

برآورد ضریب آبگذری از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی در دشت تهران

محمد کاظم حفیظی* و فاطمه زهرا پاشاخانلو**

* مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵
** وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

(دریافت: ۸۱/۹/۳۰، پذیرش نهایی: ۸۴/۱۲/۹)

چکیده

اندازه‌گیری ضرایب هیدرولیکی و از آن جمله ضریب آبگذری، به منظور تعیین آذهی چاه حفاری، مورد نیاز بهره‌برداران منابع آب زیرزمینی است و هزینه بسیاری در بر دارد. در این پژوهش روشی ارائه شده است که با سونداژزنی الکتریکی بتوان ضرایب هیدرولیکی را با داشتن مقاومت ویژه الکتریکی آبخوان و تعیین هدایت ویژه الکتریکی آب زیرزمینی محل مورد بررسی، تعیین کرد. تعداد ۱۴ چاه با آزمایش پمپاژ مربوطه همراه با همین تعداد سونداژ الکتریک که با آزمایش پمپاژ همزمان بوده‌اند، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ضریب آبگذری و ضریب قابلیت انتقال با فاکتور سازند، مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده و مقاومت عرضی الکتریکی هنجار شده آبخوان دشت تهران رابطه‌ای خطی دارد و ضریب همبستگی آن نزدیک به یک است.

واژه‌های کلیدی: ضریب آبگذری، مقاومت ویژه الکتریکی، فاکتور سازند، ضریب قابلیت انتقال، مقاومت عرضی الکتریکی، آبخوان دشت تهران

۱ مقدمه

قابلیت انتقال را با مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان مورد بررسی قرار داده است. یاداو و ابوالفضلی (۱۹۹۸) ارتباط پارامترهای هیدرولیکی را در نواحی نیمه‌خشک جالور (Jalore) با سونداژزنی الکتریکی تعیین کرده‌اند. در مقاله حاضر از روی مقاومت ویژه الکتریکی به دست آمده از مطالعات ژئوالکتریکی در دشت تهران ضریب آبگذری و ضریب قابلیت انتقال آبخوان برآورد می‌شود.

۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه شامل دشت تهران است و در محدوده عرض‌های ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۵ دقیقه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی واقع شده است که قسمت اعظم آن را شهر تهران فرا گرفته. سطح این دشت بالغ بر ۶۰۰ کیلومتر مربع است و از شمال به بخش جنوبی ارتفاعات البرز، از شرق به تپه‌های هزاردره، کوه‌های سه پایه و رودخانه

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان‌ها هستند و بعد از یخچال‌ها، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین کره زمین را تشکیل می‌دهند. برای بهره‌برداری از این منابع، تعیین خصوصیات لایه آبدار لازم است. با حفر چند چاه پیزومتری (piezometer) و به انجام رساندن آزمایش‌هایی موسوم به آزمایش پمپاژ روی آنها می‌توان به ضرایب هیدرولیکی دسترسی پیدا کرد. ولی برای این کار لازم است تا گروه‌های مطالعاتی را با صرف وقت و هزینه بسیار زیاد به کار گرفت.

حال اگر از نتیجه تعداد محدودی آزمایش پمپاژ که محل آنها به‌طور مناسب انتخاب شده است، استفاده کنیم، آن‌گاه می‌توان مقادیر این ضرایب را برای نقاط بی‌شماری از آبخوان محاسبه و از صرف وقت و هزینه شدن مبالغ هنگفت جلوگیری کرد. برای نیل به این هدف از ارتباط بین مقاومت ویژه الکتریکی و ضرایب هیدرولیکی استفاده شده است. هنرمند ابراهیمی (۱۳۶۰) تغییرات ضریب

جریان $AB=2000$ متر و ۱۱ سونداژ با $AB=4000$ متر، روی ۲۴ پروفیل اندازه گیری شد. تعداد ۲۳ پروفیل دارای امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و یک پروفیل (P') دارای امتداد شمالی - جنوبی است.

۶ جمع آوری اطلاعات مورد نیاز

در منطقه مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به ۱۴ گمانه الکتریکی که در نزدیکی هر یک از آنها آزمایش پمپاژ صورت گرفته بود، استفاده شده است.

ضمن این کار علاوه بر اطلاعات صحرائی مربوط به سونداژهای ژئوالکتریکی، نتایج مربوط به آزمایش پمپاژ (ضرائب هیدرولیکی) اطلاعات دیگری از جمله عمق چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین سطح برخورد به آب (سطح ایستایی) و هدایت ویژه الکتریکی نمونه آب هر یک از چاه‌ها نیز به دست آمد. جدول ۱ محل هر یک از چاه‌های اندازه گیری در دشت تهران را به همراه اطلاعات مربوط به سطح ایستایی، عمق و سونداژ مجاور هر چاه نشان می‌دهد.

۷ تعیین ضریب آبدگزی (K)

رابطه ضریب آبدگزی با ضریب قابلیت انتقال و همچنین ضخامت لایه آبدار به صورت زیر معرفی می‌شود (باور، ۱۹۷۸).

$$T = K.D \quad (1)$$

که در آن K هدایت هیدرولیکی برحسب متر بر روز، D ضخامت لایه آبدار برحسب متر و T ضریب قابلیت انتقال لایه آبدار برحسب متر مربع بر روز است. با در اختیار داشتن ضخامت لایه‌های آبدار حاصل از تفسیر داده‌های ژئوالکتریک و تعیین مقادیر مربوط به ضریب قابلیت انتقال (T) با آزمایش پمپاژ (اداره کل آب‌های زیرزمینی، ۱۳۶۳) می‌توان مقادیر مربوط به ضریب آبدگزی (K) در هر یک از چاه‌های اندازه گیری را به دست آورد (جدول ۲).

سرخه‌حصار، از غرب به رودخانه کن و از جنوب به کوه‌های بی‌بی‌شهربانو و دامنه شمالی ارتفاعات کهریزک محدود می‌شود (شکل ۱).

۳ زمین‌شناسی عمومی منطقه

بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، زمین‌شناسی این ناحیه را به طور مفصل بیان کرده‌اند. گستره مورد مطالعه متشکل از نهشته‌های آبرفتی حاصل از فعالیت رودخانه‌ها و سیلاب‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های البرز و یخرفتی حاصل از عملکرد یخچال‌های دامنه جنوبی بلند البرز است. این نهشته‌ها در پای کوه البرز و در محدوده وسیعی از شرق تا غرب شناسایی شده‌اند (ربین، ۱۹۶۶). در نخستین مطالعات ربین در سال ۱۹۵۵ چهار واحد چینه‌شناسی معرفی و به ترتیب از قدیم به جدید با عنوان A (سازند آبرفتی هزار دره)، B (سازند آبرفتی کهریزک)، C (سازند آبرفتی تهران) و D (آبرفت‌های کنونی) نامگذاری شدند.

۴ هیدروژئولوژی منطقه

بر اساس گزارش شماره ۳۱۲۰-۱۰۷۱۰۴ سازمان آب منطقه‌ای تهران (۱۳۷۸) آبخوان این ناحیه از نوع آزاد است و فقط در بخش‌های جنوبی امکان تشکیل سفره‌های تحت فشار محدود وجود دارد. مواد تشکیل دهنده آبخوان از قطعات ریز و درشت منفصل رسوبی تشکیل شده و اندازه آنها در بخش‌های شمالی درشت‌تر و تا حدودی زاویه‌دار است و به سمت نواحی میانی و خروجی دشت از قطر ذرات آن کاسته می‌شود.

۵ مطالعات ژئوالکتریک صورت گرفته در منطقه

مطالعات ژئوالکتریک دشت تهران-کرج را واحد مهندسی آب و خاک جهاد سازندگی (کمیته امور آب) در سال ۱۳۶۴ عملی ساخت (مهدویان، ۱۳۶۴). طی این مطالعات جمعاً ۳۵۸ سونداژ با طول حداکثر فرستنده

۱۰ ارتباط بین ضریب آبدگزی و فاکتور سازند برای تعیین ارتباط بین ضریب آبدگزی (K) و فاکتور سازند (F) آبخوان با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۲ می‌توانیم مقادیر ضریب آبدگزی و فاکتور سازند را برای هریک از نمونه‌ها مشخص کرده و نمودار K (محور قائم) بر حسب F (محور افقی) را رسم نماییم. همان‌گونه که در شکل ۲ هم کاملاً مشخص است در رابطه بازگشتی به‌دست آمده ضریب تبیینی (correlation coefficient) r^2 با مقدار نزدیک به یک، معرف آن است که خط تا حد زیادی بر نقاط مربوط به داده‌ها منطبق است. معادلات برازش داده شده به ترتیب زیاد بودن ضریب تبیینی از معادلات توانی و لگاریتمی پیچیده به‌دست آمده و با توجه به تفاوت ناچیزی که ضریب تبیینی آنها با رابطه خطی (حدود ۰/۰۱) داشته‌اند، لذا ترجیحاً رابطه خطی انتخاب و معادله حاصل به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$K = 5.3F - 0.4 \quad (۴)$$

همان‌طور که در نمودار شکل ۲ مشاهده می‌شود برای مقادیر فاکتور سازند با میزان کمتر از ۲/۵، نقاط انطباق بهتری را با خط یاد شده نشان می‌دهند. پراکندگی بعضی نقاط در فاکتور سازند بیشتر از ۲/۵، ممکن است نشان‌دهنده این باشد که اندازه‌گیری K در آبرفت دانه درشت، دارای خطای بیشتری، است.

۱۱ ارتباط ضریب آبدگزی و مقاومت ویژه الکتریکی

هنجار شده

همان‌طور که در جدول ۲ نیز اشاره شد، میزان مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده ρ' (یاداو و ابوالفضلی، ۱۹۹۸) از رابطه:

$$\rho' = \frac{\rho}{\rho_w} \cdot \bar{\rho}_w \quad (۵)$$

به‌دست می‌آید که در آن:

$$\bar{\rho}_w = \frac{\rho_{w1} + \rho_{w2} + \dots + \rho_{w14}}{14}$$

۸ تعیین مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های آب (ρ_w) از آنجا که مقاومت ویژه الکتریکی همواره با رسانایی ویژه الکتریکی رابطه معکوس دارد، لذا با وجود اطلاعات مربوط به رسانایی ویژه الکتریکی نمونه‌های متفاوت آب در هریک از چاه‌های مشاهده‌ای (سازمان آب منطقه‌ای تهران، گزارش شماره ۲۸/۴۱۲) می‌توانیم مقاومت ویژه الکتریکی هر کدام از نمونه‌ها را به‌دست آوریم (جدول ۲). ارتباط بین رسانایی ویژه الکتریکی و مقاومت ویژه الکتریکی به‌صورت زیر برقرار است:

$$\rho_w = \frac{1}{\sigma} \times 10^4 \quad (۲)$$

که در آن:

σ = رسانایی ویژه الکتریکی نمونه آب $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$ است.

ρ_w = مقاومت ویژه الکتریکی نمونه آب $\Omega.m$.

۹ تعیین فاکتور سازند (F)

فاکتور سازند پارامتری است که نسبت مقاومت ویژه الکتریکی سازند متخلخل به مقاومت ویژه الکتریکی سیال داخل آن را بیان می‌کند (موحد، ۱۳۷۸). به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که مقاومت ویژه الکتریکی یک سازند آبدار با مقاومت ویژه الکتریکی آب داخل آن سازند متناسب است و در این رابطه، ثابت تناسب، فاکتور سازند نامیده می‌شود (باور، ۱۹۷۸).

$$F = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (۳)$$

با در اختیار داشتن مقاومت ویژه الکتریکی لایه آبدار حاصل از تفسیر سونداژ الکتریکی (ρ)، همچنین مقاومت ویژه الکتریکی نمونه آب (ρ_w)، می‌توانیم مطابق جدول ۲ فاکتور سازند را برای هریک از نمونه‌ها مشخص کنیم.

جدول ۱. مشخصات و موقعیت چاه‌های حفر شده همراه با اطلاعات سطح ایستابی، عمق حفاری و موقعیت سونداژ الکتریک.

ردیف	عمق چاه (m)	سطح ایستابی (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	موقعیت	سونداژ	گمانه
۱	۷۳/۵	۲۰/۷۷	-	-	جاده ساوه	6P'	36R-67
۲	۲۰۰	۷۹/۴	-	-	برق آلتستوم	22J	37P-12
۳	۷۲	۴۶	۳۵° ۳۱'	۵۱° ۱۱'	سلطان‌آباد	8M	T04
۴	۱۳۰	۳۶/۶۷	-	-	حسین‌آباد مفرح	16M	36S-3
۵	۸۵	۱۸/۸۶	-	-	قلعه مرغی	18M	37R-45
۶	۴۳	۱۸	۳۵° ۳۳'	۵۱° ۱۶'	ده عباس	15N	T09
۷	۱۰۰	۱۱/۵۱	۳۵° ۳۴'	۵۱° ۱۹'	مرادآباد	17N	37S-48
۸	۱۰۵	۸/۵۸	-	-	دوقویه پایین	10V	38V-6
۹	۴۱	۱۵	۳۵° ۳۳'	۵۱° ۱۹'	خیرآباد	14S	T045
۱۰	۱۱۰	۱۰	۳۵° ۳۵'	۵۱° ۲۶'	قلعه‌گبری	16S	39S-11
۱۱	۸۶	۶۱	۳۵° ۲۷'	۵۱° ۰۶'	شترخوار	3L	T02
۱۲	۶۱	۳۶	۳۵° ۳۳'	۵۱° ۱۲'	چیچکلو	15L	T028
۱۳	۶۰	۳۵	۳۵° ۴۰'	۵۱° ۱۱'	سعیدآباد	9I	T017
۱۴	۸۳	۵۸	-	-	بیمارستان شماره ۲	11I	T032

جدول ۲. به ترتیب از سمت چپ، مشخصات چاه گمانه، شماره سونداژ، مقادیر ضریب قابلیت انتقال (T)، مقاومت ویژه الکتریکی لایه آبدار (ρ)، ضخامت لایه آبدار (D)، هدایت ویژه الکتریکی آب (ρ)، مقاومت ویژه الکتریکی آب (ρ_w)، ضریب آبگذری (K)، فاکتور سازند (F)، مقاومت ویژه هنجار شده (ρ') و مقاومت عرضی هنجار شده لایه آبدار (Z') دیده می‌شود. مقاومت ویژه الکتریکی متوسط سیال، $\bar{\rho}_w = 13/45 \Omega.m$ است.

ردیف	$Z' = D\rho'$ Ωm^2	$\rho' = F \cdot \bar{\rho}_w$ Ωm	$F = \frac{\rho}{\rho_w}$	$K = T/D$ $m.day^{-1}$	ρ_w Ωm	σ $\mu mhos.cm^{-1}$	D (m)	ρ	T $m^2.day^{-1}$	سونداژ	گمانه
۱	۳۰۶۲/۳۰	۱۷/۴۹	۱/۳۰	۸/۰۶	۱۸/۵۲	۵۴۰	۱۷۵/۰۹	۲۴/۰۳	۱۴۱۰	6P'	36R-67
۲	۶۴۰۱/۸۰	۷۸/۸۲	۵/۸۶	۳۱/۷۷	۲۵/۶۵	۳۹۰	۸۱/۲۲	۱۵۰/۲۰	۲۵۸۰	22J	37P-12
۳	۶۰۲/۶۹	۵/۶۵	۰/۴۲	۲/۸۲	۱۵/۱۶	۶۶۰	۱۰۶/۶۷	۶۳۴	۳۰۰	8M	T04
۴	۳۵۳۸/۷۰	۱۶/۴۱	۱/۲۲	۵/۸۵	۱۱/۷۷	۸۵۰	۲۱۵/۶۴	۱۴/۲۹	۱۲۶۰	16M	36S-3
۵	۳۱۸۷/۶۰	۱۳/۹۹	۱/۰۴	۵/۰۹	۱۳/۷۰	۷۳۰	۲۲۷/۹۲	۱۴/۲۳	۱۱۶۰	18M	37R-45
۶	۸۷۹/۱۲	۱۲/۱۹	۰/۹۸	۵/۱۱	۱۴/۹۳	۶۷۰	۶۶/۶۵	۱۴/۵۹	۳۴۰	15N	T09
۷	۱۰۵۱/۱۰	۱۸/۷۰	۱/۳۹	۶/۹۴	۱۱/۵۰	۸۷۰	۵۶/۲۱	۱۵/۸۸	۳۹۰	17N	37S-48
۸	۶۴۲/۸۵	۲۸/۵۲	۲/۱۲	۱۰/۲۱	۲/۸۶	۳۵۰۰	۲۲/۵۴	۶/۰۵	۲۳۰	10V	38V-6
۹	۱۴۴۴/۶۰	۳۶/۵۹	۲/۷۲	۹/۳۸	۶/۲۵	۱۶۰۰	۳۹/۴۸	۱۶/۹۴	۳۷۰	14S	T045
۱۰	۱۸۴۹	۵۰/۰۴	۳/۷۲	۱۷/۶	۷/۴۱	۱۳۵۰	۳۶/۹۵	۲۷/۵۶	۶۵۰	16S	39S-11
۱۱	۸۰۷/۲۰	۱۰/۰۹	۰/۷۵	۴/۳۸	۸/۷۰	۱۱۵۰	۸۰	۶/۴۵	۳۵۰	3L	T02
۱۲	۸۲۲/۱۷	۲۳/۱۴	۱/۷۲	۹/۰۱	۱۷/۲۵	۵۸۰	۳۵/۵۳	۲۹/۵۲	۳۲۰	15L	T028
۱۳	۲۰۴۲/۱۰	۲۹/۱۹	۲/۱۷	۱۰/۵۸	۱۶/۴۰	۶۱۰	۶۹/۹۶	۳۵/۵۵	۷۴۰	9I	T017
۱۴	۴۲۱۱/۵۰	۵۳/۶۷	۳/۹۹	۲۴/۲۲	۱۸/۱۹	۵۵۰	۷۸/۴۷	۷۲/۵۳	۱۹۰۰	11I	T032

ضریب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان، هنجار کردن مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان، و حذف اثر مقاومت ویژه الکتریکی آب لازم است.

۱۳ ارتباط بین ضریب قابلیت انتقال و مقاومت

عرضی الکتریکی هنجار شده آبخوان

برای ۱۴ نقطه‌ای که در آن نقاط، آزمایش‌های پمپاژ صورت گرفته بود، مقاومت عرضی الکتریکی هنجار شده آبخوان $Z' = D\rho'$ محاسبه شده و مقادیر مربوط به هر یک از نمونه‌ها در جدول ۲ مشخص شده است. همان‌طور که در جدول یاد شده نیز دیده می‌شود، میزان مقاومت عرضی الکتریکی هنجار شده نمونه‌ها با داشتن ضخامت آبخوان و مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده آن به دست می‌آید که در آن $\rho' = \frac{\rho}{\rho_w} \cdot \bar{\rho}_w$ است.

نمودار ترسیم شده در شکل ۴ ضریب قابلیت انتقال T (محور قائم) برحسب Z' (محور افقی) به خوبی رابطه‌ای خطی بین این دو پارامتر را نشان می‌دهد. معادله نتیجه شده به صورت:

$$T = 0.4Z' - 45.62 \quad (9)$$

ضریب تبیینی (r^2) برای این معادله ۰/۹۷ محاسبه شده است که نزدیکی آن به عدد یک بسیار قابل توجه است و انطباق بسیار خوب داده‌ها با نمودار ترسیم شده را نشان می‌دهد.

۱۴ نتیجه‌گیری

در دشت تهران، بدون به انجام رساندن آزمایش پمپاژ می‌توان پارامترهای هیدرولیکی را با سونداژزنی الکتریکی برآورد کرد. رابطه ضریب آبگذری با فاکتور سازند، ضریب آبگذری با مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده، ضریب قابلیت انتقال با مقاومت عرضی الکتریکی هنجار شده آبخوان دشت تهران رابطه‌ای خطی بوده است.

متوسط مقاومت ویژه الکتریکی آب ۱۳/۴۵ اهم متر است و با داشتن فاکتور سازند، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده ρ' به دست می‌آید (جدول ۲) ارتباط بین ضریب آبگذری و مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده، یعنی رابطه بین پارامترهای K و ρ' ، در شکل ۳ نشان داده شده است.

نمودار یاد شده (نمودار K برحسب ρ') که براساس نتایج حاصل از جدول ۲ ترسیم شده، رابطه خطی بین این دو پارامتر را نشان می‌دهد که با نقاط مربوط به داده‌ها، به ویژه برای مقادیر ρ' کمتر از ۴۰ اهم متر انطباق خوبی دارد.

رابطه به دست آمده به صورت:

$$K = 0.4\rho' - 0.4 \quad (6)$$

است و مطابق شکل ۳ میزان ضریب تبیینی (r^2) برای آن حدود ۰/۹۵ محاسبه شده است.

۱۲ مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان

مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان را می‌توانیم از حاصل ضرب مقاومت ویژه الکتریکی لایه در ضخامت آن به دست آورد که در آن:

$$Z = \rho \cdot D \quad (7)$$

Z مقاومت عرضی الکتریکی آبخوان برحسب اهم متر مربع، ρ مقاومت ویژه الکتریکی آبخوان برحسب اهم متر و D ضخامت آبخوان برحسب متر است.

از تلفیق دو معادله (۱) و (۷) و با حذف D یا ضخامت

آبخوان نتیجه می‌شود:

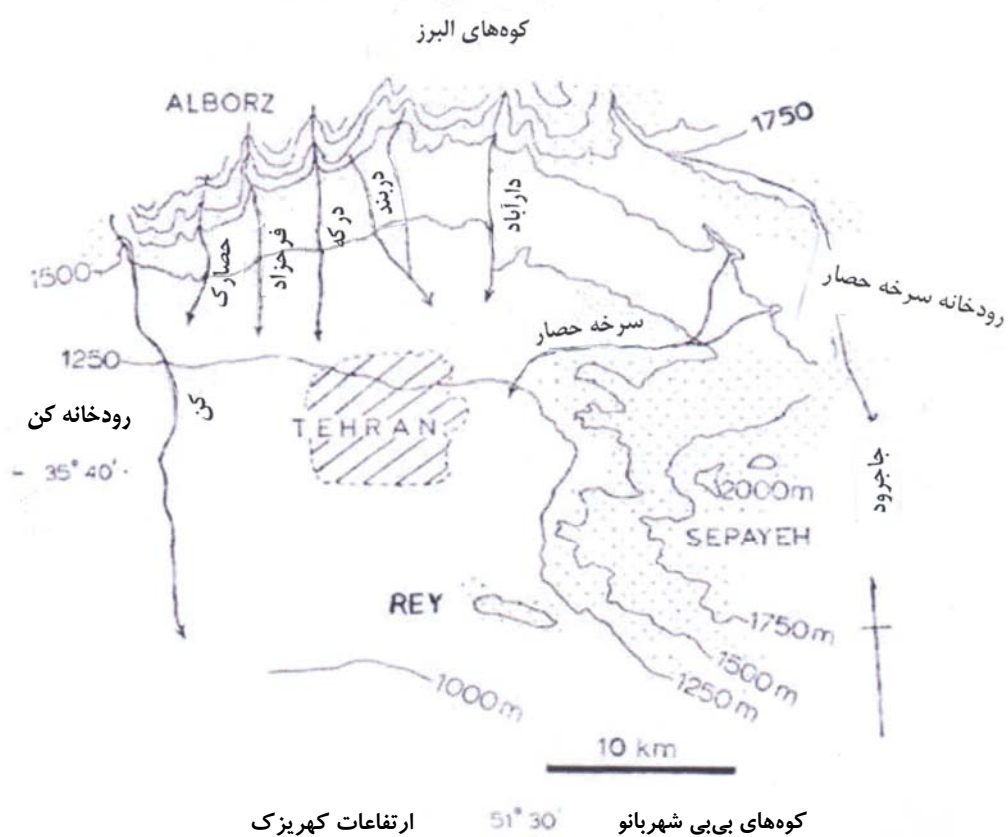
$$Z = T \left(\frac{\rho}{K} \right) \quad (8)$$

عامل $\left(\frac{\rho}{K} \right)$ در معادله فوق برای هر نقطه معین مورد مطالعه، مختص آن نقطه به خصوص است و نمی‌توان آن را برای نواحی دیگر به کار برد. برای برقراری ارتباط بین

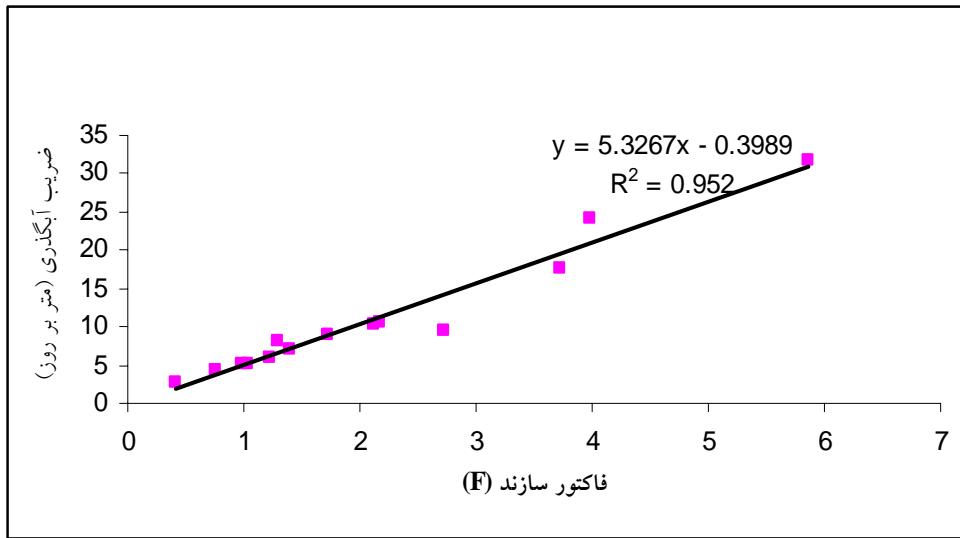
تشکر و قدردانی

بخشی از بودجه این پژوهش از محل طرح پژوهشی شماره ۶۵۲/۲/۸۸۷ دانشگاه تهران تأمین شده است، که بدین وسیله از معاونت پژوهشی وقت دانشگاه تهران قدردانی می‌شود. همچنین از آقای حبیب علیزاده ذکریا

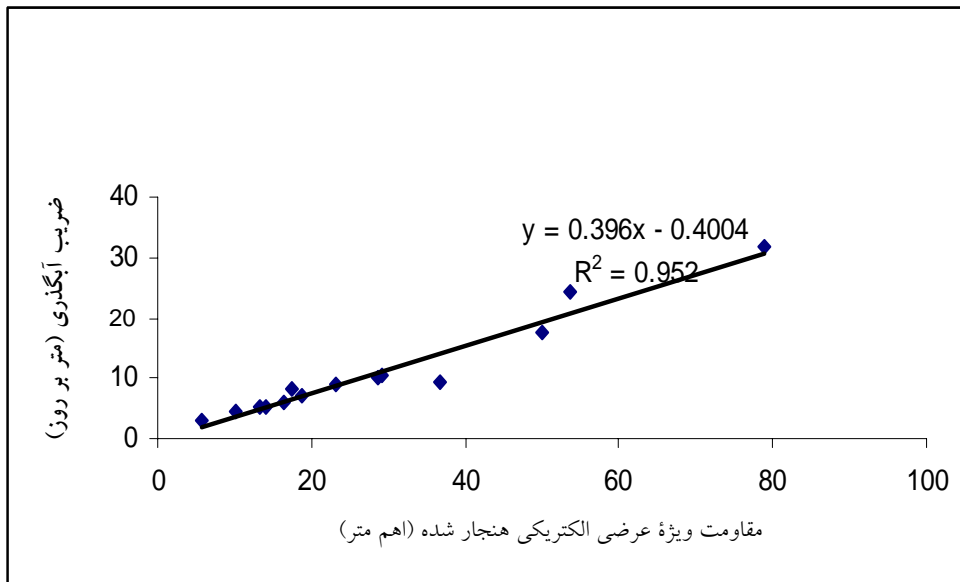
کارشناس بخش اکتشافات مؤسسه ژئوفیزیک و آقای شمشیری از مهندسين مشاور مهتاب قدس و کارشناسان دفتر مرکزی جهاد سازندگی (واحد مهندسی آب و خاک) برای تسهیل در دسترسی به داده‌ها تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.



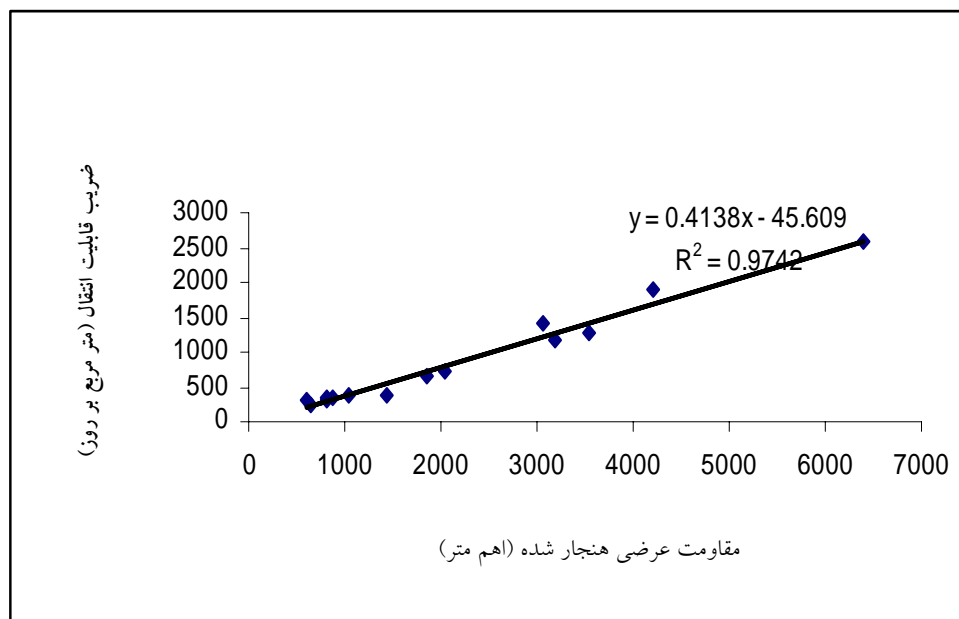
شکل ۱. موقعیت دشت تهران که در آن رشته کوه البرز حد شمالی و کوه‌های سه پایه، تپه‌های هزار دره و رودخانه سرخه حصار حد شرقی، کوه‌های بی‌بی شهربانو و ارتفاعات کهریزک حد جنوبی، رودخانه کن حد غربی دیده می‌شود (Knill and Jones, 1968).



شکل ۲. ارتباط بین ضریب آبگذری و فاکتور سازند آبخوان دشت تهران.



شکل ۳. ارتباط بین ضریب آبگذری و مقاومت ویژه الکتریکی هنجار شده آبخوان دشت تهران.



شکل ۴. ارتباط بین ضریب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی الکتریکی هنجار شده آبخوان دشت تهران.

منابع

زیرزمینی دشت تهران، گزارش شماره ۳۱۲۰-

۱۰۷۱۰۴.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۵۸، طرح

مطالعات دراز مدت آب تهران، گزارش الف ۲،

گزارش شناسایی، ج.ا.

صداقت، م.، ۱۳۷۲، زمین و منابع آب (آب‌های

زیرزمینی)، دانشگاه پیام نور.

گزارش پیژومترهای حفاری شده در دشت تهران-کرج،

سازمان آب منطقه‌ای تهران، امور بررسی‌های منابع

آب-گزارش شماره ۲۸/۴۱۲.

موحد، ب.، ۱۳۷۸، مبانی چاه‌پیمائی، مرکز نشر دانشگاه

صنعتی امیرکبیر.

مهدویان، ع.، ۱۳۶۴، گزارش مطالعات ژئوفیزیکی دشت

تهران و کرج، دفتر مرکزی جهاد سازندگی، واحد

مهندسی آب و خاک (کمیت‌های آب).

هنرمند ابراهیمی، ع.، ۱۳۶۰، محاسبه ضریب قابلیت انتقال

اداره کل آب‌های زیرزمینی، وزارت آب و برق، ۱۳۴۸،

بیان آب زیرزمینی منطقه تهران، (از ۴۵/۸/۱ تا

۴۸/۸/۱) گزارش شماره ۴۴.

اداره کل آب‌های زیرزمینی، وزارت آب و برق، ۱۳۶۳،

پروژه مطالعات آب‌های زیرزمینی.

بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگک روش، ب.، مهاجر

اشجعی، ا.، ۱۳۶۴، پژوهش و بررسی ژرف نو

زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه

گسلش در گستره تهران و پیرامون، (پژوهش و

بررسی لرزه زمین‌ساخت ایران‌زمین: بخش پنجم)،

گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور، چاپ

اول.

سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۷۸، طرح مطالعات

آب‌های زیرزمینی و مدل ریاضی دشت‌های تهران،

ورامین و شهریار گزارش مطالعات آب‌های

- Knill, J. L., and Jones, K. S., 1968, Groundwater conditions in greater Tehran: Q. J. Eng. Geol., **1**, 181-194.
- Rieben, E. H., 1955, The Geology of the Tehran Plain, Am. J. Sci., **253**, 617-639.
- Rieben, E. H., 1966, Geological observations on alluvial deposits in northern Iran: Geological Survey of Iran, No. **9**.
- Yadav, G. S., Abolfazli, H., 1998, Geoelectrical sounding and their relationship to hydraulic parameters in semiarid regions of jalore, northwestern India, Appl. Geophys., **39**, 35-51.
- سفره آب‌های زیرزمینی با استفاده از مطالعات پیزومتریکی و ژئوفیزیکی، نشریه فنی شماره ۴ وزارت نیرو.
- Bouwer, H., 1978, Groundwater Hydrology, international student edition.
- Hafizi, M. K., and Pashakhanlou, F. Z., 2002, Correlation between VES and Hydrogeological variables, EAGE, Florence, Italy.