



## Research Article

### Study of the potential of permeability of faults as a canal for transport of the environmental pollutants, by geophysical methods

Behzad Zamani G.\*<sup>1</sup>

1-Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 17 May 2023 Accepted: 16 Oct 2024

## Extended Abstract

### Introduction

Importance of pollution and adverse consequences on ecosystems and people's lives, the study of quantitative and qualitative changes in water, soil and rock resources and discovering its causes is crucial to provide preventive solutions. Numerous factors affect the pollution of water and soil resources, in this regard, the role of faults as a route and channel for the transmission of pollution is important and less attention has been paid. In this study, while examining the mentioned factors, in particular, the role of faults as a conduit for pollution transfer is considered. In this regard, the environmental geology of Shahid Shakouri mine in East Ahar (North West Iran) will be studied as a case study.

### Materials and Methods

In this study, by collecting geological and tectonic data of the region, fault zones are explored by geophysical studies to evaluate the transferability of faults. Preparation of geophysical Iso-maps and sections and then preparation and processing of maps and Pseudo-sections make it possible to identify areas with fluid storage potential and investigate permeable and capable of transferring fluids in comparison with the results of remote sensing analyzes. In summary, the study process is as follows: first, the preparation of information layers, including hydrographic network, tectonic elements, lines, etc., using topographic maps, geology, aerial photography and satellite image processing have done. The information layers are then analyzed. As a result, the relationship between lineation, tectonic and non-tectonic elements, hydrographic network and topographic slope with water resources in the study area has been investigated to identify more crushed fault zones with fluid transfer potential. The following steps have been followed in geophysical explorations: 1. Identification of faults in the field and study of their field characteristics 2. Design of geophysical experiments based on information obtained from a combination of different methods 3. Execution of geophysical soundings and execution of control soundings 4. Preparation of VES sections and then preparation of pseudo-geolectric sections and use of the obtained data 5. Investigation of joints and faults 6. Study the results and analyze and identify the permeability of faults and their analysis.

**Citation:** Zamani G., B., 2025. Study of the potential of permeability of faults as a canal for transport of the Environmental pollutants, *Res. Earth. Sci.* 15(4), (126-154) DOI: 10.48308/esrj.2022.102963

\* Corresponding author E-mail address: b.zamani@tabrizu.ac.ir





## Results and Discussion

The result of remote sensing studies with satellite data and images, it help to possible identifying faults and in cases where the mentioned faults in the hard formation are composed of thick and permeable fragmented fault zones. In fact, erosion performance along the many faults in the region has formed a network of valleys and waterways that play the role of surface discharge and have no penetration depth and are not a continuous fracture network. Comparison of sections for different transmitter lengths showed that in the northern and middle parts of the study area, the resistivity are mostly very low and less than 30 ohm meters, and the comparison of these resistivity with similar values in different geoelectric soundage locations also indicates that the mentioned resistivity in the study area are related to weathered rocks to clay. Due to the existence of these clay units, there is an equivalence phenomenon in the study area. Clay has little or no permeability. Also, the faults of these sections are mainly caused by the crushed zone of clay and impermeable units, and their fault cores also have such characteristics. Examination of the results of underground excavations has shown that in other sections, the study area is composed of impermeable or very low permeable igneous units and most of the many faults in the area (except for a few cases whose results are mentioned) are impermeable fault zones or they have very low permeability. In the southeastern, western and southern parts of the study area, the resistivity are higher and reach 60 to 80 ohm meters. Are related to impermeability, which are widely available in the study area.

## Conclusion

Conclusions Examination and comparison of apparent specific resistivity maps show that there are faults with fluid transmittance potential in the northeastern part of Zaylik village and the northwestern part (outside the company registration area - location of sounding 7) in the region. For more accurate tracing of boundaries with such potentials, quasi-cross-sectional cross-sections and apparent specific resistivity cross-sections have been compared. Thus, the faults with the transmittance potential explored in the range of 7 and 16 soundings are related to some alluvial sections as well as fault zones that have locally caused fragmentation and increased permeability and the formation of fault aquifers in these areas. Finally, according to the obtained permeability properties, the position of the mentioned catheterization has been introduced as cases that have a risk of contamination transmission.

**Keywords:** Potential of permeability, Transport, Environmental, Pollutants, Geophysics.



## مطالعه توان گذردهی گسل‌ها به عنوان معبر انتقال آلاینده‌های زیست محیطی بروش‌های ژئوفیزیکی

بهزاد زمانی قره چمنی\*<sup>۱</sup> 

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

### چکیده گسترده

#### مقدمه

با توجه به اهمیت موضوع آلودگی و پیامدهای نامطلوب بر اکوسیستم و زندگی مردم، مطالعه تغییرات کمی و کیفی منابع آب و خاک و سنگ و کشف علل آن جهت ارائه راهکارهای پیشگیرانه تعیین کننده می‌باشد. عوامل متعددی در آلاینده‌گی منابع آب و خاک تاثیر دارند که در این ارتباط نقش گسل‌ها به عنوان مسیر و کانالی برای انتقال آلودگی حایز اهمیت است و کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش ضمن بررسی عوامل یاد شده به طور خاص نقش گسل‌ها به عنوان معبری برای انتقال آلاینده مورد توجه قرار می‌گیرد. در این خصوص زمین شناسی زیست محیطی معدن شهید شکوری در شرق اهر (شمال غرب ایران) به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه ابتدا با گردآوری داده‌های زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه محدوده‌های گسلی با روش‌های مطالعات ژئوفیزیکی مورد کاوش قرار می‌گیرند تا انتقال پذیری گسل‌ها ارزیابی گردد. تهیه نقشه‌ها و برش‌های پربند ژئوفیزیکی و سپس تهیه و پردازش نقشه‌ها و شبه مقطع‌ها امکان شناسایی محدوده‌های با پتانسیل ذخیره سیال و نفوذپذیر و دارای قابلیت برای انتقال سیالات را در مقایسه با نتایج آنالیزهای سنجش از دور فراهم می‌سازد. به طور خلاصه باید گفت روند مطالعات به این ترتیب است که ابتدا مبادرت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل شبکه هیدروگرافی، عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها و ... با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، بررسی عکس‌های هوایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای شده. سپس لایه‌های اطلاعاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در نتیجه ارتباط بین خطواره‌ها، عناصر تکتونیکی و نوکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و شیب توپوگرافی با منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه، بررسی شده تا مناطق گسلی بالقوه دارای پتانسیل انتقال سیالات شناسایی شود. به‌طور کلی با در نظر گرفتن اینکه اغلب آبخوان‌های مرتبط با سازندهای سخت تحت کنترل تکتونیک (tectonic control) بوده و در ارتباط با خطواره‌های گسلی شکل گرفته و توسعه می‌یابند از این رو مراحل زیر در اکتشافات ژئوفیزیکی دنبال شده است:

(۱) شناسایی گسل‌ها در صحرا و بررسی خصوصیات صحرائی آنها

(۲) طراحی آزمایش‌های ژئوفیزیکی بر اساس اطلاعات بدست آمده از تلفیق روش‌های مختلف یاد شده

استناد: زمانی، ب.، ۱۴۰۳. مطالعه توان گذردهی گسل‌ها به عنوان معبر انتقال آلاینده‌های زیست محیطی بروش‌های ژئوفیزیکی،

پژوهشهای دانش زمین: ۱۵(۴)، (۱۵۴-۱۲۶)، DOI: 10.48308/esrj.2022.102963

E-mail: [b.zamani@tabrizu.ac.ir](mailto:b.zamani@tabrizu.ac.ir)

\* نویسنده مسئول:



۳) اجرای سونداژهای ژئوفیزیک و اجرای سونداژهای شاهد

۴) تهیه مقاطع VES و سپس تهیه برش‌های شبه مقطع (pseudo) ژئوالکتریک و استفاده از داده‌های بدست آمده

۵) بررسی میزان درزه‌داری واحدها و گسل‌ها

۶) بررسی نتایج و تحلیل و شناسایی نفوذپذیری گسل‌ها و تحلیل آنها

### نتایج و بحث

مقایسه برش‌ها برای طول فرستنده‌های مختلف نشان داد که در بخش‌های شمال، و میانی منطقه مورد مطالعه مقاومت‌ها عمدتاً خیلی کم و به کمتر از ۳۰ اهم متر می‌رسد و مقایسه این مقاومت‌ها با مقادیر مشابه در سونداژهای ژئوالکتریک مختلف نیز دلالت بر این دارد که مقاومت‌های مذکور در محدوده مطالعاتی به سنگ‌های هوازده به رس مربوط هستند. بدلیل وجود همین واحدهای رس دار پدیده هم ارزی نیز در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. رس نفوذپذیری ناچیز و و یا ناتراوا است. هم چنین گسل‌های این بخش‌ها نیز عمدتاً زون خرد شده رسی و ناتراوا دارند و هسته گسلی شان نیز چنین خصوصیتی دارد. بررسی نتایج کاوش‌های تحت الارضی نشان داده است که در بقیه بخش‌ها نیز محدوده مطالعاتی از واحدهای ناتراوا یا بسیار کم تراوای آذرین تشکیل شده است و اغلب گسل‌های فراوانی که در منطقه وجود دارد (بجز چند مورد که نتایج آنها ذکر شده) نیز زون‌های گسلی ناتراوا و یا بسیار کم تراوایی دارند. در بخش‌های جنوب شرق، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه مقاومت‌ها بیشتر هستند و به ۶۰ تا ۸۰ اهم متر می‌رسد و مقایسه این مقاومت‌ها با مقادیر مشابه در سونداژهای ژئوالکتریک مختلف نیز دلالت بر این دارد که مقاومت‌های مذکور در محدوده مطالعاتی به سنگ‌های آذرین و آذرآواری کم تا ناتراوا که در محدوده مطالعاتی به‌طور گسترده وجود دارند مربوط هستند.

### نتیجه‌گیری

بررسی و مقایسه نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری نشان می‌دهد که گسل‌های دارای پتانسیل انتقال‌پذیری سیال در محدوده شمال شرق روستای زای لیک و بخش شمال غرب (خارج از محدوده ثبتی شرکت - محل سونداژ ۷) در منطقه وجود دارد. جهت پی جویی دقیق‌تر محدوده‌های دارای چنین پتانسیل‌هایی، برش‌های شبه مقطع و برش‌های هم مقاومت ویژه ظاهری مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. به این ترتیب گسل‌های دارای پتانسیل انتقال‌پذیری اکتشاف شده در محدوده سونداژهای ۷ و ۱۶ در ارتباط با برخی بخش‌های آبرفتی و نیز زون‌های گسلی است که به‌طور محلی باعث خرد شدگی و افزایش نفوذپذیری و شکل‌گیری آبخوان گسلی در این محدوده‌ها گردیده است، مرتبط هستند. در نهایت با توجه به خصوصیات نفوذپذیری بدست آمده موقعیت سونداژهای مذکور به عنوان مواردی که ریسک انتقال آلودگی دارند معرفی شده است.

**واژگان کلیدی:** پتانسیل گذردهی، انتقال، زیست محیطی، آلاینده‌ها، ژئوفیزیک.

### مقدمه

با توجه به اهمیت موضوع آلودگی و پیامدهای نامطلوب بر اکوسیستم و زندگی مردم، مطالعه تغییرات کمی و کیفی منابع آب و خاک و سنگ و کشف علل آن جهت ارائه راهکارهای پیشگیرانه تعیین کننده می‌باشد. عوامل متعددی در آلاینده‌گی منابع آب و خاک تاثیر دارند که در

این ارتباط نقش گسل‌ها به عنوان مسیر و کانالی برای انتقال آلودگی حایز اهمیت است و کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از عوامل موثر در ایجاد و گسترش این منابع می‌توان به سنگ‌شناسی، توپوگرافی، میزان نزولات، سطوح ناپیوستگی، شیب و مناطق خردشده سنگ‌ها اشاره نمود. در این پژوهش ضمن بررسی عوامل یاد شده به‌طور خاص

عمدتاً بوسیله نفوذ از رودخانه‌هایی که با شکستگی‌های باز ارتباط دارند، انجام می‌شود. اما در مناطق کم ارتفاع و پست، معمولاً لایه‌ی هوازده، ضخیم و به خوبی توسعه یافته‌اند. در این نواحی آب‌های فرورو عمدتاً قبل از اینکه به بخش خردشده سنگ بستر زیرین راه یابند درون لایه هوازده حرکت می‌کنند. پس در صورت وجود آلاینده‌ها در خاک یا سنگ هوازده رویین موجب الایش و انتقال آن خواهد شد. بنابراین بررسی اعماق رویی خاک و سنگ از این نظر ضروری است.

**ظرفیت ذخیره و آبدی سیالات موجود در گسل‌ها و سنگ‌ها:** آبخوان‌های موجود در سازندهای سنگی فاقد ذخیره سیال فراوان هستند. در مناطق کوهستانی که دارای شیب زیادی هستند، سیال آب به سرعت از آبخوان خارج می‌شود و در چنین آبخوان‌هایی، آب‌های قدیمی مربوط به دوره‌های قبلی زمین‌شناسی غالباً وجود ندارد. ارتفاع و شرایط توپوگرافی نیز نقش مهمی در توزیع منابع آب دارند زیرا اصولاً شرایط تغذیه با افزایش ارتفاع بهبود یافته (Gustafson and Krasny, 1994) و شیب هیدرولیکی در مناطق کوهستانی چند برابر مناطق مسطح افزایش می‌یابد. طی مطالعات متعددی که توسط محققان بر روی منابع آب در سازند سخت صورت گرفته است، اثبات گردیده که آبدی سازند با افزایش عمق کاهش می‌یابد که علت این مسأله را می‌توان در این واقعیت دنبال کرد که تغییرات تنش در نزدیکی سطح زمین بیشتر از عمق می‌باشد، همچنین در نزدیکی سطح زمین، بخصوص در سنگ‌های گرانیتی، شکستگی‌هایی با شیب کم به حالت افقی و یا موازی لایه‌های سنگی بالا و اطراف آن وجود دارند (Sheet fractures). این شکستگی‌ها که بنام شکستگی‌های رهایی نامیده می‌شوند در اثر کم شدن فشار روباره (Overburden pressure) و تغییرات دمایی بوجود می‌آیند که به همین علت درزه‌های رهایی نامیده می‌شوند (Release joints). چنین ساختارهایی نقش بزرگی در انتقال آب در بخش‌های سطحی دارند. با افزایش عمق، تعداد این شکستگی‌ها به شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه آبدی منابع در اعماق بیش‌تر کاهش خواهد یافت.

**فنون سنجش از دور و اکتشاف آب در سازند سخت:** تلفیق فنون سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به عنوان ابزاری موثر در مطالعه و شناسایی گسل‌ها به کار

نقش گسل‌ها به عنوان معبری برای انتقال آلاینده مورد توجه قرار می‌گیرد. در این خصوص زمین‌شناسی زیست محیطی معدن شهید شکوری در شرق اهر به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بخش قابل توجهی از نیاز آبی این منطقه در بخش کشاورزی و دامپروری و همچنین در اکثر روستاها آب شرب از آب زیرزمینی و چشمه و در برخی نیز از طریق مجتمع آبرسانی قشلاق (E.A. Water Resources Management Survey, 2005) تأمین می‌شود. به این ترتیب لزوم مطالعات علمی، اصولی و هدفمند این منابع آب به منظور مدیریت کمی و کیفی آن مشخص می‌گردد. بررسی نقش و تاثیر گسل‌ها بر این منابع آب، که آیا می‌توانند موجب انتقال آلودگی از معدن به چشمه‌های مجاور گردند یا نه؟ در منطقه مورد مطالعه ضرورت دیگری است که تا کنون بررسی نشده است. این محدوده بخشی از حوضه رودخانه اهرچای می‌باشد (Geological Survey and mineral exploration of Iran, ) که از ارتفاعات کوه‌های قره داغ اهر و ارسباران سرچشمه می‌گیرد. منبع تغذیه این رودخانه به‌طور غالب ذوب برف‌ها و چشمه‌های دامنه کوه‌های مذکور می‌باشد. با توجه به محدودیت‌هایی که در منابع آب سطحی و زیرزمینی در این حوضه آبخیز وجود دارد و نیازهای شهری و روستایی در مجاورت آن، ضرورت بررسی انتقال‌پذیری گسل‌ها به عنوان آلاینده در معدن شهید شکوری مدنظر قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### پیشینه مطالعات

**نحوه تغذیه درگسل‌ها و سازندهای سخت:** سیالات در نواحی تشکیل شده از سنگ‌های سخت، به دو صورت ذخیره شده و جریان می‌یابد: در سیستم شکستگی باز و لایه‌های هوازده سطحی. در مناطق مرتفع و کوهستانی که دارای فرسایش فعال و سریع می‌باشند. در این حالت فرصت و مکان لازم برای تجمع و تشکیل لایه هوازده وجود ندارد و یا در صورت وجود این لایه گسترش و ضخامت زیادی نخواهد داشت، بنابراین عمدتاً حرکت و ذخیره سیال در شکستگی‌های باز رخ می‌دهد. در این شرایط تغذیه نسبتاً کمی در چنین شکستگی‌هایی توسط نفوذ مستقیم از منابع آلاینده و یا بارش صورت می‌گیرد. بخش بیش‌تر تغذیه

سنگ‌ها و ماهیت تشکیل آنها مربوط می‌داند. براساس نظر وی منابع آبی مرتبط با شکستگی‌های کششی دارای بیشترین مقدار آبدهی می‌باشند. شکستگی‌های برشی و فشارشی به ترتیب دارای آبدهی متوسط و حداقل آبدهی در بین منابع آبی می‌باشند. احمد (Ahmed, 1996) با مطالعاتی که روی سازندهای مختلف یکی از مناطق خشک و نیمه خشک مراکش انجام داده است. از خطواره‌ها به عنوان راهنمای اکتشاف هیدرو کربن و آب استفاده نمود و نتیجه گرفت تکتونیک روی توپوگرافی منطقه تاثیر زیادی داشته است و الگوی شکستگی نشان دهنده‌ی آن است که گسل‌ها مسیر عمده برای حرکات جانبی و عمودی سیالات هستند. زمانی و همکاران (Zamani et al, 2018) در بررسی با داده‌های سنجش از دور و بهره‌گیری از مطالعات نو تکتونیک مناطق گسلی فعال را مشخص نموده و با بررسی های ژئوالکتریک در پهنه‌های گسلی فعال درون سازند سخت موفق به اکتشاف آبدر سازندهای سخت و گسلی گردیده‌اند. در این ارتباط هر جا که تمرکز شکستگی در سازند سخت بیشتر بوده آب زیرزمینی پتانسیل بیشتری داشته است و جنس سنگ‌ها نیز نقش مهمی در این ارتباط داشته است. در محدوده مورد مطالعه در این پژوهش یعنی منطقه شرق اهر نیز تاکنون مطالعات مختلف و محدودی انجام گرفته است. به علت وجود پدیده‌های مختلف زمین شناسی در منطقه نظیر آتشفشان، از یک سو وجود فعالیت های نو زمین ساختی و رخداد زلزله‌های متعدد در آن، زمانی (Zamani, 2017) همچنین وجود مواد معدنی غنی در منطقه مورد مطالعه، تاکنون مطالعات مختلف زمین شناسی در بخش‌های مختلف آن به طور پراکنده انجام شده است. از جمله مهم‌ترین و گسترده‌ترین این مطالعات می‌توان به بررسی‌های زمین شناسی انجام شده برای تهیه نقشه‌های زمین شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ اشاره نمود. علاوه بر این مطالعات، بررسی‌های دیگری نیز به طور پراکنده برای تعیین مناسب‌ترین محل برای احداث سد و تعیین مناطق مستعد زمین لغزش صورت گرفته است که از آن جمله نیز می‌توان به مطالعات انجام شده برای سد و دریاچه و زمین لغزش‌های منطقه سد اهر اشاره نمود.

#### روش تحقیق

روش ژئوفیزیک: بررسی و مطالعه ویژگی‌های سنگ‌ها و گسل‌های مرتبط با آنها در محدوده مورد مطالعه از طریق

می‌رود. محققین زیادی از قابلیت این ابزار برای بررسی پتانسیل ذخیره‌سازی و انتقال‌پذیری گسل‌ها استفاده کرده‌اند. همچنین استفاده توام از سنجش از دور و GIS به همراه اکتشافات ژئوفیزیکی و مدل‌های ریاضی نیز در اکتشافات گسل‌ها مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه انجام شده توسط لاتمن و پاریزک (Lattman and Parizek, 1964) به عنوان یکی از قدیمی‌ترین تحقیق در اکتشاف پتانسیل آب در گسل‌ها و سازندها شناخته می‌شود؛ آنها شکستگی‌های خطی را با استفاده از جفت عکس‌های هوایی در یک ناحیه کربناته در شرق آمریکا استخراج نمودند و نشان دادند که همبستگی خوبی بین آبدهی چاه‌ها 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، به ویژه در محیط‌های زمین‌شناسی پیچیده به کار برده‌اند. ناندرا و همکاران (Narendra et al, 2013) در مطالعات شناسایی مناطق دارای سیال در حوضه آبریز ناروا (Narava) 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 محیط نرم‌افزار ARC GIS انتقال داده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق با پتانسیل بالای سیال دارای تراکم خطواره بالا و تراکم زهکشی و شیب کم می‌باشد. عمده ذخیره سازند سخت در گسل‌ها متمرکز است و بنظر قوبتا (Gupta, 2001) در مناطق گسلی و زون‌های خرد شده چاه‌های حفر شده هزار بار نسبت به سایر بخش‌های سازند سخت آبدهی بیشتری دارند. از این رو است که عمده بررسی‌ها در سازند سخت باید در محدوده زون‌های خرد شده متمرکز گردد. چه در خصوص بررسی و اکتشاف آب در سازند سخت و چه در مطالعه جهت تشخیص گسل‌ها به عنوان معابر انتقال دهنده آلودگی از دید زمین‌شناسی زیست محیطی، شناسایی گسل‌ها در این ارتباط مهم خواهد بود. از این رو است که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است. لارسن (Larsson, 1984) ضمن مطالعه مفصل سازندها، مدل تکتونیک ناحیه‌ای در جنوب منطقه اسکاندیناوی را تشریح کرده و پتانسیل آب بخش‌های مختلف این ناحیه را به انواع شکستگی‌های موجود در

پذیری گسل‌ها ارزیابی گردد. تهیه نقشه‌ها و برش‌های پربند ژئوفیزیکی و سپس تهیه و پردازش نقشه‌ها و شبه مقطع‌ها امکان شناسایی محدوده‌های با پتانسیل ذخیره سیال و نفوذ پذیر و دارای قابلیت برای انتقال سیالات را در مقایسه با نتایج آنالیزهای سنجش از دور فراهم می‌سازد. روند مطالعات به این ترتیب است که ابتدا مبادرت به تهیه لایه های اطلاعاتی شامل شبکه هیدروگرافی، عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها و ... با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، بررسی عکس‌های هوایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای شده. سپس لایه‌های اطلاعاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در نتیجه ارتباط بین خطواره‌ها، عناصر تکتونیکی و نوتکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و شیب توپوگرافی با منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه، بررسی شده تا مناطق گسلی بالقوه دارای پتانسیل انتقال سیالات شناسایی شود. به طور کلی با در نظر گرفتن اینکه اغلب آبخوان‌های مرتبط با سازنده‌های سخت تحت کنترل تکتونیک (tectonic control) بوده و در ارتباط با خطواره های گسلی شکل گرفته و توسعه می‌یابند از این رو مراحل زیر در اکتشافات ژئوفیزیکی دنبال شده است:

- ۱) شناسایی گسل‌ها در صحرا و بررسی خصوصیات صحرائی آنها
- ۲) طراحی آزمایش‌های ژئوفیزیکی براساس اطلاعات بدست آمده از تلفیق روش‌های مختلف یاد شده
- ۳) اجرای سونداژهای ژئوفیزیک و اجرای سونداژهای شاهد
- ۴) تهیه مقاطع VES و سپس تهیه برش‌های شبه مقطع (pseudo) ژئوالکتریک و استفاده از داده‌های بدست آمده
- ۵) بررسی میزان درزه داری واحدها و گسل‌ها
- ۶) بررسی نتایج و تحلیل و شناسایی نفوذپذیری گسل‌ها و تحلیل آنها

#### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در شهرستان اهر از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده ۳۷/۰۰ تا ۳۶/۹۸ عرض شمالی ۴۷/۶۸ تا ۴۷/۷۱ طول شرقی استقرار یافته است. ارتفاع متوسط این شهرستان از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر می باشد. این شهرستان از شمال به شهرستان کلیبر، از شرق به اردبیل و از غرب به ورزقان محدود شده است و فاصله آن با تبریز حدود ۱۱۲ کیلومتر است. شهرستان اهر از شمال به رشته کوه‌های ارسباران (شکل ۱) محدود می‌شود و یک

کاربرد اکتشافات ژئوفیزیک (Geophysical Explorations) به روش ژئوالکتریک و با استفاده از آرایش چهار قطبی متقارن شلومبرژه 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 می‌شود، آنگاه اختلاف پتانسیل ایجاد شده از طریق الکترودهای گیرنده (M, N) که به دستگاه پتانسیومتر وصل است برای مطالعه عمق‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. چون میزان مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب نوع و جنس زمین، میزان تراکم، رطوبت و املاح موجود در آن تغییر می‌کند لذا از این فاکتور می‌توان برای شناسایی لایه‌های مختلف زمین استفاده نمود (Kalagari, 1991).

**روش اندازه‌گیری:** در مطالعات ژئوالکتریک، زمین مانند یک الکترولیت عمل نموده و مقاومت ویژه الکتریکی " Specific Electrical Resistulty" مربوط به آن که مقاومت واحد حجم سنگ‌ها و یا رسوبات آبرفتی است، از رابطه ۱:

رابطه ۱)

$$\rho = k \Delta v / I$$

اندازه‌گیری می‌شود که در رابطه اخیر:

$\rho$ : 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

$\Delta v$ : اختلاف پتانسیل بر حسب ولت می‌باشند. چون میزان مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب نوع و جنس زمین، میزان تراکم، رطوبت و املاح موجود در آن تغییر می‌کند لذا از این فاکتور می‌توان برای شناسایی لایه‌های مختلف زمین استفاده نمود. لازم به ذکر است که رسوبات ریز دانه با تراوایی و آبگذری محدود (با تخلخل مفید ناچیز) همچنین آب در درز و شکاف سازند سخت و تخلخل ناشی از آن و پهنه دگرریختی و زون خرد شده آن 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 می‌باشند و به این ترتیب به تجربه می‌توان وجود آبخوان را با این روش تحلیل، تفکیک و شناسایی نمود.

**روش کار:** در این مطالعه ابتدا با گردآوری داده‌های زمین شناسی و تکتونیک منطقه محدوده‌های گسلی با روش‌های مطالعات ژئوفیزیکی مورد کاوش قرار می‌گیرند تا انتقال

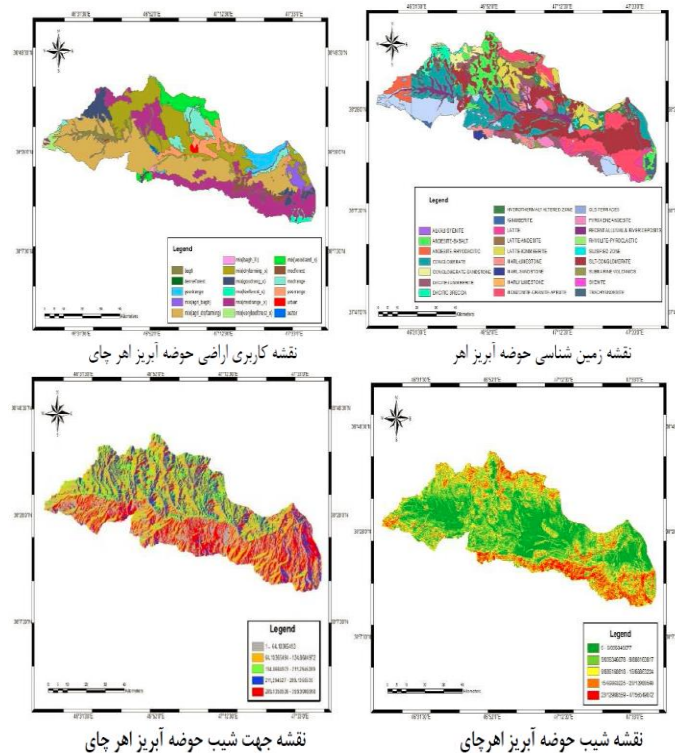


داغ و قوشا داغ است که از قله‌های مرتفع آن قوشا داغ با ارتفاع حدود ۳۴۰۰ متر می‌باشد. از رودهای مهم آن اهر چای و قره چای می‌باشند. در شکل ۲ نقشه‌های زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب و جهت شیب حوضه آبریز اهر چای که محدوده مطالعاتی بخشی از شاخه‌های فرعی این حوضه در قسمت میانی (شمال) آن می‌باشد نشان داده شده است.

منطقه کوهستانی است به طوری که بیش از حدود ۴۰ درصد از روستاهای آن در دامنه‌های این کوهستان قرار گرفته‌اند. آب و هوای این شهرستان دارای زمستان‌های سرد و تابستان معتدل است. علاوه بر آب‌های گرم معدنی و از نظر آب وهوا منطقه زیبایی به شمار می‌رود. جمعیت آن بالغ بر ۱۰۰,۶۴۱ نفر می‌باشد. بلندترین کوه‌های آن قره



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان اهر، واقع در قسمت شمال شرق استان آذربایجان شرقی که موقعیت محدوده مطالعاتی با مربع قرمز نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب و جهت شیب حوضه آبریز اهر چای که محدوده مطالعاتی بخشی از شاخه‌های فرعی این حوضه در قسمت میانی (شمال) آن می‌باشد.



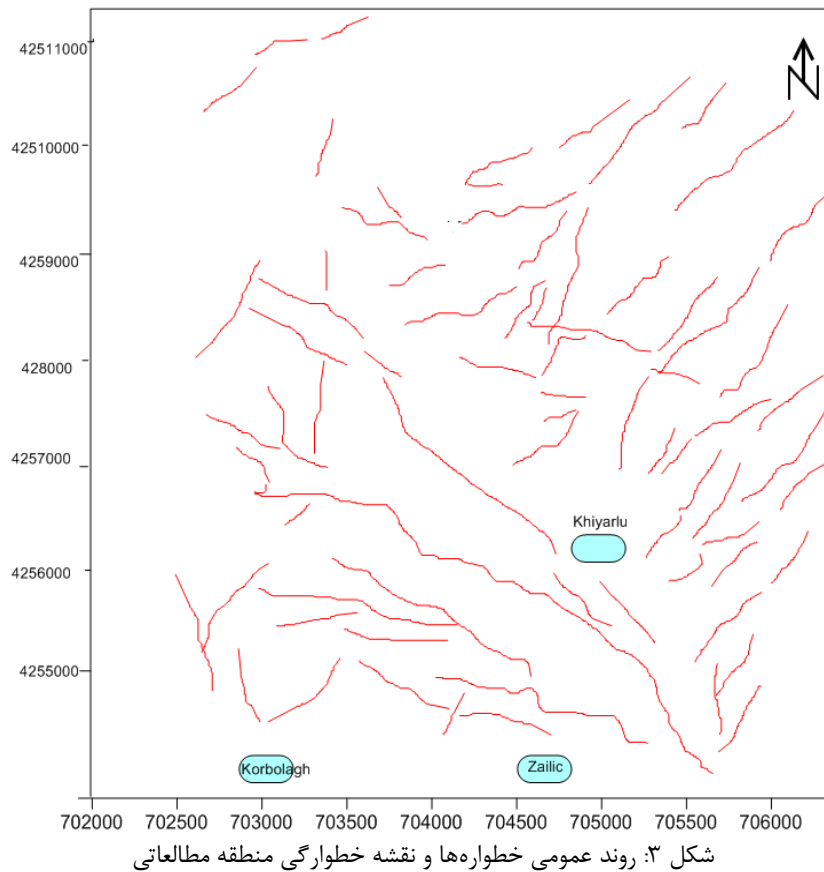
## زمین ساخت محدوده مطالعاتی

با توجه به اهمیت درز و شکستگی‌ها و گسل‌ها در سنگ و سازندهای سنگی که عمده تبادلات سیال در آنها از طرق گسل‌ها صورت می‌گیرد، اهمیت گسل‌ها در این خصوص روشن می‌گردد و نیاز به مطالعه آنها در چنین مطالعاتی ضرورت خاصی می‌یابد. از این رو در بخش جداگانه‌ای تکتونیک این ناحیه مورد بررسی بیشتری قرار می‌گیرد. گستره آذربایجان به دلیل پیچیدگی‌های فراوان که از لحاظ تکتونیکی، رسوبگذاری، ماگماتیسم و متامورفیسم دارد، اغلب در رده‌بندی‌های زمین ساختی ایران جایگاه متفاوتی را اشغال کرده است. از لحاظ ساختاری گسل‌های شاخص و مهمی در این گستره فعالند که از دیدگاه لرزه زمین ساخت حائز اهمیت زیادی هستند. علی‌رغم وسعت اندک این بخش در مقایسه با دیگر بخش‌های ایران، از لحاظ روندهای ساختاری پیچیدگی‌های خاصی در آن دیده می‌شود (Zamani, 2016). در این بخش از پژوهش با استفاده از کارهای انجام شده تاکنون، زمین ساخت و ساختارهای منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

## بررسی گسل‌ها و خطوارگی‌ها

محدوده مورد مطالعه از نظر ساختاری از گسل‌ها و چین‌های متعدد شکل گرفته است که در بعضی بخش‌ها با فعالیت‌های انسانی و ترانشه‌های ایجاد شده این ساختارها برنزد یافته است. بدلیل اهمیت شکستگی‌ها و گسل‌ها در انتقال و ذخیره آب‌های زیرزمینی و گاه مانع شدن از انتقال آب به بررسی موقعیت و چگونگی گسترش چنین ساختارهایی در ناحیه می‌پردازیم. محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیکی در بخش شمال گسل مهم راندگی جنوب اهر قرار گرفته است. با توجه به اینکه گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه شاخه‌های فرعی این ساختار مهم در آذربایجان می‌باشند که تکتونیک کل منطقه را تحت تاثیر خود دارد، انتظار می‌رود ساختارهای زمین‌شناسی معدن شهید شکوری نیز به طور خاصی از این سیستم (گسل) تبعیت کند. ارتباط این شکستگی‌ها با یکدیگر و با سفره‌های گسلی احتمالی موجود در ناحیه، در کاوش‌های تحت الارضی

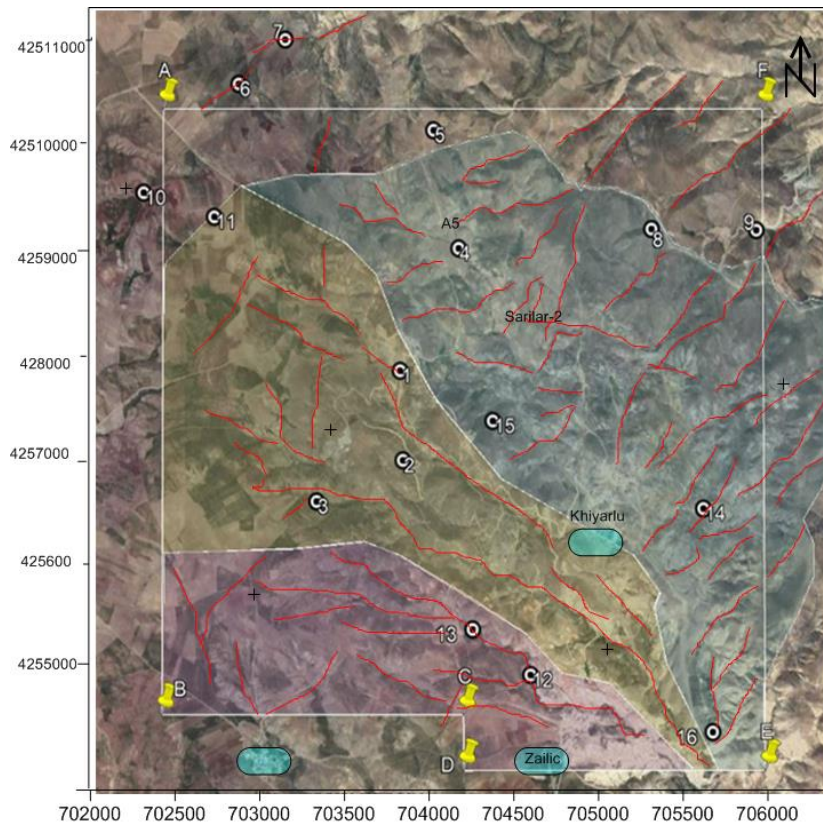
با بکارگیری شیوه‌های لازم در محدوده این شکستگی‌ها می‌توان گسل‌های دارای پتانسیل آبخوان را اکتشاف نمود. در این ارتباط با انتخاب موقعیت‌های مناسب (در مسیر این شکستگی‌ها از نظر امتداد و شیب شکستگی) که توان عبور دهی آب‌های زیرزمینی در امتداد شکستگی وجود داشته باشد و نیز گزینش مکان‌های مناسب از این نظر که توان تشکیل و ذخیره‌سازی آب به عنوان یک آبخوان در عمق و در امتداد و یا محل برخورد چند شکستگی وجود داشته باشد گزینش مکان‌هایی جهت انجام سونداژ صورت گرفته است. شاخه‌های فرعی گسل‌های یاد شده به خصوص در محدوده‌های میانی منطقه مورد مطالعه با روند شمال غرب - جنوب شرق تابع گسل جنوب اهر هستند. روندهای شمال غربی - جنوب شرقی به تبعیت از این گسل و راندگی جنوب اهر، محدوده‌هایی را تشکیل داده‌اند که مناطق امید بخشی از نظر امکان ذخیره و هدایت آب‌های زیرزمینی می‌باشند. روند عمومی و نقشه خطوارگی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای شرق فلات آذربایجان (Zamani and Masson, 2014) استخراج شده است. جهت بررسی خطواره‌ها با جزئیات بیشتر نقشه بزرگ مقیاس منطقه با تصاویر سنجنش گر Spot-5 و Landsat-8 تهیه و پردازش گردیده که پس از تصحیح و فیلترگذاری خطواره‌های تکتونیکی به صورت شکل ۳ را بدست داده است. روند غالب خطوارگی در این منطقه شمال غرب - جنوب شرق بوده و در شاخه‌های فرعی روندهای شمال غربی - جنوب شرقی نیز دیده می‌شود. بررسی خطواره‌های گسلی مذکور محدوده‌های خرد شده و تکتونیکی با پتانسیل بالاتر برای تشکیل آبخوان‌های گسلی را مشخص می‌نماید و در مرحله بعدی با بررسی‌های تکتونیک و در محدوده‌های با پتانسیل بالا آزمایش و کاوش‌های تحت الارضی انجام گرفته است.



## نتایج

نتایج بدست آمده از بررسی‌های تحت‌الارضی با ژئوفیزیک مقاطع VES: در این مطالعات محدوده معدن شهید شکوری اهر (شکل ۴) که تحت مطالعه کاوش‌های تحت‌الارضی قرار گرفته است، نخست با استفاده از تصاویر دورسنجی و با تهیه نقشه خطواره‌ها و با بررسی‌های نوکتونیک گسل‌های فعال منطقه شناسایی شده و با بررسی صحرایی بخش‌های مختلف، مناطقی که دارای پتانسیل خرد شدگی بالا بوده‌اند مشخص شده‌اند تا تحت ارزیابی ژئوفیزیکی قرار گرفته و وجود پتانسیل گسلی برای ذخیره یا انتقال سیال در آنها مشخص و محرز گردد. به این ترتیب در ارتباط با نقشه‌های دورسنجی (شکل ۵) مشخص شده است که عملکرد گسلش یا محل برخورد چند گسل و

شکستگی فعال پتانسیل تشکیل زون خرد شده را می‌توانند دارا باشند (Samani and Zamani, 2012) و از این رو برنامه‌ریزی جهت اجرای سونداژ و شناسایی گسلش زون خرد شده دارای پتانسیل گذر پذیری برنامه‌ریزی صورت گرفته است. علاوه بر موارد یاد شده در رابطه با بررسی‌های دورسنجی محدوده‌های یاد شده در مرحله بعد با انجام مطالعات سیستماتیک زمین‌شناسی سطح‌الارضی و با مد نظر قراردادن چینه‌شناسی، هیدروژئولوژی، مورفوتکتونیک نوکتونیک و تکتونیک ناحیه، بررسی شده و بهینه‌ترین مقاطع برای کاوش آب انتخاب شده‌اند. البته به تدریج با انجام سونداژهای ژئوالکتریک در هر مرحله و تحلیل نتایج به دست آمده، موقعیت اجرای سونداژها و مقاطع بعدی مورد بازنگری قرار گرفته‌اند.



شکل ۴: نقشه خطواره‌ها و گسل‌های عمده مشخص شده با بررسی تصاویر دورسنجی و موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک که با شماره نشان داده شده‌اند. محل و نام روستاها نیز در کنار اشکال بیضی رنگ نمایش داده شده است. محدوده ثبتی معدن با خط سفید و حروف A تا E نشان داده شده است.

مطالعات ژئوالکتریک در محدوده مورد مطالعه: یکی از روش‌های معمول اندازه‌گیری مقاومت ویژه بخصوص برای مطالعه لایه‌های افقی گمانه‌زنی قائم الکتریکی است که در آن عمق نفوذ جریان تابعی از فاصله الکترودی هر آرایه است. در آرایه شلومبرژه فاصله الکترودهای پتانسیل از یک پنجم فاصله الکترودهای پتانسیل بیشتر نیست. در این مطالعه به منظور تعیین گستره تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌های آبرفتی، ذخایر سازندها و تعیین لایه‌های آبدار احتمالی در محدوده مطالعاتی و تفکیک لایه‌های زیرزمینی براساس مقاومت ویژه الکتریکی آنها، سونداژهای الکتریکی با طول فرستنده حداکثر تا ۵۰۰ متر طراحی و برداشت شده است. موقعیت سونداژهای انجام شده در این مطالعات در بخش‌های مختلف طرح در شکل ۵ نمایش داده شده است. نتایج تحلیل و مدل‌سازی سونداژهای نمونه که در آنها پتانسیل نفوذپذیری و یا گسل‌های تیپیک دارای زون خرد شده دارای سیال اکتشاف شده است (بجز سونداژهای شناسایی و الگو) در شکل‌های ۶ تا ۹ نمایش

با انجام آزمایش‌های پایه VES و ترسیم برش‌های زیرسطحی و شبه مقطع (Pseudo section) وضعیت وجود یا عدم وجود آبخوان و در صورت موجود بودن آب زیرزمینی، وضعیت گسترش آبخوان‌ها و موقعیت آنها در عمق زمین قابل ارزیابی گردید. مدل‌سازی و مقایسه نتایج با استفاده از نرم افزار IPI2WIN صورت گرفته است. با استفاده از این نتایج امکان تجسم مدل‌های ۲ بعدی گسترش آبخوان‌ها را فراهم ساخته که شناسایی محدوده های دارای پتانسیل گذردهی به این ترتیب از طریق نقشه های مذکور با دقت کافی امکان‌پذیر شده است. در این مطالعه تعداد ۲۴ سونداژ ژئوالکتریک با هدف شناسایی گسل‌هایی که دارای پتانسیل نفوذپذیری و انتقال سیال هستند اجرا شده است که موقعیت آنها در شکل ۵ ارائه شده است. سه مورد به چنین گسل‌هایی برخورد شده است که نمودار و توصیف آنها ذیلا توضیح داده شده است و نمودار مابقی که نفوذپذیری نداشته‌اند جهت تلیخیص در پیوست یک ارائه گردیده‌اند. تفسیر نتایج به دست آمده از

در جهت اکتشاف آب در پروژه‌های دیگر انجام داده است بهره برده شده است تا در جهت تدقیق نتایج حاصله حداکثر دقت لحاظ گردد. به این ترتیب محدوده تغییرات مقاومت ژئوالکتریک واحدهای آبرفتی و سنگی متمایز گردیده که در جدول ۱ مشخصات آنها خلاصه شده است.

داده شده است. با اجرای سونداژهای مشاهداتی در برونزدهای موجود و نیز محل مظهر چشمه‌ها مقادیر مقاومت‌های ژئوالکتریک نمونه‌گیری گردیده است تا بعنوان شاهد جهت تدقیق نتایج از آنها استفاده گردد. همچنین از نتایج کارهای قبلی که مولف در مجاورت محدوده مطالعاتی

جدول ۱: محدوده تغییرات مقاومت ژئوالکتریک واحدهای آبرفتی و سنگی در محدوده مطالعاتی.

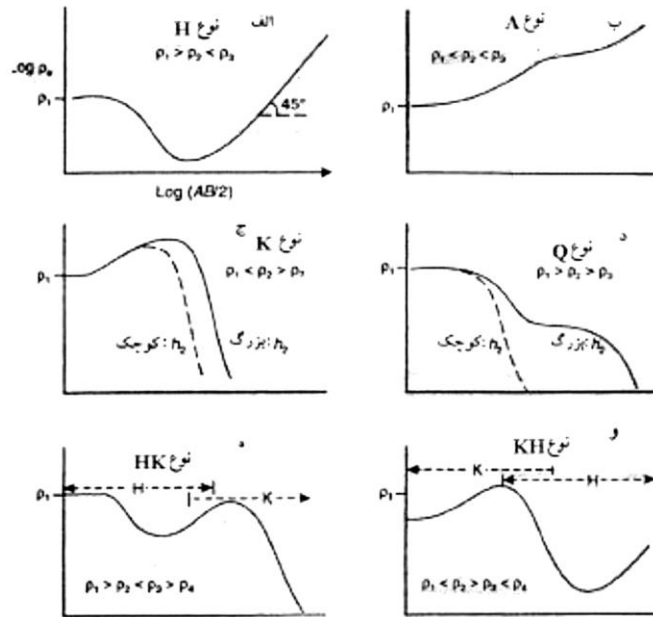
واحد زمین‌شناسی	محدوده تغییرات مقاومت ژئوالکتریک به اهم متر	توضیح
آبرفت	۱۶۰-۱۳۰	بدون رطوبت
آبرفت (مرطوب)	۱۲۰-۹۰	بدون اشباع شدگی
آندزیت	۸۰۰-۲۰۰	
آندزیت هوازده	۲۹۰-۱۸۰	
زون گسلی در آندزیت	۴۶-۳۶	

زد. منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری مدل‌های سه لایه‌ای در یکی از چهار نوع  $A, K, H$  و  $Q$  می‌باشند. شکل منحنی‌های مقاومت ویژه اشلومبرژه وابسته به ضخامت لایه واقع بین دو لایه فوقانی و تحتانی آن است. نتیجه این سونداژ و مدل‌سازی نشان می‌دهد که از محدوده عمق ۱۵ متر شروع زون اشباع در آبرفت‌های حاشیه دره گسلی بوده و پس از آن مقاومت‌های بدست آمده همراه با رزیستویته‌های مدل شده دلالت بر وجود آبخوانی در زون گسلی با مقاومت کم‌تر تا عمق‌های مورد کاوش و تا ۱۵۰ متر دارد. به‌طور معمول لایه‌های نزدیک به سطح زمین نسبت به لایه‌هایی که در عمق پایین‌تری قرار دارند با دقت بهتری مشخص می‌شوند. چون با افزایش طول ارائه که برای لایه‌های عمیق‌تر بکار می‌روند نسبت سیگنال به نوفه کاهش می‌یابد و در نتیجه دقت برای لایه‌های عمیق‌تر کاهش می‌یابد (Nouwozi, 2002).

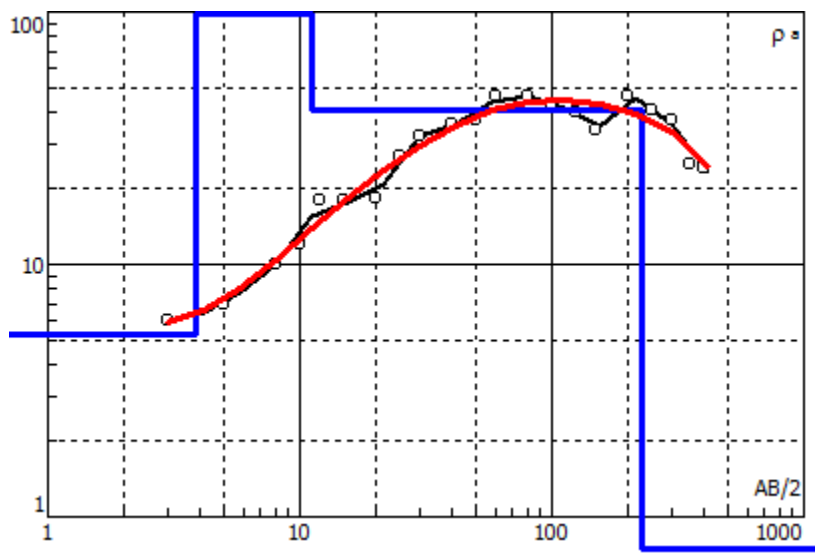
موقعیت سونداژ شماره ۷ که در شمال شرق معدن و در خارج و درمرز محدوده ثبتی معدن شهید شکوری و محدوده ثبتی خرس سفید قطب اجرا شده است در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۶ تصویری از محل سونداژ اجرا شده را نشان می‌دهد. این سونداژ بر روی چشمه گسلی که در این محدوده سنگ‌های دایکی نیز درون آن نفوذ کرده‌اند انجام گرفته است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل‌سازی انجام شده در شکل ۷ نشان داده شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود این نمودار، یک محیط چندلایه‌ای (Multilayer) نشان می‌دهد و از تیپ KH منحنی‌های سوندینگ اشلومبرگر بوده و یک مدل سه لایه‌ای را به نمایش گذاشته است. این شکل مقاومت ویژه ظاهری را در مدل دو لایه‌ای ساده نشان داده است و به راحتی می‌توان حدود مقاومت ویژه لایه اول و دوم را به ترتیب از مقاومت ویژه ظاهری شروع منحنی و قسمت پایانی منحنی حدس



شکل ۵: تصویری از محل سونداژ اجرا شده شماره ۷ که خط گسل و محل چشمه گسلی (با بیضی آبی) نشان داده شده است.



شکل ۶: انواع منحنی‌های سوندینگ مقاومت ویژه (بر گرفته از (Nouwozi, 2002).



شکل ۷: منحنی سوندینگ سونداژ ۷

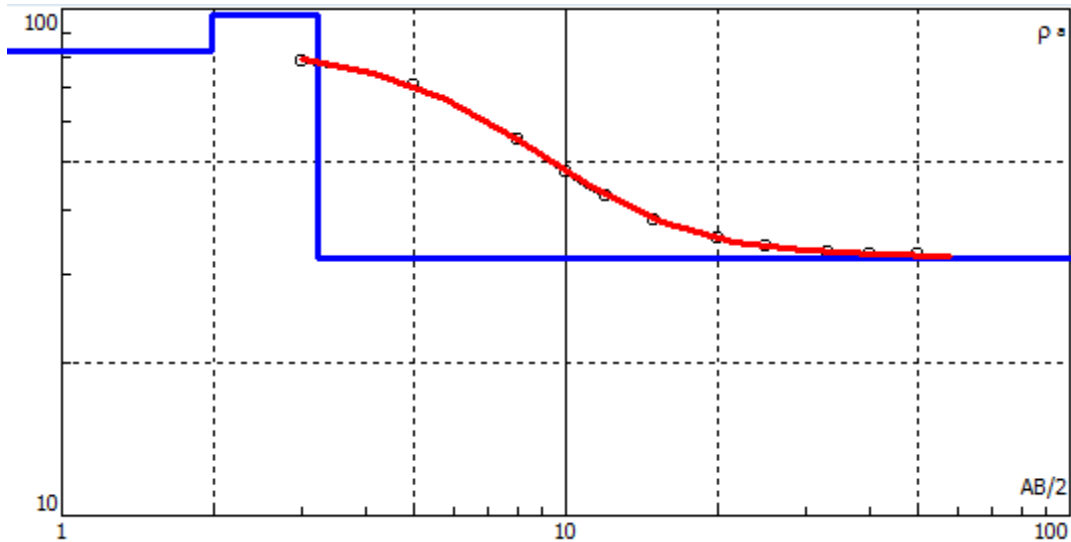
این روش را که فیلتر رقومی خطی نامیده می‌شود توسعه داده است. به این ترتیب منحنی مقاومت ویژه ظاهری به یک مدل  $n$  لایه‌ای تجزیه می‌شود که متغیرها ضخامت و مقاومت ویژه لایه‌ها هستند. پس از آن مقاومت ویژه ظاهری مدل محاسبه و با منحنی صحرائی مقاومت مقایسه می‌گردد. این امر در این طرح با استفاده از نرم‌افزار IPI2WIN چنانکه ذکر گردید انجام گرفته است. موقعیت سونداژ شماره ۱۶ که در شمال شرق روستای زایلپیک و چشمه گسلی شمال این روستا اجرا شده است در شکل ۵ نشان داده شده است. نتیجه تحلیل این سونداژ همراه با مدل سازی انجام شده در شکل ۸ و محور گسلی در شکل ۹

بنابراین قرارگیری لایه آبدار در این سونداژ در سطوح بالاتر دلیل بر دقت بالای تفسیر آن خواهد بود. همچنین چون فاصله الکترودی این سونداژ کوتاه است (بخصوص در عمق آبخوان) بنابراین مقاومت ویژه ظاهری به سمت مقاومت ویژه لایه دوم تمایل خواهد داشت. در تیپ منحنی KH این امر با تمایل افت منحنی اشلومبرژه انطباق دارد. در سال ۲۰۱۰، قوش (Ghosh, 2010) روشی را معرفی کرد که با استفاده از کانولوشن (convolution) می‌توان منحنی‌های مقاومت ویژه را با کمک رایانه محاسبه و مدل کرد. با این روش تهیه سرمنحنی‌های گمانه‌زنی قائم برای آرایش وئر و اشلومبرژه امکان‌پذیر می‌شود. کوفود (Koefood, 1979)



حدود ۲۰ متر آبخوان دارد. بررسی نتایج بدست آمده و نمودار حاصله و مقایسه سنگهای دو طرف دره اصلی آبراهه زایلیک گسلی بودن این محور مشخص می‌شود و این امر در عمق زمین نیز با نتایج ژئوفیزیک آشکار شده که محل این سونداژ را گسل بدست می‌دهد. بنابراین باید گسلی بودن این دره را که با شواهد سطح الارضی و نیز تصاویر سنجش از دور نیز قابل ارزیابی است تایید نمود.

نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود این نمودار، یک محیط چندلایه‌ای نشان می‌دهد و از تیپ KH منحنی های سوندینگ اشلومبرگر بوده و یک مدل چندلایه‌ای را به نمایش گذاشته است. نتیجه این سونداژ و مدل سازی نشان می‌دهد که در محدوده عمق حدود ۲۰ متر لایه‌های تراوا وجود دارند و پس از آن مقاومت‌های بدست آمده همراه با رزیستویته های مدل شده دلالت بر وجود ضخامت در



شکل ۸: منحنی سوندینگ سونداژ ۱۶



شکل ۹: گسل محل سونداژ ۱۶ و دره گسلی آن. محل سونداژ در دره، با فلش و محور دره گسلی با خط قرمز نشان داده شده است.

سنجی بوجود آورده است (شکل ۱۰) و از طرفی وجود مئاندری که از نظر نوکتونیک حاکمی از فرا رانش گسلی فعال در این محدوده است اجرا گردیده است. نتیجه تحلیل

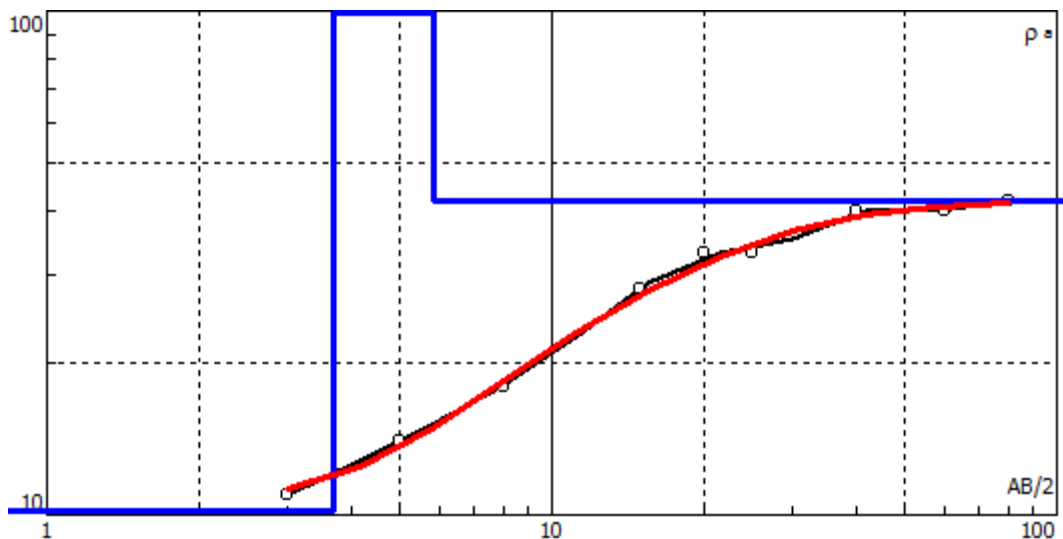
سونداژ شماره ۹ در محدوده غرب روستای پینه جیک انجام گرفته است و یک محدوده پهنه گسلی خرد شده‌ای را با توجه به شواهد زمین‌شناسی سطح الارضی و تصاویر دور

آبداری وجود دارد که از میان لایه‌های بدون آب تشکیل شده است. لیکن زون اشباع ارزشمندی که آبخوان ضخیم و ارزشمندی داشته باشد وجود ندارد. از این رو برای تامین بخشی از نیازهای روستاهای مجاور مناسب خواهد بود.

این سونداژ همراه با مدل‌سازی انجام شده در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود این نمودار، یک محیط دو لایه‌ای نشان می‌دهد و از تیپ K منحنی‌های سوندینگ اسلومبرگر است. نتیجه این سونداژ و مدل‌سازی نشان می‌دهد که از عمق حدود ۴۰ تا ۲۰ متر لایه‌های



شکل ۱۰: موقعیت سونداژ شماره ۹ اجرا شده در محدوده غرب روستای پینه جیک.



شکل ۱۱: منحنی سوندینگ سونداژ ۹

ظاهری در آرایه اسلومبرژه با خطی به شیب ۴۵ درجه مجانب می‌شود (Nouwrozi, 2002). چنین وضعی در

معمولاً اگر سنگ کف در محدوده مورد بررسی بسیار مقاوم باشد قسمت انتهایی منحنی (سمت راست) مقاومت ویژه

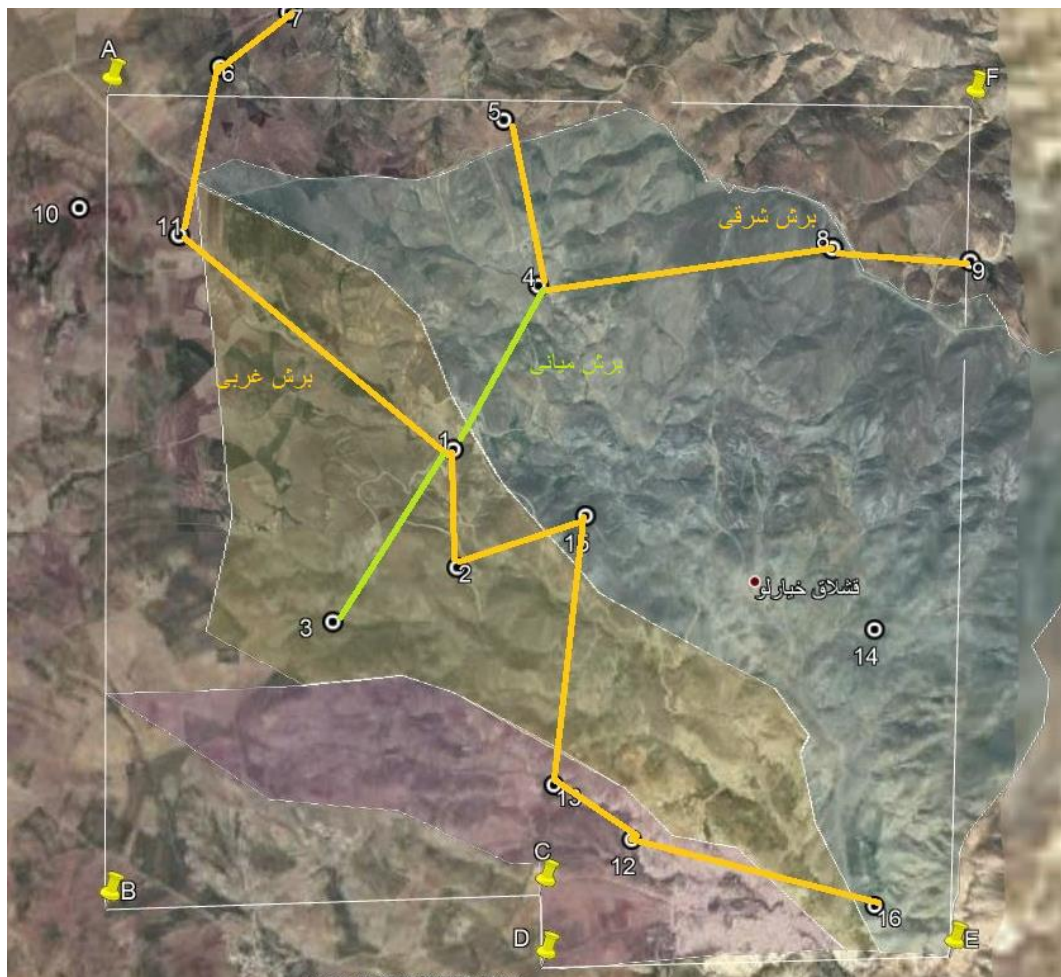


AB/4 در نظر گرفته شده است) بنابراین نقشه‌های حاصله می‌تواند گویای وضعیت تغییر این برآیند در جهت قائم در محدوده مورد مطالعه باشد. از مقایسه برش‌های تحت الارضی و شبه مقطع در بخش‌های مختلف منطقه می‌توان به چگونگی روند تغییرات مقاومت ویژه با عمق در بخش‌های مختلف و در مقایسه با نقشه‌های نمایشگر آنیزوتروپی به صورت کیفی نیز پرداخت. موقعیت برش‌های زیرزمینی و برش‌های شبه مقطع طرح شده با هدف بهینه یابی موقعیت چاه پیشنهادی جهت حفر در شکل‌های زیر در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین تعداد و شماره سونداژهای هر پروفیل به تفکیک در جدول ۲ ذکر گردیده است.

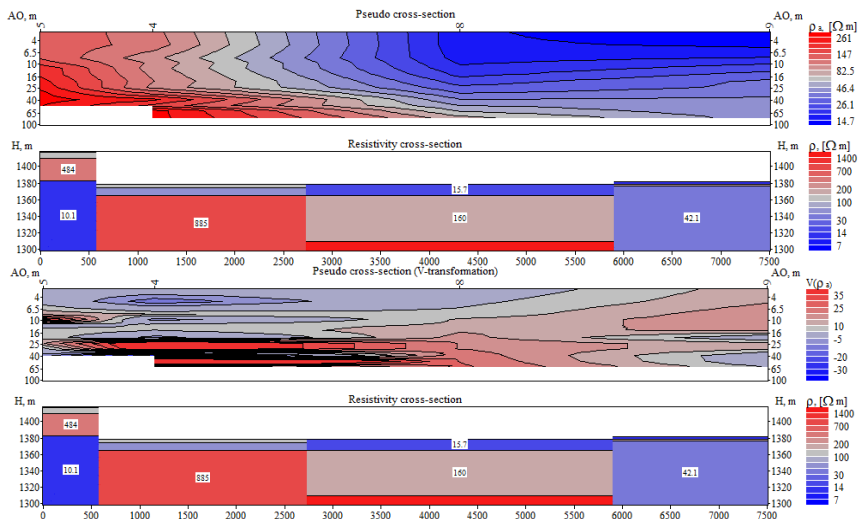
منحنی‌های ۱، ۳، ۱۴، ۱۵ و ۹ (پیوست یک) دیده می‌شود که در انطباق با نقشه گسترش سنگ نفوذ ناپذیر (شکل ۱۲) گستره سنگ کف را نیز نشان می‌دهند. بررسی برش‌های زیر زمینی و شبه مقطع: جهت نمایش تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی در جهت قائم در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه و به منظور ارزیابی گستره محدوده‌های محتمل بر وجود آبخوان در بعد قائم برش‌های زیر زمینی و شبه مقطع طرح شده است. در این مورد نیز چون مقاومت ویژه ظاهری را می‌توان به صورت برآیند مقاومت ویژه الکتریکی در جهت قائم به پهنای فاصله الکترودهای پتانسیل MN و با طولی متناسب با طول AB در نظر گرفت، (عمق موثر نفوذ جریان چنانکه ذکر شد به طور متعارف

جدول ۲: شماره پروفیل‌ها و سونداژهای هر یک

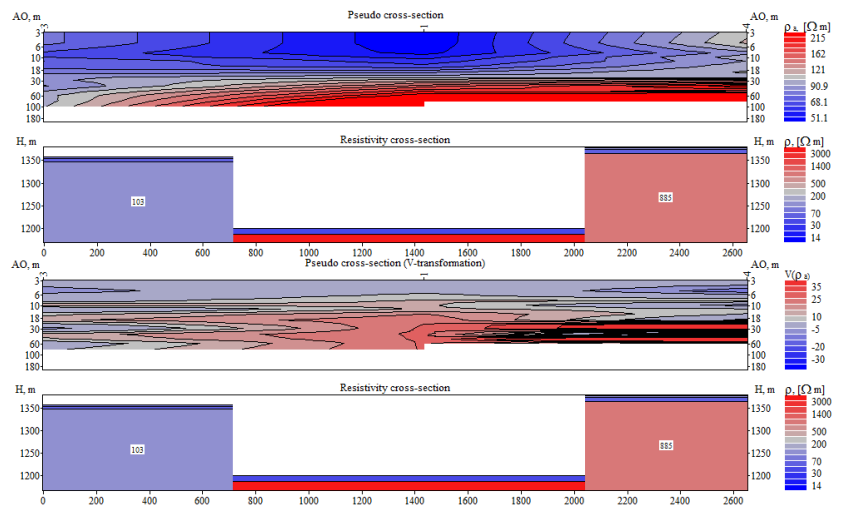
پروفیل	تعداد سونداژ	شماره سونداژها	توضیح
شرقی	۴	۹ و ۸ و ۴ و ۵	
میانی	۳	۳ و ۱ و ۴	
غربی	۹	۱۶ و ۶ و ۱۱ و ۲ و ۱۵ و ۱۳ و ۱۲ و ۱۶	



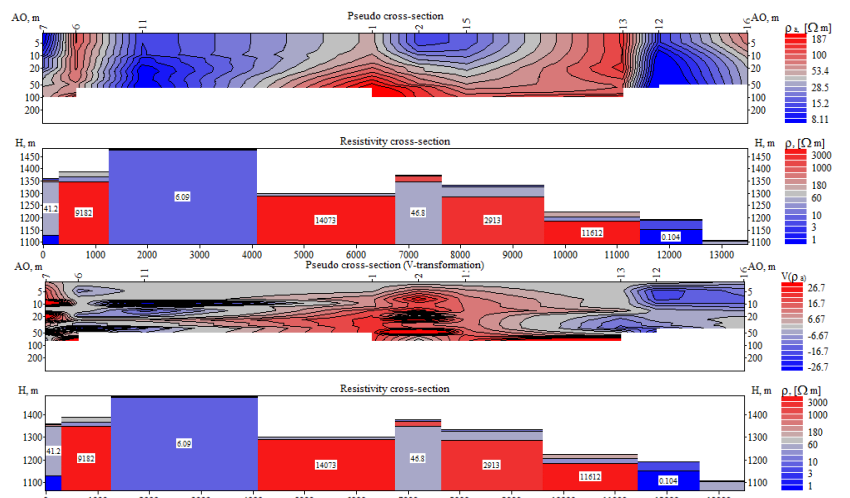
شکل ۱۲: موقعیت پروفیل‌ها و مقطع ژئوالکتریک و شبه مقطع



شکل ۱۳: مقطع ژئوالکتریک و شبه مقطع در فاصله سونداژهای محدوده برش شرقی - به ترتیب از بالا شبه مقطع هم مقاومت ویژه، و شبه مقطع هم مقاومت ویژه با ترنسفورم قائم



شکل ۱۴: مقطع ژئوالکتریک و شبه مقطع در فاصله سونداژهای برش میانی - بترتیب از بالا شبه مقطع هم مقاومت ویژه، و شبه مقطع هم مقاومت ویژه با ترنسفورم قائم



شکل ۱۵: مقطع ژئوالکتریک و شبه مقطع در فاصله سونداژهای محدوده برش غربی به ترتیب از بالا شبه مقطع هم مقاومت ویژه، و شبه مقطع هم مقاومت ویژه با ترنسفورم قائم

نمایش داده شده است که غلبه مقاومت‌های بیش از ۱۲۰ اهم متر در بیشتر بخش‌ها را نشان می‌دهد. همچنین گسلی در عمق این محدوده در نتایج سونداژ دیده نمی‌شود. در شکل ۱۸-۶ تغییرات نفوذپذیری محاسبه شده با مقاومت ژئوالکتریک بدست آمده از آزمایش‌های ژئوفیزیک در محدوده دیوهای معدن شهید شکوری نشان داده شده است که غلبه با نفوذپذیری‌های کمتر از ۴ و در واقع نفوذناپذیری پی سنگ محل دیوها است. از این رو انتظار می‌رود نفوذ آبهای سطحی و آلودگی‌های محتمل از سطح به درون درز و شکاف و نیز چشمه‌های گسلی در حد صفر باشد.

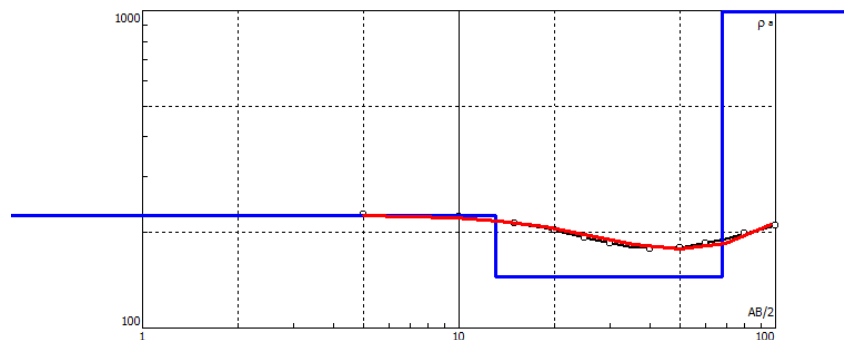
بررسی نفوذ پذیری گسل‌ها در سنگ بستر محدوده‌های دیو سد باطله و محل کارخانه با آزمایش‌های ژئوفیزیک: جهت بررسی احتمال نفوذپذیری از طریق گسل‌های موجود و سنگ بستر محدوده‌های دیو سد باطله و محل کارخانه آزمایش‌های ژئوفیزیک طراحی و اجرا گردید. در این خصوص در هر محدوده سونداژهای ژئوالکتریک جهت برآورد نفوذپذیری واحدهای سنگ بسترو گسل‌ها اجرا گردیده است. نقشه محل اجرای سونداژها در شکل ۱۶ در زیر نشان داده شده است. در شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تغییرات مقاومت ژئوالکتریک در محدوده دیوهای معدن



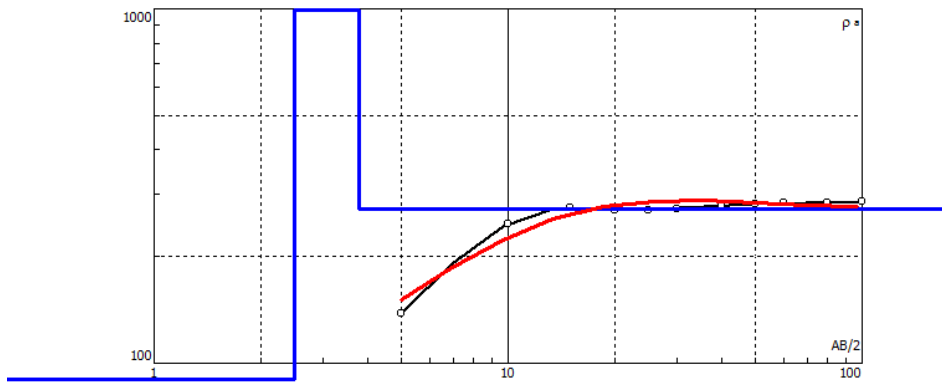
شکل ۱۶: نقشه محل اجرای سونداژهای ژئوالکتریک در محدوده هر دیو که جهت برآورد نفوذپذیری واحدهای سنگ بستر اجرا گردیده‌اند.

شاهد نشانگر این است که مقاومت‌های بیش از ۱۲۰ اهم متر مربوط به سنگ‌های آذرین در منطقه است. در شکل‌های زیر با توجه به شماره سونداژ اجرا شده در هر یک از محل‌های دیو (شکل‌های ۱۷ تا ۲۱) نمودار تغییرات مقاومت نسبت به عمق نمایش داده شده است.

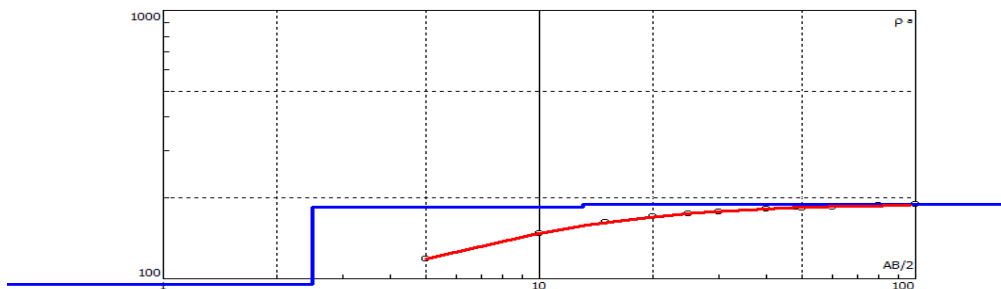
نتایج بدست آمده در تمامی سونداژهای ژئوالکتریک اجرا شده در محل دیوی مواد معدنی و سد باطله و محل کارخانه نشانگر مقاومت ژئوالکتریک عمدتاً بیش از ۲۰۰ اهم متر و به‌طور متوسط بالای ۱۶۰ اهم متر هستند که نشانگر حضور سنگ‌های آذرین نفوذ ناپذیر است. مقاومت سونداژهای



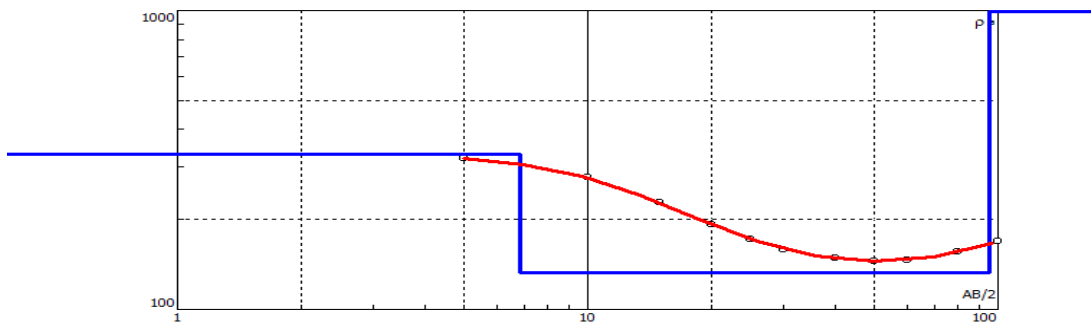
شکل ۱۷: منحنی تغییرات مقاومت ژئوالکتریک سونداژ ۱۸ در شرق و پایین دست محل دیو s1-s2 نسبت به عمق نمایش داده شده است.



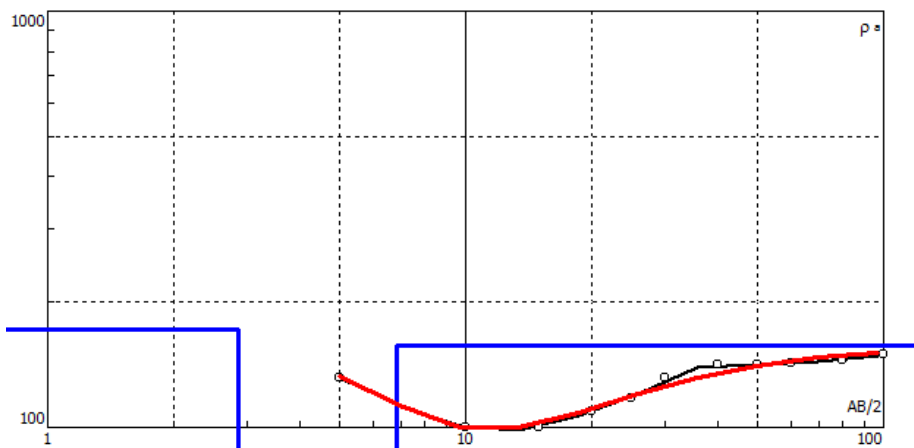
شکل ۱۸: منحنی تغییرات مقاومت ژئوالکتریک سونداژ ۱۹ در محل دپو S4-S5-2 نسبت به عمق نمایش داده شده است.



شکل ۱۹: منحنی تغییرات مقاومت ژئوالکتریک سونداژ ۲۰ در محل دپو S6-S7 نسبت به عمق نمایش داده شده است.

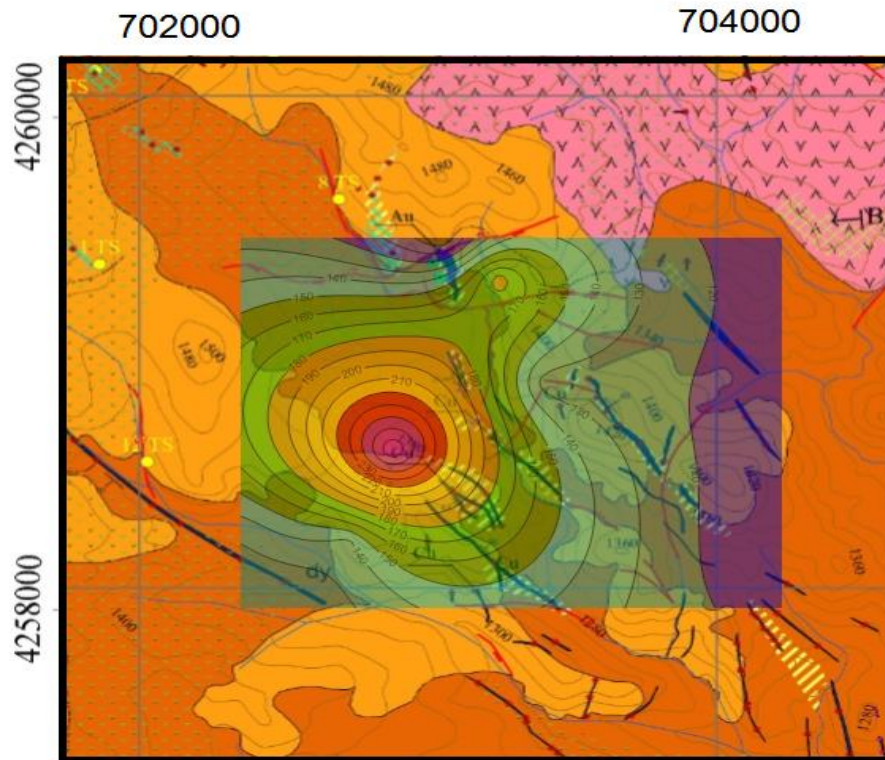


شکل ۲۰: منحنی تغییرات مقاومت ژئوالکتریک سونداژ ۲۱ در محل سد باطله - جناح چپ که نسبت به عمق نمایش داده شده است.



شکل ۲۱: منحنی تغییرات مقاومت ژئوالکتریک سونداژ ۲۲ در محل جنوب و زیردپو S3 که نسبت به عمق نمایش داده شده است.

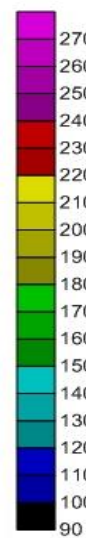




**LEGEND**

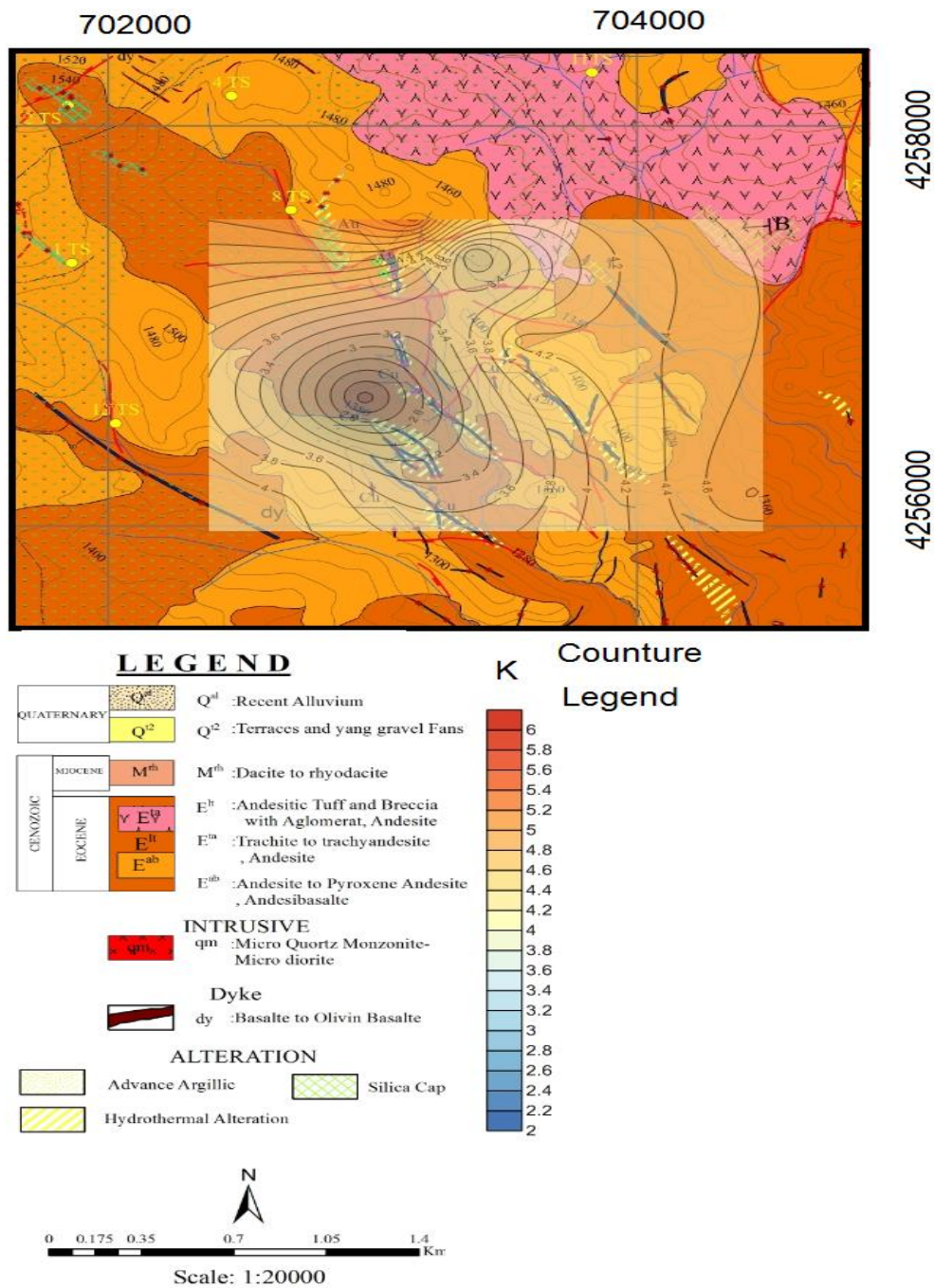
QUATERNARY		Q <sup>al</sup> :Recent Alluvium	
		Q <sup>2</sup> :Terraces and yang gravel Fans	
CENOZOIC	MIOCENE	M <sup>th</sup> :Dacite to rhyodacite	
	Eocene	E <sup>tr</sup> :Andesitic Tuff and Breccia with Agglomerat, Andesite	
		E <sup>tr</sup> :Trachite to trachyandesite, Andesite	
		E <sup>ab</sup> :Andesite to Pyroxene Andesite, Andesibasalte	
<b>INTRUSIVE</b>			
	qm :Micro Quartz Monzonite-Micro diorite		
<b>Dyke</b>			
	dy :Basalte to Olivin Basalte		
<b>ALTERATION</b>			
	Advance Argillic		Silica Cap
	Hydrothermal Alteration		

**Counture Legend**

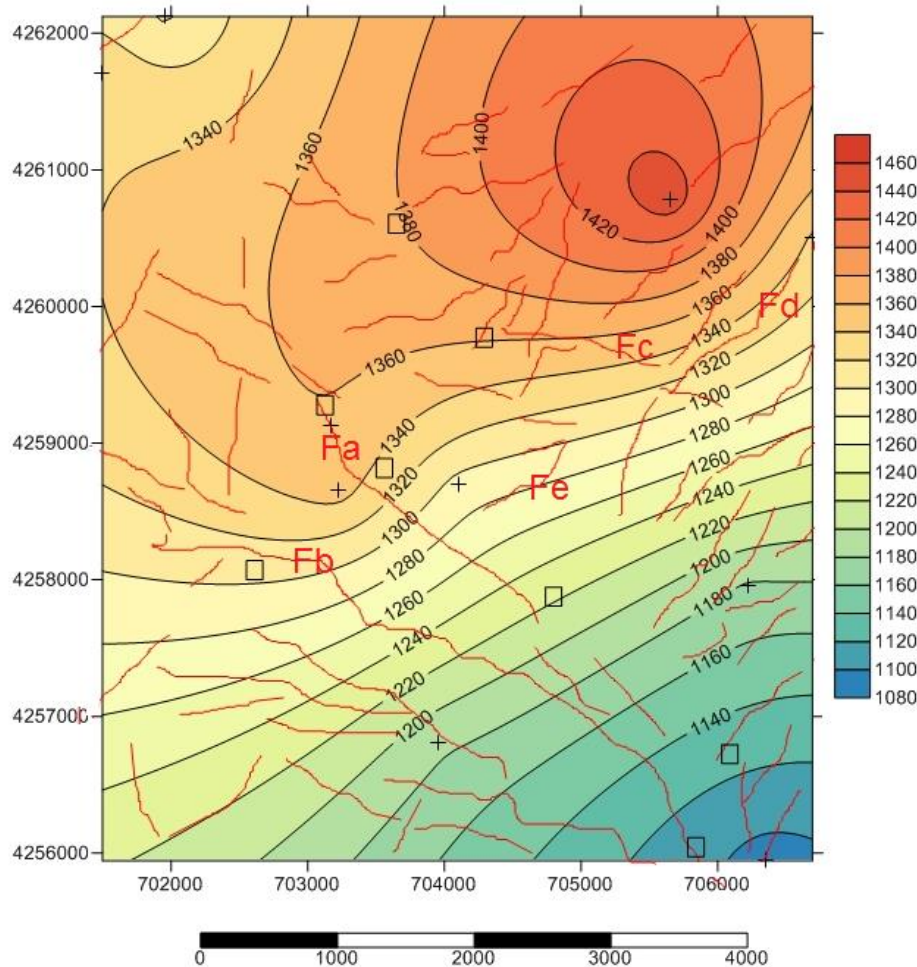


Scale: 1:20000

شکل ۲۲: تغییرات مقاومت ژئوالکتریک در محدوده دیوهای معدن شهید شکوری که نشانگر غلبه مقاومت‌های بیش از ۱۲۰ اهم متر است.



شکل ۲۳: تغییرات نفوذپذیری محاسبه شده با مقاومت ژئوالکتریک بدست آمده از آزمایش های ژئوفیزیک در محدوده دپوهای معدن شهید شکوری که نشانگر غلبه نفوذپذیری های کمتر از ۴ و نفوذناپذیری پی سنگ محل دپوهاست.



شکل ۲۴: نقشه پربند عمق سنگ نفوذ ناپذیر بر اساس مطالعات ژئوفیزیکی همراه با گسل‌ها و نقشه خطوارگی.

سنگ کف را نشان می‌دهند. در واقع مقاومت ژئوالکتریک بالای این سنگ‌ها نشانگر نفوذناپذیری آنها است که نشان از سنگ کف مناسب از دید زیست محیطی است و امکان فرار آلودگی از طریق درز و شکستگی‌ها را به صفر می‌رساند. به همین ترتیب در منطقه ۱ تا ۳ استخراج معدن گسل عمده‌ای که نشانگر نفوذپذیری و احتمال گذردهی و انتقال پذیری گسل باشد قابل تشخیص نیست. نفوذپذیری محاسبه شده بر مبنای این مقاومت‌ها نیز تایید کننده این مطلب است که در جایی که درز و شکاف در سنگ توسعه ندارد نفوذپذیری سنگ کم بوده و امکان گذر دهی آب به زیر زمین فراهم نمی‌شود. بجز محدوده‌هایی که گسترش درز و شکاف در سنگ‌ها با ارتباط کافی توسعه یافته است، یعنی محدوده سونداژهای ۷ و ۶ و ۹ در بقیه بخش‌های سنگ شرایط نفوذپذیری وجود ندارد و امکان عبور سیال نیست. شایان ذکر است که عمده هسته‌های گسل‌های موجود تا حد میلونیت (رسی) خرد شده‌اند (شکل ۲۵).

با توجه به شکل ۲۴ که نقشه پربند عمق سنگ نفوذ ناپذیر همراه با گسل‌ها و نقشه خطوارگی را بنمایش گذاشته است، ملاحظه می‌گردد که سنگ نفوذناپذیر با عملکرد گسل‌های عمده کنترل می‌گردد. به‌طوریکه عملکرد گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق همچون Fa, Fb با تقاطع گسل‌های با روند شمال شرق - جنوب غرب (همچون Fd, Fc, Fe) ارتفاعات منطقه را بوجود آورده و با افزایش ارتفاع بلوک‌های ما بین خود تراز ارتفاعی سنگ کف را نیز تا ۱۴۲۰ متر بالا آورده است. چنانکه در بخش قبل و در تفسیر نمودارهای گمانه زنی قائم ذکر گردید، معمولاً اگر سنگ کف در محدوده مورد بررسی بسیار مقاوم باشد قسمت انتهایی منحنی (سمت راست) مقاومت ویژه ظاهری در آرایه اشلومبرژه با خطی به شیب ۴۵ درجه مجانب می‌شود. چنین وضعی در منحنی سونداژهای محل دیپوها بخصوص سونداژ ۱۸ و ۲۱ دیده می‌شود که در انطباق با نقشه گسترش سنگ نفوذ ناپذیر (شکل‌های ۲۲ و ۲۳) گستره



بسیار ناچیز و در حد صفر است و احتمال انتقال آلودگی از طریق آنها تقریباً ممکن نیست.

نمونه‌ای از این گسل‌ها در منطقه مطالعاتی در محدوده جنوب معدن، و محل دپو S6-7 در شکل ۲۵ نشان داده شده است. از این رو در عمده گسل‌های منطقه نفوذپذیری



شکل ۲۵: عمده هسته‌های گسل‌های موجود تا حد میلیونیت (رسی) خرد شده‌اند. نمونه‌ای از گسل‌های منطقه در محدوده جنوب معدن، محل دپو S6-7.

### نتیجه‌گیری

نتیجه اینکه با بررسی‌های دورسنجی با داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی گسل‌ها امکان‌پذیر شده و در مواردی که در سازند سخت گسل‌های یاد شده از پهنه‌های گسلی خرد شده ضخیم و تراوا تشکیل شده باشند شناسایی شده. در واقع عملکرد فرسایش در امتداد گسل‌های فراوان منطقه شبکه‌ای از دره‌ها و آبراهه‌ها را شکل داده است که نقش تخلیه سطحی را بر عهده دارند و در عمق نفوذی نداشته و شبکه شکستگی پیوسته‌ای نیستند. در ادامه روش‌های کاوش‌ها و پی‌جویی‌های زیر زمینی و تهیه مقاطع

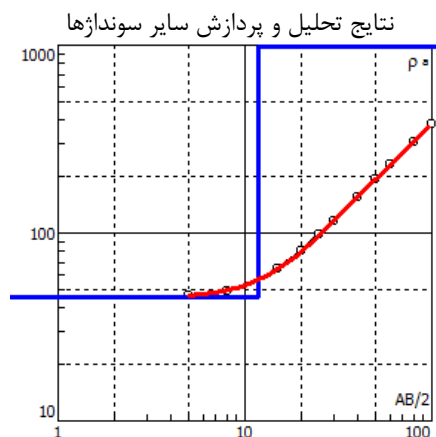
مقاومت‌ها با مقادیر مشابه در سونداژهای ژئوالکتریک مختلف نیز دلالت بر این دارد که مقاومت‌های مذکور در محدوده مطالعاتی به سنگ‌های آذرین و آذرآواری کم تا ناتراوا که در محدوده مطالعاتی به‌طور گسترده وجود دارند مربوط هستند. بررسی و مقایسه نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری نشان می‌دهد که گسل‌های دارای پتانسیل انتقال پذیری سیال در محدوده شمال شرق روستای زای لیک و بخش شمال غرب (خارج از محدوده ثبتی شرکت- محل سونداژ ۷) در منطقه وجود دارد. جهت پی جویی دقیق‌تر محدوده‌های دارای چنین پتانسیل‌هایی، برش‌های شبه مقطع و برش‌های هم مقاومت ویژه ظاهری مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. به این ترتیب گسل‌های دارای پتانسیل انتقال‌پذیری اکتشاف شده در محدوده سونداژهای پیوست ۱ تا ۱۶ در ارتباط با برخی بخش‌های آبرفتی و نیز زون‌های گسلی است که به‌طور محلی باعث خردشدگی و افزایش نفوذپذیری و شکل‌گیری آبخوان گسلی در این محدوده‌ها گردیده است، مرتبط هستند. در نهایت با توجه به خصوصیات نفوذپذیری بدست آمده موقعیت سونداژهای مذکور به‌عنوان مواردی که ریسک انتقال آلودگی دارند معرفی شده است.

### سپاسگزاری

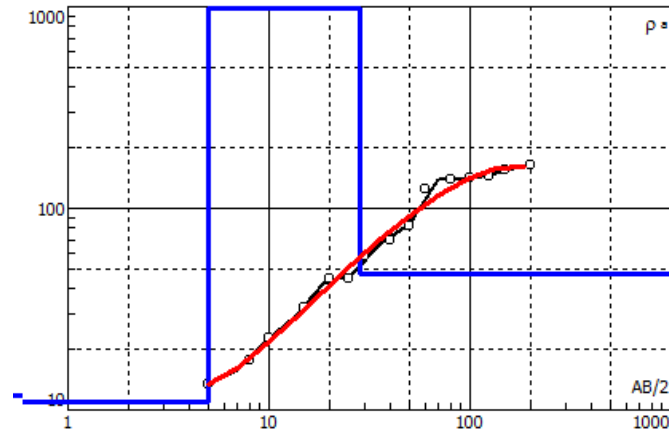
این مقاله با حمایت شرکت آتین معدن میدیا و دانشگاه تبریز نگاشته و تدوین گردیده است.

ژئوالکتریک و برش‌های هم مقاومت ویژه و برش‌های شبه مقطع وجود و گستره تحت‌الارضی محدوده‌های گسلی دارای پتانسیل نفوذپذیری و انتقال سیال در محدوده مورد مطالعه را آشکار ساخته است. همچنین با استفاده از این نقشه‌ها و اطلاعات، امکان بررسی عمقی وضعیت گسل‌های با بررسی داده‌های گردآوری شده از محدوده‌های مورد مطالعه تعیین گردید و بررسی مقاومت‌های یاد شده در برش‌های هم مقاومت ویژه مشخص نموده. مقایسه برش‌ها برای طول فرستنده‌های مختلف نشان داد که در بخش‌های شمال، و میانی منطقه مورد مطالعه مقاومت‌ها عمدتاً خیلی کم و به کمتر از ۳۰ اهم متر می‌رسد و مقایسه این مقاومت‌ها با مقادیر مشابه در سونداژهای ژئوالکتریک مختلف نیز دلالت بر این دارد که مقاومت‌های مذکور در محدوده مطالعاتی به سنگ‌های هوازده به رس مربوط هستند. بدلیل وجود همین واحدهای رس‌دار پدیده هم ارزی نیز در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. رس نفوذپذیری ناچیز و و یا ناتراوا است. هم چنین گسل‌های این بخش‌ها نیز عمدتاً زون خرد شده رسی و ناتراوا دارند و هسته گسلی شان نیز چنین خصوصیتی دارد. بررسی نتایج کاوش‌های تحت‌الارضی نشان داده است که در بقیه بخش‌ها نیز محدوده مطالعاتی از واحدهای ناتراوا یا بسیار کم تراوای آذرین تشکیل شده است و اغلب گسل‌های فراوانی که در منطقه وجود دارد (بجز چند مورد که نتایج آنها ذکر شده) نیز زون‌های گسلی ناتراوا و یا بسیار کم تراوایی دارند. در بخش‌های جنوب شرق، غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه مقاومت‌ها بیشتر هستند و به ۶۰ تا ۸۰ اهم متر می‌رسد و مقایسه این

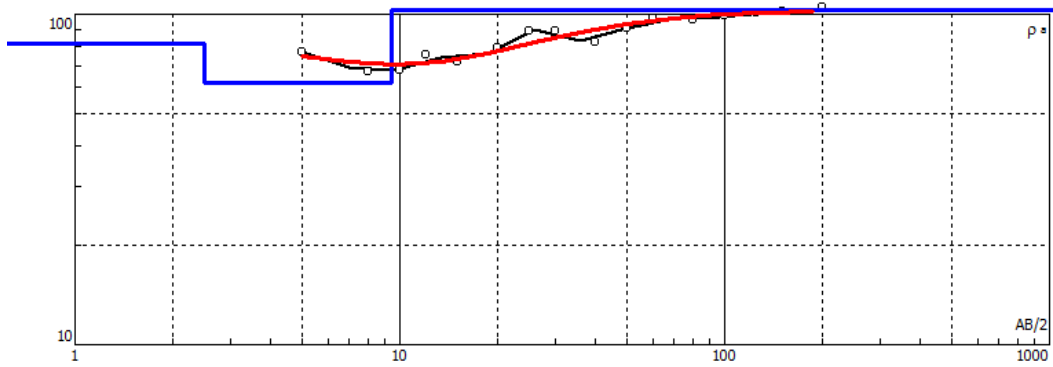
### پیوست ۱



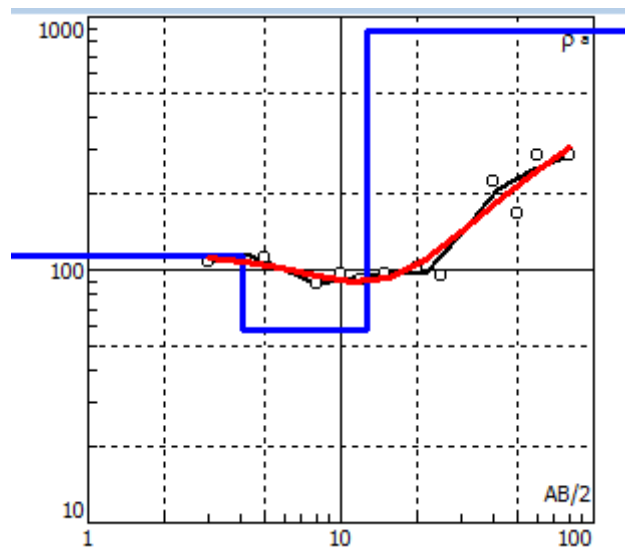
سونداژ ۱



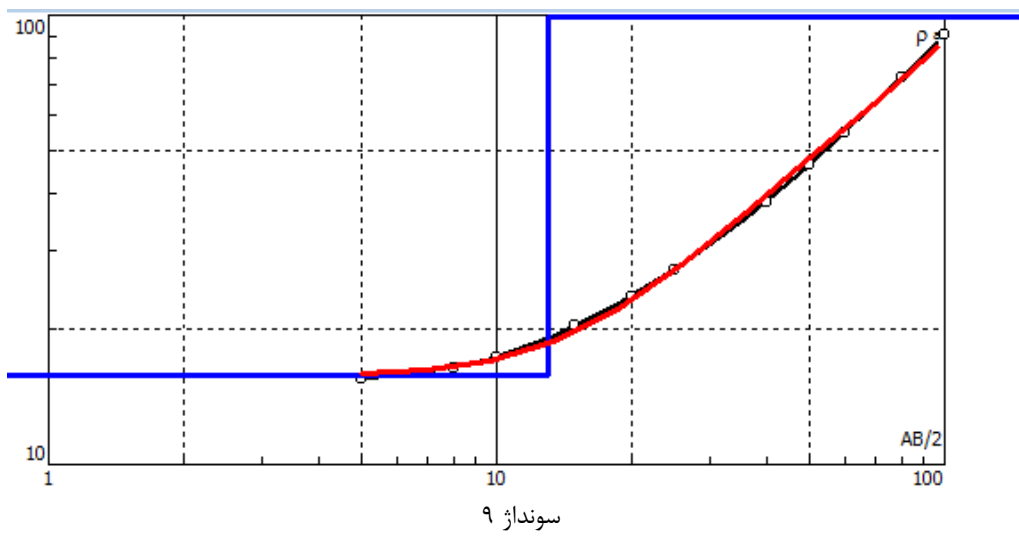
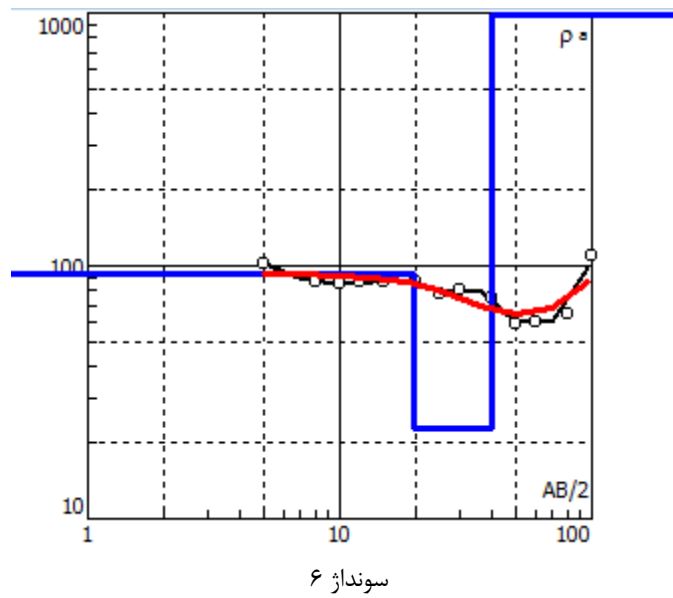
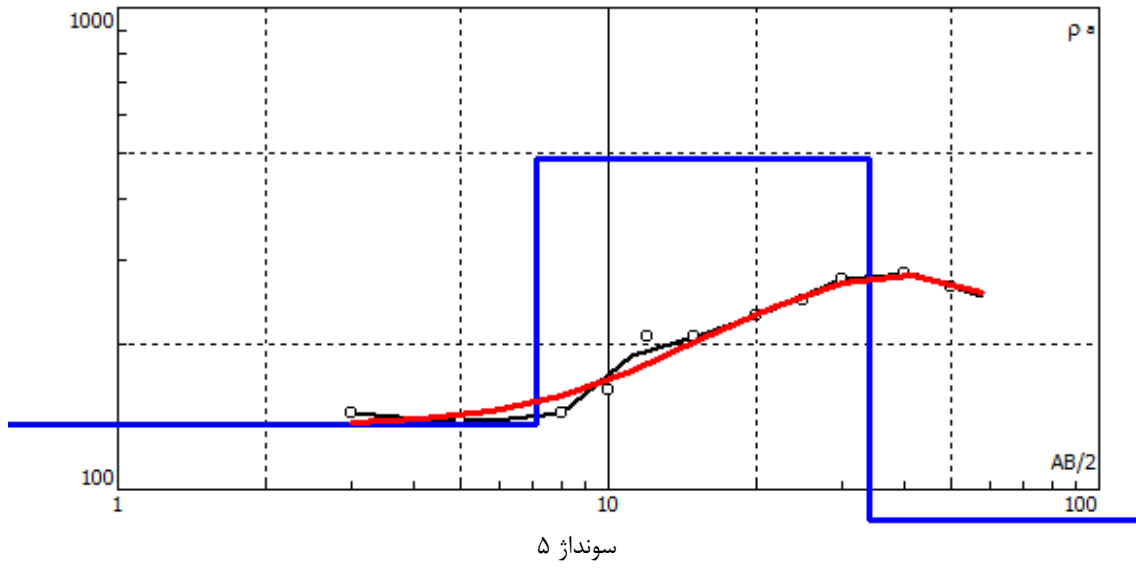
سونداز ۲

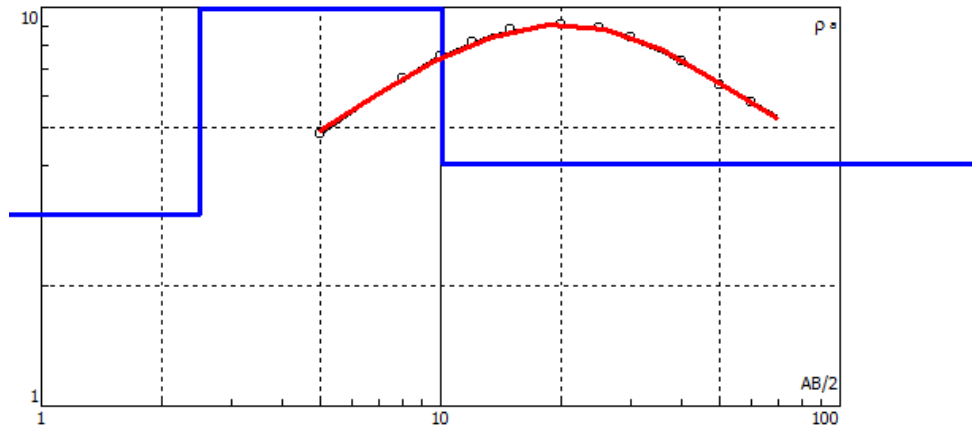


سونداز ۳

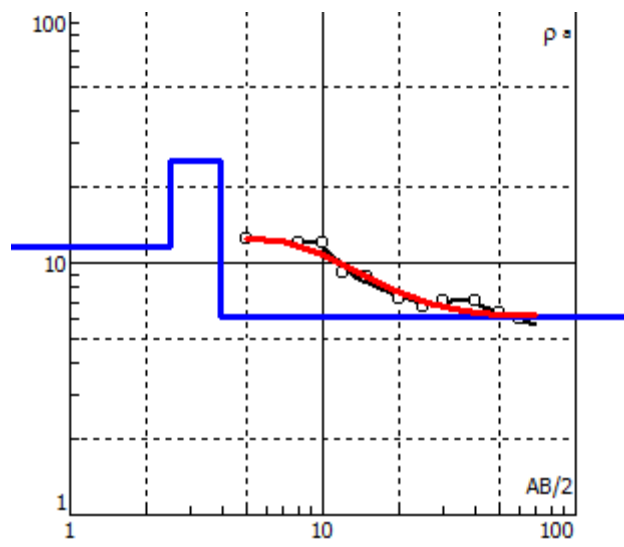


سونداز ۴

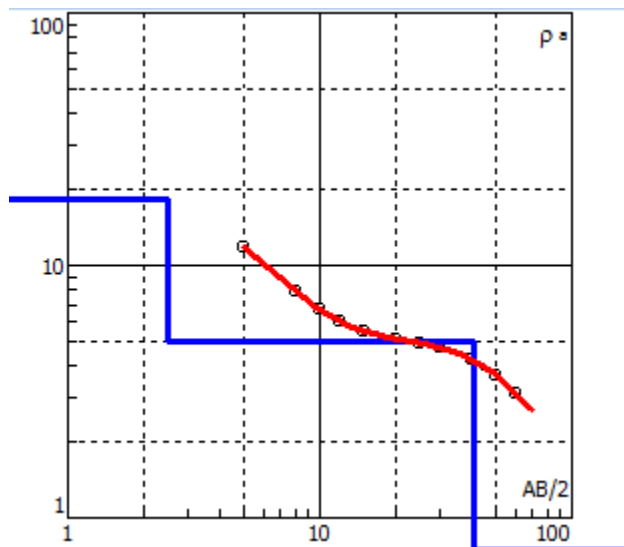




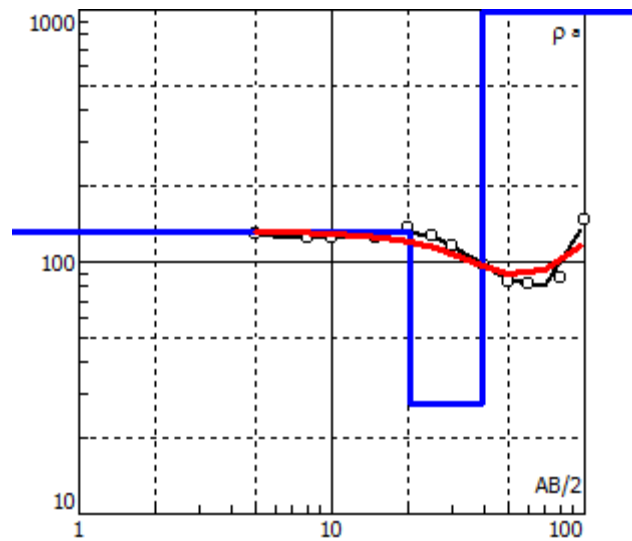
سونداز ۱۰



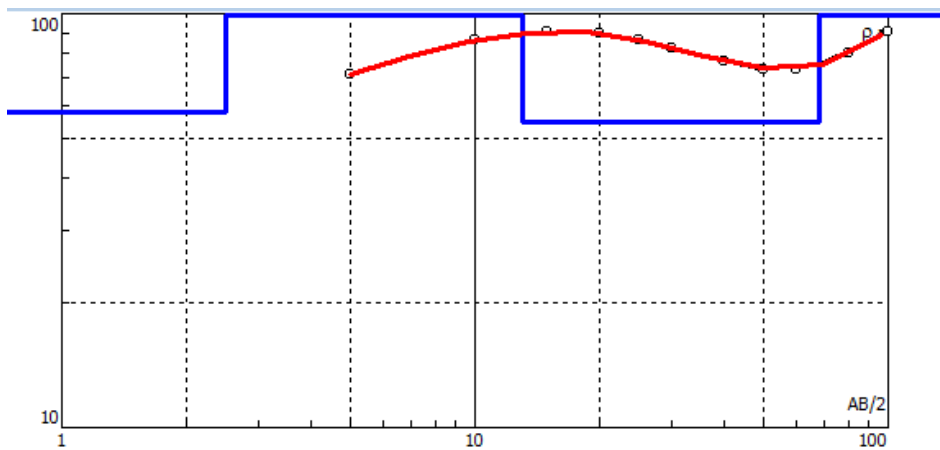
سونداز ۱۱



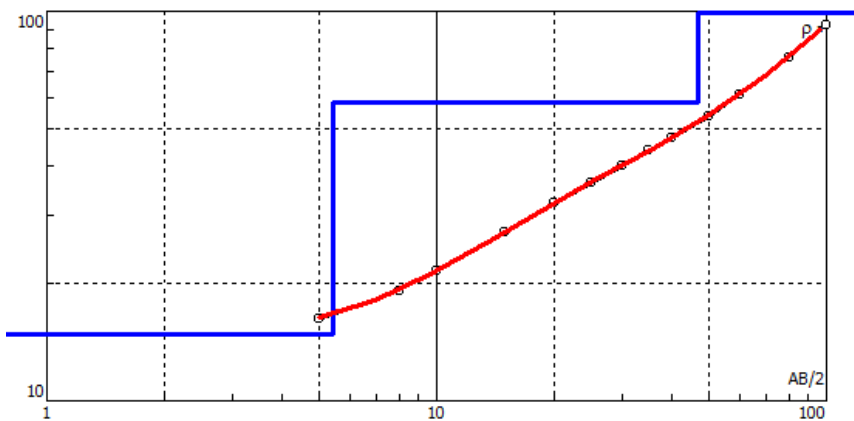
سونداز ۱۲



سونداز ۱۳



سونداز ۱۴



سونداز ۱۵

## References

E.A. Water Resources Management Survey, 2005. Report of watering for Geshlag watering complex., 155 p (In persian). Geological Survey and mineral exploration of Iran,

2019. Report of the sedimentary basins, Gustafson, G. and Krasny, J., 1994. Crystalline rock aquifers: their occurrence, use and importance. Applied Hydrogeology, v. 2(2), p. 185-195. Gupta, R., 2017. Hydrology and Hydraulic systems, Ram S., 425 p, Waveland press.

- Ghosh, T., Powell, R.L., Elvidge, C.D., Baugh, K.E. and Sutton, P.C., Anderson, S. Shedding light on the global distribution of economic activity. *Open Geogr. J.* 2010, v. 3, p. 147-160.
- Kalagari, A.A., 1991. Basis of the Geophysical explorations, first print, Tabesh Pub., 588 p (In persian).
- Kaur, H. and Kaur, L., 2012, Performance Comparison of Different Feature Detection Methods with Gabor Filter" *International Journal of Science and Research (IJSR)*, v. 1, p. 345-367.
- Koefood, M., 1979. *Geosonding principals*, Elsevier, New york, 234 p.
- kuznitchev, O.L., 1996. *Exploration nuclear geophysics*, Moscow, Nedra, 239 p.
- Larsson, I., 1984. *Groundwater in hard rocks*. Unesco, 459 p.
- Lattman, L.H. and Parizek, R.R., 1964. Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks. *J. Hydrol.*, v. 2, p. 73-91.
- Narendra, K.N.R. and Latha, P.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*, v. 2, p. 344-376.
- Nouwozi, G., 2002. *Electrical methods in Exploration Geophysics*, first print, University of Tehran Pub., 374 p (In persian).
- Zamani, G.B. and Masson, F., 2014. Recent Tectonics of East (Iranian) Azerbaijan from stress state reconstructions, *Tectonophysics*, v. 611, p. 61-82.
- Zamani, G.B., Hasanpour Sedghi, M., Zahmati, B., Seyfi, R. and Zamani, Kh., 2018. identification of the damage and crushed faulted zones by calculating the fracture density with geophysical data for water exploration in hard formations, (case study: Agligan, Azad University of Kermanshah, Khomarlou city), *Journal of Tectonics*, v. 2, p. 7-19 (In persian).
- Zamani, G.B., 2017. Experimental tectonic modelling of East (Iranian) Azerbaijan, inferred from stress pattern., *Model. Earth Syst. Environ.*, v. 3, p. 605-613, DOI 10.1007/s40808-017-0321-0
- Samani, B. and Zamani, G.B., 2012. Bed rock depth determination with geoelectrical explorations in the Tange Gazla subsurface dam location, NW Fars, *journal of Tectonics and structures*, v. 2, p. 26-41 (In persian).
- Zamani, G.B., 2016. *Tectonic of E-Azerbaijan Plateau as indicated by stress analysis-Modeling in plate tectonics*, Lambert academic publishing (English), 240 p.