

بررسی منابع آب زیرزمینی در درز و شکافها به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه مربعی

محمد کاظم حفیظی* و جعفر ولی*

چکیده

از جمله مباحث مهم در بررسی‌های ژئوالکتریک، تعیین محل و مطالعه کمیت و کیفیت منابع آبهای زیرزمینی می‌باشد. در این مطالعه مناطق دارای درز و شکاف همراه با آب در مناطق گسلی شمال تهران مورد بررسی قرار گرفته است. با شناخت و بازدیدهای اولیه زمین‌شناسی، محل تقریبی گسله‌ها یا محدوده خرد شده اطراف آنها مشخص و سپس با استفاده از روشهای ژئوفیزیکی پروفیل‌هایی عمود بر گسل انتخاب شد. از جمله روشهای مفید، آرایه مربعی برای مقاومت ویژه و قطبش القایی انتخاب شد که با بررسی داده‌های دو روش و تفسیر و تحلیل آنها می‌توان نواحی مورد نظر را شناسایی کرد. در آرایه مربعی، با اندازه‌گیری دو مقدار مقاومت ویژه طولی و عرضی و همچنین محاسبه مقاومت ویژه متوسط، ضریب ناهمسانگردی و سپس رسم آنها برحسب فواصل اندازه‌گیری، مناطق دارای شکستگی و منابع آب زیرزمینی همراه با آن بطور کیفی تشخیص داده شد. همچنین در این آرایه با محاسبه مقدار متوسط بارپذیری و ضریب ناهمسانگردی بارپذیری و رسم آنها برحسب فواصل اندازه‌گیری به وجود مناطق آبدار و دارای شکستگی پی برده شد. بوسیله داده‌های مربوط به مقاومت ویژه و قطبش القایی آرایه مربعی بکار رفته، محل بی‌هنجاری یا محل چاه تطبیق داده شده است.

کلید واژه‌ها: پروفیل، آرایه مربعی برای مقاومت ویژه و قطبش القایی، بارپذیری و ضریب ناهمسانگردی بارپذیری

۱ مقدمه

گسله‌ها و محدوده‌های خرد شده در حوضه‌های آبریز نواحی کوهستانی شمال تهران باعث تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌گردند. این گسله‌ها محل مناسب برای ذخیره آب در بین درز و شکافها شمرده می‌شوند. نظر باینکه آرایه مربعی به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی در این مطالعه بکار رفته است لازم است شرح مختصری از آنها در اینجا ارائه شود.

الف روش مقاومت ویژه

برای انجام این روش معمولاً جریان مستقیم DC و یا جریان متناوب مربعی با بسامد کم به زمین داده شده و سپس پتانسیل در دو سر الکتروود اندازه‌گیری می‌شود و مقاومت ویژه الکتریکی را با توجه به نوع آرایه‌های الکتریکی از قبیل

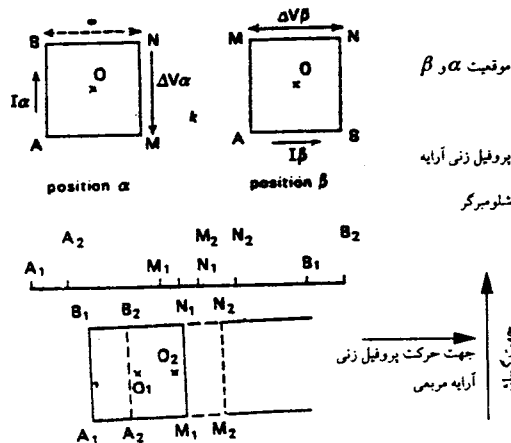
اولین بار هابرجم و واتکینز^۱ (۱۹۶۷) آرایه مربعی را معرفی نموده و هابرجم (۱۹۷۲) این روش را برای نواحی ناهمسانگرد مورد بررسی قرار داده است. ماتياس^۲ و هابرجم (۱۹۸۶) اثر ساختارهای مختلف ناهمسانگرد را، از نظر مدل‌های ریاضی مورد توجه قرار دادند. لویی و داربکس - افودا^۳ (۱۹۸۹) روشهای ذکر شده در مدل ماتياس و هابرجم را برای منطقه بنین در آفریقای غربی و پیدا کردن آب در نواحی شکستگی در محیط کریستالین بکار برده‌اند. در پژوهش حاضر علاوه بر روشهای ذکر شده، بارپذیری در آرایه مربعی نوع α و β (شرح در بخش ۳) نیز تعریف و بکار برده شده است. وجود گسل در نواحی شمال تهران محدوده‌هایی با شکستگیها و درز و شکاف در بین سازندها و توفها را بوجود آورده است.

1. Habberjam and Watkins
3. Louis and Darboux-Afoda

2. Matias

* - مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
- شرکت ملی فولاد

می‌شود. با توجه به نحوه قرار گرفتن الکترودهای جریان و پتانسیل در رئوس مربع، سه موقعیت و یا حالت α ، β و γ مطابق شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود و در عمل دو حالت α و β بیشتر استفاده می‌شود.



شکل ۱. آرایه‌های مختلف مربعی و روش پروفیل زنی عمود بر جهت گسل در حالیکه A و B الکترودهای جریان M و N الکترودهای پتانسیل می‌باشند (داریکس - افودا، ۱۹۸۹).

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است آرایه α دارای خط واصل جریان (AB) موازی گسل و آرایه β عمود بر آن می‌باشد. در آرایه γ خط واصل جریان (AB) با خط واصل پتانسیل (MN) متقاطع می‌باشد. چنانچه $R = \frac{\Delta U}{I}$ فرض شود، رابطه $R_\alpha + R_\beta = R_\gamma$ برقرار است. مقدار مقاومت ویژه ظاهری نیز بترتیب $\rho_\alpha(a) = K \frac{\Delta U_\alpha}{I_\alpha}$ و $\rho_\beta(a) = K \frac{\Delta U_\beta}{I_\beta}$ می‌باشد و چنانچه ضلع مربع برابر a باشد داریم

$$K = \frac{2\pi}{2-\sqrt{2}} a \quad (4)$$

با توجه به اختلاف مقاومت در دو مقدار ρ_β و ρ_α یک ناهمسانگردی مقاومت ویژه متوسط ظاهری حاصل می‌شود که بصورت زیر تعریف می‌گردد

$$\lambda_\rho = \sqrt{\frac{\rho_\alpha(a)}{\rho_\beta(a)}} \quad (5)$$

و مقدار مقاومت ویژه متوسط ظاهری طبق رابطه زیر تعریف می‌شود

$$\rho_m(a) = \sqrt{\rho_\alpha(a) \cdot \rho_\beta(a)} \quad (6)$$

در روش قطبش القایی با آرایه مزبور، بارپذیری نیز مانند

شلومبرگر یا مربعی و... می‌توان بدست آورد.

چنانچه جریان I به زمین ارسال و اختلاف پتانسیل ΔU بین دو قطب پتانسیل قرائت شود، مقاومت ویژه زمین از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\rho_a = K \frac{\Delta U}{I} \quad (1)$$

که در آن K عامل هندسی آرایه الکترودی نامیده می‌شود و با توجه به آرایه‌های مختلف و فواصل الکترودها از یکدیگر مقادیر مختلفی به خود می‌گیرد و بطور کلی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (2)$$

قابل ذکر است که ρ_a تابعی از فواصل بین الکترودها، وضعیت هندسی و آرایه الکترودها و همچنین عوامل زیر سطحی از قبیل ضخامت، شیب لایه‌ها و... می‌باشد.

ب روش قطبش القایی

در این روش با کاربرد آرایه مربعی، بارپذیری در دو حالت اندازه‌گیری شده است. بارپذیری که معمولترین مقدار در اندازه‌گیری قطبش القایی در حوزه زمان می‌باشد با رابطه زیر تعیین می‌شود

$$M = \frac{1}{V_0} \int_{T_0}^{T_1} V(t) dt \quad (3)$$

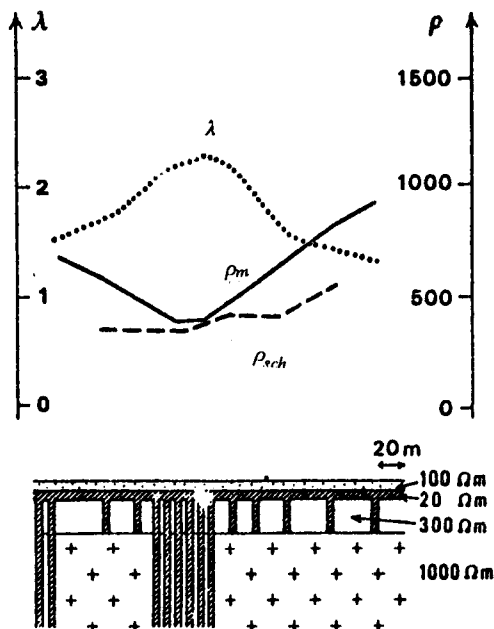
در این رابطه V_0 اختلاف پتانسیل در دو سر الکترودهای پتانسیل در زمان صفر و $V(t)$ اختلاف پتانسیل در زمان t می‌باشد. اگر V_0 و $V(t)$ دارای واحد یکسان باشند بارپذیری با واحد زمان (میلی ثانیه) بیان می‌شود. چنانچه رابطه بالا بر تفاضل درجه انتگرال تقسیم شود مقدار بارپذیری را می‌توان برحسب میلی‌ولت برولت بیان نمود.

برای اندازه‌گیری بارپذیری نخست جریان مستقیم به زمین ارسال شده و سپس ولتاژ و پاشی بین الکترودهای پتانسیل پس از قطع جریان اندازه‌گیری می‌شود.

۲ آرایه مربعی در روش مقاومت ویژه و قطبش القایی

از جمله آرایه‌های مناسب برای یافتن مناطق گسلی و نواحی با درز و شکاف در روش مقاومت ویژه الکتريکی آرایه مربعی می‌باشد. در این آرایه جریان به دو سر الکترودها A و B داده شده و پتانسیل توسط الکترودهای M و N دریافت

نشان داده شده است که مقدار بارپذیری در موقعیت α در نواحی دارای درز و شکاف حاوی آب دارای مقدار بیشینه نسبت به نقاط اطراف می باشد. این امر نیز به این خاطر اتفاق می افتد که وجود درز و شکاف در مناطق آبدار باعث سطح تماس بیشتر الکترولیت با سنگ و در نتیجه قطبش غشایی در مجاورت الکترولیت می شود.



شکل ۲. پاسخ الکتریکی مدل ساختمان زمین شناسی در محیط سنگهای سخت. مدل حالت لایه آبدار را در محیط سنگهای سخت با ناحیه کم مقاومت نشان داده است. تغییرات ضریب ناهمسانگردی، مقاومت ویژه متوسط در آرایه مربعی و تغییرات مقاومت ویژه در آرایه شلومبرگر مقایسه شده است (داریکس - افودا، ۱۹۸۹).

امکان حرکت یونها و ذرات باردار در مسیر میدان الکتریکی بموازات درز و شکاف (حالت α) بیشتر از حالت عمود با آن (حالت β) و یا حالت های دیگر می باشد. بنابراین مقدار قطبش یا بارپذیری نوع α در برخورد با گسل بیشتر از انواع دیگر بوده و مقدار پتانسیل در حالت قطع جریان در مدت بیشتری به سطح نوبه می رسد. مقدار بارپذیری در موقعیت β

روش مقاومت ویژه دارای دو حالت α و β تعریف می گردد که بصورت M_α و M_β نشان داده می شود. در این حالت نیز می توان مشابه با رابطه های (۵) و (۶) مقدار ناهمسانگردی قطبش القایی و بارپذیری متوسط را طبق رابطه های زیر بدست آورد

$$\lambda_m = \sqrt{\frac{M_\alpha}{M_\beta}} \quad (7)$$

$$M_m = \sqrt{M_\alpha \cdot M_\beta} \quad (8)$$

۳ بحث نظری آرایه مربعی در روش مقاومت ویژه و قطبش القایی

لویی و داریکس - افودا (۱۹۸۹) براساس مدلهای ریاضی دی و مورین^۱ (۱۹۷۶) نشان دادند که در روش مقاومت ویژه ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه الکتریکی در نقاط دارای درز و شکاف افزایش می یابد. در این حالت میدان الکتریکی حاصل از اعمال جریان الکتریکی در دو سر الکتروود A و B در دو موقعیت α و β بدلیل جهت یافتگی شکستگیها و درز و شکافها در آن ناحیه یکسان نمی باشد و با اندازه گیری مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک نقطه خاص (مرکز مربع) با دو حالت متفاوت، ضریب ناهمسانگردی و مقاومت ویژه ظاهری متوسط مقادیر مختلفی خواهند داشت. جذر نسبت مقدار مقاومت ویژه الکتریکی در دو حالت α و β مقدار ضریب ناهمسانگردی را بوجود می آورد و هر چند تفاوت این مقادیر بیشتر باشد، مقدار ضریب ناهمسانگردی از عدد یک فاصله می گیرد. وجود منابع آب زیرزمینی باعث افت مقدار مقاومت ویژه الکتریکی متوسط لایه ها خواهد شد. می توان نشان داد که مقدار مقاومت ویژه متوسط ظاهری در نواحی آبدار دارای مقدار کمینه نسبت به نقاط پیرامون می باشد. بنابراین با توضیح فوق می توان به این نتیجه دست یافت که نواحی دارای درز و شکاف حاوی آب دارای ضریب ناهمسانگردی بالا و مقدار مقاومت ویژه متوسط پایین هستند. شکل ۲ مدل ریاضی گسلش از لویی و داریکس - افودا (۱۹۸۹) را نشان می دهد. در مطالعه حاضر

1. Dey and Morrison

قسمت شیب سطح گسل به نحوی است که از شکل طاقدیس پیروی می‌کند، در سمت جنوب تقریباً در راس طاقدیس شیب نیز افقی می‌شود و در جنوب گسل نیز شیب به سمت جنوب‌اندکی میل پیدا می‌کند. عقیده بر آنست که گسل شمال تهران در برش مشاهده شده شاخه‌ای از گسل معکوس است که در سازند کرج به وفور یافت می‌شود (چالنگو و همکاران ۱۹۷۴).

۵ عملیات صحرائی

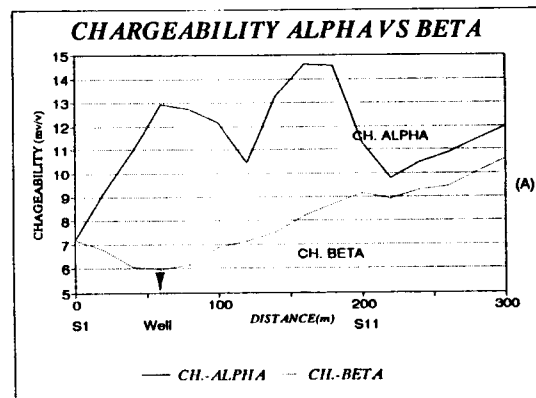
یک حلقه چاه آب در محل توفهای خردشده حاصل از گسلش شمال تهران زده شده است که دارای دبی ۱۳/۵ متر مکعب در ساعت می‌باشد. همانطور که چاه‌نگاشت آن در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد در این محل آبخوان حالت آبرفتی ندارد، بلکه در محل خردشدگی گسل، آنها ذخیره شده و تشکیل منبع آب زیرزمینی داده است.

به منظور تعیین حدود مقاومت ویژه آندزیت، توف و ماسه سنگ با دستگاه آزمایشگاهی، نمونه‌هایی از منطقه شهران تهیه شد. مقاومت ویژه الکتریکی آندزیت حدود ۱۷۰ اهم - متر، توف حدود ۲۳۰ - ۵۰ اهم متر و ماسه سنگ حدود ۷۸۰ - ۶۰۰ اهم - متر بدست آمد.

جهت بررسی تغییرات مقدار مقاومت ویژه و بارپذیری با آرایه مربعی یک پروفیل شمالی جنوبی در ناحیه شهران (شمال باختری تهران) اندازه‌گیری شد که داده‌های آن بصورت منحنی‌هایی برحسب فواصل اندازه‌گیری رسم شده است.

در ناحیه شهران و در محل چاه نیمه عمیق ۱۰۲۷ صدر یک پروفیل مربعی بصورت عمود برگسله (نواحی دارای درز و شکاف) به اضلاع ۲۰۰ متر با گام ۲۰ متر و با طول پروفیل ۳۰۰ متر زده شد (شکل ۴). اندازه‌گیری توسط دستگاه IPR-11 از کارخانه Scintrex بعمل آمد. ژئوالیوت^۱ (۱۹۸۱) عمق اکتشاف آرایه شلومبرگر را بطور متوسط برابر $\frac{AB}{4}$ بیان نموده و یونگول^۲ (۱۹۹۶) بعنوان مثال عملی سونداژ شلومبرگر در منطقه کالیفرنیا را آورده که نشان می‌دهد عمق اکتشاف برابر $\frac{AB}{2}$ بوده است. براساس هابرجم و واتکینز (۱۹۶۷) آرایه مربعی با ضلع a با آرایه شلومبرگر بوسیله رابطه

مقدار کمینه در برخورد با نواحی دارای درز و شکاف نشان می‌دهد چون مقدار تغییر بارهای ذخیره شده در امتداد عمود بر درز و شکاف ناچیز می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳. تغییرات بارپذیری در موقعیت α و β نسبت به فاصله رسم شده است. مراکز مربع به فاصله ۲۰ متری و ضلع مربع ۲۰۰ متر انتخاب شده است. در محل چاه بارپذیری در موقعیت α بیشینه و بارپذیری در موقعیت β کمینه می‌باشد.

۴ برش گسل شمال تهران در ناحیه شهران

در شمال قصبه کن (شهران) در باختر تهران و در خاور رودخانه کرج مقطعی از گسل شمال تهران مشاهده می‌شود. در باختر رودخانه کرج سازند کرج بر روی آبرفت‌هایی رورانده شده است در حالیکه در سمت خاور، در یک محدوده متشکل از چندین گسل از باختر به خاور، ابتدا سنگهای توف سازند کرج بر واحدهاییکه متشکل از تکه سنگهای بزرگ سازند کرج و قطعات کوچکتر سنگهای آتشفشانی است، رورانده می‌شود و این واحد نیز بر واحدهای دیگر که متشکل از رسوبات آبرفتی با لایه‌بندی نسبتاً منظم است، رورانده می‌شود. ظاهراً این بخش نیز بر روی آبرفت‌های قرمز رنگ با لایه‌بندی تقریباً افقی رورانده می‌شود.

در باختر رودخانه کن آبرفت‌هایی به صورت یک طاقدیس بزرگ چین خورده است در حالیکه یال جنوبی آن به میزان ۲۰ تا ۳۰ درجه به سمت جنوب شیب پیدا می‌کند و یال شمالی آن در زیر سطح گسلی، شیبی معادل ۴۰ تا ۴۵ درجه بسمت شمال نشان می‌دهد (چالنگو^۱ و همکاران ۱۹۷۴). در این

1. Tchalenko
3. Yungul

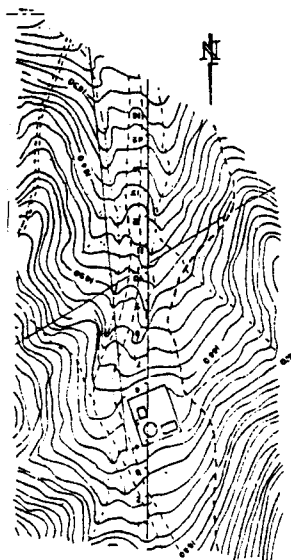
2. Roy and Elliot



shahrān area, north-west of Tehran, pumping well is shown in the picture (south view)



shahrān area, north-west of Tehran, minor faults are shown in the picture (east view)



shahrān area, north-west of Tehran, profile with N-S direction, pumping wells location shown in the picture

شکل ۴. از بالا به پائین، دید شرقی، دید جنوبی و نقشه موقعیت چاه آبدۀ شهرک صدر در منطقۀ شهران همراه با پروفیل شمالی - جنوبی مربعی با فاصلۀ مراکز مربع ۲۰ متری و طول ضلع مربع ۲۰۰ متری. درز و شکافها و محل چاه در عکس دیده می‌شوند.

$\frac{AB}{2} = 1/207a$ مربوط می‌شود که در نتیجۀ عمق اکتشاف برابر $0/6a$ می‌شود و در مقایسۀ با آرایه شلومبرگر در حالت مذکور تا ۱۲۰ متر عمق اکتشاف، شامل سطح ایستایی نیز می‌گردد.

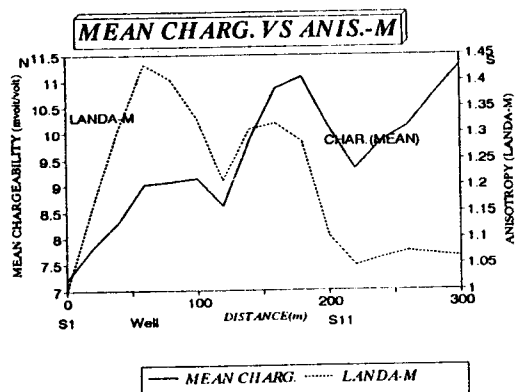
جدول ۱. شرح طبقات مختلف زمین‌شناسی چاه نیمه عمیق ۱۰۲۷ شهرک صدر حفر شده در روی پروفیل آرایه مربعی. همانطور که در شرح طبقات دیده می‌شود در این محل که عمدتاً توف می‌باشد، دبی $13/5$ متر مکعب در ساعت آب استحصال می‌گردد (گزارش شرکت آب و فاضلاب استان تهران)

شرح طبقات	عمق (متر)
رس - شن - ماسه - مقداری توف خرد شده	۰-۱۲
توف - ماسه - رس - شن	۱۲-۱۸
توف متراکم	۱۸-۳۳
رگه آندزیت	۳۳-۳۹
توف متراکم	۳۹-۵۷
توف شکافدار	۵۷-۷۵
توف متراکم	۷۵-۹۳
توف و ماسه سنگ خرد شده	۹۳-۱۰۸
سطح ایستایی آب	۱۰۲
ماسه و شن و رس همراه با توف شکسته	۱۰۸-۱۲۳
شن و ماسه و رس	۱۲۳-۱۳۰
شن و ماسه و توف خرد شده	۱۳۰-۱۵۱
توف متراکم	۱۵۱-۱۸۲
توف خرد شده و ماسه	۱۸۲-۱۹۴
شن و ماسه و توف خرد شده	۱۹۴-۲۰۶
ماسه و شن و رس همراه با توف خرد شده	۲۰۶-۲۳۰
شن و ماسه و توف خرد شده	۲۳۰-۲۳۶
توف متراکم	۲۳۶-۲۵۰

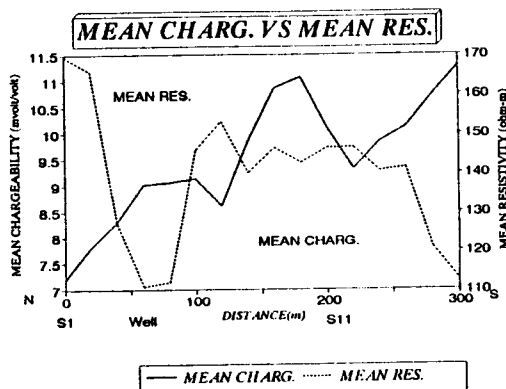
۶ تفسیر داده‌ها

مقادیر $\rho_m(a)$ و λ_m مربوط به مقاومت ویژه ظاهری و همچنین M_m و λ_m مربوط به بارپذیری برحسب فواصل اندازه‌گیری در شکلهای ۵ و ۶ رسم شده‌اند. در فاصلۀ ۶۰ متری از مبدا که محل چاه را نشان می‌دهد (علامت فلش) مقدار $\rho_m(a)$ کمینه و در مقابل λ_m بیشینه می‌باشد. همچنین شکل ۷ مقدار مقاومت ویژه متوسط و بارپذیری متوسط را

به چاه موجود، محل مناسب برای این منظور بوده است.



شکل ۶. تغییرات بارپذیری متوسط و ضریب ناهمسانگردی بارپذیری برحسب فاصله رسم شده است. در محل چاه بارپذیری متوسط بیشینه و ضریب ناهمسانگردی بارپذیری نیز بیشینه می باشد.

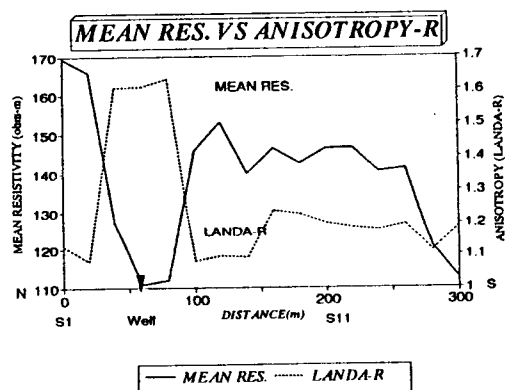


شکل ۷. تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متوسط همراه با تغییرات بارپذیری متوسط برحسب فاصله رسم شده است. در محل چاه مقاومت ویژه ظاهری متوسط کمینه و بارپذیری متوسط بیشینه می باشد.

۷ نتیجه گیری

۱- آرایه مربعی آرایه بررسی کیفی مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی و بارپذیری است و پاسخگوی تمامی خواسته ها از قبیل لایه بندی طبقات زمین و شناخت جنس لایه ها و... نبوده و باید به همراه آرایه های شناخته شده الکتریکی دیگر مانند شلومبرگر و... یا داده های مربوط به چاه نگاری بکار رود.

برحسب فواصل اندازه گیری بیان می نماید و نشان می دهد نواحی دارای مقاومت ویژه متوسط کمینه و بارپذیری متوسط بیشینه می توانند نواحی گسل خورده آبدار باشند. مقاومت ویژه متوسط کم، وجود لایه های آبدار و بارپذیری متوسط بالا، نشان دهنده سطح تماس بیشتر در مجاورت الکترولیت و در نتیجه میزان شارش افزون تر (بخاطر وجود درز و شکاف) می باشد.



شکل ۵. تغییرات مقاومت ویژه ظاهری متوسط با تغییرات ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه نسبت به فاصله رسم شده است. در محل چاه مقاومت ویژه ظاهری متوسط کمینه و ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه بیشینه می باشد.

شکل ۸ نیز مقدار ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه و ضریب ناهمسانگردی بارپذیری را برحسب فواصل اندازه گیری نشان می دهد. دو منحنی مزبور نیز تقریباً دارای بیشینه های هم سو بوده و با توجه به شرح فوق نقاط دارای درز و شکاف و همچنین نواحی آبدار همراه با آن دارای بیشینه ضریب ناهمسانگردی می باشند و محل چاه نیز بخوبی این امر را نشان می دهد. شکل ۶ مقدار ضریب ناهمسانگردی بارپذیری λ_m و مقدار متوسط هندسی بارپذیری (M_m) را برحسب فواصل اندازه گیری نشان می دهد. در این حالت نیز دو مقدار فوق دارای بیشینه و کمینه های تقریباً هم سو می باشند. در شکل نواحی دارای درز و شکاف آبدار دارای بیشینه مقدار λ_m و M_m می باشد، بنابراین نواحی ۶۰ و ۱۶۰ متری در شکل های ۴ و ۵ و ۶ و ۷ را می توان نواحی مناسب برای حفر چاه دانست و همانطوریکه در تمامی شکلها مشاهده می شود محل مربوط

بخاطر همکاری در تهیه عکسهای محل قدردانی بعمل می‌آید.

منابع

Dey, A., and Morrison, H. F., 1976, Resistivity modeling for arbitrarily shaped two dimensional structures: Lawrence Berkely Laboratory Report No. LBL-5223, University of California, U.S.A.

Habberjam, G. M., 1972, The effects of anisotropy on square array resistivity measurements: Geophysical Prospecting, **20**, 249-266.

Habberjam, G. M., and Watkins, G. E., 1967, The use of a square configuration in resistivity prospecting: Geophysical Prospecting, **15**, 445-467.

Louis, P., and Darboux-Afouda, R., 1989, Contribution des mesures l'anisotropie électrique à la recherche des aquifères de fracture en milieu cristallin au Benin: Geophysical Prospecting, **37**, 91-105.

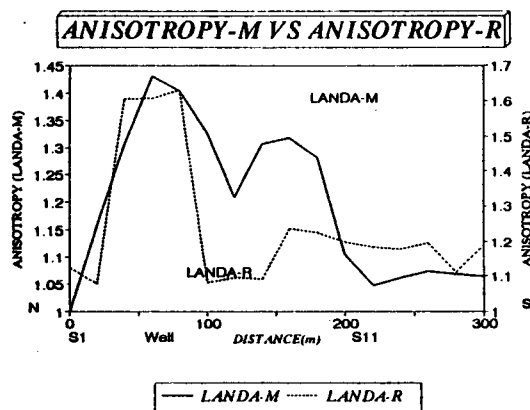
Matias, M. J. S., and Habberjam, G. M., 1989, The effect of structure and anisotropy on resistivity measurements: Geophysics, **51**, No. 4, 964-971.

Roy, K. K., and Elliot, H. M., 1981, Some observations regarding depth of exploration in D.C. electrical methods: Geoexploration, **19**, 1-13.

Tchalenko, J. S., Berberian, M., Iranmanesh, H., Bailly, M., and Arsousky, A., 1974, Tectonic framework of the Tehran region: Rep., **29**, Geol. surv. Iran.

Tsokas, G. N., Tsourlos, P.I., and Szymanski, J.E., 1997, Square array resistivity anomalies and inhomogeneity ratio calculated by finite-element method: Geophysics, **62**, No. 2, 426-435.

Yungul, S. H., 1996, Electrical methods in geophysical exploration of deep sedimentary basins: Chapman & Hall Co.



شکل ۸. تغییرات ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه همراه با ضریب ناهمسانگردی بارپذیری رسم شده است. در محل چاه ضریب ناهمسانگردی هر دو پارامتر بیشینه می‌باشد.

۲ - آرایه مربعی بعلت سهولت اجرا و تفسیر داده‌های آن برای کاوش مناطق دارای درز و شکاف آبدار بمنظور مطالعه منابع آب زیرزمینی در نواحی گسلی بعنوان یک روش کارآمد و موفق پیشنهاد می‌گردد.

۳ - مقدار بارپذیری متوسط در نواحی درز و شکاف آبدار بیشینه می‌باشد.

۴ - مقدار ضریب ناهمسانگردی بارپذیری (λ_m) و مقدار ضریب ناهمسانگردی مقاومت ویژه الکتریکی (λ_p) در نقاط درز و شکاف آبدار بیشینه می‌باشند.

۵ - مقدار مقاومت ویژه متوسط در نواحی درز و شکاف آبدار کمینه است.

۸ تشکر و قدردانی

لازم به یادآوری است بخشی از هزینه‌های این پژوهش از اعتبار طرح پژوهشی مصوب شماره ۶۵۱/۱/۲۲۱ دانشگاه تهران تحت عنوان "منطقه‌بندی تهران" تامین شده لذا از کلیه همکاران دانشگاهی در معاونت پژوهشی تشکر می‌نماید. همچنین از آقایان مهندس بهروز اسکوئی و فاضل تاراس به جهت همکاری در عملیات صحرائی، از آقای حمید مهرنهاد