

بررسی هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی و آزمایش پمپاژ در دشت پیرانشهر

علی پاسیار^{۱*} و عبدالحمید انصاری^۲

چکیده

تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها، از جمله، هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب، در مطالعات هیدروژئولوژی بسیار حائز اهمیت است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها با استفاده داده‌های ژئوفیزیک مقاومت ویژه و به کمک روابط تجربی انجام شده است. از جمله مزایای این روش در مقایسه با روش آزمون‌های پمپاژ، صرفه‌جویی در هزینه و زمان و در نتیجه برآورد ضرایب هیدرودینامیکی در تعداد نقاط بیشتری از سطح آبخوان می‌باشد. در این پژوهش علاوه بر معرفی و کاربرد روش مذکور بر داده‌های مقاومت ویژه آبخوان، ضرایب هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال آب آبخوان ابرفتی قسمت غربی دشت پیرانشهر واقع در استان آذربایجان غربی محاسبه شد. در این پژوهش، مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب آبخوان با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه به ترتیب 23 (m/day) و $3200 \text{ (m}^2\text{/day)}$ برآورد شد. از روی داده‌های آزمون پمپاژ نیز ضریب هدایت هیدرولیکی $37/8 \text{ (m/day)}$ و ضریب قابلیت انتقال آب $2980 \text{ (m}^2\text{/day)}$ محاسبه شد. نزدیک بودن مقادیر به دست آمده با نتایج حاصل از کاربرد دو روش مذکور نشان می‌دهد که روش مقاومت ویژه الکتریکی می‌تواند، روش مناسبی برای تخمین و ارزیابی ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها باشد. لزوم اطلاع دقیق از ابعاد ذرات آبخوان، ضریب سیمان‌شدگی و ضریب پیچاپیچی رسوبات و ثابت نبودن این مقادیر در مناطق مختلف سطح آبخوان، از جمله محدودیت‌های این روش است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، آزمون پمپاژ، دشت پیرانشهر، ضریب قابلیت انتقال آب، مقاومت ویژه الکتریکی، هدایت هیدرولیکی.

ارجاع: پاسیار ع. و انصاری ع. ۱۳۹۶. بررسی هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی و آزمایش پمپاژ در دشت پیرانشهر. مجله پژوهش آب ایران. ۲۷: ۱۳-۲۱.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی معدن - اکتشاف، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.

۲- دانشیار گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد.

* نویسنده مسئول: ali.pasvar@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

مقدمه

تعداد زیادی مطالعه و پژوهش در مورد رابطه تجربی بین ویژگی‌های الکتریکی و هیدرولیکی آبخوان‌ها گزارش شده است که این روابط پیچیدگی و رابطه مستقیم یا غیرمستقیم بین آن‌ها را بیان می‌کنند (مازاچ و همکاران، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰، پوروانس و آندریشویچ، ۲۰۰۰). برای مثال، ارتباطی بین مقاومت ویژه الکتریکی و هدایت هیدرولیکی در یک مطالعه تحلیلی و تجربی روی یک ماسه‌سنگ شسته شده به دست آمد و نشان داد که این رابطه بستگی به خصوصیت سیال موجود در فضاهای خالی و ابعاد ذرات آبخوان دارد (کرافت، ۱۹۷۱). همچنین نیواس و چلیک (۲۰۱۲) اقدام به تخمین تخلخل و هدایت هیدرولیکی به روش ژئوفیزیک سطحی در آبخوان Ruhrtal واقع در کشور آلمان کردند. نتایج حاصل با نتایج آزمون شش حلقه چاه پمپاژ مقایسه شد. در سال‌های اخیر نیز پژوهش‌های مشابهی در زمینه تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی بوسیله روش مقاومت ویژه الکتریکی در سراسر دنیا انجام گرفته است که می‌توان به مطالعه تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان Abi در نیجریه (بانگ و همکاران، ۲۰۱۴)، محاسبه پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال آب، مقاومت عرضی تعدیل یافته در دره خناصر سوریه (أصفهانی، ۲۰۱۶) و همچنین تعیین این پارامترها توسط کازاکیس و همکاران (۲۰۱۶) در یک آبخوان متخلخل در یونان با استفاده از ۳۷ سونداژ الکتریکی و اطلاعات ۲۷ چاه پمپاژ اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

اولین معادله‌ای را که ارتباط بین مقاومت ویژه الکتریکی و تخلخل در لایه‌های آبدار آبخوان را نشان می‌دهد، آرچی در سال ۱۹۴۲ ارائه داد (آرچی، ۱۹۴۲):

$$\rho = a\rho_w\varphi^{-m} \quad (1)$$

در این رابطه ρ مقاومت ویژه^۱ منطقه اشباع آبخوان (Ohm.m)، ρ_w مقاومت ویژه آب زیرزمینی (Ohm.m)، φ تخلخل (بدون بعد)، a ضریب پیچیدگی^۲ (بدون بعد) و m ضریب سیمان شدگی^۳ (بدون بعد) است.

در رابطه (۱)، مقاومت ویژه آب زیرزمینی برحسب اهم-متر از رابطه (۲) به دست می‌آید (فرولیک و کلی، ۱۹۸۸):

تعیین دقیق ضرایب هیدرودینامیک آبخوان، به دلیل استفاده گسترده در تحلیل‌ها و به ویژه شبیه‌سازی مدل‌های مختلف آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های رایج نظارت و بررسی خصوصیات ساختارهای زیرسطحی در مقیاس‌های کوچک، شامل جمع‌آوری نمونه‌های خاک، حفاری و اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئولوژیکی و یا لاگ کردن ژئوفیزیکی چاه‌ها است. در مقیاس‌های وسیع یا در صورت وجود آبخوان‌های پیچیده، استفاده از اطلاعات مذکور کمک چندانی برای بررسی هیدرودینامیک آب‌های زیرزمینی نیست، به خصوص هنگامی که تغییرات در جهت افقی زیاد باشد؛ بنابراین ترکیب بررسی‌های وسیع ژئوفیزیک با روش‌های مختلف و اندازه‌گیری‌های درون چاهی هیدروژئولوژیکی برای نمونه (آزمون پمپاژ) یا همان هیدروژئوفیزیک، در نظارت‌های زیرسطحی دقیق‌تر و رسیدن به دید واضح از زمین کمک شایانی می‌کند.

کلید تفسیرهای هیدروژئوفیزیک، انتقال خصوصیات ژئوفیزیکی اندازه‌گیری شده به پارامترهای هیدروژئولوژیکی است. این انتقال روابط پتروفیزیکی بوده و روابط از طریق همپوشانی داده‌های ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی، آزمایش‌های نمونه‌های سنگ و خاک یا با استفاده از مدل‌های تئوری توسعه می‌یابند (روبین و هابرد، ۲۰۰۵). در زمینه هیدروژئوفیزیک و ارتباط پارامترهای ژئوفیزیک و هیدروژئولوژیکی، پژوهش‌های مختلفی روش‌های ژئوفیزیکی انجام شده است که می‌توان به بررسی‌های درون چاهی روش ژئوفیزیک GPR و تعیین پارامترهای جریان آب‌های زیرزمینی اشاره کرد (کوالسکی و همکاران، ۲۰۰۴).

برای اطلاع از وضعیت آبخوان از نظر هیدروژئولوژی، ابتدا باید اطلاعاتی در مورد حجم آب و میزان تخلخل آبخوان داشت. این پارامترها به طور مستقیم با مقاومت ویژه الکتریکی در ارتباط می‌باشند. به عنوان مثال، دانوسکی و یارامانسی (۱۹۹۹) با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌های آبخوان، اقدام به تخمین تخلخل و حجم آب موجود در آبخوان یک سایت آزمایشی در برلین آلمان کردند که علاوه بر در اختیار داشتن اطلاعات چاه‌های موجود، وضعیت زمین‌شناسی منطقه هم به خوبی شناخته شده بود.

1- Electrical resistivity
2- Tortuosity parameter
3- Cementation factor

سیال مشتق شده است، به دست می‌آید (نیواس و کلیک، ۲۰۱۲).

$$T = aS \quad a = K\rho \quad (5)$$

در رابطه (۵)، T ضریب قابلیت انتقال آب 4 (m^2/s)، S هدایت طولی 5 ($1/ohm$) و a نسبت ثابت برابر شیب خط گذرنده از نمودار هدایت هیدرولیکی (K) و عکس مقاومت ویژه قسمت اشباع آبخوان ($\frac{1}{\rho}$) است. همچنین در این معادله مقدار S یا همان هدایت طولی از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$S = \frac{D}{\rho} \quad (6)$$

در رابطه (۶) D ، ضخامت ناحیه اشباع آبخوان بر حسب متر است.

در این پژوهش، بخشی از قسمت غربی دشت پیرانشهر؛ واقع در استان آذربایجان غربی مطالعه شد. با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از برداشت پانزده سونداژ الکتریکی، اطلاعاتی از پارامترهای مختلف آبخوان، نظیر مقاومت ویژه لایه‌های مختلف آبرفت، ضخامت زون اشباع و غیراشباع به دست می‌آید. با در اختیار داشتن این پارامترها و آگاهی از جنس رسوبات به لحاظ نحوه‌ی سیمان‌شدگی، ابعاد ذرات و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به کمک چاه‌های موجود در منطقه و با استفاده از روابط تجربی گفته شده در بالا، در زمینه هیدرولیک چاه‌ها، می‌توان پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان مانند هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب محاسبه شد.

در محدوده مذکور تعداد ۳ چاه وجود دارد که مورد آزمون پمپاژ قرار گرفتند. هدف از انجام آزمون پمپاژ، برآورد ضرایب هیدرودینامیک آبخوان مورد نظر بوده است. اساس کار آزمون پمپاژ مبتنی بر مشاهده واکنش آبخوان در مقابل عمل پمپاژ آن است. با در اختیار داشتن میزان افت سطح آب چاه‌ها نسبت به زمان پمپاژ با دبی ثابت، می‌توان مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب را محاسبه و نتایج حاصل را با مقادیر به دست آمده از روش مقاومت ویژه مقایسه کرد. برای محاسبه مقادیر واقعی هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آبخوان از طریق آزمون پمپاژ، از روش تیس-ژاکوب^۶ و بهره‌گیری از نرم‌افزار Aquifer Test استفاده شد.

$$\rho_w = \frac{10^4}{\sigma_w} \quad (2)$$

σ_w هدایت الکتریکی و واحد آن میکروموس بر سانتی‌متر ($\frac{\mu mhos}{cm}$) است. هدایت الکتریکی نمونه‌های آب را می‌توان به وسیله یک هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری کرد. فاکتور a یا ضریب پمپاژی برای رسوبات آبرفتی سخت نشده، برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود (شان، ۲۰۰۴). فاکتور m یا ضریب سیمان‌شدگی نیز در بسیاری از مطالعات انجام شده $2/2-1/3$ در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱ مقادیر ضریب سیمان‌شدگی را برای رسوبات مختلف نشان می‌دهد (داوتون، ۱۹۸۶).

جدول ۱- مقادیر ضریب سیمان‌شدگی رسوبات مختلف (داوتون، ۱۹۸۶)

نوع رسوبات	m
رسوبات تحکیم نیافته	۱/۳
رسوبات با سیمان‌شدگی خیلی کم	۱/۴-۱/۵
رسوبات با سیمان‌شدگی کم	۱/۵-۱/۷
رسوبات با سیمان‌شدگی متوسط	۱/۸-۱/۹
رسوبات با سیمان‌شدگی بالا	۲-۲/۲

بعد از آرچی، کازنی معادله نفوذپذیری ذاتی را به صورت زیر ارائه کرد (کازنی، ۱۹۵۳):

$$k_f = \frac{d^2}{180} \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2} \quad (3)$$

در این رابطه k_f نفوذپذیری ذاتی 1 (m^2) و d قطر ذرات (m) است.

هدایت هیدرولیکی نیز یک پارامتر هیدروژئولوژیکی است که به جنس سازند و خصوصیات سیال محتوی آن بستگی دارد و بر اساس رابطه (۴) قابل محاسبه است (هوبرت، ۱۹۴۰).

$$K = \frac{\delta_w g}{\mu} k_f \quad (4)$$

در رابطه فوق، K هدایت هیدرولیکی (m/s)، δ_w دانسیته آب 2 (1000 Kg/m^3)، g شتاب جاذبه (9.81 m/s^2) و μ ویسکوزیته دینامیک آب (0.0014 Kg/m.s^3) است.

ضریب قابلیت انتقال آب نیز که یک فاکتور مهم هیدروژئولوژیکی به حساب می‌آید، معادل حاصل ضرب هدایت هیدرولیکی در ضخامت لایه آبدار است و به وسیله رابطه (۵) که بر اساس قانون اهم و دارسی در جریان افقی

4- Water Transmissivity
5- Longitudinal Conductance
6- Theis-Jacob

1- Intrinsic permeability
2- Water density
3- Water dynamic viscosity

نتایج و بحث

محدوده مورد مطالعه در قسمت غربی دشت پیرانشهر واقع در شمال شرق شهرستان پیرانشهر استان آذربایجان غربی است. این محدوده در فاصله هوایی حدوداً ۲ کیلومتری شهر پیرانشهر و ۱۰۰ کیلومتری شهر ارومیه واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه، سونداژهای الکتریکی و محل چاه‌های پمپاژ روی بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نرده نشان داده شده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی مذکور در شمال محدوده مطالعاتی برونزدهایی از تناوب لایه‌های آهک، دولومیت بلورین و شیست مربوط به سازند روته دیده می‌شود. در قسمت شرقی و مرکزی نیز برونزدهایی از سنگ آهک خاکستری و ریزبلور مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد این واحد زمین‌شناسی سنگ کف آبخوان در این قسمت از دشت را تشکیل می‌دهد.

تعداد ۱۵ سونداژ الکتریکی با آرایه شلومبرژه^۱ با حداکثر خط جریان ۱۰۰۰ متر در محدوده مورد مطالعه برداشت شده است (شکل ۱). فاصله ایستگاه‌های محل برداشت سونداژها ۹۳۲ تا ۱۷۲۰ متر از یکدیگر بوده است. محدوده تحت پوشش سونداژها سطحی حدود ۲۰ کیلومترمربع را می‌پوشاند. منحنی‌های سونداژ الکتریکی مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته و ضمن تشخیص لایه‌های ژئوالکتریکی، ضخامت و مقاومت ویژه حقیقی هر لایه محاسبه شد. از روی مقادیر ضخامت و مقاومت ویژه حقیقی در محل هر سونداژ مقاطع ژئوالکتریکی رسم و از نظر هیدروژئولوژیکی تعبیر و تفسیر شده‌اند. در این تعبیر و تفسیر از نمودار چاه‌های حفاری موجود نیز استفاده شد (پاسپار و همکاران، ۱۳۹۲). در شکل ۲ منحنی سونداژ الکتریکی شماره ۱۰ و تفسیر آن که در کنار چاه شماره ۱۷ برداشت شده است، برای نمونه آورده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، روی منحنی سونداژ الکتریکی لایه آبدار به صورت شاخه پایین رونده و سنگ کف آهکی به صورت یک شاخه بالارونده ظاهر شده است. در سونداژ شماره ۱۰ در عمق ۱۱ متری به سطح ایستابی و در عمق ۱۱۵ متری به سنگ کف آهکی برخورد شده است.

با استفاده از اطلاعات فوق و روابط تجربی (۱) تا (۶)، می‌توان پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان را محاسبه کرد. در رابطه (۱)، فاکتور سیمان شدگی برای این دشت

با توجه به درجه سیمان شدگی خیلی کم، برابر ۱/۵ در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار حفاری چاه‌های موجود در منطقه، جنس رسوبات آبرفتی، بیشتر از شن دانه‌ریز به همراه اندکی گراول، سیلت و رس است. در جدول ۲ مقادیر محاسبه شده پارامترهای مختلف به وسیله روش ژئوالکتریک ارائه شده است. مطابق این جدول در محدوده مورد مطالعه میانگین بخش اشباع آبخوان ۷۹ متر و مقاومت ویژه حقیقی آن معادل ۱۰۲/۴ اهم متر به دست آمده است.

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده پارامترهای مختلف به وسیله

روش ژئوالکتریک

پارامتر	بازه تغییرات	میانگین
ضخامت آبرفت (m)	۳۰-۱۴۳	۹۶
ضخامت زون اشباع (m)	۱۸-۱۳۶/۵	۷۹
مقاومت ویژه زون اشباع	۷۰-۱۹۰	۱۰۲/۴
تراز سنگ کف	۱۲۸۷-۱۴۳۰	۱۳۴۰

در جدول ۳ قطر ذرات رسوبات مختلف بر اساس استاندارد BS EN ISO 14688-1:2002 مشخص شده است که بر این اساس می‌توان قطر ذرات برای تعیین نفوذپذیری ذاتی در رابطه (۳) را ۰/۲۵ میلی‌متر در نظر گرفت.

جدول ۳- طبقه‌بندی اندازه ذرات بر اساس استاندارد BS EN ISO 14688-1:2002

جنس ذرات	میانگین
قلوه سنگ درشت دانه	>۶۳۰
قلوه سنگ	۲۰۰-۶۳۰
قلوه سنگ ریز دانه	۶۳-۲۰۰
گراول درشت دانه	۲۰-۶۳
گراول	۶/۳-۲۰
گراول ریزدانه	۲-۶/۳
شن درشت دانه	۰/۶۳-۲
شن	۰/۲-۰/۶۳
شن ریزدانه	۰/۰۶۳-۰/۲
سیلت درشت دانه	۰/۰۲-۰/۰۶۳
سیلت	۰/۰۰۶۳-۰/۰۲
سیلت ریزدانه	۰/۰۰۲-۰/۰۰۶۳
رس	<۰/۰۰۲

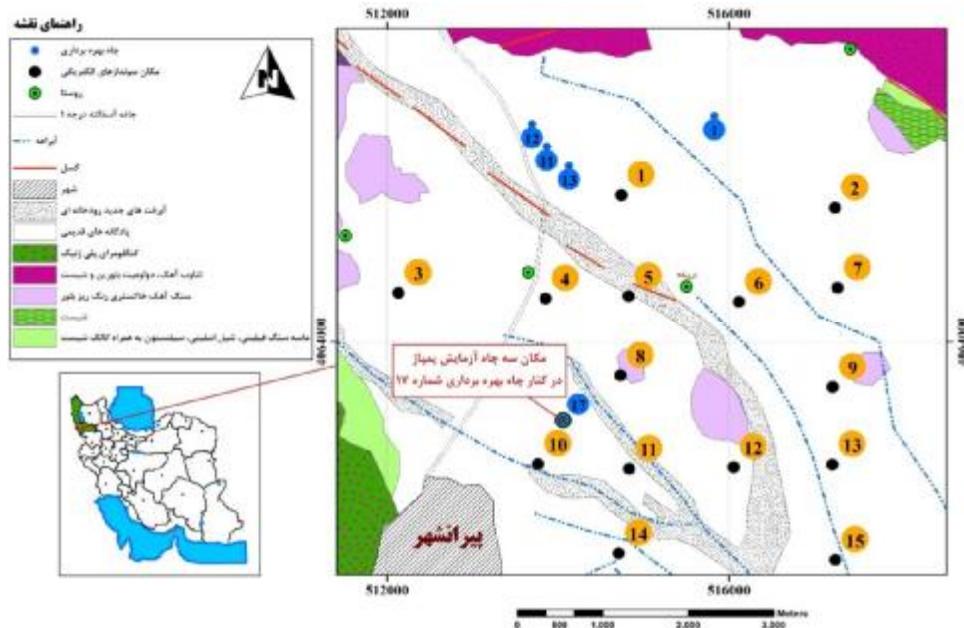
در جدول ۴ پارامترهای هیدرولیکی آبخوان محاسبه شده با مطالعات ژئوالکتریک و روابط تجربی برای ۱۵ سونداژ الکتریکی نشان داده شده است.

α در رابطه (۵) می‌توان مقدار ضریب قابلیت انتقال آب (T) را محاسبه کرد. جدول ۵ مقادیر محاسبه شده ضریب قابلیت انتقال آب برای سونداژهای برداشت شده نشان داده شده است.

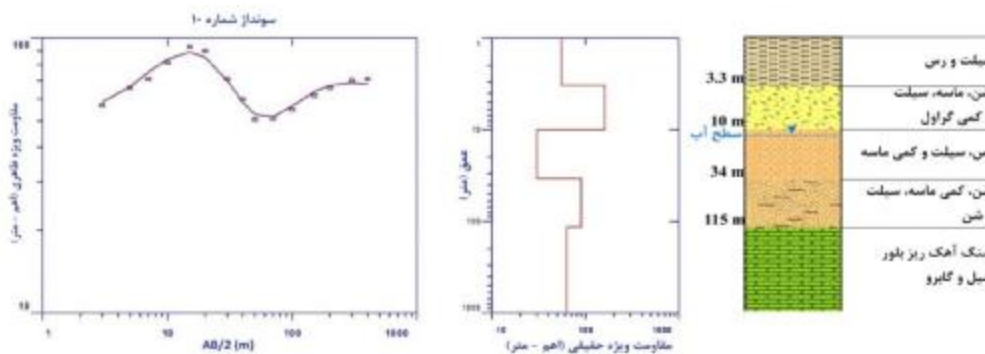
در مرحله بعد با رسم نمودار $K - \frac{1}{\rho}$ و محاسبه شیب این نمودار، نسبت α در رابطه (۵) به دست می‌آید. شکل ۳ نمودار $K - \frac{1}{\rho}$ را نشان می‌دهد. چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، شیب خط گذرنده از نقاط در نمودار برابر ۳۷۵۰ است؛ بنابراین با داشتن نسبت

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده پارامترهای هیدروژئولوژیکی توسط روش ژئوالکتریک و روابط تجربی

شماره سونداژ	ضخامت منطقه اشباع (m)	مقاومت ویژه منطقه اشباع (ohm.m)	هدایت الکتریکی ($\mu\text{mhos/cm}$)	تخلخل (%)	هدایت هیدرولیکی (m/day)
۱	۶۵	۱۶۰	۴۳۹	۲۷	۵
۲	۷۶	۷۱	۴۸۹	۴۳	۳۵
۳	۴۰	۱۵۰	۵۴۲	۲۵	۳/۵
۴	۷۱/۵	۷۷	۳۹۷	۴۷	۵۲
۵	۸۹	۸۰	۴۶۲	۴۲	۲۹
۶	۹۵/۵	۱۹۰	۵۱۷	۲۱	۲/۳
۷	۷۳/۵	۱۰۰	۴۶۷	۳۶	۱۵
۸	۳۷	۷۰	۴۸۸	۴۴	۳۶/۵
۹	۱۸	۹۹	۵۰۴	۳۴	۱۲/۴
۱۰	۱۰۲/۵	۱۰۰	۵۱۵	۳۳	۱۱/۴
۱۱	۱۱۴	۸۴	۳۹۸	۴۵	۳۹
۱۲	۸۴/۵	۱۴۰	۴۲۵	۳۰	۷/۸
۱۳	۸۱	۹۵	۴۳۸	۳۹	۲۰
۱۴	۱۴۶/۵	۷۰	۴۵۰	۴۶	۴۷
۱۵	۱۰۹/۲	۸۵	۴۶۳	۴۰	۲۴
میانگین	۷۹/۵	۱۰۵	۴۶۶	۳۷	۲۳



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه، سونداژهای الکتریکی و محل چاه‌های پیمائز



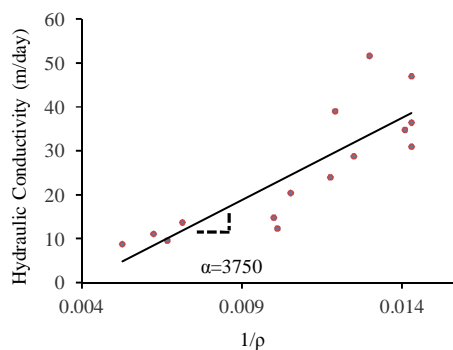
شکل ۲- زمین شناسی چاه شماره ۱۷ در کنار سونداژ الکتریکی شماره ۱۰

با محاسبات فوق مقدار میانگین برای شاخص‌های هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب، به ترتیب برابر ۲۳ (m/day) و ۳۲۰۰ (m²/day) محاسبه شد. شکل ۴ نقشه‌های منحنی تراز هدایت هیدرولیکی بر حسب متر در روز (سمت چپ) و ضریب قابلیت انتقال آب بر حسب مترمربع در روز (سمت راست) در دشت مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، مقدار هدایت هیدرولیکی به روش مقاومت ویژه، برای چاه‌های پمپاژ که در نزدیکی سونداژ شماره ۱۰ و چاه بهره‌برداری شماره ۱۷ واقع شده‌اند، برابر ۲۷ متر در روز و همچنین ضریب قابلیت انتقال آب در این مکان، ۳۳۱۴ مترمربع در روز تخمین زده شده است.

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب بوسیله آزمایش پمپاژ، مقادیر افت سطح ایستابی در بازه زمانی ۱۳۵۰ دقیقه و با دبی ثابت اندازه‌گیری شد و با استفاده از نرم‌افزار Aquifer Test و به کمک روش تیس-ژاکوب، نمودار افت سطح ایستابی نسبت به زمان رسم شد. این نمودار در شکل ۵ نشان داده شده است.

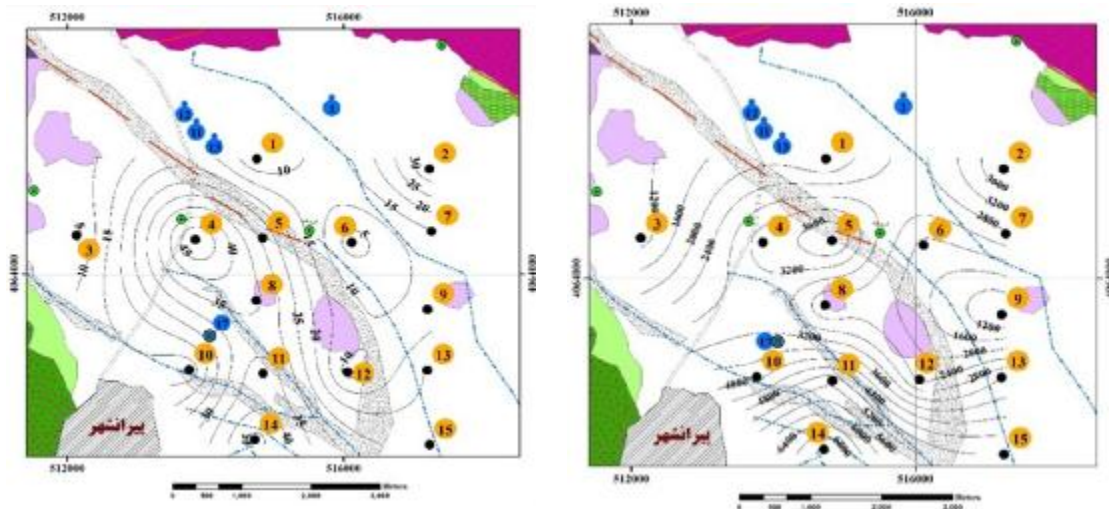
نتایج آزمون پمپاژ در شکل ۵ نشان می‌دهد که میانگین هدایت هیدرولیکی و ضریب انتقال آب محاسبه شده در این روش به ترتیب برابر ۳۷/۸ متر در روز و ۲۹۸۰ مترمربع در روز است.



شکل ۳- نمودار $K - \frac{1}{p}$ برای محاسبه نسبت α

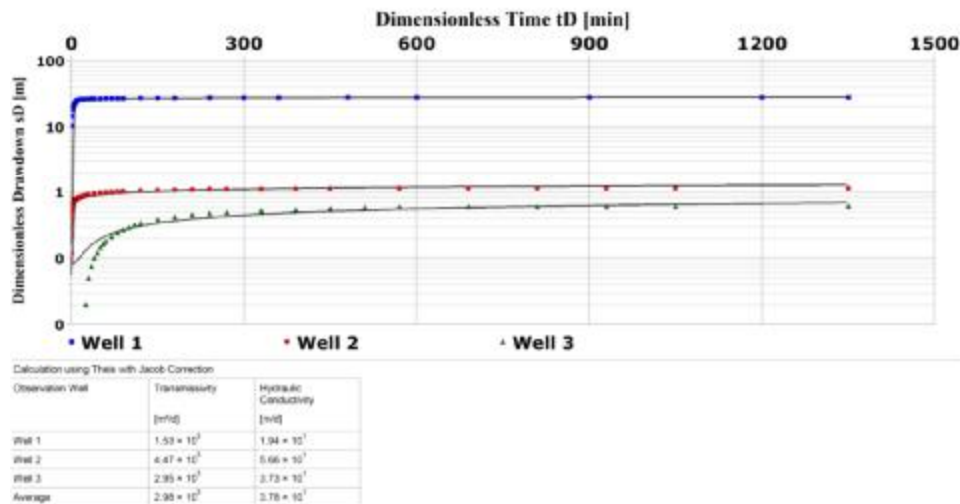
جدول ۵- مقادیر محاسبه شده ضریب قابلیت انتقال آب

شماره سونداژ	ضریب قابلیت انتقال آب (m ² /day)
۱	۱۵۲۳
۲	۴۰۱۴
۳	۱۰۰۰
۴	۳۴۸۲
۵	۴۱۷۲
۶	۱۸۸۵
۷	۲۷۵۶
۸	۱۹۸۲
۹	۶۸۲
۱۰	۳۸۴۴
۱۱	۵۰۸۹
۱۲	۲۲۶۳
۱۳	۳۱۹۷
۱۴	۷۳۱۲
۱۵	۴۸۱۴
میانگین	۳۲۰۰



شکل ۴- نقشه هدایت هیدرولیکی بر حسب متر در روز (چپ) و ضریب قابلیت انتقال آب بر حسب مترمربع در روز (راست) به دست آمده از روش مقاومت ویژه الکتریکی

Location: Pirsahr plain	Pumping Test Pumping Test	Pumping Well: Well 1, Well 2, Well 3
Test Conducted by:		
Analysis Performed by:	Thies with Jacob Correction	Analysis Date: 02/04/2014
Acquifer Thickness: 79.00 m		



شکل ۵- افت سطح ایستابی نسبت به زمان

هندسی آبخوان، تخمینی از ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها را نیز به دست آورد. فرمول‌های تجربی بسیاری در مطالعات و پژوهش‌ها در این زمینه ارائه شده است. در پژوهش حاضر این روابط تجربی را به کار گرفته و با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه ۱۵ سونداژ الکتریکی برداشت شده در قسمت غربی دشت پیرانشهر، مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال آب محاسبه

نتیجه‌گیری

ضریب قابلیت انتقال آب و هدایت هیدرولیکی از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها به شمار می‌آیند. یکی از روش‌های معمول اما پر هزینه تعیین این پارامترها انجام آزمون‌های پمپاژ است. روش مقاومت ویژه الکتریکی، از راه‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان علاوه بر کسب اطلاعاتی در مورد شکل

- Journal of African Earth Sciences. 117: 196-206.
4. Croft M. G. 1971. Method of calculating permeability from electric log. U.S. Geological Survey Professional Paper. 750: 265-269.
 5. Dannowski G. and Yaramanci U. 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectrical measurements. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 4: 71-76.
 6. Doveton J. H. 1986. Log Analysis of Subsurface Geology. Wiley, New York. 273 p.
 7. Ebong E. D. Akpan A. E. Onwuegbuche and A. A. 2014. Estimation of geohydraulic parameters from fractured shales and sandstone aquifers of Abi (Nigeria) using electrical resistivity and hydrogeologic measurements. Journal of African Earth Sciences. 96: 99-109.
 8. Frohlich R. K. and Kelly W. E. 1988. Estimates of specific yield with the geoelectric resistivity method in glacial aquifers. Journal of Hydrology. 97: 33-44.
 9. Hubert M. K. 1940. The theory of groundwater motions. Journal of Geology. 48: 785-944.
 10. Kazakis N. Vargemezis G. and Voudouris K. S. 2016. Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods. Science of the total environment. 550: 742-750.
 11. Kowalsky M. B. Finsterle S. and Rubin Y. 2004. Estimating flow parameter distributions using ground-penetrating radar and hydrological measurements during transient flow in the vadose zone. Advances in Water Resources. 27(6): 583-599.
 12. Kozeny J. 1953. Hydraulics. Springer. Vienna. 574 p.
 13. Mazac O. Kelly W. E. and Landa I. 1985. A hydrogeophysical model for relation between electrical and hydraulic properties of aquifers. Journal of Hydrology. 79: 1-19.
 14. Mazac O. Kelly W. E. Landa I. and Venhodova D. 1990. Determination of hydraulic conductivities by surface geoelectrical methods. Geoelectrical and environmental geophysics: Environmental and groundwater applications. 2: 125-131.
 15. Niwas S. and Celik M. 2012. Equation estimation of porosity and hydraulic conductivity of Ruhrtal aquifer in Germany using near surface geophysics. Journal of Applied Geophysics. 84: 77-85.
 16. Purvance D. T. and Andricevic R. 2000. On the electric-hydraulic conductivity correlation in aquifers. Water Resources

شدند. در ضمن این فاکتورهای هیدروژئولوژیکی با آزمایش ۳ چاه پمپاژ نیز محاسبه شدند. در روش مقاومت ویژه، مقدار میانگین هدایت هیدرولیکی ۲۳ متر در روز و ۳۲۰۰ مترمربع در روز برای ضریب قابلیت انتقال آب محاسبه شدند. مقدار هدایت هیدرولیکی به روش مقاومت ویژه برای چاه‌های پمپاژ که در نزدیکی سونداژ شماره ۱۰ و چاه بهره‌برداری شماره ۱۷ واقع شده‌اند، برابر ۲۷ متر در روز و مقدار ضریب قابلیت انتقال آب در این مکان ۳۳۱۴ مترمربع در روز تخمین زده شد که این مقادیر در روش آزمایش پمپاژ، به ترتیب برابر ۳۷/۸ متر در روز و ۲۹۸۰ مترمربع در روز به دست آمد. تطابق قابل قبول بین دو روش ذکر شده، نشان می‌دهد که بوسیله روش مقاومت ویژه الکتریکی نیز می‌توان تخمین قابل قبولی در ارزیابی ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها داشت.

مزیت روش مقاومت ویژه، در این است که علاوه بر به دست آوردن فاکتورهای هیدرودینامیک دشت‌ها، می‌توان اطلاعات مفیدی از آبخوان‌ها از جمله ضخامت رسوبات، تراز سنگ کف و تخلخل به دست آورد. البته داشتن اطلاع دقیق از ابعاد ذرات آبخوان، ضریب سیمان‌شدگی و ضریب پیچاپیچی و همچنین ثابت نبودن این مقادیر در مناطق مختلف دشت، نمی‌تواند خالی از اشکال باشد. بهترین نتیجه تخمین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان زمانی حاصل می‌شود که در محدوده مورد مطالعه، حداقل در یک نقطه این ضرایب از آزمون پمپاژ به دست آمده باشد تا امکان تعمیم این ضرایب به کل دشت از روش ارائه شده در این پژوهش میسر شود.

منابع

۱. پاسپار ع. انصاری ع. و قربانی ا. ۱۳۹۲. بررسی روش‌های تلفیق داده‌های هیدروژئولوژیکی و ژئوالکتریک در محیط GIS (با مقایسه چند مطالعه موردی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یزد. ۱۴۵ ص.
2. Archie G. 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Petroleum Transactions of the American Institute of Mineralogical and Metallurgical Engineers. 146: 54-62.
3. Asfahani J. 2016. Hydraulic parameters estimation by using an approach based on vertical electrical soundings (VES) in the semi-arid Khanasser valley region, Syria.

-
- Research. 36: 2905-2913.
17. Rubin Y. and Hubbard S. S. 2005. Hydrogeophysics. Springer. 516 p.
18. Schön J. H. 2004. Physical Properties of Rocks. Elsevier, Amsterdam. 512 p.

