



## مطالعه آبهای زیر زمینی منطقه کلوانق (هریس - آذربایجان شرقی) به روش ژئوفیزیک

باقر زحمتی<sup>۱</sup>، سینا فرد مرادی نیا<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۲\*</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (Fardmoradina@iaut.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۵/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۲۵)

### چکیده

انسان برای ادامه حیات به آب شرب سالم، پایدار و مطمئن در جهان امروز و بخصوص مناطقی همچون کشور نیمه خشکی چون ایران دارد. یکی از مهمترین منابع آبی که دارای چنین ویژگی هایی است منابع آب های زیرزمینی است. در طول دهه های گذشته اکثر آبخوان های موجود در سازندهای نرم در کشور استفاده شده است، این موضوع باعث شده اکتشاف آب در سازندهای سخت بیشتر مدنظر قرار گیرد. در این پژوهش نقش عوامل ساختاری در توسعه منابع آب محدوده اطراف شهر کلوانق مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. این شهر در جنوب شهرستان هریس قرار گرفته که در شمال رودخانه آجی چای قرار داشته و عمده مسیل های آن از سرشاخه های بخش میانی رودخانه آجی چای می باشد که منشأ آن ارتفاعات کوه های قره داغ است. بررسی های صحرایی و جستجو در عکس های هوایی و ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی کمک کرده است تا بخشهایی از محدوده مطالعاتی را که فعالیتهای تکتونیک فعال مرتبط با گسلهای فعال که پتانسیل آب زیرزمینی می توانند داشته باشند شناسایی گردد. در ادامه از روشهای ژئوفیزیکی کمک گرفته شده است و با تهیه مقاطع ژئوالکتریک و برشهای شبه مقطع وجود و گستره تحت الارضی آبخوانها در محدوده مورد مطالعه مشخص گردیده است. این مطالعات مشخص نموده که در بخشهای شرق و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه مقاومتها عمدتاً کم و در حد ۱۰ تا ۱۵ اهم متر می رسد که در ارتباط با سازندهای قرمز، و سنگهای رس و مارن ناتراوا است. بررسی نتایج کاوشهای ژئوفیزیکی نشان داده است که محدوده مطالعاتی در بخشهای شمالی از سازندهای سخت ناتراوا یا بسیار کم تراوا تشکیل شده است و اغلب گسلهایی که در منطقه وجود دارد نیز زونهای گسلی ناتراوا و یا بسیار کم تراوایی دارند. با بررسی و مقایسه نتایج حاصله مشخص گردید که مناطق با پتانسیلهای بالا در بخشهای جنوبی منطقه وجود دارد. در نهایت در ارتباط با خصوصیات آبخوان اکتشاف شده موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک ۳۰ و ۲۶ جهت حفرچاه بترتیب و بر حسب الویت پیشنهاد شده است. ضخامت زیاد آبخوان اکتشاف شده بخصوص در محل سونداژ ۳۰ و خصوصیات آن این نوید را میدهد که چاه حفر شده آبدهی خوب و دائمی داشته باشد.

### کلمات کلیدی

سونداژهای ژئوالکتریک، منطقه کلوانق هریس، سازندهای سخت، مدل ژئوالکتریک VES، نقشه RT.



# Study of Groundwater in the Kelvanaq Region (Heris-East Azerbaijan) by Geophysical Method

Bagher Zahmati<sup>1</sup>, Sina Fard Moradinia<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. (Fardmoradinia@iaut.ac.ir)

(Date of received: 27/07/2018, Date of accepted: 14/02/2019)

## ABSTRACT

Necessity of the human to the safe and permanent water sources is one of the important problems today, especially in Iran that is a buried region. One of the permanent water sources is groundwater. In the last decades, soft rock aquifers of country mainly are used; therefore, this causes to exploration the groundwater in the hard rocks. Tectonics and faults one of the important factors to crush the rocks and formations and make and develop the faulted aquifers. Therefore in this study the role of the structures is researched in development of the water sources in Kelvanaq city area. This city is in the South of Heris city that located in the North of the Ajichai River and its main subdivisions are middle part sources of this river that itself sourced from Ghare-Dagh Mountains. In this study, first field studies, geological maps and search in remote sensing and photo maps help to select area have active tectonics in relation by active faults. Study the hydrologic specifications of the basin, in connection by high potential regions of groundwater are guided. After, geophysical methods helps exploration, and geoelectrical sections and pseudo-sections are shown the fault related aquifers and their developments. Research and compare the resistivity maps and sections in this study, shown the extent of aquifers and shown that in the eastern and north-eastern part of the study area, resistivity are mainly very low and are in 10-15  $\Omega$ m range, that are in relation by impermeable clay and marl stones of Red-Formation. Geophysical exploration results have shown that the northern part of the study area mainly formed by impermeable or low-permeable hard rocks, and faults of the study area mainly are impermeable or low-permeable fault zones. But study and compare the results have shown that high potential regions are in the southern parts of the region. Finally in relation by the explored aquifers, location of the number 26 and 30 geoelectric wells, respectively proposed for drilling. Large thickness of the explored faulted aquifer and its specifications, promising good  $Q$  for the proposed wells.

## Keywords

Geoelectric sounding, Heris- Kolvanag area, Hard formations, VES geoelectric Model, RT map.



## ۱- مقدمه

در طول چند دهه گذشته استفاده از اکثر آبخوان‌های موجود در سازندهای نرم در کشور موجب شده در بیشتر نقاط ایران این آبخوان‌ها کفاف نیازهای شهری و روستایی را نداشته باشند و بالاچار اکتشاف آب در سازندهای سخت بیشتر مورد توجه قرار گیرد. همچنین در مناطقی همچون آذربایجان که از نظر زمین شناسی دارای پوشش‌های رسوبی و دشتهای دارای آبخوان‌های مناسب و ضخیم اندکی بوده و بیشتر سازندهای سخت غالب است اهمیت اکتشاف آبخوان در سازندهای سخت بیشتر نمود می‌یابد. همچنین شناسایی چنین آبخوان‌هایی نه تنها از دید رفع نیازهای حال حاضر، بلکه با دید شناسایی ذخایری برای آینده و رفع نیاز در زمان‌های تهدید نیز اهمیت بسیاری خواهد داشت. عوامل متعددی در تشکیل منابع آب در سازندهای سخت حائز اهمیت می‌باشند، از عوامل موثر در ایجاد و گسترش این منابع می‌توان به سنگ‌شناسی، توپوگرافی، میزان نزولات، سطوح ناپیوستگی، شیب‌ها و مناطق خردشده سنگ‌ها اشاره نمود. در اکثر مطالعاتی که در سطح ملی در مورد اکتشاف و بررسی تحلیلی منابع آبی صورت گرفته است، روش‌های متفاوتی به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اما مطالعه آبخوان‌های مرتبط با سازندهای سخت و پی‌جویی منابع آب در آنها نیاز به استفاده از روش‌های مختلف توام و در ترکیب با هم می‌باشد. در این بین روش‌های ژئوفیزیکی و استفاده از نشانه‌های سنجش از دور همراه با کاربرد روش‌های هیدرولوژیکی بسیار سودمند است. عوامل زمین‌شناختی اثرات قابل توجهی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دارند. از این رو مطالعات اکتشافی منابع آبی به خصوص در مناطقی که زمین‌شناسی منطقه بیشتر متأثر از عوامل زمین‌شناسی است، بایستی توام با بررسی‌های مذکور باشد. بررسی‌های آبخوان‌های گسلی و آبرفتی محتمل در تلفیق با داده‌های سنجش از دور و اطلاعات ژئوفیزیکی مهمترین نوآوری این تحقیق بوده، و داده‌های سطحی در تلفیق با داده‌های زیر سطحی به منظور شناسایی این موارد در عمق زمین یاریگر خواهد بود. چون گسل‌های فعال و پنهان نشانه‌های مورفولوژی در سطح زمین ایجاد می‌کنند که با بررسی‌های سنجش از دور قابل شناسایی هستند و نیز اغلب دارای پتانسیل تشکیل آبخوان‌های گسلی را دارند، توان ذخیره و تشکیل آبخوان‌های زیرزمینی در آنها مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه انجام شده توسط لاتمن و پاریزک (۱۹۶۴) به عنوان اولین تحقیق در اکتشاف آب زیرزمینی سازندهای سخت شناخته می‌شود؛ آنها شکستگی‌های خطی را با استفاده از عکس‌های هوایی در یک ناحیه کربناته در شرق آمریکا استخراج نمودند و نشان دادند که همبستگی خوبی بین آبدی‌چاه‌ها و فاصله از عوارض استخراج شده وجود دارد. در طی چهار دهه اخیر پس از مطالعه فوق‌الذکر، پروژه‌های زیادی نقشه‌برداری خطواره‌ها و شکستگی‌ها را به عنوان هسته عملیات اکتشافات آب زیرزمینی، به ویژه در محیط‌های زمین‌شناسی پیچیده به کار برده‌اند.

لارسون در سال ۱۹۸۴ ضمن مطالعه مفصل سازندهای سخت، مدل تکتونیکی ناحیه ای در جنوب منطقه اسکاندیناوی را تشریح کرده و آبدی‌بخش‌های مختلف این ناحیه را به انواع شکستگی‌های موجود در سنگ‌های سخت و ماهیت تشکیل آنها مربوط می‌داند. بر اساس نظر وی منابع آبی مرتبط با شکستگی‌های کششی دارای بیشترین مقدار آبدی می‌باشند. شکستگی‌های برشی و فشارشی به ترتیب دارای آبدی متوسط و حداقل آبدی در بین منابع آبی می‌باشند [۱]. احمد در سال ۱۹۹۶ با مطالعاتی که روی سازندهای سخت یکی از مناطق خشک و نیمه خشک مراکش انجام داده است. از خطواره‌ها به عنوان راهنمای اکتشاف آب زیرزمینی استفاده نمود و نتیجه گرفت تکتونیک روی توپوگرافی منطقه تاثیر زیادی داشته است و الگوی شکستگی نشان دهنده ی آن است که گسل‌ها مسیر عمده برای حرکات جانبی و عمودی آب زیرزمینی هستند [۲]. نارندراو همکاران در سال ۲۰۱۳ در مطالعات شناسایی مناطق دارای آب زیرزمینی در حوزه آبریز ناروا<sup>۱</sup> در هند با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابتدا در محیط نرم افزار Erdas Imagine تصحیحات مربوط به تصاویر سنجنده (Liss Iv 2005) را انجام داده و سپس برای تجزیه و تحلیل بیشتر، تصاویر را به

<sup>1</sup> Narava



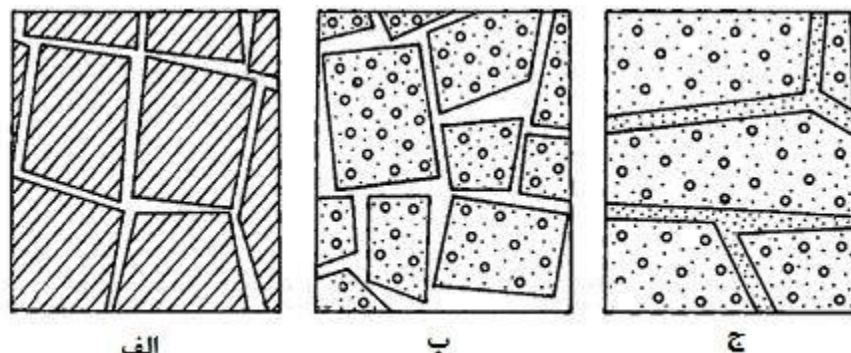
محیط نرم افزار ARC GIS انتقال داده اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا دارای تراکم خطواره بالا و تراکم زهکشی و شیب کم می باشد [۳]. فاتی آبدلا در سال ۲۰۱۲ در پتانسیل یابی آب زیرزمینی صحرای جنوب شرقی مصر پارامترهای شیب، شبکه آبراهه ها، خط وارگی ها، لیتولوژی و توپوگرافی را با استفاده GIS و سنجش از دور (RS) مورد بررسی قرار دادند و نقشه نهائی را ارائه دادند که مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی به ۴ گروه خیلی خوب، خوب، متوسط و کم تقسیم بندی شده بود [۴]. صابری و همکاران در سال ۱۳۹۰ مطالعات پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی تاقدیس کمستان را با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> بررسی کردند. لایه های موثر را زمین شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی ها، خاک شناسی، پوشش زمین، شیب و بارش در نظر گرفتند و با صحت سنجی مدل مذکور توسط نقشه موقعیت و دبی چشمه های منطقه نشان دادند که این روش از دقت بالائی برخوردار بوده و عمده منابع آب زیرزمینی با پتانسیل بالا در سازند آسماری و ایلام - سروک منطقه معرفی گردیده و همچنین آنها بیان کردند که شکستگی ها نقش عمده ای را در انتقال آب منطقه دارند [۵]. زمانی و همکاران در سال ۱۳۸۱ در بررسی با داده های سنجش از دور و بهره گیری از مطالعات نو- تکتونیک مناطق گسلی فعال را مشخص نموده و با بررسی های ژئوالکتریک در پهنه های گسلی فعال درون سازند سخت موفق به اکتشاف آبخوان های گسلی گردیده اند. در این ارتباط هر جا که تمرکز شکستگی در سازند سخت بیشتر بوده آب زیرزمینی پتانسیل بیشتری داشته است و جنس سنگ ها نیز نقش مهمی در این ارتباط داشته است [۶].

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تئوری جریان در سنگهای درز و شکاف دار

سازندهای سخت دارای درز و شکستگی از دو زون مختلف ماتریکس و شکستگی تشکیل شده اند. نفوذپذیری سازندهای سخت دارای منشأ ثانویه است. ماتریکس دارای هدایت هیدرولیکی بسیار پایین می باشد که از طریق درزه و شکستگی ها نفوذپذیر می شود. زون شکستگی دارای تخلخل کم ولی هدایت هیدرولیکی بالایی می باشد ولی بخش ماتریکس دارای شرایط برعکس یعنی تخلخل بالا و هدایت هیدرولیکی پایین می باشد. بسته به تخلخل و نفوذپذیری شکستگیها و بلوکهای ماتریکس، می توان سازندهای درز و شکافدار را در سه کلاس دسته بندی کرد (شکل ۱): الف- حالت فقط شکستگی را نشان می دهد که تخلخل و نفوذپذیری فقط از طریق شکستگی ها صورت می گیرد و ماتریکس نفوذناپذیر است، ب- تخلخل دوگانه که در کنترل جریان آب زیرزمینی هم شکستگی و هم ماتریکس نقش دارند ولی شکستگی نقش اصلی را ایفا می کند، ج- شرایط ناهمگن را نشان می دهد که شکستگی ها با رسوبات پر شده و نفوذپذیری به طور قابل توجهی کاهش یافته است [۷].

<sup>2</sup> AHP



شکل ۱: تصویر شماتیک تخلخل و نفوذپذیری شکستگیها و بلوکهای ماتریکس  
الف: محیط درز و شکاف دار ب: تخلخل دوگانه، ج: هتروژن [۷].

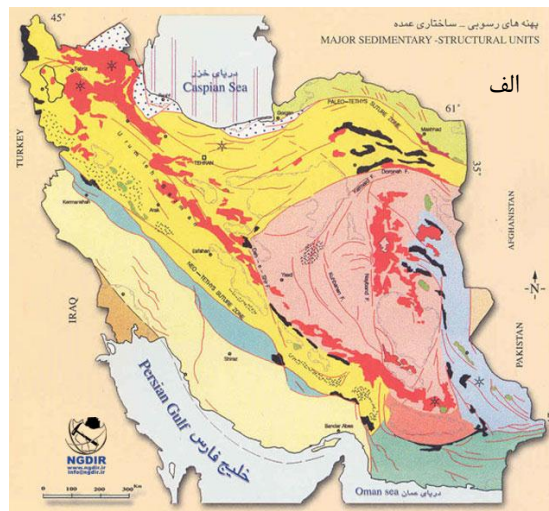
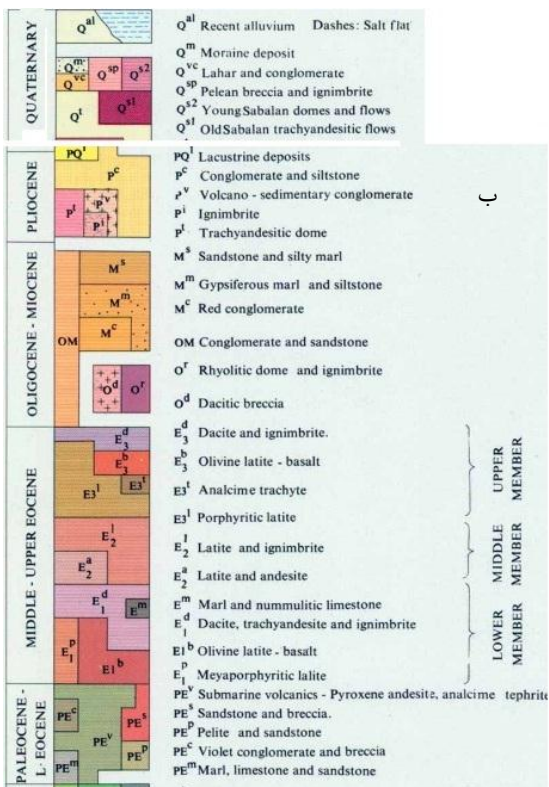
در سنگ‌های دارای شکستگی حرکت آب زیرزمینی عمدتاً در امتداد ناپیوستگی‌ها از جمله درزه‌ها، شکستگی‌ها و زونهای برشی صورت می‌گیرد. در سنگها به دلیل ساختار متفاوت آن با خاک مسئله هدایت هیدرولیکی در جریان آب متفاوت بوده و شرایط حاکم کاملاً متأثر از شرایط ناپیوستگی‌ها است به گونه‌ای که جهت و موقعیت ناپیوستگی‌ها، فاصله آنها از یکدیگر، میزان درز و شکاف، بازشدگی شکافها و شکل دیواره درزه از فاکتورهای مهم حاکم بر شرایط هیدرولیکی محسوب می‌گردند. از مهمترین عواملی که جریان آب زیرزمینی را در سنگ‌های شکسته کنترل می‌کند می‌توان به تخلخل اولیه و ثانویه، تماس بین شکستگی‌ها (ارتباط بین شکستگی‌ها و بازشدگی آنها)، مواد پرکننده داخل شکستگی‌ها، زبری و صافی درزه‌ها و سطح آنها اشاره کرد. تأثیر پارامتر زبری از طریق رابطه (۱) تعیین می‌گردد [۸]:

$$K = \frac{\rho_w g a^2}{12\mu[1 + C(X)^n]} \quad (1)$$

در این رابطه  $a$  بازشدگی شکستگی،  $X$  متغیرهایی که زبری ایجاد می‌کنند،  $C$  ثابت بزرگتر از  $n$ ،  $n$  توان بیشتر از  $1$ ،  $\mu$  ویسکوزیته و  $g$  نیروی جاذبه زمین می‌باشد. بنابراین هرچه زبری بیشتر باشد مقدار هدایت هیدرولیکی ( $K$ ) کمتر می‌شود. تنش‌های مؤثر از جمله تنش نرمال، تنش برشی و فشار سیال نیز از جمله فاکتورهای تأثیرگذار بر مقدار هدایت هیدرولیکی هستند. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با افزایش فشار، مقدار نفوذپذیری به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۹].

## ۲-۲- جایگاه منطقه مورد مطالعه

در نقشه زمین شناسی ایران و تقسیمات واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران ناحیه مطالعاتی بخشی از زون ایران مرکزی و بخش غربی البرز محسوب می‌شود (شکل ۲-الف و ب). از نظر چینه شناسی در محدوده مورد مطالعه بطور غالب واحدهای جوان دوران سوم زمین شناسی یعنی سنوزوئیک و کواترنری برونزد دارد. چینه‌های شاخص کواترنری و سنگهای رسوبی سازند قرمزوگاه توف همراه با رسوبات آبرفتی جوان، چینه‌های غالب محدوده مورد مطالعه هستند [۱۰].



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ایران، الف- تقسیمات واحدهای ساختاری-رسوبی ایران، ب- راهنمای نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه [۱۰].

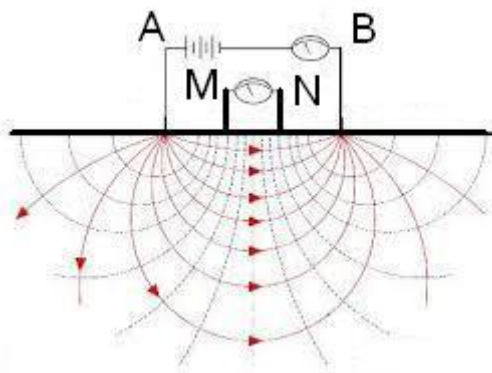
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- روش اندازه گیری

بررسی و مطالعه ویژگی های رسوبات آبرفتی و سفره های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از طریق کاربرد اکتشافات ژئوفیزیک (Geophysical Explorations) به روش ژئوالکتریک و با استفاده از آرایش چهار قطبی متقارن اشلومبرژه صورت گرفته است. در این روش با استفاده از الکترودهای فرستنده جریان (A,B) مقدار معینی جریان الکتریسیته از منبع تولید انرژی به داخل زمین تزریق می شود (شکل ۳)، آنگاه اختلاف پتانسیل ایجاد شده از طریق الکترودهای گیرنده (M,N) که به دستگاه پتانسیومتر وصل است برای مطالعه عمق های مختلف اندازه گیری می شود. در این مطالعات، زمین مانند یک الکترولیت عمل نموده و مقاومت ویژه الکتریکی "Specific Electrical Resistulty" مربوط به آن که مقاومت واحد حجم سنگ ها و یا رسوبات آبرفتی است، از رابطه (۲) اندازه گیری می شود:

$$\rho = k \Delta v / I \quad (2)$$

که در این رابطه فوق  $\rho$ : مقاومت ویژه الکتریکی زمین بر حسب اهم متر،  $K$ : ضریب وابسته به فاصله الکترودها از هم،  $I$ : شدت جریان ارسالی به زمین بر حسب آمپر و  $\Delta v$ : اختلاف پتانسیل بر حسب ولت است.

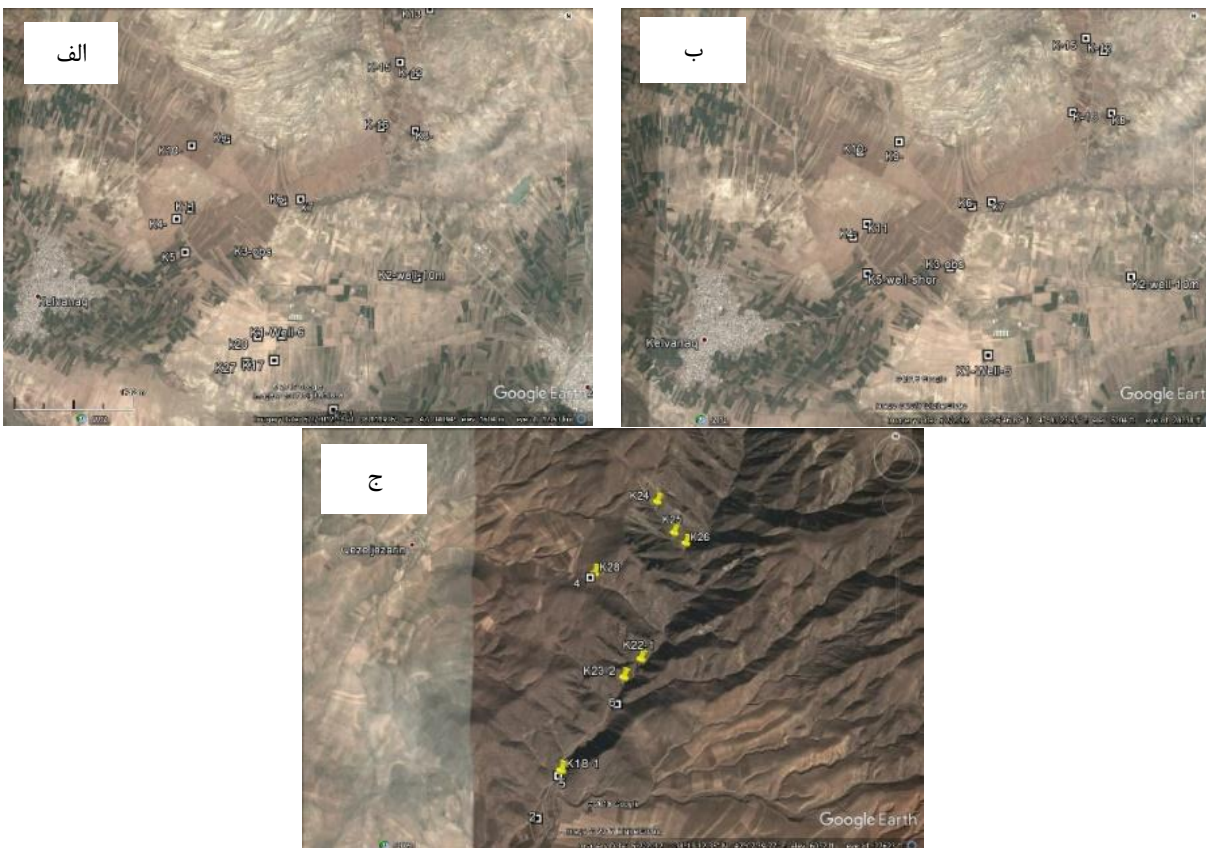


شکل ۳: نمایش آرایش اشلومبرگر در آزمایش ژئوالکتریک.

چون میزان مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب نوع و جنس زمین، میزان تراکم، رطوبت و املاح موجود در آن تغییر می کند لذا از این فاکتور می توان برای شناسایی لایه های مختلف زمین استفاده نمود. لازم به ذکر است که رسوبات ریز دانه با تراوایی و آبگذری محدود (با تخلخل مفید ناچیز) و نیز رسوبات حاوی املاح دارای مقاومت الکتریکی کم بوده و بر عکس رسوبات درشت دانه (قلوه سنگ و شن و ماسه) با تراوایی و آبگذری مطلوب، دارای مقاومت ویژه الکتریکی بیشتری می باشد.

### ۳-۲- مقطع VES

در کاوش های تحت الارضی با هدف پی جویی آب، بررسی های زمین شناسی و اطلاع از چینه شناسی محدوده مورد کاوش از اهمیت بسیاری برخوردار است. در نظر گرفتن مورفوتکتونیک ناحیه، مرزهای سازندها، محدوده های گسلی و مرزهای تکتونیکی (گسلی) از جمله نکات مهمی هستند که در چنین کاوش هایی علاوه بر کمک به بهینه یابی مقاطع مناسب برای انجام سونداژ در تفسیر نتایج به دست آمده از آزمایش های ژئوفیزیکی دارای اهمیت بسزایی است. در این مطالعات با در نظر گرفتن موارد فوق نقاط مناسب انتخاب و حریم چاههای موجود بررسی شده و نقاط مذکور مورد آزمایش ژئوفیزیک قرار گرفته اند. نقاط مذکور در شکل (۴-الف، ب و ج) نشان داده شده است.



شکل ۴- الف، ب و ج: موقعیت سونداژهای اجرا شده در این مطالعات.

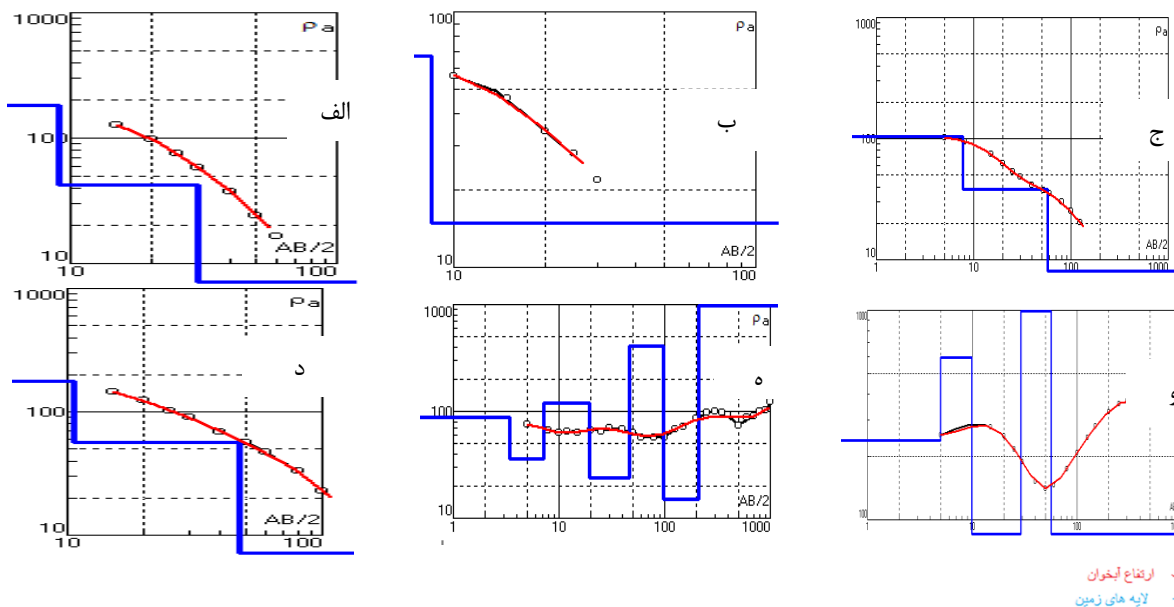
### ۳-۳- نتایج بدست آمده از مطالعات ژئوالکترونیک در محدوده مورد مطالعه

به منظور تعیین گستره تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی لایه های آبرفتی و سنگ کف و تعیین لایه های آبدار در محدوده اطراف شهر کلوانق و تفکیک لایه های زیرزمینی بر اساس مقاومت ویژه الکتریکی آنها، سونداژ های الکتریکی با طول فرستنده حداکثر ۸۰۰ متر طراحی و برداشت شده است. موقعیت سونداژهای انجام شده در این مطالعات در بخشهای مختلف طرح در شکل (۴-الف، ب و ج) نمایش داده شد. نتایج تحلیل و مدل سازی تمام سونداژهای اجرا شده در ادامه مطالب ارائه شده است و نتایج سونداژهایی که دارای پتانسیل آبهای زیرزمینی هستند در شکل های (۵-الف، ب، ج، د، ه) نمایش داده شده است. موقعیت سونداژ شماره ۹ که در شمال شرق شهر کلوانق اجرا شده است در شکل (۴-ب) نشان داده شده است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل سازی انجام شده در شکل (۵-الف) نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می شود این نمودار، یک محیط چند لایه ای (Multilayer) نشان می دهد و از تیپ A منحنیهای سوندینگ اشلومبرژه بوده و یک مدل سه لایه ای را به نمایش گذاشته است. نتیجه این سونداژ و مدل سازی نشان می دهد که از محدوده عمق حدود ۱۵ تا ۲۰ متر آبخوان کم تراوایی وجود دارد و رزیستویته های مدل شده دلالت بر وجود آبخوانی حداکثر تا عمقهای حدود ۲۵ متر دارد. به این ترتیب ضخامت آبخوان مذکور حدود ۵ متر برآورد می گردد.





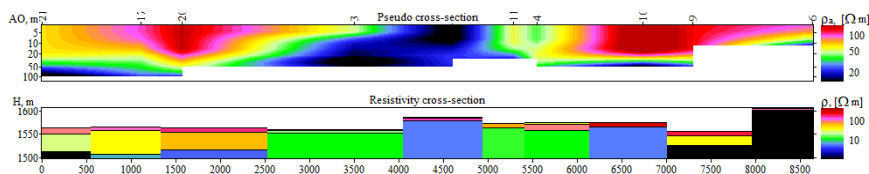
موقعیت سونداژ شماره ۱۱ در جنوب و فاصله ۱۲۳۰ متر از سونداژ یک اجرا شده است و در شکل (۴-ب) نشان داده شده است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل سازی انجام شده در شکل (۵-ب) نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می شود این نمودار نیز، یک محیط چند لایه ای نشان می دهد و از تیپ A منحنیهای سوندینگ اشلومبرژه بوده و یک مدل دو لایه ای و نزولی را به نمایش گذاشته است. نتیجه این سونداژ و مدل سازی نشان می دهد که از محدوده عمق حدود ۵ متر شروع زون اشباع بوده و مقاومت های بدست آمده همراه با رزیستویته های مدل شده در شکل (۴-ب) متر دارد. به این ترتیب ضخامت آبخوان مذکور حدود ۵ متر برآورد می گردد. مقاومت های بدست آمده همراه با رزیستویته های مدل شده نشان می دهند پس از این عمق لایه های رس و مارن سازند قرمز که در بخشهای مختلف منطقه نیز برونزد آن دیده می شود وجود دارند. شباهت دو سونداژ در فاصله بیش از یک کیلومتری دلیل بر یکنواختی و تقریباً همگن بودن این محدوده و وجود آبخوان کم تراوی با ضخامت حدود ۵ متر در گستره دشت شمال شرقی شهر کلوانق دارد که با توجه به نتایج سونداژهای دیگر از جمله ۳، ۴ و ۷ ضخامت آن در بخشهای مختلف متفاوت و اغلب کمتر از این مقدار است. آبخوان مذکور در بخشهای شمال شرقی شهر، ضخامت و تراوایی بیشتری دارد و آن موضوع در نتایج سونداژهای ۱، ۱۷، ۲۰ و ۲۱ مشخص شده است. موقعیت سونداژ شماره ۳۰ که در محدوده روستای موسی لو انجام شده است در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل سازی انجام شده در شکل (۵-ه) نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می شود این نمودار، یک محیط چند لایه ای نشان می دهد و از تیپ HKHKH منحنیهای سوندینگ اشلومبرژه بوده و یک مدل پنج لایه ای را به نمایش گذاشته است. نتیجه این سونداژ و مدل سازی نشان می دهد که محدوده عمق ۲۰ تا ۵۰ متر زون اشباع بوده و مقاومت های بدست آمده همراه با رزیستویته های مدل شده دلالت بر وجود آبخوانی در این عمق ها است. به این ترتیب ضخامت آبخوان مذکور حدود ۳۰ متر برآورد می گردد. موقعیت سونداژ شماره ۲۶ که در بستر رودخانه هرزورز و فاصله ۲۶۰۰ متر در خروجی رودخانه واز بند انحرافی اجرا شده است در شکل (۴-ج) نشان داده شده است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل سازی انجام شده در شکل (۵-و) نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می شود این نمودار، یک محیط چند لایه ای (Multilayer) نشان می دهد و از تیپ KHK منحنیهای سوندینگ اشلومبرگر بوده و یک مدل سه لایه ای را به نمایش گذاشته است. نتیجه این سونداژ و مدل سازی نشان می دهد که محدوده عمق ۲۰ تا ۴۰ متر زون اشباع است و رزیستویته های مدل شده دلالت بر وجود آبخوانی تا این عمق دارد. به این ترتیب ضخامت آبخوان مذکور حدود ۲۰ متر برآورد می گردد.



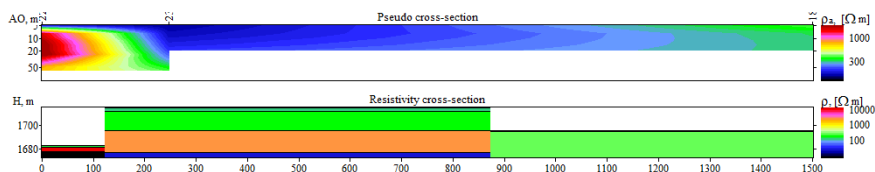
در نمودار های بالا محور X فاصله دو الکترود ab و محور y مقاومت ویژه الکتریکی زمین را نشان می دهد.  
 شکل ۵: نتایج حاصل از ارزیابی: الف- منحنی سوندینگ سونداژ، ب- منحنی سوندینگ سونداژ ۱۱، ج- منحنی سوندینگ سونداژ ۱۷،  
 د- منحنی سوندینگ سونداژ ۲۰، ه- منحنی سوندینگ سونداژ ۳۰، و- منحنی سوندینگ سونداژ ۲۶.

### ۴-۳- برشهای زیرزمینی و شبه مقطع

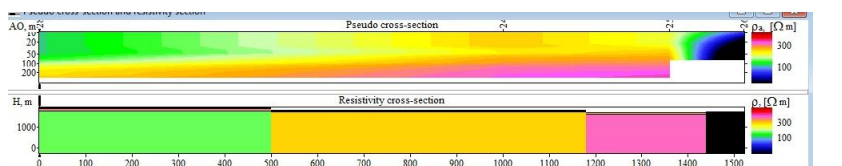
جهت نمایش تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در جهت قائم در بخشهای مختلف محدوده مورد مطالعه و به منظور ارزیابی گستره محدوده های محتمل بر وجود آبخوان در بعد قائم برشهای زیر زمینی و شبه مقطع ترسیم و مورد بررسی قرار گرفته اند. در برشهای قائم چون مقاومت ویژه ظاهری را می توان به صورت برآیند مقاومت ویژه الکتریکی در جهت قائم به پهنای فاصله الکترود های پتانسیل MN و با طولی متناسب با طول AB در نظر گرفت، ( عمق موثر نفوذ جریان چنانکه ذکر شد به طور متعارف  $AB/4$  در نظر گرفته شده است) بنابراین نقشه های حاصله می تواند گویای وضعیت تغییر این برآیند در جهت قائم در محدوده مورد مطالعه باشد. از مقایسه برشهای تحت الارضی و برشهای شبه مقطع در بخشهای مختلف منطقه می توان به چگونگی روند تغییرات مقاومت ویژه با عمق در بخشهای مختلف به صورت کیفی پرداخت. برشهای شبه مقطع و برش تغییرات مقاومت ظاهری قائم در بخشهای مختلف محدوده مورد مطالعه در شکلهای ۶ الی ۹ نشان داده شده است.



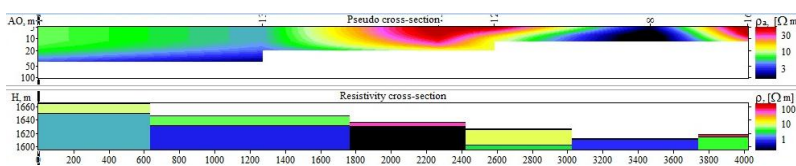
شکل ۶: برش شبه مقطع بین نقاط ۲۱ تا ۲۶ در بالا و برش تغییرات مقاومت ظاهری قائم در پایین در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۷: برش شبه مقطع بین نقاط ۲۲ تا ۱۸ در بالا و برش تغییرات مقاومت ظاهری قائم در پایین در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۸: برش شبه مقطع بین نقاط ۲۸ تا ۲۶ در بالا و برش تغییرات مقاومت ظاهری قائم در پایین در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۹: برش شبه مقطع بین نقاط ۱۶ تا ۱۴ در بالا و برش تغییرات مقاومت ظاهری قائم در پایین در محدوده مورد مطالعه.

### ۳-۵- ارزیابی خصوصیات آبخوان سازند سخت با داده های ژئوالکتریک

در این مطالعه روشی فراتر در جهت بررسی تحت الارضی شکستگی ها و چگالی درزه ها برای شناسایی محدوده های با پتانسیل بالای درزه داری و مستعد تشکیل آبخوان بکار گرفته شده ، و از جدیدترین روش بررسی درز و شکاف در سازندهای سخت بهره برده شده و بر مبنای آن بررسی و برآورد پارامترهای ضریب آنیزوتروپی، مقاومت متقاطع متوسط، مقاومت طولی متوسط و هدایت پذیری طولی در سازند سخت برای موقعیت هر کدام از سونداژهای الکتریکی اجرا شده صورت می گیرد. در سال ۲۰۱۴ دواشیش (Dewashish) و همکاران آنها برای ارزیابی تراکم درزو شکاف در سازندهای سخت از داده های مقاومت ژئوالکتریک و کنترل آنها با داده های حفاری و پمپاژ چاه، روش ارزشمندی را ارائه نموده اند. در این روش ضریب آنیزوتروپی بنام لاندا ( $\lambda$ ) تعریف می شود. این پارامتر از دو پارامتر مقاومت لایه و ضخامت آن محاسبه می شود. هدایت ویژه الکتریکی کل  $S$  برای  $n$  لایه بصورت رابطه (۳) می باشد:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_i} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n} \quad (3)$$

همچنین مقاومت ویژه عرضی کل نیز بصورت رابطه (۴) می باشد:

$$T = \sum_{i=1}^n h_i \rho_i = h_1 \rho_1 + h_2 \rho_2 + \dots + h_n \rho_n \quad (4)$$



با استفاده از معادله رابطه (۳) متوسط مقاومت طولی بصورت رابطه (۵) بدست می آید:

$$\rho_L = \frac{H}{S} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n h_i \rho_i} \quad (5)$$

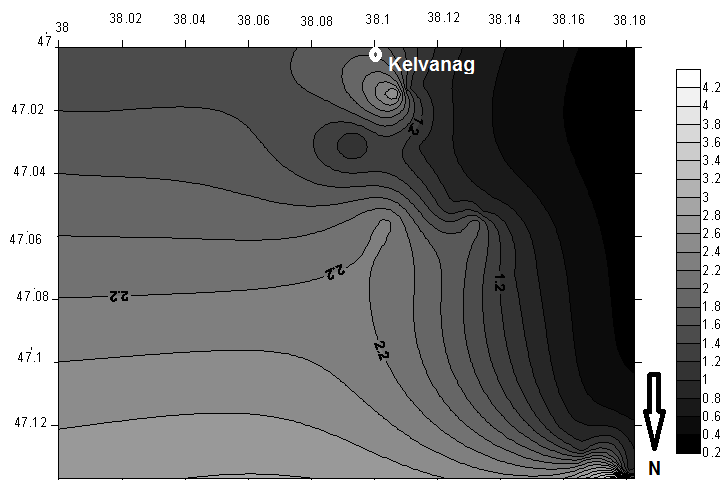
مقاومت ویژه عرضی متوسط نیز از معادله رابطه (۲) بصورت رابطه (۶) تعریف خواهد شد:

$$\rho_t = \frac{T}{H} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \rho_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (6)$$

با تلفیق معادلات فوق الذکر ضریب آنیزوتروپی بصورت رابطه (۷) بدست می آید:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_L}} \quad (7)$$

نتایج بررسی شده برای ضریب  $\lambda$  مشخص کرده است که در یک محدوده مطالعاتی هر جا که  $\lambda$  بالا است، ضریب درزه داری و سیستم درز و شکاف در تمام جهات زیاد بوده و به تبع آن ضریب تجمع آب بالا و تشکیل آبخوان مناسب خواهد بود و تخلخل سنگ مقدار بیشتری خواهد داشت. به همین ترتیب درزه داری فقط در یک جهت شرایط مناسبی برای تجمع آب و تشکیل آبخوان ارزشمند را فراهم نخواهد کرد و مقدار  $\lambda$  کمی را بدست خواهد داد. بر این مبنا در این مطالعات جهت ارزیابی وضعیت آب زیر زمینی و تعیین نقاط مناسب دارای تراکم درزه داری بیشینه در سازند سخت، تخلخل درزه با مقدار آنیزوتروپی  $\lambda$  بصورت مدل ژئوالکتریک VES تحلیل شده است. این تخلخل درزه با درزه داری تکنیکی سنگها برآورد گردیده است. برای هر سونداژ ضریب  $\lambda$  تعیین گردیده و سپس این مقدار در محدوده مورد مطالعه بصورت نقشه پربند ترسیم شده است (شکل ۱۰). بررسی نقشه مذکور نشان می دهد مقادیر تخلخل از شرق به غرب و از جنوب به شمال شرق محدوده مطالعاتی افزایش می یابد و در محدوده سونداژ ۲۶ به بیشترین مقدار می رسد. بررسی و برآورد پارامترهای ضریب آنیزوتروپی، مقاومت متقاطع متوسط، مقاومت طولی متوسط و هدایت پذیری طولی در سازند سخت برای موقعیت هر کدام از سونداژهای الکتریکی اجرا شده مقدار ضریب آنیزوتروپی را برای محدوده سونداژ ۲۶ برابر ۴/۴ بدست داده است که با توجه به بالا بودن این ضریب در محل این سونداژ که نسبت به تمام سونداژهای دیگر بیشترین است، ضریب درزه داری سنگ و به تبع آن ضرایب آبخوان و بخصوص آبدهی سازند سخت در محدوده این سونداژ بهتر از سایر نقاط می باشد. موقعیت این سونداژ که در محدوده یک کیلومتری داخل رودخانه هرزورز قرار دارد از نظر اجرایی و حفر چاه بسیار دشوار است.



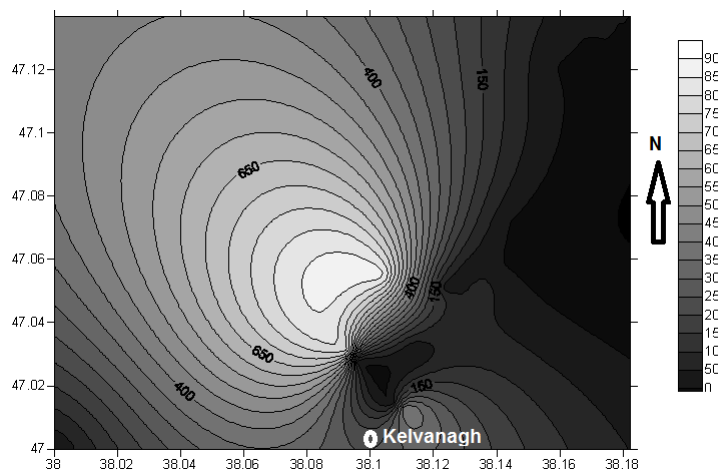
شکل ۱۰: برآورد چگالی شکستگی ها در بخشهای مختلف محدوده مطالعاتی و نقشه پربند چگالی شکستگیها برای ضریب  $\lambda$  در منطقه مورد مطالعه.

### ۳-۶- تهیه نقشه RT و بررسی شوری آب

مقاومت عرضی ژئوفیزیکی RT حاصل ضرب ضخامت لایه ابدار e در مقاومت ظاهری p آن است که به شرح زیر برآورد می شود:

$$RT = p \cdot e \tag{۸}$$

در این رابطه p علاوه بر خصوصیات سازند آبدار به غلظت املاح نیز بستگی دارد. به این ترتیب با استفاده از داده های حاصل از ژئوفیزیک و لایه های مدل سازی شده و مقاومت های بدست آمده برای هر مدل نهایتاً نقشه RT برای محدوده مورد مطالعه تهیه و ترسیم شده است که در نقشه شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: نقشه RT تهیه شده برای محدوده مورد مطالعه.



چنانکه از نقشه RT مشخص است رو به سمت شمال و شمال غرب محدوده مورد مطالعه یعنی شمال و غرب شهر کلوانق مقدار RT افزایش می یابد و نشان از بالا بودن املاح و شوری در این نواحی است و این مساله با بررسی میدانی اطلاعات چاهها نیز همخوانی دارد. بطوری که چاههای شرق و جنوب شهر کلوانق شیرین ولی چاههای شمال و شمال غرب شهر شورتر هستند.

#### ۴- جمع بندی و نتیجه گیری

بررسی و مقایسه برشهای های هم مقاومت ویژه ظاهری برای طول فرستنده های مختلف در این مطالعات نشان داد که در محدوده دشت کلوانق یعنی شمال شرق و جنوب شرق شهر کلوانق در بخشهای عمیق مقاومتهای کم غالب است و این موضوع با رس و مارن های سازند قرمز که چینه های عمده برونزد یافته در منطقه می باشند تطبیق داشته و گسترش آنها را در عمق نشان می دهد و بنابراین پدیده هم ارزی نیز محتمل است. مقایسه این مقاومتها با مقادیر مشابه در گمانه های ژئوالکتریک مشاهداتی و برشهای شبه مقطع نیز دلالت بر این دارد که مقاومتهای مذکور در محدوده مطالعاتی به سنگهای رس و مارن مربوط هستند. نتایج نقشه پربند چگالی شکستگی ها نیز نشان می دهد این پارامتر در محدوده سازندهای سخت مسیر رودخانه هرزه ورز مقدار بیشینه دارد و وجود آبخوانهای ارزشمند مرتبط با سازند سخت را در این محدوده نشان می دهد. اما بدلیل موقعیت و توپوگرافی خشن دسترسی به این منطقه جهت حفر چاه از نظر اجرایی بسیار دشوار می نماید. همچنین نقشه های RT تهیه شده دلالت بر این دارد که رو به سمت شمال و شمال غرب محدوده مورد مطالعه یعنی شمال و غرب شهر کلوانق مقدار RT افزایش می یابد و نشان از بالا بودن املاح و شوری در این نواحی است و این مساله با بررسی میدانی اطلاعات چاهها نیز همخوانی دارد. به این ترتیب با بررسی تمام نتایج و گزینه های موجود با در نظر گرفتن، فاصله، آبدهی، شیرین بودن آبخوان، ضخامت آبخوان و سایر موارد الویتهای پیشنهادی برای احداث چاه به شرح جدول (۱) است.

جدول ۱: گزینه های پیشنهادی حاصل از نتایج این مطالعات به ترتیب اولویت

الویت	شماره گمانه	مختصات		روش حفاری پیشنهادی	عمق پیشنهادی به متر	ضخامت برآورد شده آبخوان به متر
		X	Y			
۱	K17	۳۸ و ۰۵ و ۳۵/۳	۴۷ و ۰۱ و ۵۱/۳	دستگاهی (روتاری)	۶۰	۲۰
۲	K30	۴۷ و ۰۳ و ۵۶/۵	۳۸ و ۱۲ و ۵۹/۸	دستگاهی (روتاری)	۸۰	۳۰
۳	K11	۴۷ و ۰۰ و ۵۳/۸	۳۸ و ۰۶ و ۴۵/۲	دستی (دهان گشاد) همراه با احداث گالری	۱۵	۵
۴	K26	۴۷ و ۰۸ و ۱۲/۵	۳۸ و ۱۰ و ۴۲/۵	دستگاهی (روتاری)	۵۰	۲۰



۵- مراجع

- 1-Larsson, I., 1984, Groundwater in hard rocks. UNESCO press.
- 2- Ahmed, M., 1996, **Lineament as groundwater exploration guides in hard-rock terranes of arid regions**, Canadian Journal of Remote Sensing, 22, 20-31.
- 3- Narendra, K. N., Rao, P. and Latha, S., 2013, **Integrating remote sensing and GIS for identification of groundwater prospective zones in the Narava basin, Visakhapatnam region, Andhra Pradesh**, Journal of the Geological Society of India, 12, 51-62.
- 4- Abdalla, F., and Scheytt, T., 2012, **Hydrochemistry of surface water and groundwater from a fractured carbonate aquifer in the Helwan area, Egypt**, Journal of Earth System Science, 121 (1), 109-124.
- ۵- صابری، ع. رنگزن، ک. مهجوری، ر. کشاورزی، م. ۱۳۹۰، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاق‌دیس کمستان استان خوزستان، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته. دوره ۱. شماره ۶. صفحات ۲۰-۱۱.
- ۶- زمانی، ق. بهزاد، ۱۳۸۱، پروژه بازنگری بر لرزه زمین ساخت طرح سد ملی و تونل گاوشان با داده های سنجش از دور و GIS، کارفرما مرکز تحقیقات آب-تهران.
- 7-Singhal B. B. S., 1973, **Some observations on the occurrence, utilization and management of groundwater in the Deccan Trap areas of Central India.**, Proceeding International Symposium Development of Groundwater Resources. 3: 75-81.
- 8-Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., 1998, **Physical and Chemical Hydrogeology**, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 9-Indraratna, B. and Ranjith, P., 2001, **Hydromechanical Aspects and Unsaturated flow in Jointed Rock**, A A Balkema Publication, Tokyo, 286.
- ۱۰- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۳ صفحه.