

واژه‌های کلیدی: ضریب قابلیت انتقال، مقاومت عرضی کل، معادلات آرچی - کوزنی، تخلخل سازند، معدن سنگ آهن گل گهر

مقدمه

شناخت خصوصیات هیدرولیکی سفره‌های آبدار در محیط‌های معدنی به منظور زهکشی جریان آب زیرزمینی و یا ممانعت از ورود آن‌ها به داخل پیت معدن ضروری می‌باشد [۵]. یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی سفره‌های آبدار، ضریب قابلیت انتقال است که معتبرترین و متداول‌ترین روش شناخته شده برای محاسبه آن انجام عملیات پمپاژ می‌باشد [۱۵]. البته این روش مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار است [۴ و ۱۳]. روش‌های ژئوفیزیکی از جمله ژئوالکتریک و روش لرزه‌نگاری انعکاسی در چندین دهه اخیر، جهت تعیین خصوصیات سفره‌های آب زیرزمینی با دقت بالا مورد توجه مهندسان و آبشناسان قرار گرفته است [۱۰]. به خصوص روش مقاومت ویژه، در زمینه تخمین خصوصیات آبخوان‌ها در مناطق گوناگون از جمله تخمین ضریب قابلیت انتقال و تخلخل بسیار کاربرد دارد [۲ و ۱۰ و ۱۶].

از طرفی مقاومت ویژه الکتریکی سفره آبدار به طور عمده در ارتباط با میزان تخلخل و میزان مقاومت سیال عبوری از میان سازند است و از آن جایی که تخلخل در ارتباط با ضریب هدایت هیدرولیکی می‌باشد، می‌توان از طریق مشخص کردن مقدار تخلخل آبخوان، ضریب هدایت هیدرولیکی را تخمین زد [۱۰]. دانشمندان زیادی به کمک برداشت‌های ژئوالکتریک و با استفاده از معادلات مختلف از جمله معادله آرچی - کوزنی^۵، کوزنی^۶ و قانون اهم - دارسی مقدار تخلخل و ضریب هدایت هیدرولیکی سفره‌های آب زیرزمینی را محاسبه کرده‌اند. دلیما و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۰ بر اساس ارتباط بین تخلخل و ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان که در قالب رابطه کوزنی - کارمن شناخته می‌شود، توانستند ضریب هدایت هیدرولیکی سازندهای ماسه‌ای رس‌دار را تخمین بزنند. در این رابطه پارامترهای پتروفیزیکی به راحتی از طریق اندازه‌گیری‌های ژئوالکتریک تعیین می‌شوند. در سال ۲۰۱۲ نیواز و همکاران در کشور آلمان از داده‌های ژئوالکتریک سطحی برای تخمین مقدار تخلخل سازند و محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان استفاده کرده‌اند [۱۰]. در مناطقی از ایران نیز از جمله در آبخوان دشت چالدران

تخمین پارامترهای هیدرولیکی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های لاگ سنگ‌شناسی و سونداژ زنی ژئوالکتریکی (مطالعه موردی: معدن شماره ۱ گل گهر سیرجان)

فرشته حسن زاده^۱، غلامرضا کمالی^۲، حجت اله رنجبر^۳ و

محمد حسینی سبزواری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۳۰

چکیده

شناخت پارامترهای هیدرولیکی سفره‌های آب زیرزمینی، به منظور مدیریت نمودن آن‌ها الزامی است. رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری این پارامترها، آزمایشات پمپاژ می‌باشد که مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار است. انجام عملیات ژئوالکتریکی به روش سونداژ زنی، اطلاعات زیادی در ارتباط با وضعیت لایه‌های زیرزمینی در اختیار می‌گذارد. منطقه مورد مطالعه بخش رسوبی معدن سنگ آهن گل گهر است. رسوبات این منطقه به شدت گسل خورده و از نظر سنگ‌شناسی بسیار ناهمگن است و ترکیبات رسی و مارنی زیادی را شامل می‌شود. در این مقاله از داده‌های ژئوالکتریک، به منظور تخمین قابلیت انتقال آبخوان در مناطقی که هیچ آزمایش پمپاژی انجام نگرفته بود، استفاده شد. این کار از طریق رسم نمودار همبستگی بین ضریب قابلیت انتقال چند چاه پمپاژ و مقدار مقاومت عرضی کل در آن نقاط انجام گرفت. همچنین مقدار ضریب قابلیت انتقال از طریق معادلات آرچی - کوزنی و قانون اهم - دارسی محاسبه گردید و با مقادیر تخمین زده شده از طریق مقاومت عرضی کل مقایسه شد. در آخر مشخص گردید که مقدار قابلیت انتقال تخمین زده شده با استفاده از داده‌های مقاومت عرضی کل دقت بیشتری نسبت به روش معادلات تخمین تخلخل و معادلات کوزنی - کارمن دارد.

۱- کارشناس ارشد اکتشاف معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان

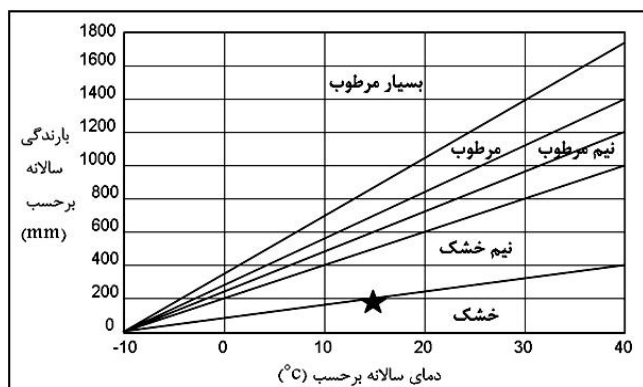
fereshte.hasanzaadeh@gmail.com

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استاد دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- کارشناس ارشد آب‌شناسی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر

5- Archie- Kozeny
6- Kozeny- Carman



شکل ۲- وضعیت اقلیم منطقه گل گهر بر اساس طبقه‌بندی دمارتن

Figure2- climate conditions based on the classification Domarton

سیرجان و در محدوده ای با طول ۳۳۲۸۴۱ متر تا ۳۳۸۹۱۶ متر و عرض ۳۲۱۷۸۳۱ متر تا ۳۲۲۰۴۵۸ متر (در سامانه تصویر UTM، زون ۴۰ شمالی) واقع شده است. راه ارتباطی این منطقه جاده آسفالتی سیرجان- شیراز است، که بعد از طی حدود ۴۲ کیلومتر جاده آسفالتی یک راه فرعی به طرف جنوب تا معدن امتداد می‌یابد (شکل یک). آب و هوای منطقه، خشک کویری و حداکثر درجه حرارت ۴۲ درجه مربوط به مرداد ماه و حداقل آن ۱۶- درجه سانتی‌گراد مربوط به دی ماه و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۷°C است. میانگین بارندگی در منطقه به طور تقریبی ۱۴۸ میلی‌متر می‌باشد. به طور کلی بارندگی در این منطقه در زمستان، بهار و گاهی در مرداد ماه صورت می‌گیرد ولی مقدار آن چندان چشمگیر نمی‌باشد، به طوری که رودخانه دائمی در منطقه وجود ندارد. معمولاً پر باران‌ترین و کم باران‌ترین ماه‌های سال به ترتیب آذر ماه و شهریور ماه هستند و متوسط رطوبت ۳۳/۹ درصد می‌باشد. بر اساس روش دمارتن ضریب خشکی منطقه، شش و سی و نه صدم و بر اساس این طبقه‌بندی، منطقه گل گهر دارای اقلیم خشک است. شکل دو وضعیت اقلیم منطقه گل گهر را با علامت (*) براساس طبقه‌بندی دمارتن نشان می‌دهد [۷].

مطالعات زمین‌شناسی و آبشناسی منطقه

معدن گل گهر سیرجان در لبه شمال شرقی زون سندج- سیرجان و کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار گرفته است. بخش آبرفتی به طور معمول از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است که شامل گراول، ماسه و رس می‌باشد. ارتفاعات اندکی که در بخش‌های شرقی، غربی و جنوب معدن رخنمون دارند شامل سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک، سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند. جدول شماره یک جنس سنگ‌ها و رسوبات تشکیل‌دهنده منطقه را همراه با سن زمین‌شناسی نشان می‌دهد. سفره‌ی آبدار منطقه معدنی گل گهر به شدت گسل خورده و از نظر سنگ‌شناسی بسیار ناهمگن است و ترکیبات رسی و مارنی زیادی را شامل می‌شود. سنگ‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه

Figure1- geographical location and access to this area

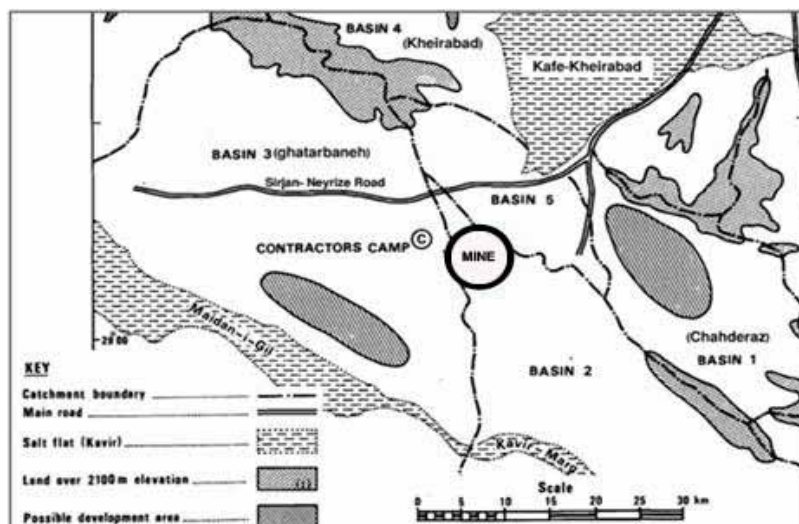
و دشت گلیپایگان به منظور شناخت سفره‌های آب زیرزمینی، از روش‌های ژئوالکتریک بهره برده شده است [۸]. تحقیقات صورت گرفته تاکنون بر روی دشت‌هایی با ترکیبات آبرفتی یکنواخت شن و ماسه بوده اما در این تحقیق منطقه مورد نظر به شدت گسله، ناهمگن و دارای ترکیبات رسی و مارنی بسیار در سازندهای آبدار خود می‌باشد.

هدف از این مطالعه تخمین ضریب قابلیت انتقال سفره آب زیرزمینی (بخش رسوبی) معدن سنگ آهن گل گهر با استفاده از برداشت‌های ژئوفیزیک به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. در روش اول مقدار ضریب قابلیت انتقال هر نقطه بر اساس مقدار مقاومت عرضی کل سفره آبدار در همان نقطه بدون انجام عملیات پمپاژ تخمین زده شد، که لازمه آن رسم رگرسیون خطی بین چند چاه پمپاژ و مقدار مقاومت عرضی کل در محل آن‌ها است. در روش دوم، ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی یا لاگ‌های حفاری موجود در منطقه و معادلات آرچی- کوزنی^۱، کوزنی- کارمن^۲، تخمین زده شد و با داشتن ضخامت سفره آبدار، مقدار ضریب قابلیت انتقال محاسبه گردید. نتایج بدست آمده از این دو روش با یکدیگر مقایسه و میزان خطای هر یک از روش‌ها مشخص شد.

منطقه مورد مطالعه

ناحیه معدنی مورد مطالعه در ۵۳ کیلومتری جنوب غرب

- 1- Archie- Kozeny
- 2- Kozeny- Carman



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان [۷]. مقیاس اصلی نقشه ۱/۱۰۰۰۰ می‌باشد.

Figure3- Geological map of Gol Gohar Sirjan iron Mine [7]. Map scale is 1/10000

جدول ۱- جنس سازندهای تشکیل دهنده منطقه گل گهر به همراه سن زمین‌شناسی آن [۹].

Table 1. Geology and stratigraphy in Gol-E-Gohar region

Age		Formations
Quaternary	Recent and	Alluvium, Silts, Kavir deposits
	Pleistocene	
Tertiary	Pliocene	Conglomerates, Silts, Marls
Unconformity		
L. Cretaceous		
U. Jurassic		Cherty Limestone
Unconformity		
M-U Permian		Grey cherty limestone
Permian		Marbles, Dolomitic limestones
		Calcareous schists and phylites Schists
Unconformity		
L. Permian		Sandstones, Slates, Schists
Metamorphics of unknown age		Gneiss, Granite, Schists

حوضه گل گهر از شمال با حوضه‌ی خیرآباد (حوضه چهار)، از شرق با حوضه‌ی چاه دراز (حوضه یک)، از سمت غرب با حوضه‌ی قطار بنه (حوضه سه) و از جنوب با کویر مرگ در ارتباط است (شکل چهار). جهت جریان آب زیرزمینی در این حوضه (حوضه شماره دو) از شمال شرق به سمت جنوب غرب می‌باشد و می‌توان گفت که روند عمومی حرکت آب‌های زیرزمینی از وضعیت توپوگرافی تبعیت می‌کند. اما با انجام عملیات معدن‌کاری و تغییر سطح توپوگرافی و انجام عملیات زهکشی در معدن جهت جریان آب زیرزمینی تغییر پیدا کرده و به سمت پیت معدن منحرف گشته

پالئوزوئیک شامل واحد مرمر دولومیتی یا کلسیتی و کمپلکس گل گهر بوده که این مجموعه قدیمی‌ترین مجموعه دگرگونی این منطقه را تشکیل می‌دهد. بخش تحتانی آن شامل تناوبی از گنایس، میکا شیست، آمفیبولیت و کوارتز شیست می‌باشد. سنگ‌های رسوبی متعلق به دوران سنوزوئیک و مزوزوئیک به ترتیب فیلیش‌ها و آهک‌های ریفی و دولومیت (شمال شرق معدن) می‌باشند [۷] (شکل سه). گسل‌های اصلی ناحیه گل گهر عمدتاً معکوس هستند، در حالی که گسل‌های کواترنر همگی نرمال و پویا بوده و دارای امتداد شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشند [۳].

است. چاه‌های آبشناسی بسیاری از نوع مشاهده‌ای، پیزومتری و پمپاژ در محدوده مورد مطالعه حفر گردیده است که تعدادی از آن‌ها در عملیات معدن کاری تخریب گردیده‌اند [۷].

مواد و روش‌ها

برداشت‌های ژئوالکتریک در منطقه مورد مطالعه به روش سونداژ زنی (V.E.S)

در راستای انجام مطالعات آبشناسی در محدوده آنومالی شماره یک سنگ آهن گل گهر، مطالعات ژئوفیزیک به شیوه ژئوالکتریک در اطراف معدن به صورت پروفیل زنی و سونداژ زنی طراحی و انجام شده است. در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ این برداشت‌ها توسط شرکت‌های زمین فیزیک، تهران پادیر و هلیل آب در اطراف معدن گل گهر انجام گرفت. هدف از این برداشت‌ها شناخت وضعیت زیر سطحی زمین، تعیین وضعیت پستی و بلندی سنگ کف در نقاط مختلف، تعیین زونهای گسلی و شکستگی‌های مهم و بررسی تاثیر آن‌ها در وضعیت هیدرولوژیکی محدوده مورد مطالعه بوده است. برداشت‌های انجام شده توسط شرکت زمین فیزیک با آرایه شلومبرژه، چهار الکترودی و سه الکترودی صورت گرفته است و شامل ۲۷۵ سونداژ ژئوالکتریک با فواصل الکترودی ۱۰۰۰ متر می‌باشد و پروفیل‌های ژئوالکتریک برداشت شده توسط شرکت مشاورین تهران پادیر شامل ۱۷۷۰ سونداژ مقاومت ویژه با آرایه شلومبرژه است که تا عمق ۱۵۰ متر را کاوش کرده است (شکل پنج). نتایج برداشت‌های انجام شده به روش پروفیل زنی و سونداژ زنی توسط هر یک از این شرکتها تفسیر گشته و در قالب گزارش ارائه گردیده است. در این تحقیق به منظور شناخت خصوصیات هیدرولیکی سفره‌های آبدار از اطلاعات مربوط به مقدار مقاومت ویژه ظاهری ذکر شده در این گزارش‌ها استفاده شد.

تخمین ضریب قابلیت انتقال با استفاده از داده‌های ژئوالکتریک و زمین‌شناسی

در منطقه مورد مطالعه سعی گردید ضریب قابلیت انتقال، با استفاده از دو روش رگرسیون و معادلات آرچی تخمین زده شود و نتایج بدست آمده از هر یک از این روش‌ها، با مقادیر اندازه‌گیری شده از طریق آزمایشات پمپاژ در چاه‌های منطقه مقایسه گردد.

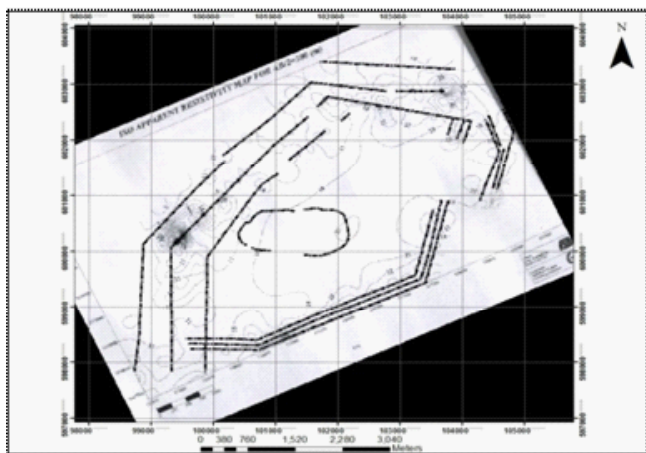
۱- تخمین ضریب قابلیت انتقال به کمک رگرسیون

در یک مقطع ژئوالکتریک، اگر مقاومت ویژه هر لایه با $\rho_i (\Omega m)$ و ضخامت آن با $t_i (m)$ نشان داده شود، در نتیجه مقاومت عرضی کل برای یک ستون با ابعاد یک مترمربع درون یک زمین n لایه به صورت زیر حاصل می‌شود (رابطه یک) [۱۲].

$$R = \sum_{i=1}^n \tilde{n}_i \times t_i = \tilde{n}_1 t_1 + \tilde{n}_2 t_2 + \dots + \tilde{n}_n t_n \quad (1)$$

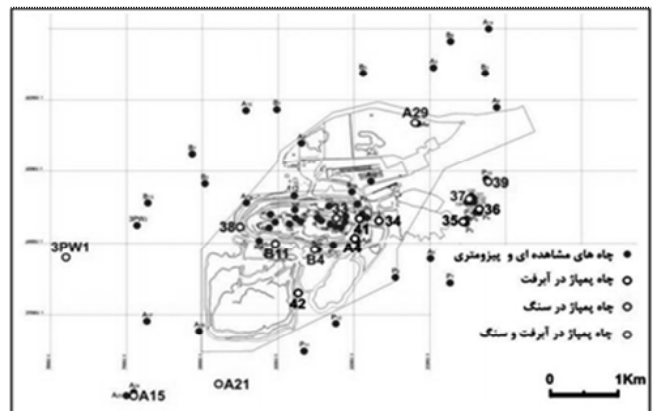
که R مقاومت عرضی کل بر حسب Ωm می‌باشد.

مقادیری که برای هر یک از سونداژهای مقاومت ویژه ثبت می‌شود، با مجموع مقاومت ویژه الکتریکی سازند و آب داخل سازند برابر می‌باشد که لازم است اثر شوری آب از داده‌های برداشت شده حذف گردد. در منطقه مورد مطالعه داده‌های ژئوالکتریک از قبل توسط گروه ژئوفیزیک تصحیح و تفسیر گردیده و مقاومت ویژه ظاهری سازند در عمق‌های مختلف مشخص شده است [۱۴]. به منظور محاسبه مقدار مقاومت عرضی کل در هر چاه پمپاژ با استفاده از رابطه یک، مقاومت ویژه ظاهری هر سازند در ضخامت آن ضرب شد و این کار در کل طول چاه انجام گرفت و در نهایت این مقادیر با هم جمع شد. در محدوده اطراف پیت معدن، مقدار مقاومت عرضی کل در ۱۳ حلقه چاه که مقدار ضریب قابلیت انتقال سفره آبدار در آن‌ها از طریق آزمایشات پمپاژ مشخص بود، محاسبه و سپس رگرسیون خطی بین ضریب قابلیت انتقال و مقدار مقاومت عرضی کل هر یک از چاه‌ها رسم گردید.



شکل ۵- موقعیت خطوط برداشت ژئوالکتریک اطراف معدن شماره یک معدن گل گهر توسط شرکت تهران پادیر.

Figure 5- position Geoelectric harvest lines around Gol Gohar Mining Mine Number One Padyr by Tehran.



شکل ۴- حوزه‌های آبریز اطراف معدن گل گهر سیرجان و موقعیت چاه‌های آبشناسی این محدوده [۹].

Figure 4- watershed hydrology wells around the mine Gol Gohar Sirjan position this area [9]

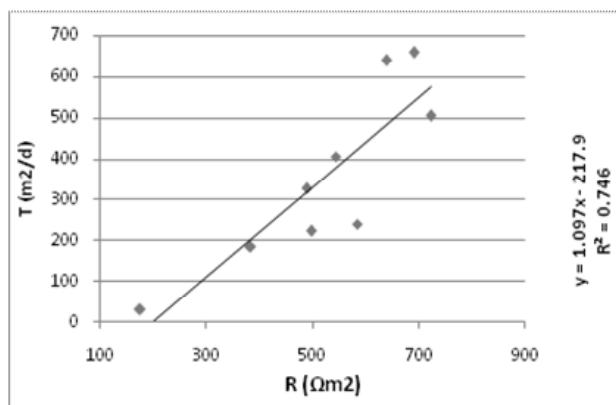
نظر را با استفاده از رابطه سه محاسبه نمود، لازم است ابتدا مقدار ضرایب آرچی (m و a) را در هر چاه تخمین زد. در این ناحیه از آنجایی که اطلاعاتی از مقدار تخلخل سازند در مناطق مختلف به طور دقیق وجود ندارد، در نتیجه به منظور تخمین مقدار تخلخل سازند در چاه‌های مختلف، لازم است ضرایب m و a تخمین زده شود. این کار با کمک اطلاعات زمین‌شناسی و لاگ‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه، همچنین با استفاده از مقادیر در نظر گرفته شده در مقالات منتشر شده و نظریه‌های مختلف انجام شد. در نهایت با استفاده از رابطه کوزنی-کارمن (رابطه شش) که اساس آن ارتباط بین ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل می‌باشد، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی در محل هر چاه تخمین زده شد.

$$k = \left(\frac{\delta w \times g}{\mu} \right) \times \left(\frac{d^2}{180} \right) \times \left[\left(\frac{\phi^3}{(1-\phi^2)} \right) \right] \quad (6)$$

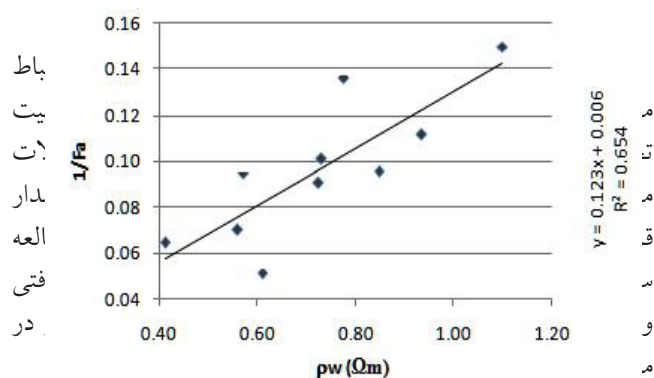
در این رابطه ϕ تخلخل سازند، δw مقدار چگالی آب (kg/m^3)، g شتاب گرانش (9.81 m/s^2)، و μ ویسکوزیته دینامیکی آب (0.014 kg/ms) و d اندازه ذرات تشکیل‌دهنده سازند بر حسب متر است که معمولاً از مقدار متوسط ذرات تشکیل‌دهنده (d_p) در معادله استفاده می‌شود. در منطقه مورد بررسی مقدار یک میلی‌متر برای d_p در نظر گرفته شد. این مقدار از طریق آنالیز سرندهی نمونه‌های گرفته شده از چاه‌های آبشناسی حاصل گردید. مقدار قابلیت انتقال سفره‌های آب زیرزمینی از طریق ضرب کردن ضخامت لایه آبدار در ضریب هدایت هیدرولیکی قابل محاسبه می‌باشد.

بحث

در تخمین ضریب قابلیت انتقال به کمک رگرسیون، مشاهده گردید که بین ضریب قابلیت انتقال و مقاومت عرضی کل همبستگی خطی با ضریب همبستگی 0.75 برقرار است (شکل هفت).



شکل ۷- نمودار همبستگی بین مقاومت عرضی کل و ضریب قابلیت انتقال چاه‌های پمپاژ در معدن شماره یک گل گهر سیرجان
Figure 7. The correlation between the transverse resistance and coefficient of transmissibility pumping wells in the mine number one Gol Gohar Sirjan



شکل ۶- رسم نمودار خطی بین $1/Fa$ و pw جهت تخمین مقدار فاکتور سازند F_i

Figure 6- linear plot between $1/Fa$ and rw to estimate the amount of formation factor F_i

طبق فرمول آرچی، تخلخل از رابطه دو محاسبه می‌شود.

$$\rho_0 = a \times \rho_w \times \phi^{-m} \quad (2)$$

که در این رابطه ρ_0 مقاومت سازند، ρ_w مقاومت آب داخل سازند، ϕ تخلخل سفره آبدار، m ضریب سیمان شدگی و a ضریب ثابت است که معمولاً برابر یک فرض می‌شود [۱۳]. ضرایب m و a به صورت تجربی و با تقریب برآورد می‌شوند. مثلاً برای ماسه سنگ‌ها $m=2$ و $a=0.81$ و برای سنگ‌های گچی $m=1$ و $a=2$ پیشنهاد شده است [۱۱]. همچنین در مقالات منتشر شده مقدار $a=1$ را برای مقادیر $1/3$ تا $2/5$ پیشنهاد کرده‌اند [۱۰]. هر چه اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده آبرفت افزایش یابد مقدار ضریب سازند کاهش پیدا می‌کند. در سازندهای بدون رس نسبت ρ_w/ρ به عنوان فاکتور سازند (F_a) شناخته می‌شود. در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود رس در سازند، قانون آرچی به شکل رابطه سه تغییر شکل می‌دهد. در واقع در سازندهای رس‌دار هدف مورد نظر، یافتن مقدار F_i به جای F_a می‌باشد.

$$\phi = e^{\frac{1}{m} \ln(a) + \frac{1}{m} \ln\left(\frac{1}{F_i}\right)} \quad (3)$$

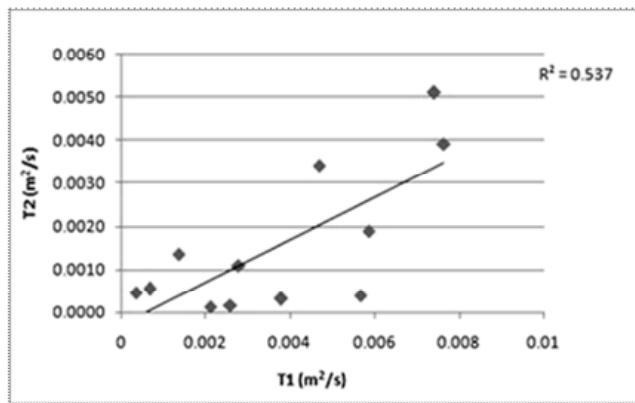
طبق نظر ورکیتون [۱۶] بین F_i و F_a رابطه زیر برقرار است:

$$F_a = F_i (1 + (BQ_v) \rho_w) \quad (4)$$

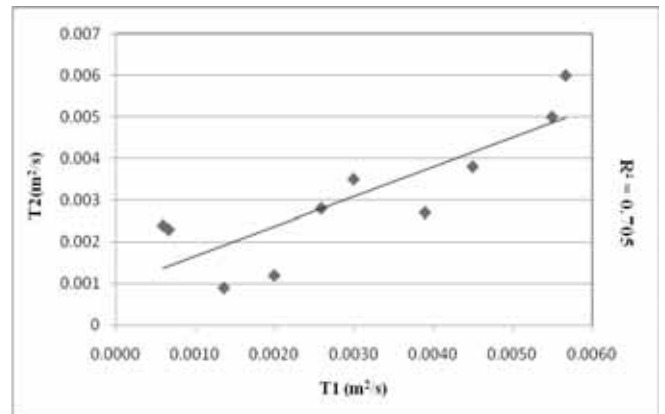
در نتیجه از این رابطه به منظور محاسبه فاکتور F_i استفاده شد. این رابطه را می‌توان به شکل یک معادله درجه یک تغییر داد (رابطه پنج).

$$\frac{1}{F_a} = \frac{1}{F_i} + \left(\frac{BQ_v}{F_i} \right) \rho_w \quad (5)$$

مقدار BQ_v به میزان رسانندگی سطحی، مخصوصاً ناشی از وجود ذرات رس در منطقه، مربوط می‌شود [۱۳]. به منظور محاسبه ضریب F_i ، معادله خطی بین $1/F_a$ و ρ_w رسم شد که عرض از مبدا آن $1/F_i$ و شیب آن، مقدار (BQ_v/F_i) را نشان می‌داد. با توجه به نمودار (شکل شش)، مقدار $1/F_i$ برابر 0.06 بدست آمد. اکنون برای اینکه بتوان مقدار تخلخل در هریک از چاه‌های مورد



شکل ۹- نمودار همبستگی بین ضریب قابلیت انتقال اندازه گیری شده و تخمین زده شده با استفاده از معادلات آرچی و اهم-دارسی
Figure 9. The correlation between transfer coefficient measured and estimated equation of Archie and Darcy- Ahm



شکل ۸- نمودار همبستگی بین ضریب قابلیت انتقال اندازه گیری شده و تخمین زده شده به روش رگرسیون
Figure 8. The correlation between Factor transfer measured and estimated transfer coefficient regression

جدول ۲- تخمین ضریب قابلیت انتقال در چاه‌های منطقه با استفاده از مقادیر فاکتور سازند و تخلخل سازند

Table 2. Estimation of aquifer's hydraulic parameters using Formation Factor & Porosity Formation in area wells

چاه	ρ_0 (Ωm)	EC(s/m)	ρ_w (Ωm)	Fa	$1/F_a$	b (m)	a	m	ϕ	T (m^2/s)
PW _{۳۷}	7.22	1.37	0.73	9.9	0.1	75.17	1	1.8	0.06	0.0034
P _۷	6.03	1.75	0.57	10.57	0.09	29	1	1.6	0.04	0.0005
P _{۱۲}	11.91	1.64	0.61	19.53	0.05	41.76	1	1.4	0.03	0.0002
B _۴	7.98	1.79	0.56	14.28	0.07	46	1	1.35	0.03	0.0001
PW _{۳۵}	8.02	1.38	0.72	11.07	0.09	86	1	1.8	0.06	0.0039
PW _{۳۶}	5.7	1.29	0.78	7.35	0.14	112	1	1.8	0.06	0.0051
PW _{۳۴}	8.39	1.07	0.93	8.98	0.11	69.5	1	1.3	0.02	0.0001
OW _{۱۱۹}	8.87	1.18	0.85	10.46	0.1	30	1	1.8	0.06	0.0014
B _۲	7.06	0.44	2.27	3.1	0.32	95.67	1	1.4	0.03	0.0004
A _{۱۱}	5.78	0.82	1.22	4.74	0.21	66.06	1	1.5	0.04	0.0005
PW _{۴۲}	6.39	2.43	0.41	15.52	0.06	76.5	1	1.4	0.03	0.0003
A _{۲۱}	17.35	0.64	1.56	11.11	0.09	41.6	1	1.8	0.06	0.0019

است. همچنین با تغییر دادن تعداد داده‌های شکل شش و رسم رگرسیون‌های مختلف، مقادیر متفاوتی برای فاکتور $F_1/1$ بدست آمد که با قرار دادن در فرمول آرچی تفاوت معناداری در مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده دیده نشد. در نتیجه این روش چندان تحت تاثیر مقدار فاکتور $F_1/1$ نمی‌باشد. به منظور مقایسه نتایج بدست آمده از هر یک از روش‌ها، نمودار همبستگی

مقدار ضریب قابلیت انتقال سفره‌های آبدار منطقه که با استفاده از ضرایب آرچی و معادلات مربوطه محاسبه گردید، در جدول دو آورده شده است. در این روش مشاهده گردید که چنانچه تغییرات ناچیزی در مقدار ضرایب آرچی یک سازند داده شود، تغییرات قابل توجهی در تخمین ضریب قابلیت انتقال سفره آبدار ایجاد می‌گردد. به این معنی که این روش بسیار تحت تاثیر مقدار تخمین تخلخل

جدول ۳- مقایسه میزان خطای ضریب قابلیت انتقال از طریق روش های مختلف در چاه های آبشناسی معدن گل گهر سیرجان

Table 3. Comparison of error rates between the various methods to Estimation of aquifer's hydraulic parameters in Gol-E-Gohar mine wells

چاه	بر اساس رگرسیون رسم شده $T (m^2/s)$			بر اساس معادلات آرچی و کوزنی- کارمن $T (m^2/s)$		
	مقدار اندازه گیری شده (T_p)	مقدار تخمینی (T_p)	خطا	مقدار اندازه گیری شده (T_p)	مقدار تخمینی (T_p)	خطا
PW37	0.004	-	-	0.004	0.0034	0.27
P7	0.0003	-	-	0.0003	0.0005	0.29
P12	0.0026	-	-	0.0026	0.0002	0.93
B4	0.0021	-	-	0.0021	0.0001	0.93
PW35	0.0076	-	-	0.0076	-	-
PW36	0.0074	-	-	0.0074	0.0039	0.48
					0.0051	0.31
PW34	0.0028	-	-	0.0028	0.0011	0.6
OW119	0.0014	0.0009	0.35	0.0014	0.0014	0.002
B2	0.0057	0.006	0.05	0.0057	0.0004	0.93
A11	0.0007	0.0023	-	0.0007	0.0005	0.19
PW42	0.0038	0.0038	-	0.0038	0.0003	0.91
A21	0.0059	0.0059	-	0.0059	0.0019	0.67
B1	0.0026	0.0028	0.07	0.0026	0.0001	0.96
Ow121	0.0039	0.0027	0.3	0.0039	0	0.99

قابلیت انتقال تخمین زده شده با روش های مختلف در تعدادی از چاه های منطقه با یکدیگر مقایسه گردید (شکل هشت و نه). نتایج حاکی از آن بود که ضریب قابلیت انتقال تخمین زده شده با استفاده از روش رگرسیون، دقت بیشتری داشته و به مقادیر محاسبه شده در چاه های آبشناسی معدن گل گهر که پیش از این با استفاده از روش های دیگر بدست آمده بود، نزدیک تر است (جدول سه). نکته قابل توجه روش های به کار برده شده این است که با وجود ترکیبات رسی بالا در آبرفت های منطقه و نیز تراکم گسل ها، همچنان کاربرد دارند.

منابع

1. De Lima, O.A.L. and Niwas, S. 2000. Estimation of hydraulic parameters of shaily sandstone aquifers from geological measurements. Journal of Hydrology. 235:12-26.
2. De Lima, O.A.L. and Sharma, M.M. 1990. A grain conductivity approach to shaily sand. Geophysics. 50:1347-1356.
3. Darvishzadeh, A. 1992. Geology of Iran (2nd

این داده ها با مقادیر اندازه گیری شده در منطقه با استفاده از عملیات پمپاژ رسم گردید (شکل های هشت و نه). شواهد حاکی از آن است که رگرسیون رسم شده بین مقاومت عرضی کل و ضریب قابلیت انتقال چاه های پمپاژ تخمین دقیق تری به همراه دارد.

نتیجه گیری

روش های ژئوالکتریک کمک قابل توجهی جهت شناخت خواص هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی می کنند. در مناطقی که هیچ گونه حفاری و عملیات پمپاژی صورت نگرفته باشد، تخمین ضریب قابلیت انتقال از طریق رگرسیون رسم شده بین مقاومت عرضی کل و مقدار قابلیت انتقال در چند چاه پمپاژ در حوالی آن ناحیه، دقت بیشتری نسبت به روش های زمین شناسی و معادلات آرچی دارد. میزان دقت ضریب قابلیت انتقال با استفاده از معادلات آرچی، بسیار تحت تاثیر ضرایب a و m تخمین زده شده در هر چاه می باشد و تغییرات نسبتاً کوچک در این مقادیر، می تواند تغییرات قابل توجهی در مقدار ضریب قابلیت انتقال ایجاد نماید. اما چنانچه مقدار تخلخل سازند در هر نقطه از منطقه در دسترس باشد به راحتی می توان مقدار پارامتر هیدرولیکی سفره های آب زیرزمینی را با استفاده از معادلات آرچی و قانون اهم- داریسی محاسبه نمود. میزان خطای ضریب

11. Ramazi, H.M. 1998. Well logging (2nd Ed) , Sanam press, 274p. (In Persian)
12. Ranjbar, H. and Hojjat, A. 2011. Fundamentals of geoelectric, Setayeah press (1st Ed), 264p. (In Persian)
13. Soupios P.M. Kouli M. Vallianatos, F. Vafidis, A. and Stavroulakis, G. 2007. Estimation of aquifer hydraulic parameters from surficial geophysical methods: A case study of Keritis Basin in Chania (Crete -Greece). Journal of Hydrology. 338: 122– 13.
14. Tehran Padir Consulting Engineers Co. 2005. Preliminary report of Investigation in Gol-E-Gohar iron mine (Anomaly No. 1), 300 pages. (In Persian)
15. Todd, D. K. 2005. Groundwater hydrology, John Wiley & sons press, 636p.
16. Worthington, P.F. 1993. The uses and abuses of the Archie equations: 1. The formation factor–porosity relationship. Journal of Applied Geophysics. 30: 215–228.
- Ed). Amir Kabir university press, Tehran, 873p. (In Persian)
4. Goltz, N. Huang, J. Close, E. Flintoft, J. and Pang, L. 2008 .Use of tandem circulation wells to measure hydraulic conductivity without groundwater extraction. Journal of Contaminant Hydrology. 100: 127–136.
5. Hoseini Sabzevari, M. Kariminasab, S. Karami, Gh. and Maknoni, M. 2006. Evaluating the hydrological characteristics of aquifer in the Gol-E- Gohar mine, Sirjan. Fifth Conference of Mining Engineering.
6. Jackson, P.D. Taylor-Smith, D. and Stanford, P.N. 1978. Resistivity porosity-particles shape relationships for marine sands. Geo-physics. 43:1250–1268.
7. Kosha Madan Consulting Engineers Co. 2007. Final Report of Hydrogeology and groundwater studies, 122 pags. (In Persian)
8. Nasrollahzadeh, A. Fathian pour, N. and Hashemhoseini, H. 2006. Estimating aquifer hydraulic conductivity using electrical resistivity data in basin Mahyar (south east Esfahan). Fifth Iranian Society of mining engineering conference. (In Persian)
9. National Iranian steel industries company. 1976. Report on phase II water supply investigations, 93 pages.
10. 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.

**Abstract****Estimation of Aquifer's Hydraulic Parameters Using Litho-log Data, Geological and Vertical Electrical Sounding (Case Study: Gol-E-Gohar Iron Ore Mine)**F. Hasanzaadeh¹, G. Kamali², H. Ranjbar³ and M.H. Sabzevari⁴

Received: 2013/11/23 Accept: 2014/10/22

Identification of hydraulic parameters of aquifers is necessary for managing them. Pumping test is the most common way to measure these parameters that is very costly and time consuming. Vertical electrical sounding method is used to determine some characteristics of aquifers. The study area is part of Gol-E-Gohar iron ore deposit. This area is heavily faulted and the lithology is highly heterogeneous and numerous combinations of clay and marl are present in this area. In this paper, geoelectric data was used to estimate transmissivity (T) in the areas that do not have any available pumping test. To achieve this goal, the correlation between transmissivity and transverse resistivity in the areas with pumping well was obtained. Also transmissivity (T) was calculated using the Kozeny – Archie equations and Ohm's– Darcy's laws and were compared with estimated values obtained with the transverse resistivity. Finally, it was shown that the estimated transmissivity using transverse resistivity is more accurate than the porosity estimation method.

Keywords: *Transmissivity, Transverse resistivity, Archie equation, Porosity Formation, Gol-E-Gohar iron Mine*

1- M.Sc. in mining engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Department of Mining Engineering, Corresponding Author Email: fereshte.hasanzaadeh@gmail.com

2- Assistant professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Department of Mining Engineering,

3- Assistant professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Department of Mining Engineering,

4- M.Sc. student of Soil Science in Agriculture Faculty, University of Zanjan, Iran, Corresponding Author email: far.besharat@gmail.com.