	۰/۵۰
مقاومت لایه آبدار	۰/۳۴	۰/۵۳	۱	۰/۶۴	0.33	۰/۰۶	-۰/۷۷	-۰/۶۳	-۰/۳۹	-۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۸۵	-۰/۸۲	۰/۸۶
ضخامت واقعی	۰/۱۷	۰/۴۹	۰/۶۴	۱	0.45	۰/۳۸	-۰/۶۲	-۰/۵۸	-۰/۲۱	-۰/۵۴	۰/۷۱	۰/۷۰	-۰/۶۵	۰/۷۷
ضخامت الکتریکی	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۴۵	۱	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۱۰	-۰/۰۸	-۰/۴۸	۰/۷۴	۰/۴۳	-۰/۳۹	۰/۳۶
قابلیت انتقال پیمایز	-۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۰۶	۰/۳۸	-۰/۱۰	۱	-۰/۱۴	-۰/۴۱	۰/۲۶	-۰/۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۴۵	۰/۱۷	۰/۳۶
$\sigma$	-۰/۳۵	-۰/۵۴	-۰/۷۷	-۰/۶۲	-۰/۱۰	-۰/۱۴	۱	۰/۸۱	۰/۵۳	۰/۵۴	-۰/۵۸	-۰/۶۵	۰/۵۶	-۰/۶۶
$\sigma'$	۰/۰۷	-۰/۴۵	-۰/۶۳	-۰/۵۸	-۰/۱۰	-۰/۴۱	۰/۸۱	۱	۰/۲۳	۰/۷۷	-۰/۴۳	-۰/۷۰	۰/۳۹	-۰/۷۴
K	-۰/۵۶	-۰/۲۰	-۰/۳۹	-۰/۲۱	-۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۵۳	۰/۲۳	۱	۰/۱۸	-۰/۳۷	-۰/۲۱	۰/۲۱	-۰/۱۹
$K\sigma$	-۰/۱۹	-۰/۱۶	-۰/۶۰	-۰/۵۴	-۰/۴۸	-۰/۱۱	۰/۵۴	۰/۷۷	۰/۱۸	۱	-۰/۵۱	-۰/۶۵	۰/۵۹	-۰/۷۲
R	۰/۴۰	۰/۴۶	-۰/۸۰	۰/۷۱	۰/۷۴	-۰/۰۰۲	-۰/۵۸	-۰/۴۳	-۰/۳۷	-۰/۵۱	۱	۰/۷۵	-۰/۶۸	۰/۶۹
$R'$	۰/۰۲	۰/۶۰	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۴۳	۰/۴۵	-۰/۶۵	-۰/۷۰	-۰/۲۱	-۰/۶۵	۰/۷۵	۱	-۰/۶۱	۰/۹۲
$(K\sigma)$	-۰/۵۰	-۰/۱۴	-۰/۸۲	-۰/۶۵	-۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۲۱	۰/۵۹	-۰/۶۸	-۰/۶۱	۱	-۰/۷۰
$T=(K\sigma)R$	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۳۶	۰/۳۶	-۰/۶۶	-۰/۷۴	-۰/۱۹	-۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۹۲	-۰/۷۰	۱

Value in bold are different from 0 with a significance leve alpha=0.05

همبستگی بین قابلیت انتقال در دو روش



شکل ۶. رابطه بین قابلیت انتقال در روش ژئوالکترونیک با روش بررسی لوگ‌های حفاری

جعفری، ع.، مهدوی، ر.، ملکیان، آ.، غلامی، ح.، حبیب زاده، ا. (۱۳۹۷) بررسی خصوصیات هیدروژئومورفولوژیکی نهشته‌های کواترنر آبخوان دشت جم. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۳)، ص ۴۴۶ - ۴۶۳.

رحیمی، د.، زرین‌مو، ح.، حسنقلی‌نژاد دزفولیان، ح (۱۳۹۰) پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش همپوشانی شاخص وزنی (مطالعه موردی دشت ارسنجان). تحقیقات جغرافیایی، ۲۶(۴)، ص ۲۰۹-۲۲۵.

ذبیحی، م.، پورقاسمی، ح. ر.، بهزادفر، م (۱۳۹۴) تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های انتروپی شانون و جنگل تصادفی در دشت بجنورد. اکوهیدرولوژی، ۲(۲)، ص ۲۲۱-۲۳۲.

قلمکاری، س.، اسدی، ع. م.، و پورکرمانی، م (۱۳۹۵) بکارگیری روش ژئوالکترونیک در شناسایی گسله‌های پنهان دشت رونیز. دومین همایش ملی مهندسی نفت ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه. ص ۱ - ۷.

کاظمی، ر.، شادفر، ص.، بیات، ر (۱۳۹۴) بررسی عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب سازندهای سخت، مطالعه موردی: منطقه کارستی لار. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۴): ص ۳۸۹-۴۰۱.

Bouwer, H (1978) Groundwater Hydrology. McGraw-Hill Company Publication.

Ekwe, A. C., Onu, N. N., Onuoha, K. M (2006) Estimation of aquifer hydraulic characteristics from electrical sounding data: the case of middle Imo River basin aquifers, south-eastern Nigeria. Journal of spatial hydrology, 6(2).

Ebong, E. D., Akpan, A. E., Onwuegbuche, A. A., (2014) Estimation of geo-hydraulic parameters from fractured shales and sandstone aquifers of Abi (Nigeria) using electrical resistivity and hydro-geologic measurements. Journal of African Earth Sciences, 96: 99-109.

Kelly, W. E (1977) Geoelectric Sounding for Estimation. Aquifer Hydraulic Conductivity. Ground water, 15 (6): 420-425.

Niwas, S., Celic, M (2012) Equation estimation of porosity and hydraulic conductivity of Ruhratal aquifer in Germany using near surface geophysics. Journal of Applied Geophysics, 84: 77-85.

Niwas Sri, Singhal, D. C (1981) Estimation of Aquifer Transmissivity from Dar- Zarrouk Parameter in porous Media. Journal of Hydrology, 50: 393-39.

Okiongbo, K. S., Mebine, P (2014) Estimation of aquifer hydraulic parameters from geoelectrical method-a case study of Yenagoa and environs, Southern Nigeria. Arabian Journal of Geosciences, 8(8): 1-9.

با توجه به شکل ۶ ضریب همبستگی بین دو روش ژئوالکترونیک با روش بررسی لوگ حفاری برابر با ۰/۹۷ می‌باشد. با مقایسه نتایج روش ژئوالکترونیک و نتایج حاصل از بررسی لوگ حفاری، معلوم شد، روش ژئوالکترونیک قادر به برآورد قابل قبولی از پارامترهای هیدرولیکی آبخوان می‌باشد. بنابراین با تلفیق داده‌های بدست آمده از روش ژئوالکترونیک با داده‌های حاصل از آزمون‌های متداول دیگر، می‌توان هزینه‌ها را پایین آورده و نتایج مطلوبی به دست آورد.

### نتیجه‌گیری

از روش‌های ژئوالکترونیک به دلیل سادگی و آن‌ها در تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی استفاده می‌شود، دشت زرین‌آباد گل‌تپه به‌منظور تعیین ضرایب هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت همانگونه که مشاهده شد برای تعیین این ضرایب از روش ژئوالکترونیک استفاده شد و نتایج به دست آمده با روش لوگ حفاری مقایسه گردید آزمایش لوگ حفاری اگر چه روشی پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد ولی می‌تواند در مقام مقایسه به‌عنوان یک روش برای سنجش دیگر روش‌ها به‌کار گرفته شود. در این پروژه از روش ژئوالکترونیک برای تعیین ضریب قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی بهره گرفته شد که نتایج آن نیز در بخش پیش ارائه گردید، در محدوده‌های موردی با استفاده از روش ژئوالکترونیک در محدوده زرین‌آباد سونداژ بردای انجام شد که در آن نقطه داده‌برداری صورت پذیرفت. بین دو روش تعیین ضریب قابلیت انتقال (روش بررسی لوگ‌های حفاری و روش ژئوالکترونیک) در سطح احتمال ۹۵٪ تعیین گردید چنانچه از جدول همبستگی تست پیرسون برمی‌آید، در سطح احتمال ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری بین روش بررسی لوگ‌های حفاری با روش‌های ژئوالکترونیک وجود ندارد. همبستگی بین دو روش در سطح کاملاً قابل قبولی قرار دارد.

### منابع

آریامنش، م.، احمدی، س (۱۳۹۱) ژئوالکترونیک. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (تهران). ۴۸۹ ص.  
خلیلی نفت چالی، آ.، خاشعی سیوکی، ع (۱۳۹۵) آشنایی با روش‌های آب‌یابی. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ص ۱ - ۱۰.

- Sattar, G. S., Keramat, M., & Shahid, S (2014) Deciphering transmissivity and hydraulic conductivity of the aquifer by vertical electrical sounding (VES) experiments in Northwest Bangladesh. *Applied Water Science*, 1-11.
- Singhal, D. C., Sri Niwas (1985) Aquifer transmissivity of Porous Media from Resistivity Data. *Jouranal of Hydrology*, 82: 143-153.
- Tizro Taheri, A., Voudoris, K., Salehzade, M., Mashayekhi, H (2010) Hydrogeological framework and estimation of aquifer hydraulic parameters using geoelectrical data: a case study from West Iran. *Hydrogeol*, 18 (4): 917-929.
- Utom, A. U., Odoh, B. I., Okoro, A. U (2012) Estimation of aquifer transmissivity using Dar Zarrouk parameters derived from surface resistivity measurements: a case history from parts of Enugu Town (Nigeria). *Journal of Water Resource and Protection*, 4(12): 993.

## Application of geo-electric method in the study of hydraulic parameters of ground water

A. Taheri Tizro<sup>1\*</sup>, A. R. Abdollahi<sup>2</sup> and R. Fasihi<sup>3</sup>

1- Assoc. Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- M. Sc., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Ph. D. student of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\* ttizro@basu.ac.ir

Received: 2021/5/25 Accepted: 2021/7/17

### Abstract

Geo-electrical method can be regarded as one of the newest methods that can play an important role in determining hydraulic parameters of the aquifer layers with cost prohibitive and acceptable accuracy. In this study, attempt has been made to use the geo-electrical method in areas where the bedrock remains at upper level and aquifer is porous. Accordingly, a study area for estimating hydraulic parameters Zarrinabad Gol Tappeh plain located in Zanjan province, one of the northwestern provinces of Iran, was selected. The determination of hydraulic coefficients by the geo-electric method is based on the calculations presented by Singal and Nivas, calculations that use the modified transverse resistance. 38 soundings were obtained in Zarrinabad Gol Tappeh plain by several field visits and therefore 18 electrical soundings were selected to determine the hydraulic parameters. The interpretation of soundings data was performed using IPI2win software. Evaluations on data shows that the constant values ( $k_b$ ) are composed of three independent classes in Zarrinabad plain. Pointed out, the hydraulic coefficients can be determined according Singal and Nivas earlier classifications. The calculated results showed that the obtained hydraulic coefficients, has no significant difference between the drilling logs and the result of geo-electric method. The correlation between the transmissivity  $t$  and the modified transverse resistance (with a correlation coefficient of 0.97) indicates the accuracy of experiments in this plain and also confirms previous studies of Singal and Niwas.

**Keywords:** Hydraulic coefficients, Zarrinabad, Geo-electric, Singal and Niwas