

بررسی سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از روش نوین الکترومغناطیس (مطالعه موردی: شهر خورزوق اصفهان)

محمد رضا احمدی دستجردی^۱، فرزانه کرمانی^۲، جلیل مریخی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، کرج
Mohammad.rahmadi@yahoo.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، کرج
Kermani.farzane@gmail.com

^۳ کارشناس بهره برداری و مسئول مدیریت بحران امور برخوار، شرکت آب و فاضلاب، دولت آباد

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تامین آب در بیشتر کشورهای جهان محسوب می‌گردد. امروزه استفاده از آب زیرزمینی در آبیاری کشاورزی و مصارف شهری و صنعتی رو به افزایش است. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در ایران، به ویژه در منطقه مورد مطالعه، موجب تخریب این منابع و افت آب‌های زیرزمینی شده است. روش الکترومغناطیس، فن آوری نوینی است که در مطالعات کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی بسیار کارآمد شناخته شده است. هدف از تحقیق حاضر، شناسایی سطح ایستابی منطقه شرقی خورزوق اصفهان با روش الکترومغناطیس می‌باشد. با استفاده از ترکیب داده‌های زمین شناسی، توپوگرافی و داده‌های آب و هوایی و همچنین اطلاعات بدست آمده از روش الکترومغناطیس، اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی، سنگ کف، لایه‌های آبخوان بدست آمد. نتایج بدست آمده از این پژوهش، با بررسی‌های میدانی و اطلاعات اداره آب و فاضلاب منطقه مورد نظر مقایسه و تطبیق داده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اطلاعات حاصل از این روش کاملاً منطبق با اطلاعات اکتشافی بوده و می‌تواند بعنوان یک روش جدید در صنعت آب و مدیریت منابع آب، کاربرد متنوع و وسیعی داشته باشد.

کلمات کلیدی

آب زیرزمینی، الکترومغناطیس، سطح ایستابی، خورزوق اصفهان



۱- مقدمه

نیک روش و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی با به کارگیری روش الکترومغناطیس در ردیابی آب برای اولین بار در کشور، سعی بر آن شد تا با استفاده از فرمولهای هیدرولیک آب زیرزمینی و نتایج دستگاه الکترومغناطیس، مقایسه ای انجام شد. این مطالعه در سایت ۱۲ عسلویه انجام گرفت و نتایج مطالعات با روش تاپس و ژاکوب مقایسه و برتری این روش به لحاظ سرعت، تنوع اطلاعات خروجی، هزینه مطالعات با عدم نیاز به حفر چاه مشاهده ای بارز و تایید شد. بر این اساس، ردیابی آب به روش الکترومغناطیس به عنوان روشی بسیار کارآمد در مدیریت آب کشور با عنایت به کمبود آب با کیفیت و قرارگیری کشور در مناطق خشک می بایست مورد توجه بیش از پیش قرار گیرد.

عمادی و همکاران (۱۳۸۸)، به منظور بررسی امکان تغذیه واداری آبخوان‌های ساحلی در فاز ۱۲ عسلویه با روش و مطالعات الکترومغناطیس به منظور تامین آب (۲۰۰ لیتر بر ثانیه) کارخانه آب شیرین کن از طریق حفر چاه در عرض ۲ کیلومتری ساحل دریا در دستور کار قرار گرفت. با استفاده از این شیوه، اطلاعات هم زمان شامل سطح آب زیرزمینی، سنگ کف، تفکیک لایه‌های آبخوان، تعیین خط عرضی هیدرولیکی تغذیه واداری عمود بر ساحل و زون-بندی کمی (پتانسیل آبی) مناطق ساحلی برای اولین بار در کشور انجام گردید. اطلاعات و نقشه‌های تولیدی با بررسی‌های اکتشافی و آزمایش پمپاژ ۴ حلقه چاه در منطقه مورد مطالعه مقایسه شده و مشخص گردید که اطلاعات حاصل از این روش کاملاً منطبق با اطلاعات اکتشافی بوده و می‌تواند بعنوان یک روش جدید در صنعت آب، کاربرد متنوع و وسیعی داشته باشد.

Rodriguez و همکاران (2001)، در ایالت مکزیک، Pool و همکاران (2006)، در اریزونا با استفاده از مطالعات الکترومغناطیس به ارزیابی آب‌های زیرزمینی و خصوصیات لایه‌های آن پرداختند. و طی بررسی‌های صورت گرفته نقشه‌های مربوط به تفکیک لایه‌های مختلف آب زیرزمینی را ارائه کردند. Jacobs و همکاران (2015)، در شمال شرقی ایالت مونتانا هدایت‌های بالا در آبخیزهای کم عمق را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش الکترومغناطیس به علت کم هزینه بودن و ارائه اطلاعات بیشتر، می‌تواند اطلاعات کارآمدتری در مورد آبخیزهای با لایه آبدار شور با اندازه گیری‌های دقیق ارائه دهد.

۲- مطالب اصلی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی شهر خورزوق، در جنوب شهرستان برخواست برخواست و میمه و شمال شهر اصفهان و چاه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی

منابع آب زیرزمینی بزرگترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین محسوب می شوند [۶]. که در مناطق و یا تشکیلات زمین-شناسی متفاوت و عمدتاً در لایه‌های آبدار با ضخامت آبرفت مشخص یافت می‌شود. لایه آبداری که بتواند توانایی ذخیره و قابلیت انتقال آب را داشته باشد لایه آبدار نامیده می شود [۱]. پمپاژ بیش از حد و تخلیه بیش از میزان تغذیه طبیعی یا مصنوعی آبخوان‌ها، پیامدهایی نظیر افزایش هزینه‌های استحصال آب، نشست زمین و کاهش کیفیت آب را در بر خواهد داشت و این امر در آمار بیشتر کشورهای جهان قابل مشاهده است. مطالعات گویای این است که بیش از ۲۵ درصد سفره‌های آب زیرزمینی کشور (۱۶۵ سفره از ۶۲۹ سفره) به دلیل برداشت بیش از حد، در شرایط بحرانی قرار دارند که تعداد آنها در حال افزایش است [۴].

در سال‌های اخیر استفاده بدون برنامه و یا غیرمجاز از آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور موجب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شده است. بدین منظور شناسایی منابع آب زیرزمینی کمک شایانی به مدیریت این منابع خواهد کرد. بدست آوردن اطلاعات مناسب از آب‌های زیرزمینی به روش‌های اکتشافی دقیقی نیاز دارد که روش ژئوفیزیک یکی از روش‌های ارزیابی در مورد آب زیرزمینی است. استفاده از این روش به دو دلیل دارای اهمیت می‌باشد، اولاً بر اساس نتایج ژئوفیزیک، موقعیت بهینه و تعداد گمانه‌های اکتشافی مورد نیاز تامین می‌شود که می‌تواند صرفه جویی مهمی در هزینه‌های اکتشافی به عمل آورد. ثانیاً روش‌های ژئوفیزیک می‌توانند اطلاعات دقیق‌تری نسبت به روش‌های پیشین بدست آورد [14,17]. از روش‌های ژئوفیزیکی کاربردی جهت پتانسی یابی آب زیرزمینی می‌توان به روش‌های ژئوالکتریکی^۱، رادار نفوذی زمین^۲، پتانسیل خودزا^۳، الکترومغناطیسی^۴، گرانی سنجی^۵، مغناطیس‌سنجی^۶ و لرزه‌ای^۷ اشاره نمود. بررسی‌های الکترومغناطیسی، از تکنیک‌های موفق در زمینه، اکتشاف آب‌های زیرزمینی قابل شرب، سطح شوری سفره‌های آب زیرزمینی می باشد [8]. روش‌های الکترومغناطیس فرکانس پایین یکی از مهمترین تکنیک‌های این روش، به منظور ارزیابی ساختار زیر سطحی می باشد [10,13]. اساس این روش، اندازه‌گیری میدان مغناطیسی می‌باشد [7]. از آنجایی که در سال‌های اخیر استفاده بدون برنامه و یا غیرمجاز از آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور از جمله خورزوق اصفهان موجب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شده است، هدف از این تحقیق، بررسی سطح ایستابی منطقه خورزوق اصفهان توسط روش الکترومغناطیس (فرکانس بسیار پایین) و مقایسه با میزان سطح ایستابی توسط آمار اداره آب و فاضلاب منطقه برخواست شرقی اصفهان می باشد.

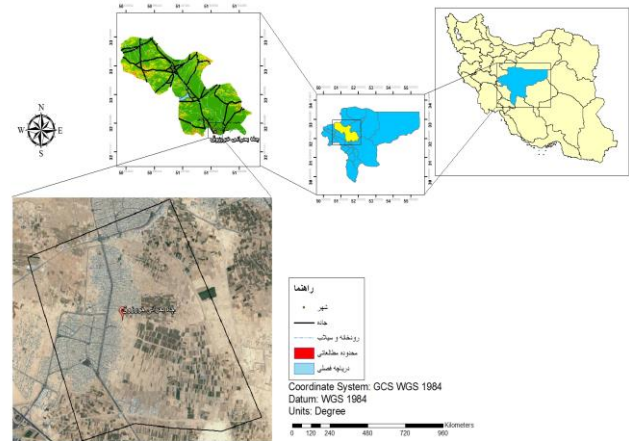


شناسی، شیب، جهت شیب و عمق سطح ایستابی چاه‌های محدوده مطالعاتی استفاده شد.

داده‌های زیر به عنوان اطلاعات اولیه مورد بررسی قرار گرفت:

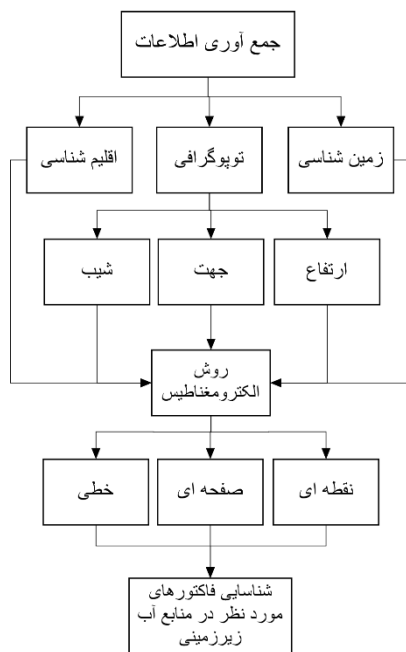
- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به منظور شناخت عمومی منطقه و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی جهت کارهای صحرایی و نمونه‌برداری.
- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ به منظور ارتباط بین سفره‌های زیرزمینی و تشکیلات زمین‌شناسی.
- نقشه خاک‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ به منظور شناسایی جنس خاک در منطقه و ارتباط با زمین‌شناسی منطقه.
- اطلاعات حاصل از سطح ایستابی در چاه‌های مورد مطالعه.
- استفاده از روش‌های صفحه‌ای، نقطه‌ای و خطی الکترومغناطیس به منظور شناسایی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی و استفاده از مختصات دقیق توسط دستگاه GPS.

با مختصات (X = 562718 Y = 6371692) UTM می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی و تصویر کلی از محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

روش کلی تحقیق در نمودار (۱) آورده شده است.



نمودار (۱): فرآیند کلی تحقیق

۲-۲- روش کار

روش الکترومغناطیس، فن آوری نوینی است که به مطالعات کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی و به طور کلی مطالعات زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی کمک شایانی می‌کند [15].

به طور کلی دستگاه‌های الکترومغناطیس (EM) اغلب شامل یک فرستنده و یک سیم‌پیچ گیرنده هستند [11]. در این روش یک میدان الکترومغناطیسی از طریق عبور یک جریان متناوب از داخل یک پیچ کوچک که از سیم پیچ‌های متعددی تشکیل شده است یا یک حلقه بزرگ از سیم، ایجاد می‌شود. دامنه فرکانس این امواج بسیار گسترده است، که در بررسی‌های ژئوفیزیکی، فرکانس‌های مورد استفاده برای میدان اولیه الکترومغناطیسی اغلب از چند هزار هرتز کمتر است [12]. مزایای روش برداشت الکترومغناطیس و اندازه‌گیری رسانایی زمین در مقابل دیگر روش‌های ژئوفیزیکی، شامل موارد تفکیک‌پذیری بالا در رسانایی، نبود مشکلات تزریق جریان، محاسبات دقیق و اندازه‌گیری‌ها می‌باشد [16,9]. در این روش سعی شده است که عوامل اثر گذار بر امواج الکترومغناطیسی دریافتی که به عنوان نویز شناخته می‌شوند حذف شود. اساس کار این روش، در دریافت امواج الکترومغناطیس حاصل از زمین در بازه فرکانسی بسیار کوتاه، و طول موج‌های بلند از طریق یک دستگاه گیرنده زمینی و کالیبره نمودن داده‌ها می‌باشد. سپس به منظور بررسی عمق سنگ کف، تفکیک لایه‌های آبخوان، تعیین سطح آب زیرزمینی انجام گرفت از روش نقطه‌ای و خطی استفاده می‌شود [۵]. در این پژوهش از داده‌های زمین‌شناسی، خاک

۲-۳- نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی، نقشه شیب، جهت و نقشه رقمی ارتفاعی تهیه شد. طبق اطلاعات بدست آمده از نقشه‌های



پتانسیل آبدی تقسیم بندی شد: منطقه ۱- متوسط، منطقه ۲ و ۳ مناسب و منطقه ۴ ضعیف.



شکل (۲): تقسیم بندی منطقه به لحاظ فاکتور پتانسی آبدی

جهت تفکیک لایه های آبخوان در دو نقطه چاه بحرانی خورزوق و سونداژ شماره ۲، ردیابی خطی انجام گرفت. طبق نتایج بدست آمده از مطالعات الکترومغناطیس، در منطقه چاه بحرانی خورزوق ارتفاع سطح آبی در عمق ۱۵۰ متری بدست آمده که نشان دهنده سطح آب سال ۹۲ قبلی، در منطقه مورد نظر می باشد. بر اساس نتایج جدول (۱)، لایه های اول تا سوم مربوط به چاه بحرانی خورزوق، لایه اول در عمق ۱۵۰ تا ۱۷۴ متری به صورت غیر اشباع شناسایی گردید، لایه دوم ۱۸۴ تا ۲۵۴ متر و از نظر آبدی بسیار ضعیف بوده و لایه سوم ۲۶۰ تا ۲۷۳ می باشد که درای پتانسیل مناسب تری از لایه های بالایی می باشد، و سنگ کف در عمق ۲۹۰ تا ۳۰۰ متری شناسایی گردید.

مطالعات الکترومغناطیس در منطقه شماره ۲ که در شمال شرقی چاه بحرانی خورزوق واقع شده است، نیز صورت گرفت. در این منطقه لایه غیر اشباع در عمق ۱۴۵ تا ۱۷۵ متری شناسایی گردید. لایه دوم در عمق ۱۸۰ تا ۲۵۰ متری شناسایی شد که دارای حجم آبی مناسب تر از لایه بالایی می باشد و لایه سوم با سطح آب ۲۶۵ متری و عمق ۲۹۰ متری شناسایی گردید که دارای حجم آب بسیار مناسب تری نسبت به لایه های بالایی می باشد.

هر چاه اکتشافی می تواند به تنهایی نماینده بخشی از ویژگی های یک آبخوان باشد که وسعت این بخش تابع میزان همگنی و همسانی آبخوان است. به این معنا که هرچه همگنی و همسانی آبخوان بیشتر باشد، به همان نسبت یک چاه اکتشافی می تواند نماینده بخش بزرگتری از آبخوان باشد. استانداردهای موجود نشان می دهد که به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر مربع آبخوان آبرفتی، حفر یک حلقه چاه اکتشافی به منظور دست یابی به اطلاعات مورد نیاز قابل قبول می باشد [۲].

حاصل از توپوگرافی، حداکثر ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، در قسمت شمالی و حدود ۱۲۳۰ متر می باشد و همچنین حداقل ارتفاع ۱۲۰۰ متر و در قسمت جنوبی منطقه می باشد. شیب محدوده مطالعاتی بین ۳ - ۰ درصد و تحت تاثیر ارتفاعات شمال و شمال شرقی منطقه و جهت شیب، در محل مورد نظر به سمت شرق و جنوب شرقی می باشد. با توجه به فاصله ای که این شهرستان از زاینده رود دارد دارای آب و هوایی خشک تر از اصفهان بوده و میزان بارندگی آن متغیر و حدود ۵۰ الی ۲۰۰ میلی متر می باشد.

مهمترین اشکال ریخت شناسی (زمین)، مخروط افکنه ها و پادگانه های آبرفتی می باشند [۳]. در پی بررسی های نقشه ای زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و مطالعات میدانی، جنس Qal مربوط به دوره کواترنری است که در دوره جدید زمین شناسی بوده و نشان دهنده آبرفت های جوان می باشد، شناسایی گردید. در مورد جنس خاک از نقشه های خاک شناسی ۱:۵۰۰۰۰ کل ایران استفاده شد، بررسی ها نشان داد که منطقه بر خوار و میمه دارای سه جنس خاک Aridisols, Entisols/Aridisols, Rock Outcrops/Entisols می باشد.

معمولاً خاک های Aridisols خاک های مناطق خشک و بیابانی است که به دریافت رطوبت کم از طریق نزولات جوی نمی توان از آن در کشاورزی استفاده کرد.

در این تحقیق پس از کالیبره نمودن دستگاه، عملیات ردیابی خطی - صفحه ای و نصب سونداژهای نقطه ای جهت تعیین سطح آب زیرزمینی، عمق سنگ کف، تفکیک لایه های آبخوان در محدوده مطالعاتی مورد نظر انجام شد که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات محل سونداژهای الکترومغناطیس و لایه های آبدار

نام محل سونداژ	مختصات محل	لایه	عمق لایه	سطح آب
چاه بحرانی خورزوق	X=561554 Y=6372900	اول	۱۷۴	۱۵۰
		دوم	۲۵۴	۱۸۴
		سوم	۲۷۳	۲۶۰
		سنگ کف	۲۹۰-۳۰۰	
۲	X=562718 Y=6371692	اول	۱۷۵	۱۴۵
		دوم	۲۵۰	۱۸۰
		سوم	۲۹۰	۲۶۵
		سنگ کف	۲۹۵-۳۱۰	

طبق شناسایی های صورت گرفته از طریق روش صفحه ای الکترومغناطیس، محدوده مطالعاتی به ۴ ناحیه به لحاظ فاکتور



[۵] ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷، امور آب وزارت نیرو، معاونت نظارت راهبردی، ۱۳۹۲.

[۶] جوانی، و.، جباری، ا. ۱۳۸۸. "شاخص‌های زمین ریخت شناسی در شناسایی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت اهر)". مجله فضای جغرافیایی، دوره ۹، شماره ۲۵، ص ۵۱-۷۱.

[۷] عباس پور، م.، عنایی، ف.، ۱۳۸۰، "بحران‌های زیست محیطی و برنامه ریزی توسعه پایدار در ایران"، مجموعه مقالات اولین مایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اهواز: ص ۲۱۵-۲۰۲.

[۸] عمادی، م.، عظیمی، ت. ۱۳۸۸. "بکارگیری روش نوین الکترومغناطیس در بررسی امکان تغذیه واداری آبخوان‌های ساحلی". پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران.

[۹] نوابیان، م.، یوسفی، ث.، اسمعیلی ورکی، م.، قدسی، م.، فاتحی، ع.، ۱۳۹۲. "تعیین بهترین شاخص ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استان گیلان". اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، خوراسگان.

[10] Bosch, F.P. and Müller, I., 2001. Continuous gradient VLF measurements: a new possibility for high resolution mapping of karst structures. First Break, 19(6), pp.343-350.

[11] McNeill, J.D., 1991. Advances in electromagnetic methods for groundwater studies. Geoexploration, 27(1), pp.65-80.

[12] Moradzadeh, A., Amirkhani, F., Doulati Ardejani, F. and Arab-Amiri, A.R., 2011, September. Investigation of contaminated plumes caused by pyrite oxidation from a coal refuse pile at the Alborz Sharghi coal washing plant using VLF geophysical method. In 11th Congress of the International Mine Water Association (IMWA 2011), Mine Water-Managing the Challenges (pp. 4-11).

[13] Oskooi, B. and Pedersen, L.B., 2005. Comparison between VLF and RMT methods: a combined tool for mapping conductivity changes in the sedimentary cover. Journal of Applied Geophysics, 57(4), pp.227-241.

[14] Paine, J.G. and Minty, B.R., 2005. Airborne hydrogeophysics. In Hydrogeophysics (pp. 333-357).

[15] Reynolds, J.M., 1997., An Introduction to applied and environmental geophysics, John wiley & SonsLtd, Chapter 11.

[16] Santos, F.M., Mateus, A., Figueiras, J. and Gonçalves, M.A., 2006. Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method—a case study. Journal of Applied Geophysics, 60(2), pp.115-125.

[17] Schrott, L. & Sass, O., 2008- Application of field geophysics in geomorphology: advances and limitations exemplified by case studies, Geomorphology, 93, pp 55-73.

[18] Smith, B.D., Grauch, V.J.S., McCafferty, A.E., Smith, D.V., Rodriguez, B.R., Pool, D.R., Deszcz-Pan, M. and Labson, V.F., 2007. Airborne electromagnetic and magnetic surveys for ground-water resources: a decade of study by the US Geological Survey. In Proceedings of Exploration (Vol. 7, pp. 895-899).

همچنین با استفاده از نقشه بنابرین با در نظر گرفتن اطلاعات بدست آمده، فاصله این ارتفاعات تا مناطقی که شرایط تشکیل آبخوان فراهم می شود (مناطق با شیب ملایم و کم) می تواند دارای پتانسیل آبدهی مناسب باشد. این فاصله تحت تاثیر شیب توپوگرافی و نهایتا شیب آب زیرزمینی و شرایط تشکیل آبخوان آبرفتی می باشد [۲].

۳- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات الکترومغناطیس که یکی از روش‌های اکتشافی ژئوفیزیک می باشد در زمینه‌های تفکیک لایه‌های آبخوان، سنگ کف و سطح ایستابی نسبت به سایر روش‌های موجود، دارای دقت و سرعت بالایی می باشد و کاهش هزینه‌های اکتشافی چشمگیر و تولید اطلاعات در شرایط توپوگرافیکی متنوع و بدون تاثیر پذیری از نوع سازند موجود، می تواند در حل بسیاری از مسائل مربوط به منابع آب زیرزمینی در کشور کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان کشور نماید. نتایج این تحقیق نشان می دهد که هرچه به سمت مناطق با ارتفاع بالاتر می‌رویم عمق لایه‌های آبدار، از سطح زمین، بیشتر شده و میزان آبدهی از متوسط تا کم، از سمت شمال شرقی به جنوب غربی در تغییر می‌باشد. طبق آمار کارشناسان منطقه، سطح ایستابی چاه‌های منطقه مورد نظر در سال ۹۲ حدود ۱۴۷ متر بوده است، که در بررسی صورت گرفته سطح ایستابی لایه اول در هر دو منطقه (چاه بحرانی خورزوق و منطقه شماره ۲) به ترتیب ۱۵۰ و ۱۴۵ متر اندازه‌گیری شد که این سطح نشان‌دهنده تطبیق اطلاعات شناسایی شده و اطلاعات در دسترس از چاه‌های مورد بهره‌برداری توسط اداره آب و فاضلاب منطقه مورد نظر می‌باشد. کم هزینه بودن روش این پژوهش و و کاهش چشمگیر هزینه‌های اکتشافی بعدی نیز از جمله نتایج قابل توجه این روش نسبت به سایر روش‌های مطالعاتی می‌باشد. فاصله دو سطح آب در طی اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در ۳ سال گذشته نشان دهنده افت سطح ایستابی منطقه به عمق ۱۸۰ متری می باشد و این بیانگر افت ۳۰ متری در سطح ایستابی آب است. که در صورت مدیریت نکردن میزان برداشت از این سفره‌ها نتایجی از قبیل نشست دشت، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و از بین رفتن منابع آب زیرزمینی در سال‌های آینده خواهیم بود.

مراجع

[۱] تیزرو، ع.، روشنی، ا. ۱۳۸۸. "مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی". انتشارات دانشگاه رازی.

[۲] هنرمند ابراهیمی، عیسی، دستورالعمل تعیین محل و نظارت بر حفر چاه‌های آب در آبرفت و سازندهای سخت و تهیه گزارش حفاری (چاه‌های بهره‌برداری، اکتشافی، پیژومترها و مشاهده‌ای)،

[۳]

[۴]

- [19] 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(1), pp.122-131.
- [20] Sundararajan, N., Nandakumar, G., Chary, M.N., Ramam, K. and Srinivas, Y., 2007. *VES and VLF—an application to groundwater exploration, Khammam, India*. The Leading Edge, 26(6), pp.708-716.

زیرنویس ها

- ¹ Geoelectrical
- ² GPR
- ³ Self-Potential
- ⁴ Electromagnetic
- ⁵ Gravity Surveys
- ⁶ Magnetic Survey
- ⁷ Seismic