

بررسی درز و شکاف‌های آبدار به روش VLF و مقاومت ویژه در مسیر خیابان اصلی تله کابین توچال تهران

محمد کاظم حفیظی^{۱*} و محمد یاسر رادان^۲

^۱ دانشیار گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۳، ۱۲، ۲۴، پذیرش نهایی: ۸۶، ۱۰، ۲۵)

چکیده

به منظور تشخیص درز و شکاف‌های آبدار در مناطق سنگی که در اثر گسلش ایجاد شده‌اند، با اندازه‌گیری مؤلفه زاویه شیب (Tilt Angle) میدان الکترومغناطیسی با روش VLF در مسیر خیابان اصلی تله کابین توچال، از فاصله ۱۹۲۵ تا ۱۹۶۰ متری به کمک پردازش داده‌های VLF و تفسیر مقاطع چگالی نوعی بی‌هنجاری جریان به دست آمده است. سپس با کاربرد روش مقاومت ویژه الکتریکی منطبق بر نیم‌رخ VLF، بی‌هنجاری یادشده اندازه‌گیری شد و در فاصله ۱۹۳۰ متری جاده اصلی تله کابین توچال وجود بی‌هنجاری مقاومت ویژه الکتریکی از عمق ۷ تا ۳۰ متری به تأیید رسید و روشن شد که مربوط به همان حوزه آبدار بوده است. با حفاری صورت گرفته در محل، صحت این نتایج به اثبات رسید.

واژه‌های کلیدی: روش VLF، روش مقاومت ویژه، درز و شکاف آبدار

Exploration of groundwater-bearing fracture zones integrating VLF and resistivity methods

Hafizi, M. K¹. and Radan, M. Y².

¹Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²M.Sc. student of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 14 Mar 2005, Accepted: 15 Jan 2008)

Abstract

Because of urgent needs of groundwater resources in the Tochal region of north Tehran, an integration of electric and electromagnetic methods was applied to investigate the location and the direction of water bearing fractures. First, the VLF electromagnetic profiling was performed on suitable places and two locations were detected for supplementary resistivity surveys. Then, a number of vertical electrical soundings using Schlumberger array were carried out on suitable locations. With the presumption of a layered earth, three soundings in every two locations were merged and the 2D electrical resistivity cross-sections were made and the best location for groundwater-bearing fracture zone was detected.

The VLF method has been applied successfully to map the resistivity contrast at boundaries of fractured zones having a high degree of connectivity (Parasnis, 1973).

Further, the VLF method yields a higher depth of penetration in hard rock areas because of their high resistivity. Therefore, a combined study of VLF and DC resistivity has the potential to be successful (Bernard and valla, 1991; Benson et al., 1997).

For tilt angle measurements, magnetic field coupling with the fracture zone is important. Therefore, the VLF-transmitter should be located along the strike of the target. The depth of investigation is dependent on the frequency used and the resistivity of the host medium. Sharma and Baranwal (2005) suggested a method using real component curve of VLF measurements to locate water bearing fractures. In this method, every significant leap in the data curve indicates a conductive anomaly referring to a fracture in a hard rock medium.

Integrated geophysical studies were performed on the Tochal telecabin region, north of Tehran, Iran. Tochal telecabin is a cultural-sporting complex that begins from the end of Velenjak Street and continues to the vertex of Tochal Mountain. This study was accomplished by a VLF survey followed by a resistivity survey using Schlumberger array to find a suitable location for drilling a well in the Tochal telecabin region.

In order to find the locations that contain water-bearing fractures, nine VLF profiles were performed to study along the main road of the Tochal telecabin. First a suitable transmitter with sufficient power and admissible direction was found and then the measurements with 5m station spacing were done. It is important to note that almost all of the measurements were taken before sunrise when the city wireless transmitters had not begun to work. Because city wireless transmitters generate noise, the instrument cannot get a suitable signal. High noise level is a serious problem on a cold and snowy day. Moreover, the active installations and high voltage transporter cables affect the signal and increase the noise level.

VLF data were collected using an ABEM-WADI instrument. With regard to the pseudo current-density section of first VLF profile, we focused on two major zones along the road. For zone 1, since the probable fault direction in the formation was approximately in the E-W direction, the HWU transmitter in this direction with a frequency of 18.3 kHz located in Le Blance, France was used. For zone 2, since the probable fault direction in the formation was approximately in the N-S direction, the RCV transmitter in this direction with a frequency of 27.1 kHz located in Russia, was used. Next, the other profiles were surveyed along hydrogeologically suitable locations with probable fractures and fault.

Six Schlumberger resistivity soundings were performed in two zones using a DC resistivity meter. Sounding locations were selected by detailed study of the area with a VLF survey as well as by their hydrogeological suitability.

After gathering the measured data, for further detailed information of the subsurface, the measured real anomaly was filtered using the approach of Karous and Hjelt (1983). This process yields pseudo-section of relative current density variation with depth. A higher value of relative current density corresponds to conductive subsurface structures. According to Sharma and Baranwal (2005), every leap of real anomaly may indicate subsurface water-bearing fractures in a hard rock medium. Apparent current density cross-section also gives a rough idea about the dip direction; however, exact dip angle cannot be estimated due to the vertical axis variable being a pseudo depth only.

The current density pseudo-section of three VLF profiles in Zone-2 has an obvious anomaly that is located between 1925m to 1960m along the profile with the dipping angle about 45° . This is the best anomaly found with the VLF method due to its concentration of current density and low noise.

As noted previously, Schlumberger soundings in two Zones were performed (three soundings in each Zone). With the presumption of a layered earth, the soundings were

measured in the field, then assuming a 2D-interpretation by group of 3 VES merged with the resistivity cross-sections of two VES groups. The anomaly observed in Zone-1 is about an underground pipeline that crosses the line of profile and is not a natural anomaly. In Zone-2, a low resistivity fracture zone is check located at 1930m and continued to depth of 50m and higher which is a natural anomaly.

The existence of water-bearing fractures as previously suggested at a distance of 1930m along the road was proved, making it a suitable place to drill a well. Also with the acceptable results that were given by this method, in order to give more accuracy and speed to geophysical prospecting in the hard rocks that contain probable groundwater-bearing fractures, first we suggest using the VLF method as a fast and low cost way in order to gather some useful information about the formation and anomalous zones. Then with the results of VLF pseudo current-density cross sections, the locations for electrical resistivity surveys can be determined.

Key words: VLF method, Resistivity method, Groundwater, Bearing fracture zone

۱ مقدمه

بررسی زیادی را در اختیار قرار می‌دهد (مک نیل و لاسون، ۱۹۹۱). بنابراین، بررسی به صورت ترکیبی از روش‌های VLF و مقاومت ویژه DC، امکان خوبی برای موفقیت دارد. از داده‌های VLF همچنین برای تشخیص جهت و راستای گسترش مناسب اجرای عملیات گمانه‌زنی الکتریکی می‌توان بهره جست.

اکتشاف آب در درز و شکاف آبدار محیط‌های سخت و سنگی با دو روش VLF و مقاومت ویژه الکتریکی نخستین بار در کشور و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله دلایل انتخاب روش VLF در تحقیق مورد نظر، سادگی و سرعت زیاد برداشت داده‌ها است. لازم به ذکر است که در ایران به‌منظور اکتشاف قنات (اسدیان، ۱۳۷۲)، همچنین اکتشاف آب‌های زیرزمینی (حسن‌شاهی، ۱۳۷۴) و نیز به‌منظور تشخیص آلودگی نفتی خاک (حفیظی، ۱۳۸۱) از روش VLF استفاده شده است. گرین هاوس و هریس (۱۹۸۳) برای آشکارسازی آلودگی در اثر دفن زباله شهری، بنسون و همکاران (۱۹۹۷) برای تشخیص آلودگی خاک، همچنین برنارد و والا (۱۹۹۱) برای بررسی آب در مناطق سنگی، از ترکیب دو روش VLF و مقاومت ویژه

روش‌های ژئوفیزیکی الکتریکی و الکترومغناطیسی به دلیل همبستگی خوبی که بین خصوصیات الکتریکی، زمین‌شناسی و محتوای سیال وجود دارد، به‌صورت گسترده در پی‌جویی‌های منابع زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان روش‌های متعدد الکتریکی، روش مقاومت ویژه DC برای گمانه‌زنی عمودی الکتریکی (مانند آرایه شلومبرژه) به طرز مؤثری در بررسی آب‌های زیرزمینی مورد توجه است.

در مناطق صخره‌ای، آب زیرزمینی در شکستگی‌ها و شکاف‌های سنگ میزبان یافت می‌شود. مقدار آب استحصال شده به اندازه و بزرگی درز و شکاف‌ها و میزان اتصال آنها به هم بستگی دارد. از گمانه‌زنی شلومبرژه معمولاً برای تعیین تغییرات مقاومت ویژه در عمق استفاده می‌شود، با این حال گمانه‌زنی مقاومت ویژه در هر مکانی بدون داشتن اطلاعات اولیه بسیار مشکل است. در این زمینه از روش VLF به‌طور موفقیت‌آمیزی برای به‌نقشه درآوردن تغییرات مقاومت ویژه در محدوده درز و شکاف‌هایی که از اتصالات خوبی برخوردارند استفاده شده است (پاراسنیس، ۱۹۷۳). علاوه بر این، روش VLF در مناطق صخره‌ای به‌دلیل مقاومت ویژه زیاد زمینه، عمق

$$\text{real part : } \tan \alpha \times 100\% \quad (2)$$

ب- بیضویت (Ellipticity یا ε) یا نسبت محور کوچک بیضی قطبش به محور بزرگ آن. با استفاده از روابط (اسمیت و وارد، ۱۹۷۴) خواهیم داشت:

$$e = \frac{H_z H_x \sin \Delta \varphi}{H_1^2} \quad (3)$$

که در آن ε بیضویت، H_z و H_x شدت مؤلفه میدان قائم و افقی، $\Delta \varphi = \varphi_z - \varphi_x$ اختلاف فاز بین مؤلفه‌ها، و $H_1 = |H_z e^{i\Delta \varphi} \sin \alpha + H_x \cos \alpha|$ است.

بر این اساس بی‌هنجاری مجازی اندازه‌گیری شده را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{imaginary part : } e \times 100\% \quad (4)$$

این دو کمیت پارامترهای اساسی نامیده می‌شوند که میدان VLF را به طور کامل توصیف می‌کنند.

۳ بهینه‌سازی و تفسیر داده‌ها در روش VLF

روش‌های متداول تفسیر داده‌های VLF کیفی‌اند. داده‌هایی که در عملیات صحرایی برداشت شده‌اند را می‌توان بدون هیچ تقلیل و یا بهینه‌سازی تفسیر کرد. یک کارشناس باتجربه با رسم مقادیر مؤلفه‌های حقیقی و مجازی برحسب فاصله برای هر پیمایش، اغلب می‌تواند محل قرارگیری شکستگی‌ها و یا منطقه‌های دارای هدایت الکتریکی زیاد را در تفسیر مشخص کند.

فنون فیلتر کردن اغلب برای بهبود داده‌ها و ساده کردن تشخیص محل تلاقی زاویه شیب مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو روش متداول فیلتر کردن عبارت‌اند از فیلتر فریزر (فریزر، ۱۹۶۹) و فیلتر کاروس (کاروس و هجلت، ۱۹۸۳). فیلتر فریزر به آسانی محل‌های صفر زاویه شیب را به قله تبدیل می‌کند. فیلتر کاروس مقدار جریان در عمق مشخصی را محاسبه می‌کند که عموماً "چگالی جریان

الکتریکی استفاده کرده‌اند. شارما و بارانوال (۲۰۰۵) نیز با استفاده از مقاطع چگالی جریان به دست آمده از داده‌های VLF و اجرای عملیات مقاومت ویژه در مکان‌های دارای چگالی جریان زیاد، وجود آب در این زون‌ها را بررسی کرده‌اند.

نتایج کارهای شارما و بارانوال روشن ساخت که در فاصله‌ای که پرشی قابل ملاحظه در منحنی داده‌های اصلی (فیلتر نشده) وجود دارد، مقطع چگالی جریان، بی‌هنجاری با مقاومت ویژه کم نشان می‌دهد که این می‌تواند نشانه‌ای از وجود آب به شمار آید. در پژوهش حاضر نیز با توجه به نتایج چشمگیر کارهای شارما و بارانوال، از فکر استفاده هم‌زمان از روش‌های VLF و مقاومت ویژه الکتریکی برای تشخیص محل قرارگیری درز و شکاف‌های آبدار در مسیر جاده اصلی تله کابین توجال تهران بهره‌گیری شده است.

۲ کمیت‌های اندازه‌گیری در روش VLF

در برداشت‌های صحرایی VLF میدان الکترومغناطیسی کل را اندازه می‌گیریم، زیرا روش ساده‌ای برای جداسازی میدان‌های اولیه و ثانویه در دست نیست. پارامترهایی که در گیرنده‌های VLF ثبت می‌شوند عبارت‌اند از: الف- زاویه کجی (Tilt Angle یا α) که همان زاویه بین محور بزرگ بیضی قطبش با افق است. با استفاده از روابط (اسمیت و وارد، ۱۹۷۴) می‌توان نوشت:

$$\tan 2\alpha = \pm \frac{2(H_z/H_x) \cos \Delta \varphi}{1 - (H_z/H_x)^2} \quad (1)$$

که در آن α زاویه شیب، H_z و H_x شدت مؤلفه میدان قائم و افقی، و $\Delta \varphi = \varphi_z - \varphi_x$ اختلاف فاز بین مؤلفه‌ها است.

بر این اساس بی‌هنجاری حقیقی اندازه‌گیری شده را می‌توان به صورت زیر نوشت:

(current density) "خوانده می‌شود.

می‌توان از این موقعیت قرارگیری چگالی جریان، در تفسیر پهنای شکستگی استفاده فراوانی کرد. برنامه‌هایی تجارتي نیز وجود دارند که با استفاده از فیلتر کاروس، داده‌ها را محاسبه و رسم می‌کنند. با استفاده از این برنامه‌ها، چگالی جریان برحسب عمق به صورت شبه مقطع چگالی جریان تهیه می‌شوند.

به منظور تشخیص امتداد جهت‌گیری یک شکستگی، لزوماً باید دو پیمایش (و ترجیحاً بیشتر) به حد کافی نزدیک به هم در اختیار داشت تا بتوان بی‌هنجاری مورد نظر را از همبستگی بین پیمایش‌ها ردگیری کرد. از راه برنبارش مجموعه نیم‌رخ‌ها، ایجاد همبستگی بین شکستگی‌ها و یا منطقه‌های هادی در سرتاسر محدوده کاوش امکان پذیر است. وقتی امتداد یک شکستگی تعیین شد، آنگاه بررسی اینکه آیا در مسیر خود با منطقه مورد نظر ما تقاطع دارد یا خیر، در برنامه تحقیق قرار می‌گیرد.

روش‌های کمی در تفسیر، از تطبیق منحنی‌های صحرايي با منحنی‌های استاندارد بهره می‌گیرند. ووزف و مادن (۱۹۷۱) تعدادی از این منحنی‌ها را که در تفسیر VLF قابل استفاده‌اند، تهیه کرده‌اند. روش ساده مدل‌سازی پیشرو را می‌توان با استفاده از فرمول‌های بیان شده در کتاب تلفورد و همکاران (۱۹۸۴) کامل کرد. در هنگام مدل‌سازی باید توجه داشت که تعدادی از فرضیه‌ها ممکن است در موقعیت مورد نظر نادرست باشند. در صورتی که تعداد کافی داده در پیمایش‌های موازی جمع‌آوری شده باشد، به نقشه در آوردن داده‌ها به منظور تشخیص حوزه‌هایی با هدایت الکتریکی زیاد، امکان‌پذیر است.

۴ جغرافیا و زمین‌شناسی محدوده مورد بررسی

تله کابین توچال تهران مجموعه‌ای فرهنگی تفریحی است که از انتهای خیابان ولنجک در شمال تهران آغاز می‌شود و تا قلّه توچال ادامه می‌یابد. محدوده تله کابین از لحاظ

زمین‌شناسی، در منطقه سازند کرج قرار گرفته است. سازند کرج حاصل نهشته‌های آذرآواری زیردریایی و جریان‌های آتشفشانی است و از واحدهای مهم چینه‌شناسی ایران محسوب می‌شود. این سازند با ضخامتی حدود ۳۸۵۰ متر در قلّه توچال شمال تهران را در دوره ائوسن میانی به جای گذاشته است.

نام سازند کرج از دره‌ای به همین نام در غرب تهران واقع در دامنه جنوبی البرز مرکزی گرفته شده است. این سازند، در گذشته با اسامی «سری سبز» و «طبقات سبز» نیز معرفی می‌شد. ددوال (Dedual) در ۱۹۶۷، مجموعه‌ای از سنگ‌های توفی و آتشفشانی متعلق به ائوسن در البرز جنوبی را که کنگلومراهای فجن و آهک‌های زیارت را پوشانده‌اند، در قالب سازند کرج معرفی کرد. سازند کرج عمدتاً از توف‌های سبز با لایه‌بندی مشخص، و نهشته‌های شیلی تشکیل شده است. مسیر تله کابین توچال عمدتاً شامل گدازه‌های آندزیتی-بازالتی و در بعضی نقاط برشی است که رگه‌های کلسیتی و سیلیسی آنها را قطع کرده‌اند (یساقی، ۱۳۶۸).

در امتداد گسل امامزاده داوود، بخش‌های متفاوتی از سازند کرج بر روی یکدیگر رانده شده‌اند. گسل امامزاده داوود با طولی معادل ۲۱ کیلومتر و راستای شمال غربی-جنوب شرقی، از شمال غربی مزرعه تالون تا شمال ولنجک (تله کابین توچال) ادامه دارد. این گسل در این محل به گسل شمال تهران برخورد می‌کند و ادامه آن در آبرفت‌های شمال تهران قرار گرفته است. وجود این گسل‌ها و برخورد آنها، مخصوصاً در محدوده مورد بررسی در جاده اصلی تله کابین توچال، به نوبه خود باعث ایجاد درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های فراوان در این محدود شده است.

۵ خصوصیات دستگاه‌های استفاده شده

دستگاه مورد استفاده در اندازه‌گیری VLF، دستگاه

نیم‌رخ VLF-1 از فاصله ۱۸۸۰ تا ۲۰۲۰ متری شمال جاده با فاصله قرائت‌های ۵ متری برداشت شده است. در برداشت داده‌ها از فرستنده‌ای با بسامد ۱۸/۳ Khz واقع در Le Blanc فرانسه استفاده شده است.

با اعمال فیلتر کاروس و هجالت، ۱۹۸۳ روی داده‌ها و رسم نتایج به دست آمده، نقشه توزیع چگالی جریان زیرسطحی برای نیم‌رخ برداشت شده برحسب عمق به دست می‌آید. این نقشه می‌تواند نحوه قرارگیری زون‌هایی با چگالی جریان متفاوت را در زیرسطح نمایان کند. وجود بی‌هنجاری‌های رسانا در نقاطی از نقشه مدنظر قرار می‌گیرد که چگالی جریان زیادی از خود نشان داده‌اند.

همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد براساس نتایج کارهای شارما و بارانوال، هر جا که در منحنی داده‌های حقیقی برداشت شده، یک پرش بلند اتفاق افتاده، نقشه چگالی جریان مربوط به آن یک بی‌هنجاری رسانا با چگالی جریان زیاد را نشان می‌دهد (شکل ۳). در نیم‌رخ VLF-1 نیز با توجه به نقشه چگالی جریان در فاصله ۱۹۲۵ تا ۱۹۶۰ متری زون دارای چگالی جریان زیاد (رنگ سرخ) به چشم می‌خورد که نشانه‌ای از وجود درز و شکاف‌های آبدار در آن محل است.

به منظور بررسی بیشتر و تأیید بی‌هنجاری مشاهده شده در نیم‌رخ VLF-1، نیم‌رخ دیگری به موازات آن با نام VLF-2 در ارتفاع بالای جاده از فاصله ۱۷۷۵ تا ۲۰۷۵ متری برداشت شد. با اعمال فیلتر کاروس و هجالت و ترسیم نقشه چگالی جریان، بی‌هنجاری مشابهی در فاصله ۱۹۲۵ تا ۱۹۶۰ متری آشکار شد که این مورد وجود یک بی‌هنجاری رسانا (درز و شکاف‌های آبدار) را نمایان می‌کند (شکل ۴). البته همان‌طور که در نقشه‌ها دیده می‌شود، میزان گسترش این بی‌هنجاری از مورد مشابه در نیم‌رخ VLF-1 محدودتر است و این ممکن است به دلیل شیب زمین باشد.

WADI ساخت شرکت سوئدی ABEM و شامل قسمت‌های آنتن، واحد اندازه‌گیری، رایانه کوچک و بخش کنترل کننده است. آنتن در این دستگاه از هزاران دور سیم با هسته آهن هیدروکسید به طول ۱۵ سانتی‌متر درست شده است. فرستنده‌های VLF در سراسر جهان به طور فعال توزیع شده‌اند و با برنامه‌های منظم ارسال موج می‌کنند. در این پژوهش از فرستنده Le Blanc در فرانسه با بسامد ۱۸/۳ KHz استفاده شده است. قسمت اندازه‌گیری و پردازش سیگنال شامل دستگاه گیرنده، تقویت کننده و فیلترهای آنالوگ، باتری‌ها و خروجی‌های چاپگر و رایانه است.

دستگاه مورد استفاده در اندازه‌گیری مقاومت ویژه با ارایه شلومبرژه دستگاه Terrameter مدل SAS300C ساخت شرکت سوئدی ABEM به همراه الکترودهای فلزی و کابل‌های رابط است.

۶ برداشت و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

۱-۶ روش VLF

نظر به اینکه در ساعات‌های متفاوت شبانه‌روز، وجود نوفه زیاد مانع از برداشت داده‌های مفید می‌شود، برداشت‌های VLF بیشتر در موقع سحر و تا قبل از روشن شدن هوا، و قبل از شروع فعالیت‌های مخابراتی ایستگاه‌های فرستنده اطراف محل اندازه‌گیری صورت گرفته است. به همین علت برداشت داده‌ها در امتداد چند نیم‌رخ و در روزهای مختلف صورت گرفته است. با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، نحوه قرارگیری دره‌ها و پوشش گیاهی مشاهده شده در ناحیه‌های متفاوت جاده، بررسی آب‌یابی روی محدوده فاصله ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متری جاده آسفالت متمرکز شد. بدین منظور برداشت‌های VLF و مقاومت ویژه الکتریکی در ناحیه یادشده صورت گرفت که شرح آن چنین است:

۲-۶ روش مقاومت ویژه الکتریکی

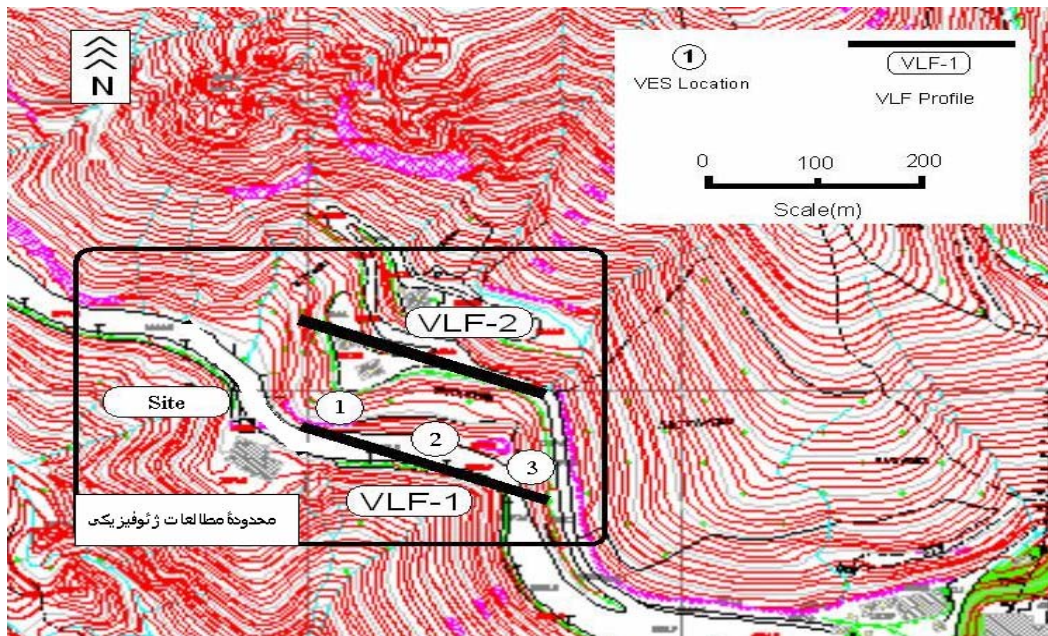
به منظور بررسی کمی و دقیق‌تر محدوده بی‌هنجاری مشاهده شده، بررسی مقاومت ویژه الکتریکی نیز در ناحیه مورد نظر صورت گرفت. داده‌های مقاومت ویژه نیم‌رخ RES-1 متشکل از سه سونداژ قائم (Ves1, Ves2, Ves3) است و پوشش مقاومت ویژه الکتریکی از فاصله ۱۹۱۷ تا ۱۹۵۳ متری را با آرایه شلومیرزه عملی ساخته است. وارون‌سازی دو بعدی داده‌ها با روش کم‌ترین مربعات با مدل‌سازی به روش المان‌های محدود یا تفاضل‌های محدود با نرم‌افزار RES2DINV صورت گرفته و دارای خطای RMS برابر ۲/۷ درصد است (خطای کمتر از ۵ درصد ایدئال است) که این به نوبه خود نشان از صحیح بودن مدل دارد (شکل ۵).

در فاصله ۱۹۳۰ متری و در عمق ۷ تا ۳۰ متری بی‌هنجاری مقاومت ویژه الکتریکی کم با رنگ سبز پررنگ که با بی‌هنجاری داده‌های VLF همخوانی دارد نشانگر احتمال وجود آب در این محل است.

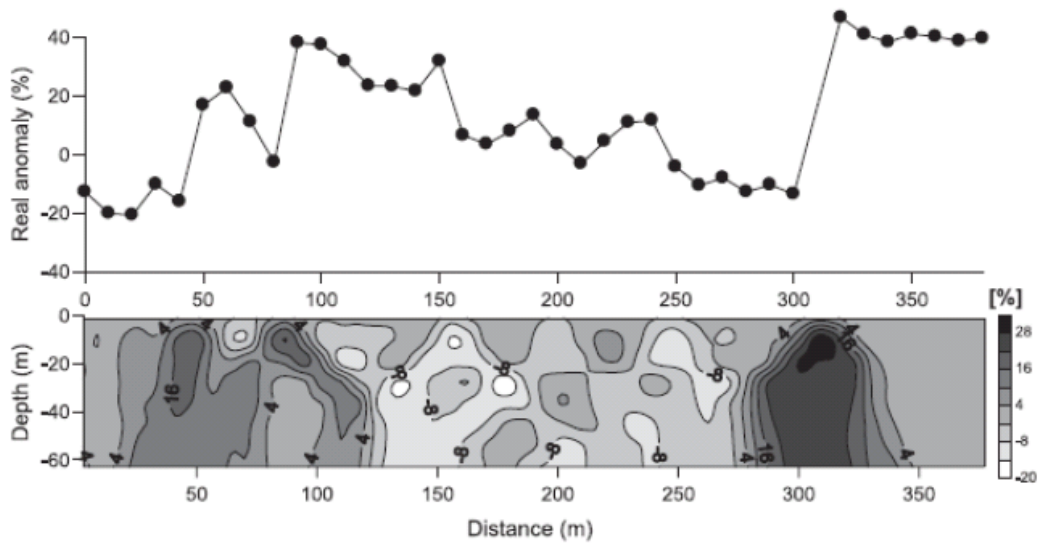
باید توجه داشت که وجود مقاومت ویژه الکتریکی کم در سطح ناشی از وجود خاک‌های ریزدانه سطحی است. نمونه سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی همراه با داده‌های خام در شکل ۶ و جدول ۱ آمده است. بی‌هنجاری یادشده با تفسیر یک‌بعدی سونداژ VES2 که در عمق ۷ متری لایه‌ای با مقاومت ویژه حدود ۴۰ اهم متر و ضخامت حدود ۷ متر نشان داده شده، مناسب دارد (شکل ۷).

۷ نتیجه‌گیری

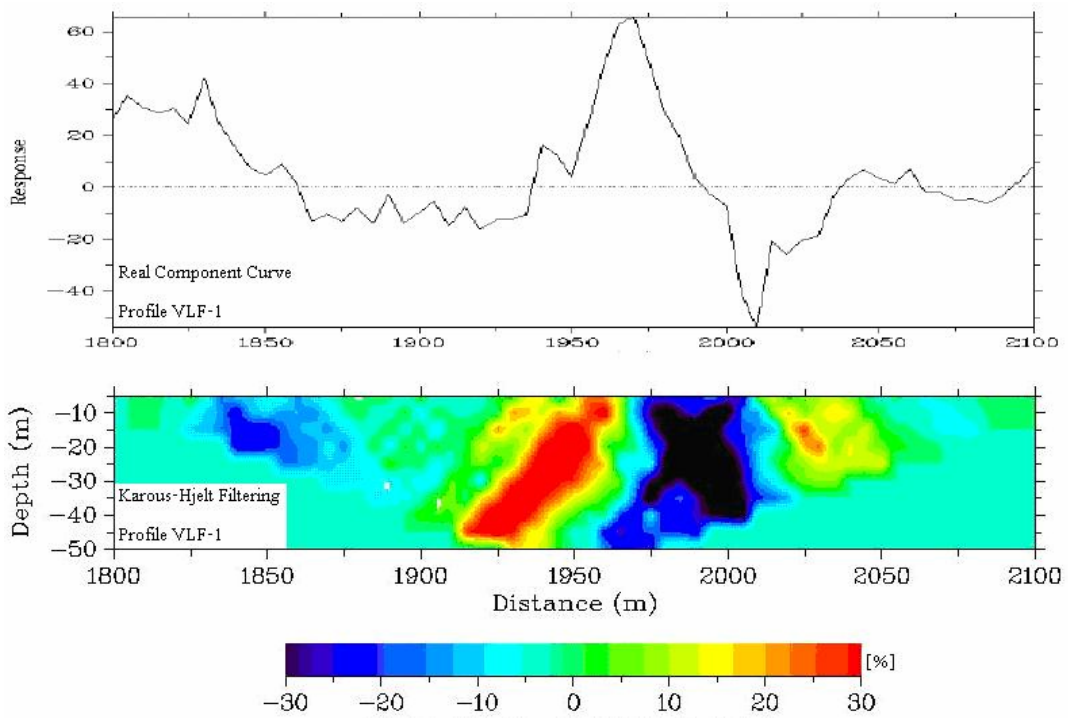
با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی‌های ژئوفیزیکی به روش‌های VLF و مقاومت ویژه الکتریکی، وجود و تمرکز درز و شکاف‌های آبدار در فاصله ۱۹۳۰ متری کنار جاده آسفالتی تله‌کابین توجال تشخیص داده شده است و این نقطه برای حفاری مناسب اعلام شد. با حفاری صورت گرفته در محل، وجود آب از عمق ۷ متری زمین به اثبات رسید.



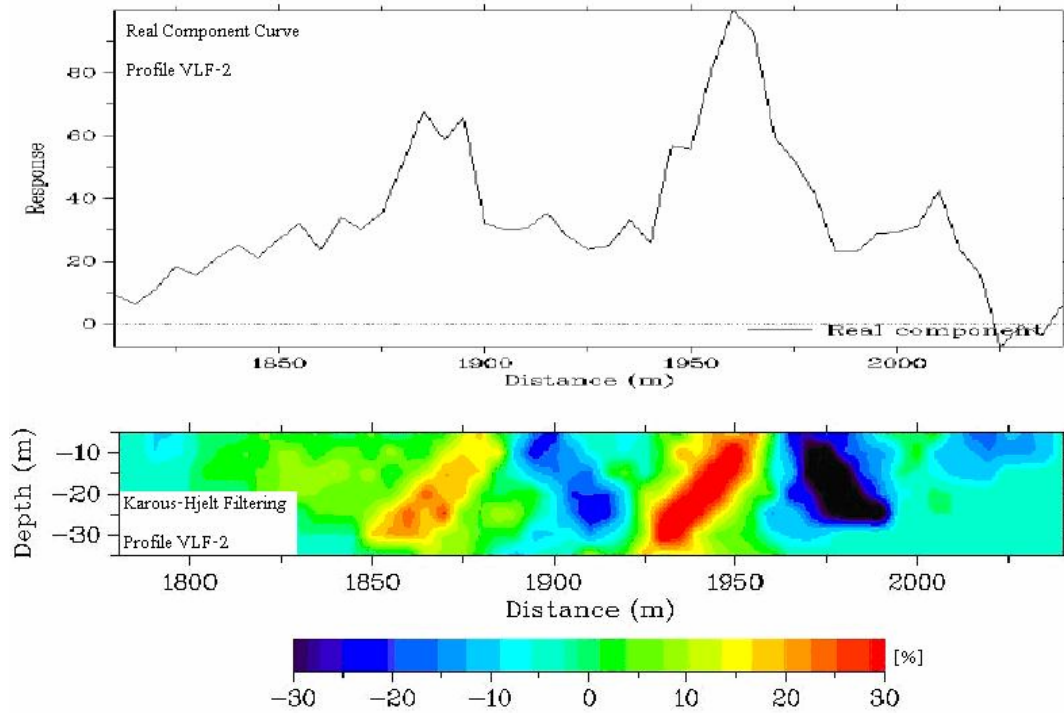
شکل ۱. نقشه خیابان اصلی تله‌کابین توجال، امتداد نیم‌رخ‌های VLF و محل قرارگیری سونداژهای الکتریکی.



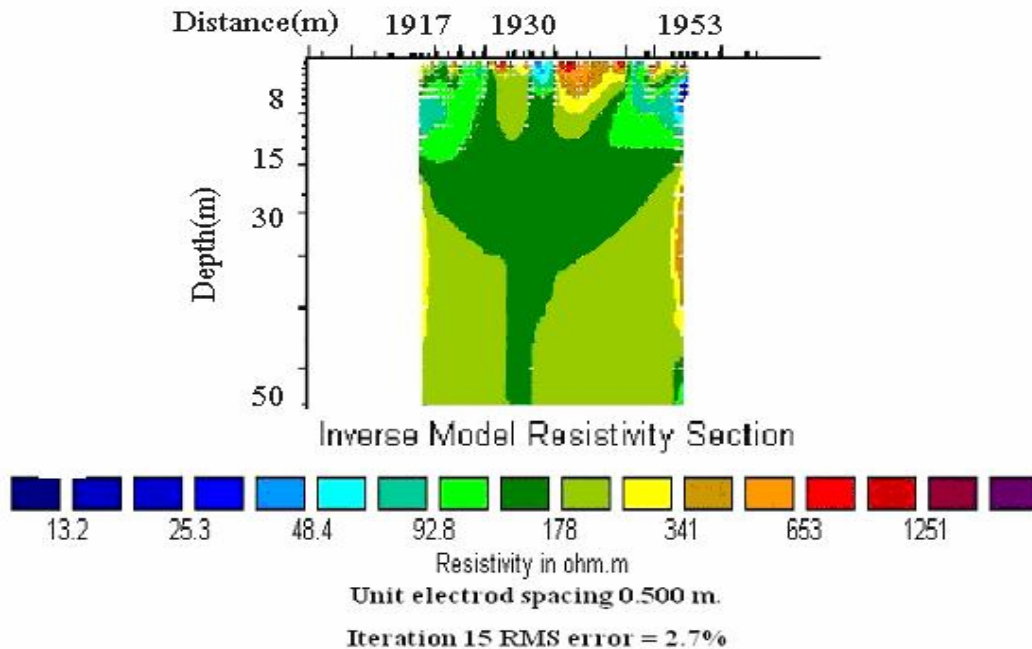
شکل ۲. منحنی داده‌های حقیقی و نقشه چگالی جریان از نتایج کارهای شارما و بارانوال (۲۰۰۵) که روشن می‌سازد پرش‌های بلند در منحنی داده‌ها، متناظر با بی‌هنجاری‌های رسنای زیرسطحی با چگالی جریان زیاد است.



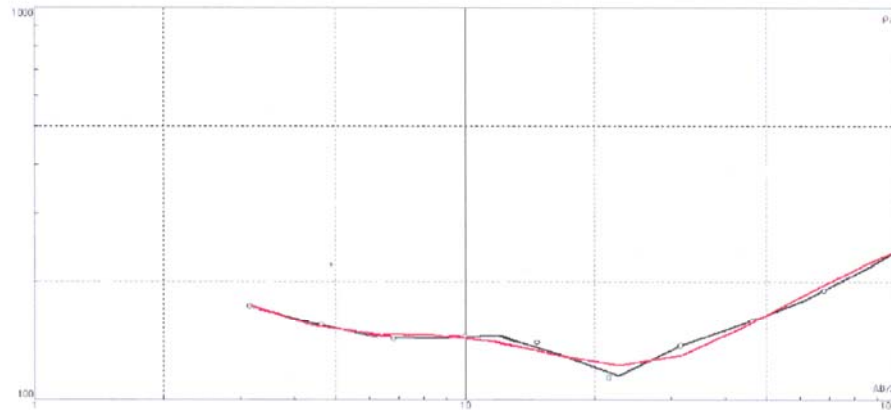
شکل ۳. منحنی داده‌های حقیقی و نقشه چگالی جریان برای نیم‌رخ VLF-1.



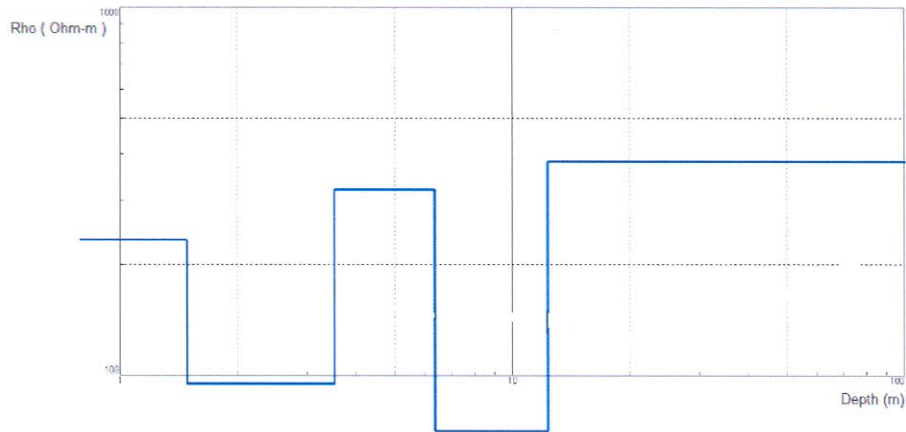
شکل ۴. منحنی داده‌های حقیقی و نقشه چگالی جریان برای نیم‌رخ VLF-2.



شکل ۵. مقطع وارون‌سازی شده نیم‌رخ مقاومت ویژه الکتریکی RES-1 که محل بی‌هنجاری با مقاومت ویژه الکتریکی کم را در فاصله ۱۹۳۰ متری در عمق بین ۷ تا ۵۰ متری نشان می‌دهد.



شکل ۶. منحنی سونداژ VES2 در فاصله ۱۹۳۰ متری دیده می‌شود.



شکل ۷. تفسیر یک‌بعدی سونداژ VES2 در فاصله ۱۹۳۰ متری که لایه مقاومت ویژه کم در عمق ۷ متری دیده می‌شود.

جدول ۱. نمونه داده مقاومت ویژه الکتریکی سونداژ VES2 که فاصله الکتروود جریان و پتانسیل در آن دیده می‌شود.

AB/2 (m)	MN	$\rho (\Omega.m)$
3.16	1	169
4.64	0.3	0
4.64	1	151
6.81	1	139
10	1	141
10	3	141
14.7	1	136
14.7	3	136

ادامه جدول ۱

111	3	21.5
150	3	31.6
122	10	31.6
171	3	46.4
143	10	46.4
166	10	68.1
212	30	68.1
210	10	100
266	30	100

امینی، ن.، ۱۳۸۲، تفسیر داده‌های VLF، سمینار کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
حسن‌شاهی، ه.، ۱۳۷۴، اکتشاف الکترومغناطیسی آب‌های زیرزمینی در باند فرکانس‌های خیلی پایین (VLF) با استفاده از دستگاه ABEM-WADI، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

حفیظی، م. ک.، ۱۳۸۱، تشخیص آلودگی نفتی آب زیرزمینی با روش مقاومت ویژه الکتریکی و VLF، گزارش نهایی طرح پژوهشی شماره ۶۵۲/۲/۸۸۷۷ دانشگاه تهران.

یساقی، ع.، ۱۳۶۸، تحلیل ساختاری و تکوین زمین ساختی جنوب باختری البرز (شمال تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

Benson, A. K., Payne, K. L., and Stubben, M. A., 1997, Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods-A case study, *Geophysics*, **62**, 80-88.
Bernard, J., and Valla, P., 1991, Groundwater exploration in fissured media with electrical and VLF methods, *Geoexploration*, **27**, 81-91.
Dedual, E., 1967, Zur geologic des mittleren and vnteren Karaj- tales, zentral-Elburz (Iran), Eidgen. Tech. Hochsch. Umir. Zurich, mitt. Geol. Just. N. F., **76**, 123 pp.
Fraser, D. C., 1969, Contouring of VLF- EM data, *Geophysics*, **34**, 958-67.
Greenhouse, J. P., and Harris, R. D., 1983, Migration of contaminants in groundwater at a

برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه، و همچنین بالابردن میزان دقت و اطمینان در مطالعات آب‌یابی، به‌ویژه در محیط‌های درز و شکاف‌دار سنگی ترجیحاً می‌توان ابتدا با روش VLF محدوده بی‌هنجاری‌های احتمالی را تعیین کرد و سپس با اجرای عملیات مقاومت ویژه الکتریکی و استفاده از فنون تفسیر از جمله وارون‌سازی دوبعدی داده‌ها، محل دقیقی برای حفر چاه ارائه ساخت. بدیهی است استفاده توأم از دو روش یادشده میزان موفقیت اکتشاف را تا حد قابل ملاحظه‌ای بالا خواهد برد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از آقای مهندس حبیبی از شرکت تله‌کابین توجال به‌خاطر کمک در اجرای عملیات صحرائی و آقای مهندس عزیززاده به سبب اجرای عملیات سونداژزنی مقاومت ویژه الکتریکی و آقای مهندس ثنایی برای کمک در تنظیم مقاله تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

اسدیان، م.، ۱۳۷۲، روش VLF-EM و کاربرد آن در اکتشاف قنات‌ها با استفاده از دستگاه ABEM-WADI، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

- landfill: a case study, *J. Hydrol* **63**, Issues 1-2.
- Karous, M., and Hjelt, S. E., 1983, Linear filtering of VLF dip angle measurements, *Geophys. Prospect.*, **31**, 782-794.
- McNeil, J. D., and Labson, V. F., 1991, Geological mapping using VLF radio fields, in Nabighian M. C. (ed), and environmental geophysics, Vol. 1 review and tutorial, Tulsa, Oklahoma, Society of exploration Geophysics, 191-218.
- Ogilvy, R. D., and Lee, A. C., 1991, Interpretation of VLF-EM in-phase data using current density pseudo sections, *Geophys. Prospect.*, **39**, 567-580.
- Parasnis, D. S., 1973, *Mining geophysics, methods in geochemistry and geophysics*, Elsevier, Geotechnical.
- Sharma, S. P., and Baranwal, D. C., 2005, Delineation of groundwater-bearing fracture zones in a hard rock area integrating very low frequency electromagnetic and resistivity data, *J. Appl. Geophys.*, **57**, 155-166.
- Smith, B. D., and Ward, S. H., 1974, on the computation of polarization ellipse parameters, *Geophysics*, **39**, 867-869.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys, D. A., 1984, Cambridge University prees.