

## بررسی اعتبار روش مقاومت ویژه در آشکارسازی ویژگی‌های زیرسطحی

ایمان بهنام<sup>۱</sup>؛ عبدالحمید انصاری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن- دانشکده معدن و متالورژی- دانشگاه یزد

Email: [i\\_behnam@yahoo.com](mailto:i_behnam@yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده معدن و متالورژی- دانشگاه یزد

### چکیده

امروزه به دلیل گرانی تکنیک‌های اکتشاف مستقیم، استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی در بررسی‌های زیرسطحی روز به روز در حال افزایش می‌باشد. حال سوالی که مطرح می‌شود این است که نتایج حاصل از این عملیات تا چه اندازه قابل اعتماد است و دلایل شک و بی‌اعتمادی نسبت به این گونه اطلاعات از کجا ناشی می‌شود؟

در این مقاله به منظور بررسی اعتبار روش سونداژ الکتریکی، در کنار چندین حلقه گمانه اکتشافی در منطقه معدنی سنگان که وضعیت لیتولوژیکی و هیدروژئولوژیکی در آنها مشخص می‌باشد، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی با آرایش شلومبرگر در دو امتداد عمود بر هم انجام شده است و منحنی‌های سونداژ حاصله به دو طریق دستی و کامپیوتری تفسیر شده‌اند و نتایج حاصله با اطلاعات مربوط به گمانه‌های اکتشافی مقایسه شده است.

نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اکثر موارد یک تطابق خوب بین نتایج وجود دارد و روش مقاومت ویژه در اکثر مناطق عمق سنگ کف، عمق و ضخامت لایه آبدار و سطح ایستابی را تخمین زده است. در بعضی مناطق، به دلیل وضعیت خاص لیتولوژیکی تخمین ما با قدری خطا همراه می‌باشد که از اصل اختفا ناشی می‌شود؛ لذا باید عنوان کرد که روش‌های ژئوفیزیکی باید در کنار و مکمل روش‌های اکتشاف مستقیم اجرا شوند و هرگز نباید جانشین این روش‌ها شوند.

کلمات کلیدی: اصل اختفا، سونداژ الکتریکی، شلومبرگر، مقاومت ویژه، معدن سنگان، گمانه اکتشافی

## Credibility Of Resistivity Method In Delineation Of Subsurface Characteristics

I.Behnam, A.H.Ansari

### Abstract

Nowadays due to high cost of direct exploration methods, application of geophysical methods in subsurface investigation is increasing. The question is that to what extent the obtained results are creditable and what are the reasons of uncertainty and doubts in information?

In this paper in order to evaluate the credibility of electrical sounding method, resistivity measurements were carried out near a few boreholes which in them the lithology and hydrogeology were known. The readings were obtained in two perpendicular direction using schlumberger array. Sounding curves were interpreted by auxiliary point method and by application of software and the obtained results were compared with information of boreholes.

The research showed that in most cases there is a good fitness between results, and in addition, resistivity method estimated bed rock depth, thickness and depth of water bearing layer and water table depth reasonably. In some places due to particular lithological situation parameters estimation is accompanied with some error which originate from suppression principles. As a result, geophysical methods should be applied as compliment with direct exploration methods and should not substitute them.

**Keywords:** Suppression principle, Vertical Electrical Sounding(VES), Schlumberger, Resistivity, Sangan Mine, Exploratory Borehole

## مقدمه

روش‌های معمول بررسی‌های ساختمانی زیرسطحی متضمن مشخص نمودن موقعیت‌های زیرسطحی می‌باشد که به وسیله انجام آزمایشات دقیق بر روی مواد بدست آمده از اعماق مختلف یا نمونه‌هایی که از نقاط گوناگون ساختمانی برداشت شده است، صورت می‌گیرد و وضعیت زیرسطحی بین این نقاط به وسیله کروله کردن اطلاعات بدست آمده مشخص می‌شود. مقدار اطلاعات بدست آمده بستگی به فاصله گمانه‌های حفر شده دارد. هنگامی که هدف بررسی دقیق یک ساختمانی باشد، اطلاعات جزئی مورد نیاز است پس خواه ناخواه باید فاصله گمانه‌ها کاهش و تعداد آنها افزایش یابد که با افزایش هزینه همراه می‌باشد و این موضوعی است قابل اهمیت، به خصوص هنگامی که بررسی ساخت‌گاهی شامل مسائل مختلفی از قبیل کانال‌های مدفون شده، وضعیت غارهای زیرزمینی و تهیه نیمرخ‌های دقیق از سنگ بستر باشد.

وقتی که هدف بررسی منطقه درمقیاس وسیع باشد استفاده از روش گمانه‌زنی هزینه را خیلی بالا خواهد برد. در این گونه موارد، برای مراحل اولیه پی‌جویی از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده می‌شود که باعث کاهش هزینه‌ها به مقدار قابل توجهی می‌گردد. در این روش‌ها وضعیت ساختار زیرسطحی به طور غیرمستقیم مورد آزمایش قرار می‌گیرد و اطلاعات زیرسطحی خیلی سریع و با صرف هزینه‌ای کمتر از روش‌های مستقیم، در اختیار ما قرار می‌گیرد. برای استفاده موفق از روش‌های ژئوفیزیکی باید روش‌ها و ابزار قابل اعتماد و دقیق را توسعه بدهیم. متأسفانه در زمینه‌های مهندسی به دلیل کمبود تعامل اقتصادی این توجه صورت نمی‌گیرد به ویژه در مواردی که شک و بی‌اعتمادی نسبت به اطلاعات بدست آمده از روش‌های غیرمستقیم وجود داشته باشد. بعضی از دلایلی که باعث شک و عدم اطمینان نسبت به این گونه اطلاعات می‌شود را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

الف) وضعیت ساختار منطقه برای روش‌های ژئوفیزیکی مناسب نمی‌باشد.

ب) ضعف خصوصیاتی که روش‌های ژئوفیزیکی بر مبنای آنها پایه گذاری شده‌اند.

ج) عدم هماهنگی بین مشتری، مهندس مشاور و کسی که کار ژئوفیزیکی انجام می‌دهد.

د) استفاده از روش‌های نادرست ژئوفیزیکی.

باید گفت که استفاده از ژئوفیزیک در بررسی‌های ساختمانی مستلزم آگاهی در مورد چگونگی کار با این روش‌ها می‌باشد. هر چند روش‌های ژئوفیزیکی ممکن است در بررسی‌های ساختمانی موفق و در مواردی نیز ناموفق باشند.

## منطقه مورد مطالعه

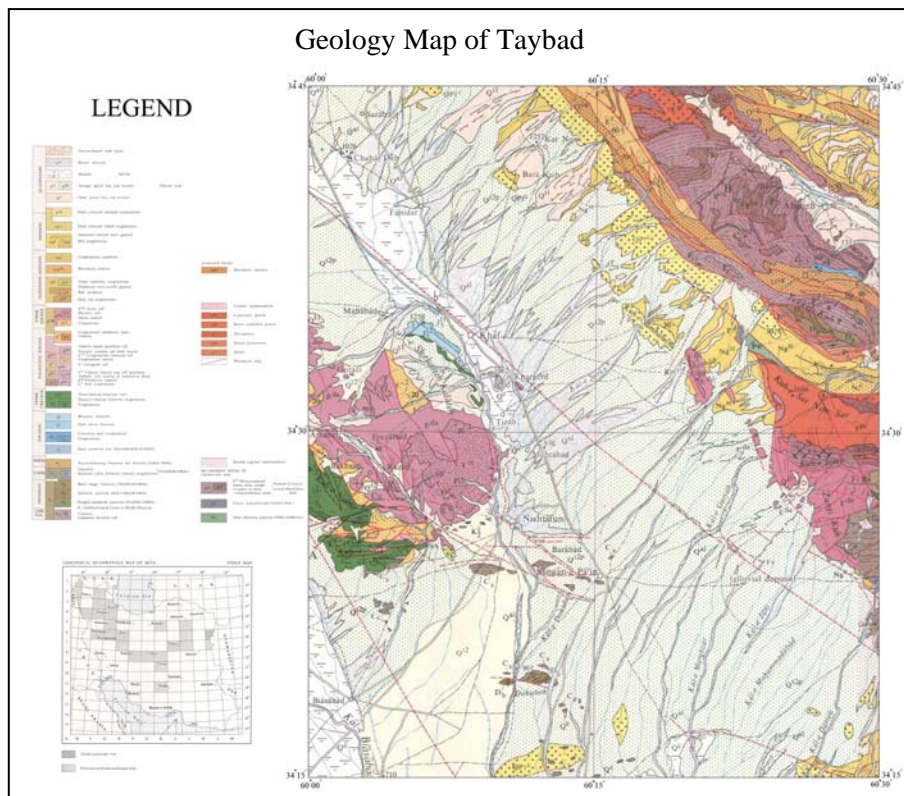
### کلیات

منطقه مورد مطالعه در محدوده طول‌های جغرافیایی  $55^{\circ} 59'$  تا  $30^{\circ} 6'$  و عرض‌های  $15^{\circ} 34'$  تا  $50^{\circ} 34'$  در نزدیکی معدن سنگ آهن سنگان خراسان قرار گرفته است. رشته کوه‌های مربوط به این منطقه از جانب غرب و شمال غرب تا درونه ادامه و امتداد آنها به سمت شرق کشیده شده و در مرز افغانستان به صورت تپه‌های کم ارتفاعی در آمده است. ارتفاع متوسط این ناحیه از سطح دریا ۱۲۰۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه در این ناحیه حدود ۱۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. منابع آب منطقه را می‌توان به دو بخش منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی تقسیم کرد. کمی نزولات جوی و ریخت‌شناسی حوضه باعث شده رودخانه بزرگی در منطقه وجود نداشته باشد و اگر رودخانه‌ای باشد عموماً از نوع سیلابی بوده و تنها در مواقع پر باران سال دارای آب می‌باشد.

در یک تقسیم بندی کلی می‌توان سازندهای آب‌دار منطقه را به سازندهای آب‌دار قبل از کواترنری و بعد از کواترنری رده-بندی کرد. تنها منشأ تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در شرایط طبیعی نزولات جوی هستند که از طریق درزه‌ها و شکستگی‌ها، تجدید ذخایر (تغذیه) صورت می‌گیرد؛ بنابراین در دشت‌ها که عمدتاً از رسوبات دوران چهارم تشکیل شده نفوذ بارندگی به آب-های زیرزمینی بسیار اندک است ولی در قسمت‌های کوهستانی که بیرون زدگی سنگ‌ها کاملاً مشهود است و با توجه به شکاف‌هایی که این نوع سنگ‌ها دارند همچنین وضعیت تکنیکی شدید آنها، شرایط نفوذ آب بارندگی به آبخانه آب‌های زیرزمینی مناسب‌تر است.

### زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تایباد در استان خراسان واقع شده است و بالطبع از نظر رخساره و زمین‌شناسی ساختمانی، از ویژگی‌های خاص این قسمت پیروی می‌کند. الگوی زمین‌ساختی منطقه متشکل از دو بلوک بالا آمده است که از سنگ‌های قبل از نئوژن تشکیل شده است و توسط فرونشست بزرگی (پر شده از رسوبات چین خورده نئوژن) از یکدیگر جدا گشته‌اند و روی این فرونشست را نهشته‌های وسیع کواترنر پوشانده است. بلوک اول، بلوک کوه نهور-کوه سینا است که در قسمت غرب منطقه قرار گرفته است و بلوک دیگر رشته کوه اصلی منطقه است که همچون قطر نقشه چهارگوش تایباد، از شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده است (شکل ۱).

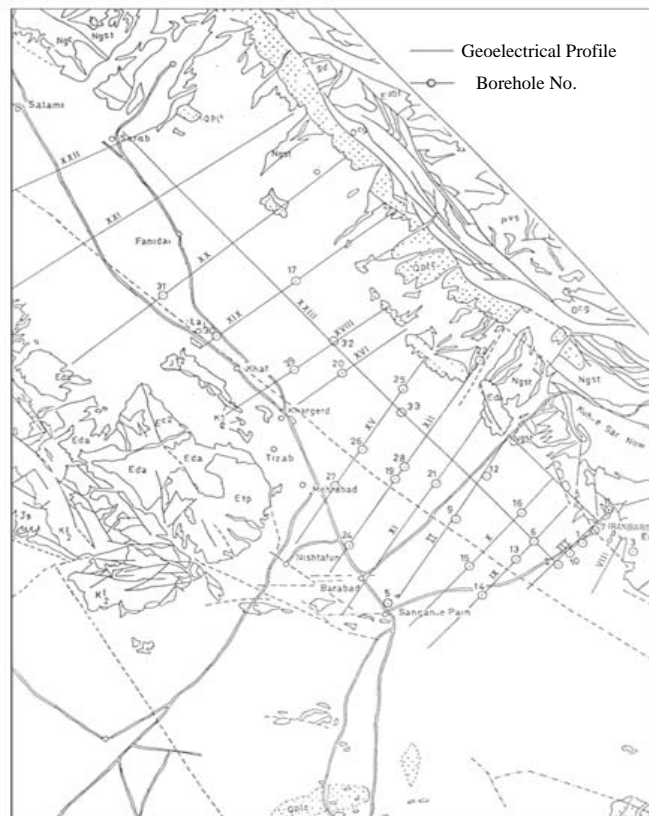


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مطالعات ژئوالکترونیک منطقه بر روی دشت خواف تشکیل شده بر روی فرونشست خواف صورت گرفته است که در سوی جنوب غربی رشته کوه اصلی قرار دارد و با گسل کم و بیش پوشیده خواف با روند شمال غرب- جنوب شرق از بلوک کوه نهور-کوه سینا جدا شده است. این فرونشست گرابنی پر شده از رسوبات نئوژن است که با روند شمال غرب- جنوب شرق به آرامی چین خورده‌اند. این رسوبات که قسمت اعظم سنگ کف دشت‌های آبرفتی منطقه را تشکیل می‌دهند خود از دو قسمت تشکیل شده است. یکی مجموعه تشکیل شده از ماسه سنگ‌ها و لای سنگ‌ها ( $Ng^{st}$ ) و دیگری مجموعه کنگلومرای رودخانه‌ای ( $QPL^C$ ) که به صورت دگر شیب بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. بر روی این رسوبات، نهشته‌های آبرفتی کواترنر قرار گرفته است که از فرسایش برجستگی‌ها بوجود آمده‌اند که این فرسایش در چندین مرحله و پی در پی صورت گرفته است. در مراحل اولیه فرسایش، پنجه‌های آبرفتی قدیمی‌تر ایجاد گشته که در پای برجستگی‌ها نگهداشته شده‌اند. الزاما تمام این پنجه‌های آبرفتی دارای سن یکسان نیستند ولی همه آنها توسط پنجه‌های آبرفتی جوان‌تر بریده یا پوشیده شده‌اند و تشکیل دشت امروزی را داده‌اند. در زیر همه این رسوبات پی سنگ آذرین منطقه متشکل از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن قرار گرفته که حضور این سنگ‌ها در گمانه‌های ۲۶ و ۲۷ به اثبات رسیده است.

## برداشت ژئوالکتریک

در منطقه مورد مطالعه تعداد ۳۴ حلقه گمانه اکتشافی جهت شناسایی وضعیت کمی و کیفی و تعیین شرایط حدی آبخانه‌ها حفاری شده است که بیشتر این گمانه‌ها در سازند نرم (آبرفت) حفاری شده‌اند. در این عملیات از دو دستگاه حفاری مدل ZIF100 ساخت کشور روسیه و یک دستگاه ساخت شرکت ویرث آلمان استفاده شده است. کلیه حفاری‌ها به طریقه چرخشی انجام گرفته، نوع سرمرته مورد استفاده سرمرته مخروطی بوده و در فواصل معینی سرمرته‌های مخصوص نمونه‌گیری بکار برده شده است. محل حفر این گمانه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از خاتمه حفر گمانه‌های اکتشافی عملیات چاه-نگاری با روش‌های مقاومت ویژه عادی و جانبی، پتانسیل خودزا و رادیواکتیو طبیعی در این گمانه‌ها انجام و پس از پردازش داده‌های حاصل از عملیات چاه‌نگاری و با کمک مغزه‌گیری انجام شده در حین حفاری، ستون لیتولوژیکی گمانه‌ها مشخص شده است. به منظور بدست آوردن اطلاعات کلی از وضعیت زمین‌شناسی زیرسطحی از نظر ضخامت آبرفت در دشت، وضعیت قرارگیری سنگ کف در منطقه و بررسی ایزوتروپ و انیزوتروپی لایه‌ها و همچنین بررسی دقت دستگاه‌ها و داده‌های بدست آمده، در کنار هر گمانه دو سونداژ یکی در امتداد خطوط پروفیل و دیگری عمود بر خطوط پروفیل برداشت شده و نتایج حاصل از این برداشت‌ها با وضعیت حقیقی زمین شناسی منطقه که از ستون لیتولوژیکی گمانه‌ها بدست آمده، مقایسه شده است.



شکل ۲- گمانه‌ها حفر شده و پروفیل‌های برداشت ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه

### نگاهی به مقاومت ویژه لایه‌های موجود در منطقه

#### مقاومت ویژه لایه‌های سطحی

در نیمه اول خطوط برداشت منطقه که دارای روند شمال شرق- جنوب غرب هستند یعنی در حاشیه رشته کوه‌های اصلی، مقادیر مقاومت ویژه برای لایه‌های آبرفتی، بالاتر از ۱۰۰ اهم‌متر ثبت شده است که به علت دانه درشت بودن رسوبات آبرفتی و نیز خشک بودن رسوبات سطحی منطقه می‌باشد. اما در نیمه دوم خطوط برداشت یعنی در حاشیه گسل خواف و سمت چپ

آن، مقادیر مقاومت ویژه این لایه‌ها پائین می‌باشد که علت آن ریزدانه بودن رسوبات آبرفتی، تاثیر لایه آبدار و نزدیک بودن سنگ کف نئوژن با مقاومت ویژه پائین به لایه‌های سطحی می‌باشد.

### مقاومت ویژه سنگ کف

سنگ کف منطقه در بیشتر نواحی بخصوص در مرکز دشت متشکل از لای سنگ، رس و مارن نئوژن می‌باشد که دارای مقاومت ویژه پائینی (۲۰-۱۰ اهم‌متر) می‌باشد. در شمال و شمال شرق منطقه مقاومت ویژه سنگ کف، مقدار بالایی بدست آمده است که مربوط به کنگلومرای دانه درشت نئوژن می‌باشد که در شرق منطقه برونزد دارد.

### مقاومت ویژه پی سنگ آذرین

پی سنگ منطقه در بیشتر نواحی متشکل از سنگ‌های آتشفشانی دوران ائوسن می‌باشد که مقاومت ویژه بالایی دارند. حضور این سنگ‌های آتشفشانی در اعماق ۱۸۰ تا ۲۰۰ متری گمانه‌های ۲۶، ۲۷ و ۲۸ به اثبات رسیده است.

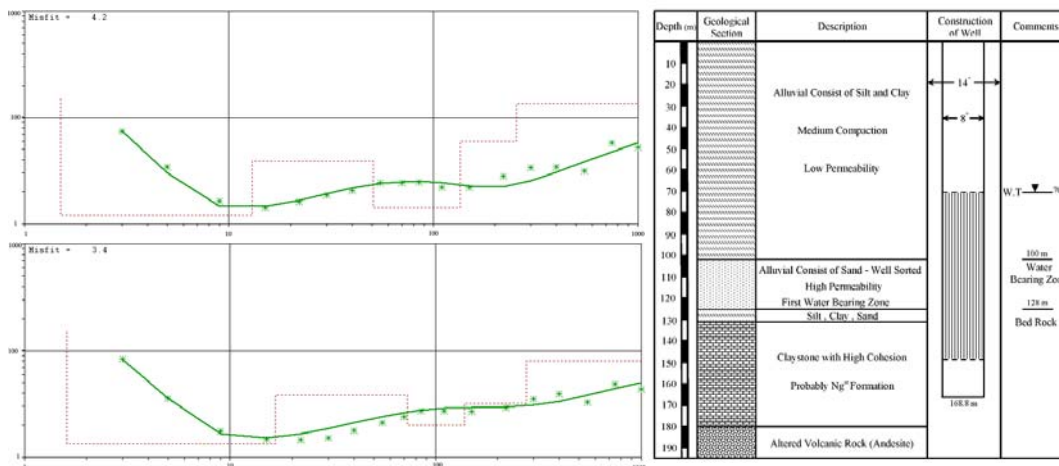
## تفسیر سونداژها و مقایسه با ستون لیتولوژیکی گمانه‌ها

### برداشت سونداژ در کنار گمانه شماره ۲۶

این گمانه بر روی خط برداشت XV به عمق ۱۹۳ متر حفاری شده است. ستون لیتولوژیکی این گمانه متشکل از رسوبات کواترنری (۱۳۰ متر)، نئوژن (۶۰ متر) و ائوسن می‌باشد. سطح آب در این گمانه در عمق تقریبی ۷۰ متری و زون آبدار در فاصله ۱۳۰-۱۰۰ متری سطح زمین قرار دارد. عملیات چاه‌نگاری انجام گرفته، مقاومت ویژه آبرفت را ۱۵۰-۳۰ اهم‌متر و مقاومت ویژه رسوبات نئوژن را ۱۵-۱۰ اهم‌متر ثبت کرده است.

در مجاورت این گمانه دو سونداژ عمود بر هم با حداقل و حداکثر فاصله الکترودهای جریان ۳ و ۱۰۰۰ متر برداشت و داده‌های بدست آمده از این عملیات با نرم‌افزار VES مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفت. در تفسیر این دو سونداژ شش لایه مشخص شد که چهار لایه اول مربوط به آبرفت، لایه پنجم مربوط به سنگ کف و لایه آخر مربوط به پی سنگ آذرین منطقه می‌باشد. سونداژ در امتداد پروفیل ۱۳۰ متر و سونداژ عمود بر پروفیل ۱۴۰ متر آبرفت با رنج مقاومت ویژه ۱۵۰-۱۲ اهم‌متر مشخص ساخته است. مقاومت‌های بالا مربوط به لایه‌های سطحی به علت دانه درشت و خشک بودن رسوبات و مقاومت ویژه پایین مربوط به لایه آبدار و رسوبات آبرفتی ریزدانه می‌باشد. اثر لایه آبدار روی این دو سونداژ با کاهش ناچیز مقاومت ویژه از ۸۰ تا  $\frac{AB}{2}$  متر مشخص شده که لایه چهارم با مقاومت ویژه ۱۵ اهم‌متر مشخص کننده این لایه است.

نکته قابل توجه در تفسیر این دو سونداژ ضخامت لایه پنجم (لایه سنگ کف) می‌باشد. در حالیکه ضخامت واقعی این لایه ۶۰ متر می‌باشد اما سونداژها، لایه‌ای با ضخامت ۱۲۰ متر را ثبت کرده‌اند که علت آن را می‌توان پایین بودن مقاومت ویژه این لایه و قرارگیری پی سنگ آذرین با مقاومت ویژه بالا در زیر این لایه ذکر کرد. در چنین شرایطی که مقاومت ویژه به صورت تابعی از الکترودهای جریان کاهش یا افزایش یابد، غالباً با این مساله برخورد می‌شود که از آن با عنوان اصل اختفا یاد می‌شود. لایه ششم که با ضخامت نامعلوم و مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم‌متر بر روی این دو سونداژ نشان داده شده تایید کننده حضور سنگ‌های آتشفشانی با مقاومت ویژه بالا به عنوان پی سنگ آذرین منطقه می‌باشد. در شکل ۳ ستون لیتولوژیکی این گمانه به همراه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژ نشان داده شده است.

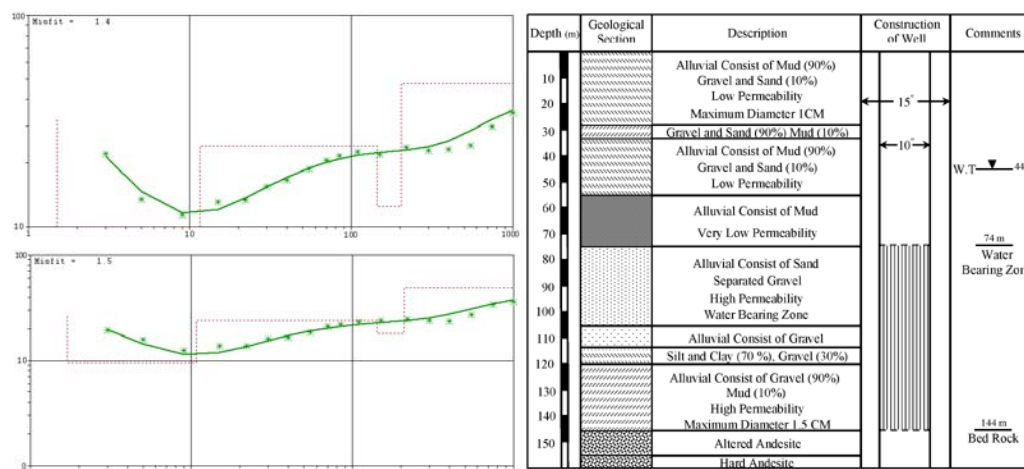


شکل ۳- ستون لیتولوژیکی (الف) و نتایج تفسیر ژئوالکتریک در امتداد پروفیل (ب) عمود بر پروفیل (ج) گمانه شماره ۲۶

### برداشت سونداژ در کنار گمانه شماره ۲۷

این گمانه به عمق ۱۷۲ متر بر روی پروفیل XV حفاری شده است. ستون لیتولوژیکی این گمانه متشکل از رسوبات کواترنری، نتوژن و ائوسن می‌باشد که در ستون لیتولوژیکی شکل ۴ نشان داده شده است. رسوبات آبرفتی این گمانه ضخامت بالی بر ۱۴۰ متر دارند که متشکل از دو نوع آبرفت (آبرفت دانه ریز رس دار و آبرفت با دانه‌های شن و ماسه با تراوایی بالا) می‌باشد. عملیات چاه‌نگاری مقاومتی حدود ۴۰-۱۵ اهم‌متر را برای این آبرفت نشان می‌دهد. بعد از این رسوبات، رسوبات نتوژن ( $Ng^{St}$ ) با ضخامت حدود ۳۰ متر قرار دارند که از لایه‌های ماسه، رس و ماسه‌رسی تشکیل شده‌اند و عملیات چاه‌نگاری مقاومت‌ویژه حدود ۳۰-۵ اهم‌متر را برای این لایه‌ها نشان می‌دهد. در عمق ۱۷۰ متری این گمانه هم سنگ‌های آتشفشانی ائوسن وجود دارند سطح آب در این گمانه در عمق ۴۵ متری و زون آبدار در رنج ۱۴۴-۷۴ متری از سطح زمین قرار دارد. دبی ویژه آب این گمانه ۲ لیتر در ثانیه و میزان املاح آب آن ۸۵ گرم در لیتر می‌باشد.

سونداژهای برداشت شده در کنار این گمانه، پنج لایه‌ای تفسیر شده که سه لایه اول مربوط به آبرفت منطقه، لایه چهارم مربوط به سنگ کف و لایه آخر مربوط به پی سنگ می‌باشد. نتایج تفسیر کامپیوتری به طور میانگین ضخامت ۱۴۰ متر را برای آبرفت منطقه نشان داده اند که با ستون لیتولوژیکی گمانه همخوانی کاملی دارد. اثر لایه آبدار بر روی این دو سونداژ به طور واضح مشخص نمی‌باشد که علت آن را می‌توان وجود یک لایه رسی با مقاومت‌ویژه ۱۰ اهم‌متر و قابلیت تراوایی ناچیز در



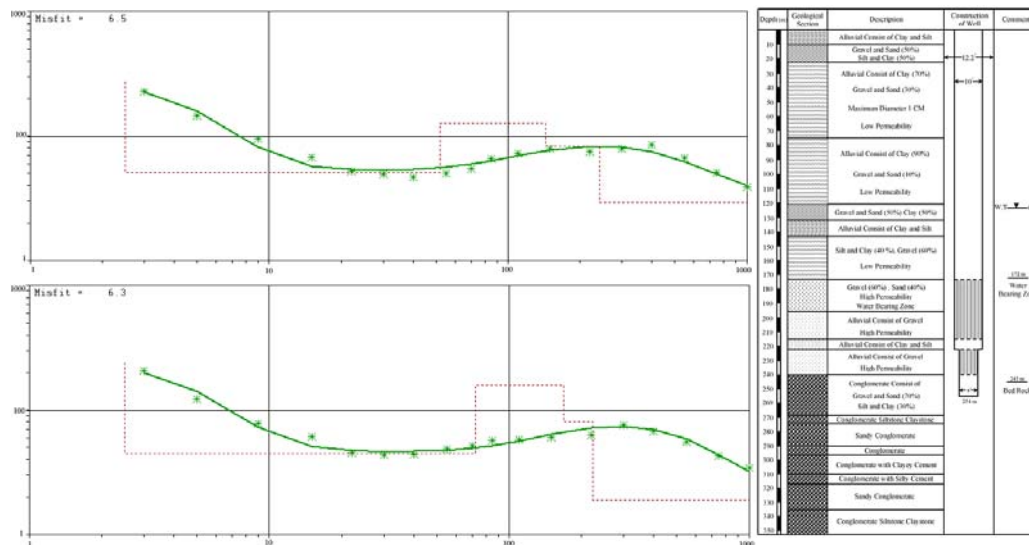
شکل ۴- ستون لیتولوژیکی (الف) و نتایج تفسیر ژئوالکتریک در امتداد پروفیل (ب) عمود بر پروفیل (ج) گمانه شماره ۲۷



بالای لایه آبدار ذکر کرد. وجود این لایه باعث شده که با افزایش عمق مقاومت ویژه زیاد شده و منحنی سونداژ روند صعودی به خود گیرد و مانند حالت قبل با مساله اختفا لایه‌ها روبرو شویم. در این حالت اگر لایه‌های مورد نظر ضخامت کافی را نداشته باشند تاثیری بر روی منحنی‌های سونداژ نخواهند داشت.

### برداشت سونداژ در کنار گمانه شماره ۳۲

این گمانه بر روی پروفیل XVIII به عمق ۳۴۵ متر حفاری شده است. رسوبات این قسمت متشکل از آبرفت‌های کواترنری و رسوبات نفوژن می‌باشد. ۲۴۵ متر اولیه رسوبات را آبرفت‌های کواترنری تشکیل داده‌اند که متشکل از سیلت، رس، ماسه و شن می‌باشد. سطح آب زیرزمینی در عمق ۱۲۳ متری و زون آبدار در فاصله ۲۴۵-۱۷۲ متری سطح زمین قرار دارد. سنگ کف نفوژن در این ناحیه متشکل از سیلت استون با سیمان رسی و ماسه‌ای می‌باشد که بعد از آبرفت کواترنری قرار گرفته است. دو سونداژ برداشت شده در کنار این گمانه پنج لایه‌ای تفسیر شد که چهار لایه اول مربوط به آبرفت منطقه و لایه آخر مربوط به سنگ کف می‌باشد. سونداژ در امتداد پروفیل ضخامت ۲۴۲ متر و سونداژ عمود بر پروفیل ضخامت ۲۳۳ متر را برای آبرفت نشان داده‌اند که می‌توان گفت به طور میانگین این دو سونداژ ضخامت آبرفت منطقه را به طور صحیح نشان داده‌اند. لایه آبدار در این دو سونداژ با ضخامت متوسط ۷۷ متر و مقاومت ویژه ۸۰ اهم‌متر مشخص شده است و این در حالی است که ضخامت واقعی لایه آبدار ۷۳ متر می‌باشد. لایه آخر هم که با مقاومت ویژه پایین (۲۲ اهم‌متر) و ضخامت نامعلوم بر روی سونداژها دیده می‌شود مربوط به سنگ کف می‌باشد. همان گونه که مشاهده می‌شود نتایج بدست آمده از سونداژها با ستون لیتولوژیکی این گمانه انطباق کامل دارد. در شکل ۵ ستون لیتولوژیکی این گمانه به همراه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژ برداشت شده، نشان داده شده است.



شکل ۵-

ستون

لیتولوژیکی (الف) و نتایج تفسیر ژئوالکتربیک در امتداد پروفیل (ب) عمود بر پروفیل (ج) گمانه شماره ۳۲

در یک نگاه اجمالی می‌توان نتایج حاصل از سونداژها را در جدول ۱ خلاصه کرد. همانطور که ملاحظه می‌شود تمامی سونداژها موفق به شناسایی سنگ کف نفوذناپذیر منطقه و عمق قرارگیری آن شده‌اند و میزان اختلاف در تعیین آن ناچیز بوده است. اما در مورد شناسایی لایه آبدار باید گفت که با توجه به وضعیت خاص زمین شناسی منطقه سنگان که در آن لایه آبدار و سنگ کف هر دو مقاومت ویژه پایینی دارند، باعث شده در اکثر موارد نتایج سونداژها با خطا همراه باشد که از عوامل دخیل در این امر می‌توان به اصل اختفا اشاره داشت. نکته دیگر اینکه در تفسیر از نظریه لایه تخت استفاده شده است؛ این نظریه کاربردی نخواهد داشت مگر آنکه مقیاس توپوگرافی زیرسطحی چندین برابر مقیاس عمقی باشد.

جدول ۱- مقایسه نتایج حاصل از برداشت‌های مقاومت‌ویژه با ستون لیتولوژیکی گمانه‌ها  
(مقادیر مثبت به معنای بیشتر از مقدار واقعی و مقادیر منفی به معنای کمتر از مقدار واقعی)

گمانه	روند برداشت سونداژ	اختلاف در تعیین ضخامت آبرفت (m)	اختلاف در تعیین ضخامت لایه آبدار (m)	اختلاف در تعیین عمق لایه آبدار (m)
۲۶	در مسیر پروفیل	صفر	+۲۰	-۲۰
	عمود بر پروفیل	+۱۰	+۳۰	-۱۵
۲۷	در مسیر پروفیل	+۴	نامعلوم	نامعلوم
	عمود بر پروفیل	+۳	نامعلوم	نامعلوم
۳۲	در مسیر پروفیل	-۲	+۱۷	+۷
	عمود بر پروفیل	-۱۲	-۱۳	+۱۲

### نتیجه

با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت که روش مقاومت‌ویژه به طریقه VES یک روش غیرتخریبی و ارزان در تعیین ضخامت آبرفت، عمق قرارگیری سنگ کف و شناسایی لایه آبدار می‌باشد. از آنجا که اساس این روش بر مبنای تغییرات ناچیز مقاومت ویژه جانبی پایه‌گذاری شده، جهت بدست آوردن اطلاعات دقیق زیرسطحی نیاز به انجام حداقل دو سونداژ عمود بر هم و میانگین‌گیری از نتایج، ضروری به نظر می‌رسد. داشتن اطلاعات اولیه از وضعیت ساختار زیر سطحی منطقه برای شروع و انجام مطالعات ژئوالکتریک لازم می‌باشد و هرگز نمی‌توان بدون داشتن این اطلاعات و کورکورانه اقدام به تفسیر منحنی‌های سونداژ بدست آمده کرد. لذا باید عنوان کرد که روش‌های ژئوفیزیکی باید در کنار و مکمل روش‌های اکتشاف مستقیم اجرا شوند و هرگز نباید جانشین این روش‌ها شوند.

### ۷- مراجع

- [۱] بهنام، ایمان؛ (۱۳۸۳)؛ بررسی اعتبار روش ژئوالکتریک با آرایش شلومبرگر در مقایسه با ستون لیتولوژیکی گمانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه یزد.
- [۲] انصاری، عبدالحمید؛ (۱۳۷۰)؛ پروژه اکتشاف آب‌زیرزمینی در منطقه سنگان؛ شرکت ملی فولاد.
- [۳] شروینی، مجید؛ (۱۳۸۲)؛ تعیین اعتبار داده‌های ژئوفیزیکی معدن مهدی آباد یزد، پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه یزد.
- [۴] تلفورد و دیگران، ترجمه زمردیان، حسین و حاجب حسینی، حسن؛ (۱۳۷۵)؛ ژئوفیزیک کاربردی؛ جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

[5] Robert J. Bisdorf ; 2002 ; *Schlumberger Soundings at the Amargosa Desert Research Site, Nevada, U.S. Geological Survey.*