

## تصویرپردازی ژئوالکتریکی گسل دورود به منظور شناسایی ناهنجاری آبخوان و اکتشاف آب زیرزمینی

میلاذ امیرافزالی<sup>۱</sup>، فرشاد علیجانی<sup>۲</sup>، حمیدرضا ناصری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، [milad.a.afzali@gmail.com](mailto:milad.a.afzali@gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، [Falijani2000@yahoo.co.uk](mailto:Falijani2000@yahoo.co.uk)

<sup>۳</sup> استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، [h-nassery@sbu.ac.ir](mailto:h-nassery@sbu.ac.ir)

### چکیده

جهت اکتشاف آب زیرزمینی و شناخت بهتر آبخوان و رسوبات آن برداشت ژئوالکتریک با حجم ۸۳ سونداژ با آرایه شلومبرژه با طول خط جریان  $AB=1000-1200$  m در دشت چالان چولان، شمال لرستان، صورت گرفته است. پس از تفسیر یک بعدی سونداژها و تهیه نقشه‌های مقاومت و ضخامت حقیقی و مقاومت عرضی آبخوان، بهترین نقاط جهت حفر چاه برای تامین آب شرب شهر چالان-چولان مشخص شده است. با بررسی مقاطع دوبعدی تصویرپردازی الکتریکی و مقاطع لیتولوژی حاصل از تفسیر آنها ویژگی‌های رسوبات دشت و ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت با آهک‌های حاشیه غربی دشت مشخص شده است. بر روی مقاطع تصویرپردازی لیتوژئوالکتریک، عملکرد گسل دورود با تغییرات ناگهانی ضخامت آبخوان و توزیع اندازه ذرات رسوب از شن به سیلت و تغییرات مشخص شده است. بر اساس تفسیر سونداژها، سنگ کف آبخوان آبرفتی در فرودپواره گسل تا عمق ۳۰۰ متری تعیین نشده است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، تصویر پردازی ژئوالکتریک، مقاومت عرضی، گسل دورود، چالان چولان

## Geoelectrical imaging of Doroud Fault in order to identification of aquifer anomalies and groundwater exploration

Milad Amirafzali<sup>1</sup> Farshad Alijani<sup>2</sup> Hamid Reza Naseri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> hydrogeology master student, Shahid Beheshti University of Tehran

<sup>2</sup> Assistant of professor, Shahid Beheshti University of Tehran

<sup>3</sup> Professor, Shahid Beheshti University of Tehran

### Abstract

In order to groundwater exploration and understanding the aquifer layers, 83 vertical electrical sounding (VES) of Schlumberger array were measured with  $AB=1000-1200$  m in Chalan Chulan plain, north Lorestan. The best locations for drilling of water wells in Chalan Chulan determined using true resistivity, aquifer thickness, and RT maps of the aquifer. The subsurface lithology and the hydrogeological connection between the alluvial aquifer and limestones are indicated using two-dimensional sections of electrical imaging and lithological sections. The sudden changes in aquifer thickness and grain size distribution from gravel to silt due to the function of Doroud fault were characterized using imaging and litho-geoelectrical sections. The bedrock of the alluvial aquifer in footwall of the fault is not determined to 300m in depths based on VES interpretation.

**Keywords:** Aquifer, Geoelectrical imaging, Transverse resistivity, Doroud Fault, Chalan Chulan

### ۱ مقدمه

از نقطه نظر هیدروژئولوژی تمامی تشکیلات زمین‌شناسی که قابلیت ذخیره و انتقال آب را داشته باشند، اهمیت دارند. تشکیلات زمین‌شناسی که به خوبی پتانسیل تشکیل آبخوان را دارند شامل دشت‌های آبرفتی، آهک‌های کارستی و سنگ‌های سخت دارای سیستم‌های درزه و شکاف هستند. از میان دو گروه بالا، برداشت آب از رسوبات منفصل آبرفت‌ها ساده‌تر است. در بسیاری از مناطق آبخوان‌های آبرفتی و آبخوان‌های سنگی باهم در ارتباط هستند. از دیگر عوامل مهمی که بر روی منابع آب-زیرزمینی موثر هستند، گسل‌های فعال می‌باشند. گسل‌ها با جابجایی لایه‌های زمین‌شناسی و واحدهای آب‌چینه‌نگاری می‌توانند باعث ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی در بخش‌های مختلف دشت‌ها و آبخوان‌ها شوند. همچنین گسل‌ها می‌توانند موجب بهم خوردگی بافت رسوبات، تخلخل و سیستم درزه و شکاف در لایه‌های مختلف زمین‌شناسی شوند. الگوی جریان آب-

زیرزمینی ناشی از پمپاژ آب در آبخوان‌های گسلی (گسل شیب لغز)، به نفوذپذیری رسوبات و مواد زمین‌شناسی دو طرف گسل (آنتونیو و پاچسو، ۲۰۰۲؛ اندرسون، ۲۰۰۶) و زاویه شیب گسل (لیو و همکاران، ۲۰۱۵) وابسته است. با استفاده از روش - مقاومت ویژه و تهیه نقشه‌های هم‌مقاومت آبخوان، هم‌ضخامت آبخوان و نقشه RT آبخوان می‌توان بهترین محل‌ها برای برداشت آب‌زیرزمینی را مشخص کرد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳). با استفاده از مقاطع الکتریکی حاصل از معکوس‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و مقایسه آنها با هم، می‌توان عمق سنگ کف، عمق برخورد به آب و ضخامت آبخوان را مشخص کرد (گوتام و همکاران، ۲۰۱۴؛ صفائی و همکاران، ۱۳۹۴). عملکرد گسل دورود باعث نهشت رسوبات ریزدانه در دیواره شرقی و رسوبات درشت دانه در دیواره غربی گسل شده است (علی‌جانی و همکاران، ۱۳۹۶). در این مقاله، به منظور شناسایی دقیق عملکرد گسل دورود بر آبخوان آبرفتی در منطقه چالان چولان از روش سونداژزنی مقاومت ویژه الکتریکی استفاده شده است.

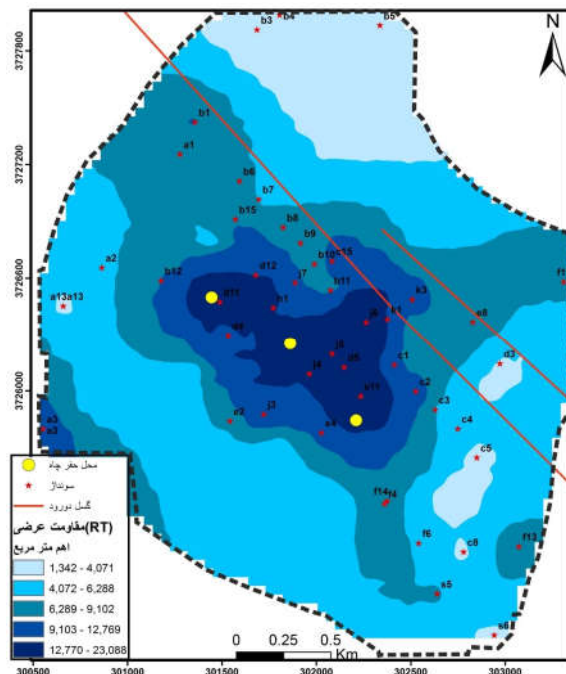
## ۲ روش تحقیق

در دشت دورود - بروجرد، در نزدیکی شهر چالان چولان، ۸۳ سونداژ ژئوالکتریک به روش مقاومت ویژه با آرایه شلومبرژه با طول خط جریان  $AB=1000-1200$  m جهت بررسی رسوبات، تاثیر گسل دورود و اکتشاف آب‌زیرزمینی داده‌برداری شده است. یافته‌های حاصل از تجسس ژئوالکتریک با آرایه‌های شلومبرژه و تفسیر نتایج با معکوس‌سازی داده‌های مقاومت الکتریکی جهت بررسی رسوبات آبخوان در دو طرف گسل دورود به کار گرفته شده است. با استفاده از تفسیر یک بعدی سونداژها، لایه - بندی زمین شامل عمق برخورد به سنگ کف، عمق برخورد به آب‌زیرزمینی، و مقاومت واقعی لایه آبدار مشخص شده است. با داشتن عمق برخورد به لایه آبدار و عمق برخورد به سنگ کف در همه سونداژها و بسط دادن آن به کل سایت مورد مطالعه، نقشه هم عمق برخورد به لایه آبدار و نقشه هم عمق برخورد به سنگ کف تهیه شد. با تفریق نقشه هم عمق سنگ کف و نقشه هم عمق برخورد به سطح آبخوان (ابتدا و انتهای آبخوان) نقشه هم‌ضخامت آبخوان (B) به دست آمد. در نهایت با ضرب دو نقشه R و B، نقشه مقاومت عرضی (RT) آبخوان تهیه گردید. قابل توجه است که در تهیه نقشه RT می‌توان با توجه به اهمیت پارامترهای R (مقاومت آبخوان) و B (ضخامت آبخوان)، به هر یک امتیاز متفاوتی داده شد و نهایتاً جهت تعیین مکان - های مناسب برای حفر چاه از نقشه RT استفاده گردید. این نقشه زمانی از منظر تعیین محل حفر چاه اهمیت می‌یابد که هم ضخامت آبرفت و هم میزان مقاومت آبخوان بالا باشد. کاهش در میزان ارزش هر کدام از نقشه‌ها بر تفسیر نهایی تاثیرگذار خواهد بود. ولی در حالت کلی و در شرایط مساوی، بزرگی و افزایش میزان مقاومت آبخوان از اهمیت بیشتری نسبت به ضخامت برخوردار است.

داده‌های میدانی مقاومت الکتریکی به رایانه انتقال داده شده و به فرمت قابل قبول برای نرم افزار تصویر برداری ژئوالکتریک مرتب شده‌اند. مدل‌سازی مقاومت الکتریکی معکوس با استفاده از برنامه‌های RES2DINV انجام گردید. جهت آرایه واقعی تر توزیع مقاومت الکتریکی زیر سطحی، معکوس سازی شبه‌مقاطع انجام گردید. در نهایت مقاطع لیتولوژی از تفسیر مقاطع تصویربرداری به دست آمده و تفسیر گردیدند.

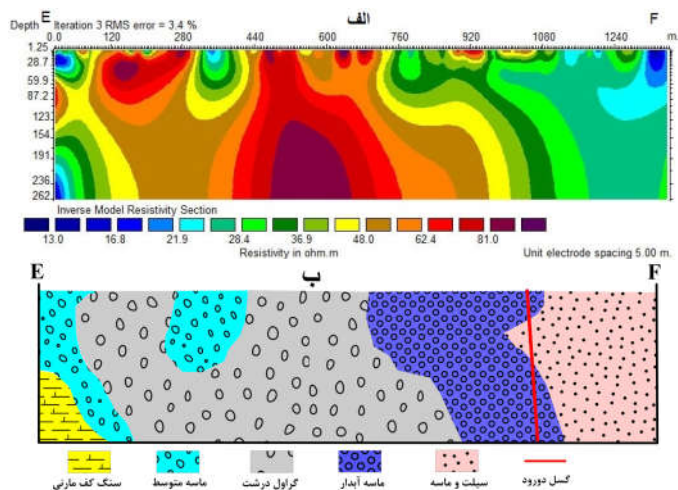
## ۳ نتیجه‌گیری

میزان مقاومت عرضی (شکل ۱) در گستره مورد مطالعه از کمتر از ۲۰۰۰ تا بیش از ۲۳۰۰۰ اهم متر مربع متغیر است. کمترین میزان مقاومت عرضی در اطراف سونداژهای B3 تا B5 در شمال شرق گستره مورد مطالعه مشاهده می‌شود. از حاشیه گستره به سمت بخش‌های داخلی بر میزان مقاومت عرضی افزوده می‌شود و بیشترین میزان آن در نزدیکی سونداژ J6 در بخش میانه دشت است. افزایش میزان مقاومت عرضی در دیواره غربی گسل دورود به دلیل درشت دانه بودن رسوبات آبخوان و در دیواره شرقی به دلیل ضخامت زیادتر آبرفت می‌باشد. بنابراین از لحاظ تعیین محل حفر چاه، دیواره غربی گسل دورود نسبت به دیواره شرقی آن از اهمیت بیشتری برخوردار است و آبخوان دیواره شرقی گسل دورود به دلیل ریزدانه بودن رسوبات آبخوان حایز اهمیت نمی‌باشد. بر روی شکل ۱ بهترین نقاط برای حفر چاه آب شرب شهر چالان چولان مشخص شده است. بر اساس نقشه مذکور، در یکی از این محل‌ها و نزدیک با سونداژ D11 اولین چاه آبرفتی شرکت آب و فاضلاب حفر شده است که در دور ۱۵۰۰، این چاه آبدهی ۵۰ لیتر بر ثانیه را داشته است.



شکل ۱: نقشه مقاومت عرضی آبخوان در محدوده مورد مطالعه

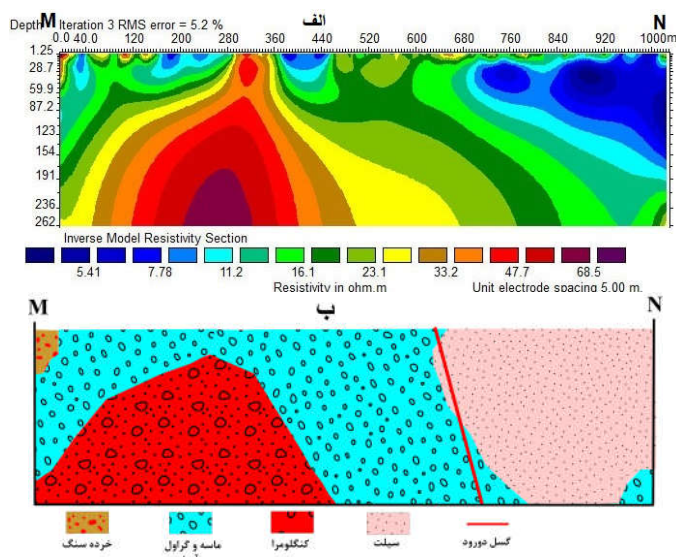
در این پژوهش هفت مقطع عمود بر گسل دورود مورد تصویربرداری ژئوالکتریکی قرار گرفت که در این مقاله به طور نمونه نتایج مقاطع MN و EF ارائه شده است. مقطع EF به طول تقریبی ۱۳۰۰ متر و مقطع MN با طول تقریبی ۱۰۲۰ متر و هر دو مقطع با عمق تجسس ۲۶۲ متر برداشت شده‌اند. در مقطع EF و مدل لیتولوژی حاصل از آن گسل دورود و لایه‌های ریزدانه شناسایی و لایه ماسه‌ای آبدار در نزدیکی خط گسل مشهود است (شکل ۲). در واقع تغییر ناگهانی در اندازه ذرات از درشت‌دانه به ریزدانه در سمت راست مدل بیانگر عملکرد و حضور گسل دورود است. همچنین در مقطع MN و مدل لیتولوژی حاصل از تفسیر آن، گسل دورود و سنگ کف کنگلومرایی و لایه آبدار شناسایی شده است (شکل ۳).



شکل ۲: الف) مقطع تصویربرداری دو بعدی ژئوالکتریک EF ب) مدل لیتولوژی EF.

بررسی‌های هیدروژئوفیزیک نشان می‌دهد که در منطقه نزدیک به شهر چالان‌چولان، در نزدیکی و سمت راست گسل دورود، سنگ کف بیشتر مازنی و در سمت چپ گسل و در نزدیکی مرز با آهک‌های زاگرس مرتفع جنس سنگ کف عمدتاً

کنگلومرایی است. همچنین نتایج ژئوفیزیک، وجود رسوبات ریزدانه در سمت راست گسل دورود (فرودیواره گسل) را تایید می‌کند. ضخامت آبخوان در دیواره شرقی بیشتر از دیواره غربی است اما در دیواره شرقی به دلیل ریزدانه بودن رسوبات، لایه آبدار زیاد حائز اهمیت نیست. از طرفی در دیواره غربی گسل، با وجود ضخامت کمتر آبخوان، چه از لحاظ کمی و چه از لحاظ کیفی لایه‌های آبدار قابل توجه هستند. رسوبات گستره مورد مطالعه از سیلت ریز تا شن درشت تشکیل شده‌اند و بر اساس نقشه‌های هم مقاومت در اعماق مختلف، تغییرات عمقی اندازه ذرات عمود بر گسل دورود به طور ناهنجار رخ داده است. بر اساس نقشه RT منطقه، بهترین نقاط برای حفر چاه آب‌شرب شهر چالان‌چولان در دیواره غربی گسل دورود مشخص شده‌اند. بررسی تفسیر دوبعدی توموگرافی الکتریکی نشان می‌دهد که در مقاطع EF, MN گسل دورود باعث تغییر ناگهانی اندازه ذرات از دیواره غربی گسل به دیواره شرقی شده است.



شکل ۳: الف) مقطع تصویربرداری دو بعدی ژئوالکتریک MN (ب) مدل لیتولوژی مقطع MN.

## منابع

- صفایی، ص.، فرهنگیان، م.، افشاری، س.، کیان‌پوریان، ص.، (۱۳۹۴)، مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوالکتریک به منظور اکتشاف آب زیرزمینی، همایش ملی علوم زمین‌شناسی و معدن با نگرشی بر دریاچه ارومیه، ارومیه.
- علیچانی، ف.، ناصری، ح.ر.، امیرافضلی، م.، شماسی، ع.و.، (۱۳۹۶)، تاثیر گسل دورود بر هیدروژئولوژی آبخوان آبرفتی دشت دورود - بروجرد، لرستان، مجله تحقیقات منابع آب ایران.
- موسوی، س.ح.، عرب امیری، ا.، کامکار روحانی، ا.، (۱۳۹۳)، اکتشاف منابع آب زیرزمینی به روش مقاومت ویژه در شهرستان سرخه استان همدان، کنفرانس ملی علوم معدنی.
- Anderson, E.I. (2006) Analytical solutions for flow to a well through a fault. *Advances in water resources*, 29(12), 1790-1803.
- António, F. & Pacheco, L. (2002) Response to pumping of wells in sloping fault zone aquifers. *Journal of Hydrology*, 259(1), 116-135.
- Gautam, G., Patil, J.D., Maiti, S., Erran, V.C., Pawar, N.J., Mahajan, S.H. & Suryawanshi, R.A. (2014) Electrical resistivity imaging for aquifer mapping over Chikotra basin, Kolhapur district, Maharashtra. *Environ Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-014-39715.