

بررسی وضعیت آبخوان دشت کاشان با استفاده از روش مقاومت الکتریکی با آرایش شلومبرژه

محمد میرزاوند^{۱*}، رضا قضاوی^۲، سید جواد ساداتی نژاد^۳، هدی قاسمیه^۴، عباسعلی ولی^۵

* دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه کاشان

پست الکترونیک نویسنده مسئول:

Mmirzavand23@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

^۳ دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

^۴ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

^۵ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۵

چکیده:

هدف از انجام این تحقیق، بررسی وضعیت آبخوان کاشان، عمق سنگ کف، ضخامت لایه اشباع آبخوان، مرز آب شور و بررسی نفوذپذیری رسوبات دشت کاشان با استفاده از روش مقاومت الکتریکی با آرایش شلومبرژه است. در این مطالعه، به منظور بررسی وضعیت آبخوان به روش ژئوالکتریک، از ۴۱ پروفیل عرضی و یک پروفیل طولی استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده و با استفاده از نرم افزار Arc GIS نقاط برداشت شده به صورت نقشه‌های هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خطوط جریان ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر، نقشه‌های هم‌ارتفاع مطلق سنگ کف، هم‌ضخامت آبرفت و مرز آب شور با توجه به کیفیت نسبی آب‌های زیرزمینی ترسیم شدند. سپس برای همه پروفیل‌ها، شبه مقاطع ترسیم شد. در نهایت، نتایج نشان داد که وضعیت کیفی آبخوان تنها در بخش‌های غربی، جنوب غربی و تا حدودی شمال غرب، پذیرفتنی است و سایر نقاط با کاهش کیفیت آب مواجه هستند. همچنین نتایج حاصل از رسم نقشه مرز آب شور نشان داد که به دلیل شیب هیدرولیکی، نیمه شرقی آبخوان دارای آب لب شور تا شور است و تغییر شیب هیدرولیکی، موجب پیشروی شوری در آبخوان، به ویژه در قسمت شمال شرق شده است.

واژه‌های کلیدی: وضعیت آبخوان کاشان، روش مقاومت الکتریکی، آرایش شلومبرژه، کیفیت آب.

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از منابع طبیعی بسیار مهم برای توسعه اقتصادی اجتماعی جوامع است و تنها منبع ایمن برای بسیاری از مناطقی است که توسعه و بهره‌برداری از آب‌های سطحی، از نظر اقتصادی برای آن‌ها امکان‌پذیر نیست (آنودو و همکاران، ۲۰۱۱)؛ لذا بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه در مناطقی که آب زیرزمینی تنها منبع آبی در دسترس است، حائز اهمیت است. در ضمن اینکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب‌های سطحی به میزان خیلی کم دیده می‌شوند، آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب، دسترس‌پذیر هستند (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌علت اینکه بازندگی‌ها تنها در دوره کوتاهی از سال حادث می‌شود و تبخیر و تعرق زیاد است، منابع آب سطحی، منبع مورد اعتمادی برای تأمین آب نبوده و در نتیجه، در این مناطق بیشتر بر روی منابع آب‌های زیرزمینی تکیه می‌شود (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی که می‌تواند بر اثر فعالیت‌های انسان و توسعه فعالیت‌های صنعتی صورت گیرد، بررسی و مطالعه این منابع به‌منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن‌ها ضروری است (پورمقدس، ۱۳۸۱). آب‌های زیرزمینی در مقایسه با آب‌های سطحی، دارای مزیت‌های مختلفی است که در این بین، می‌توان به کیفیت بیشتر و آلودگی کمتر آن‌ها اشاره کرد. آب‌های شور یکی از آلاینده‌های آب‌های شیرین زیرزمینی است. در حالت طبیعی، جریان آب زیرزمینی به‌دلیل جرم حجمی بیشتر نسبت به آب‌های شیرین در زیر آب‌های شیرین قرار گرفته‌اند. در مناطقی که در یک آبخوان، آب شیرین بر روی سفره‌ای از آب شور قرار دارد، در صورت احداث چاه و برداشت بی‌رویه آب، سطح حد فاصل آب شور و شیرین گسیخته و آب شور وارد آب‌های شیرین می‌شود. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مانند روش‌های مقاومت الکتریکی، روش لزره‌نگاری، روش مغناطیسی، روش گرانشی و غیره از جمله روش‌های نوین مطالعه منابع آب زیرزمینی است که در بسیاری از کشورها

مورد استفاده قرار گرفته است. از بین مطالعات انجام‌شده، می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. اوسه‌جی و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی ویژگی‌های آبخوان و پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه کوال ایالت دلتای نیجریه از روش ژئوالکتریک استفاده کردند. اوبیورا و اونوکا (۲۰۰۵) از روش ژئوالکتریک برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در ایکورودوی لاگوس نیجریه استفاده کردند. آکااولیسا (۲۰۰۶) به‌منظور اندازه‌گیری ضریب انتقال و تعیین ساختارهای زیرزمینی در فلات جوز در نیجریه، از روش صوت‌سنجی استفاده کرد. آماه و اسو (۲۰۰۷) در جنوب شرق نیجریه، از مطالعات ژئوهیدرولوژی و ژئوفیزیک برای بررسی منابع آب زیرزمینی کم‌عمق استفاده کردند. اولاتنجی (۲۰۰۷) از روش ژئوالکتریک برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در جنوب غرب نیجریه استفاده کرد. پارک و همکاران (۲۰۰۷) از روش ژئوالکتریک، به‌منظور بررسی آلودگی آبخوان آبرفتی مجاور رودخانه در منطقه کشاورزی حوزه آبخیز ژنوم کره استفاده کرد. دانیل‌سن و همکاران (۲۰۰۷) از مطالعات ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژیکی، به‌منظور بررسی آب‌های زیرزمینی در توالی چینه‌شناسی کارو در منطقه ساومیل در شمال ماتابله‌لند زیمبابوه استفاده کردند. بلو و ماکیند (۲۰۰۷) از روش صوت‌سنجی برای تعیین ویژگی‌های آبخوان، در بخش جنوب غربی حوزه نوپه در ایالت کاواری نیجریه استفاده کردند. آصفاهان (۲۰۰۷) برای بررسی خصوصیات آبخوان نوزن منطقه سلامیه در سوریه، از روش صوت‌سنجی الکتریکی استفاده کردند. اوموسوجی (۲۰۰۷) به‌منظور بررسی آب‌های زیرزمینی در منطقه آفایوو در جنوب غرب نیجریه، از روش الکترومغناطیس و صوت‌سنجی ژئوالکتریک استفاده کرد. آلایل و آمادسان (۲۰۰۸) و آلایل و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی آب‌های زیرزمینی در منطقه لیانومو در ایالت ادو نیجریه، از روش ژئوالکتریک استفاده کردند. آنودو و همکاران (۲۰۱۱) از روش صوت‌سنجی برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. امانوئل و همکاران (۲۰۱۱) از روش ژئوالکتریک، برای بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه مونیای ایبادان استفاده کردند. امینک

منفی بوده و کیفیت آب نیز به شدت افت کرده است (ضیاء، ۱۳۸۳). مدیریت صحیح منابع آب، مهم‌ترین و بهترین روشی است که از طریق آن، می‌توان آثار رو به فزونی کم‌آبی و شورشدن را کاهش داد. اگر روش‌های مدیریتی درستی انتخاب شوند، تأثیر به‌سزایی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی خواهند داشت، حال آنکه انتخاب‌نکردن صحیح و علمی می‌تواند منجر به صرف هزینه‌های گزاف و در نهایت، سود کم این پروژه‌ها شود. تحقیقات نشان داده است که برداشت مناسب از منابع آب‌های زیرزمینی و انتخاب روش‌های مناسب برای ذخیره‌نولات، نه تنها باعث بهبود شرایط کیفی و کمی منابع آب‌های زیرزمینی شده است، بلکه بهبود پوشش گیاهی، اصلاح خاک و در نهایت، بهبود اوضاع زیست‌محیطی را به همراه داشته است (قضاوی و همکاران، ۲۰۱۲). مقاومت‌سنجی الکتریکی از جمله روش‌هایی است که از سال‌ها قبل، محققان ژئوالکتریک و خاک‌شناسان برای شناسایی منابع آب زیرزمینی و همچنین نفوذ جریان آب در خاک مورد بهره‌برداری قرار داده‌اند (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷). روش‌های مقاومت‌سنجی الکتریکی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی هستند که در بررسی‌های لایه‌های زیرسطحی تحقیقات آب‌شناسی، زمین‌شناسی، معدن، ژئوتکنیک و محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس روش ژئوالکتریک، پاسخ زمین در برابر تزریق جریان الکتریکی است (داودی و گوهری، ۱۳۸۳). با تفسیر منحنی‌های مقاومت الکتریکی حاصل از مقاومت ویژه ظاهری لایه‌های مختلف زیرسطحی، لایه‌های مختلف زیرسطحی از همدیگر تفکیک می‌شوند. مقاومت الکتریکی به پارامترهای متفاوت زمین‌شناسی نظیر نوع و درصد کانی‌های تشکیل‌دهنده، میزان رطوبت، درصد اشباع، سطح ایستابی، درصد شوری آب و تخلخل محیط بستگی دارد. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته و با توجه به جدول استانداردهای ژئوالکتریک، می‌توان با داشتن اطلاعات ژئوالکتریک یک منطقه، اطلاعات مناسبی از لایه‌های مختلف زیرسطحی به‌دست آورد. به‌منظور شناسایی حدود آبخوان و ضخامت آن، کمیت و کیفیت آب مخزن و همچنین تعیین مشخصات و عمق سنگ

(۲۰۰۰) از روش ژئوفیزیکی، به‌منظور اکتشاف آب زیرزمینی در محیط رسوبی در روی سازند نانکا در حوزه آبخیز آنامبرا در جنوب شرق نیجریه استفاده کرد. نتایج حاصل از درون‌یابی ۵ نقطه به‌دست‌آمده از اکتشاف در حوزه آبخیز آنامبرا نشان داد که این منطقه دارای پتانسیل آب زیرزمینی فراوانی است. همچنین نتایج حاصل از بررسی منحنی‌های صوت‌سنجی نشان داد که بیشتر منطقه از نظر سنگ‌شناسی شامل ماسه‌سنگ و رس است. اوسه‌جی جو و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور بررسی ویژگی‌های آبخوان و پتانسیل آب زیرزمینی، از روش مقاومت الکتریکی در ۱۹ نقطه از منطقه کوال، در ایالت دلتای نیجریه استفاده کردند و نشان دادند که نتایج حاصل از این پژوهش، با مشاهدات حاصل از گمانه‌های حفار شده مطابقت دارد. ناصری (۱۳۸۴) طی پژوهشی، به کاربرد روش ژئوالکتریک در شناسایی مرز آب شیرین و شور، بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی سطح ایستابی و ویژگی‌های مربوط به آبخوان (تخلخل و غیره) اشاره کرد. ضیاء و همکاران (۱۳۸۵) به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان، از ۷۰ عدد سونداژ با طول خط جریان ۱۰۰۰ متر با آرایش شلومبرژه الکتریکی قائم (VES^۱) برای عمق متوسط ۲۵۰ متر زیر سطح زمین در شرق دشت بیرجند استفاده کردند. رمضانی و طالقانی (۱۳۸۸) در تحقیقی، اهمیت روش‌های نوین از جمله روش ژئوالکتریک را در بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی نسبت به روش‌های سنتی شرح دادند. آلایل و همکاران (۲۰۱۱) ضمن تحقیقی روش مقاومت الکتریکی را به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های اکتشافات ژئوفیزیکی آب‌های زیرزمینی معرفی کردند. در حال حاضر، حدود ۶۰ درصد نیاز آبی کشور از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (اروجی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ درحالی‌که میانگین نوسانات سطح ایستابی سالانه کشور ۰/۵۱- متر است (شرقی و کیانی، ۱۳۸۹). در نتیجه در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی و به‌هم‌خوردن تعادل طبیعی منابع آب زیرزمینی مشاهده شده است و در اکثر آبخوان‌ها بیلان آب

با احداث اولین چاه شروع و هم‌اکنون که نزدیک به ۲۹۰۰ چاه مجاز ثبت شده است، ادامه دارد. بر همین اساس و با توجه به مطالعات انجام‌شده، روند افت آب در این دشت بسیار چشم‌گیر بوده و متوسط افت ۲۰ ساله (۸۹ تا ۶۹) برابر ۰/۵۶ متر بوده و در واقع در طول این ۲۰ سال، حدود ۱۰/۷۴ متر کاهش عمق آب در مخزن وجود داشته است (میرزاوند، ۱۳۹۱)؛ لذا این آبخوان، یکی از آبخوان‌های بحرانی شناخته‌شده در استان اصفهان محسوب می‌شود. در این پژوهش، برای بررسی وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، مشخصات و عمق سنگ کف از مطالعات ژئوالکتریک دشت کاشان که در بهار ۱۳۸۹ توسط شرکت مهندسی مشاور زمین الکتریک کویر با عنوان مطالعات ژئوالکتریک دشت کاشان- آران و بیدگل به‌وسیله سونداژهای الکتریکی انجام شده است، استفاده شد. در این دشت، تعداد ۳۹۶ سونداژ الکتریکی با حداکثر طول خط جریان ۱۰۰۰ متر با آرایش شلومبرژه برداشت شده است. در حدود دهه ۱۹۱۰، اولین بار شلومبرژه دریافت که با قراردادن دو الکترود به فواصل معین از یکدیگر، اختلاف پتانسیل یا ولتاژ طبیعی بین دو سر الکترودها ایجاد می‌شود. این پدیده، پتانسیل خودزا نامیده شد. پس از مدتی، از این روش برای اکتشاف کانه‌های سولفیدی که در اعماق کم واقع شده‌اند، استفاده شد. در این روش، جریان مستقیم الکتریکی از طریق دو الکترود با فواصل نسبتاً زیاد از یکدیگر، به داخل زمین تزریق می‌شود. آنگاه رسانندگی آنومالی زیرسطحی در وسط دو الکترود فرستنده جریان با کمک میدان مغناطیسی ثانویه ناشی از عبور جریان به داخل زمین، توسط یک مغناطیس‌سنج بسیار حساس با پارازیت کم که عمود بر خط واصل بین دو الکترود است، اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها بر اساس یک سری پروفیل‌های عرضی و طولی در سطح منطقه مورد نظر انجام می‌شود. فاصله بین هر نقطه اندازه‌گیری تا نقطه بعد، به‌گونه‌ای است که کل منطقه مورد مطالعه پوشش داده شود. این سونداژها در امتداد ۴۲ پروفیل (۴۱ پروفیل عرضی و ۱ پروفیل طولی) واقع شده‌اند (شکل ۲). آنگاه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، نقشه‌های هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خطوط جریان ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر (این خطوط به‌ترتیب،

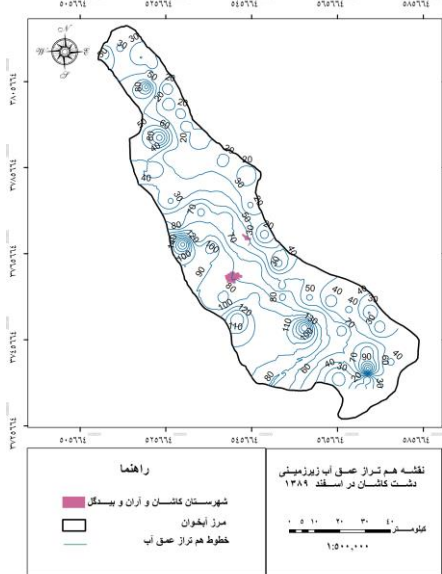
کف، می‌توان از مطالعات ژئوالکتریک در یک منطقه بهره گرفت. هدف از انجام این مطالعه، بررسی وضعیت آبخوان، عمق سنگ کف، ضخامت لایه اشباع آبخوان و همچنین بررسی نفوذپذیری رسوبات دشت کاشان با استفاده از روش مقاومت الکتریکی است.

مواد و روش‌ها

دشت کاشان به وسعت ۱۵۷۰ کیلومتر مربع در دامنه کوه‌های کرکس و حاشیه کویر مرکزی ایران و بین طول‌های جغرافیایی ۵۱° ۵۴' و ۵۱° ۰۵' و عرض‌های ۴۵° ۳۳' و ۳۴° ۲۳' قرار دارد. دشت کاشان به‌صورت یک دره باریک با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی است. عرض این دره حدود ۲۰ کیلومتر بوده که در شمال به دشت قم و در جنوب به ارتفاعات مجاور منطقه نطنز و از غرب به ارتفاعات و از شرق به محدوده دریاچه نمک محدود می‌شود. میزان بارندگی سالانه در منطقه، از ۷۵ میلی‌متر در حواشی دریاچه نمک تا بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات جنوب غربی کاشان متغیر بوده و میانگین بارندگی دشت کاشان برابر ۱۲۵ میلی‌متر است. حدود ۴۷/۶ درصد بارندگی سالانه در فصل زمستان و ۳۲ درصد بارندگی سالانه در فصل بهار نازل می‌شود. حداکثر دمای مطلق سالانه ۴۶ درجه سانتی‌گراد متعلق به تیر و مرداد بوده و حداقل دمای مطلق سالانه ۱۲- درجه سانتی‌گراد متعلق به دی‌ماه است. از نظر زمین‌شناسی، آبخوان دشت کاشان شامل رسوبات دوران چهارم زمین‌شناسی است. واریزه‌های کنار دشت که کوهپایه‌های جنوبی را تشکیل می‌دهند، مخروط‌افکنه‌ها که توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده‌اند و پوشش رسی که روی اغلب قسمت‌های شمالی و شمال غربی دشت را می‌پوشاند، از جمله رسوبات اصلی دشت است. در محدوده شمالی و شمال غربی دشت در بعضی نواحی، پوششی از ماسه بادی وجود دارد که به‌وسیله باد از کویر شمالی آورده شده‌اند (شکل ۱). با توجه به مطالعات انجام‌شده، آبخوان کاشان جزء آبخوان‌های آزاد است. از طرفی، قسمت‌هایی که در حاشیه دریاچه نمک قرار دارند، مانند آبخوان‌های ساحلی هستند. احداث و استخراج آب زیرزمینی از دشت کاشان، از سال ۱۳۲۱

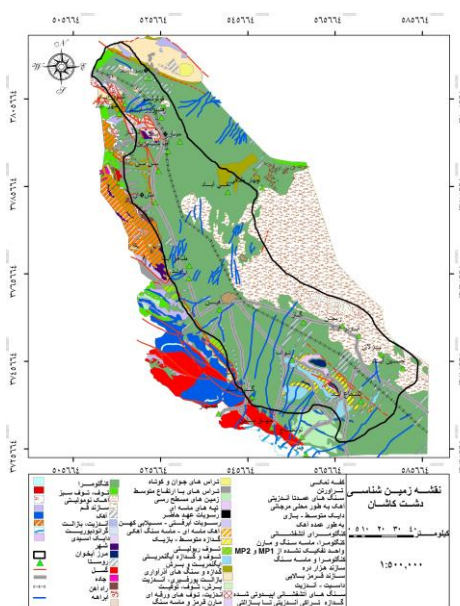
نقشه هم تراز عمق آب زیرزمینی

همان طور که در شکل ۳ دیده می شود، نقشه هم تراز عمق آب زیرزمینی دشت کاشان با استفاده از درون یابی اطلاعات حاصل از ۶۴ چاه پیژومتری در دشت کاشان، در اسفند ماه ۱۳۸۹ با استفاده از عمل درون یابی کریجینگ در نرم افزار Arc GIS ترسیم شده است. در این نقشه، به وضوح می توان مناطق مختلف را از نظر تغییرات عمق با هم مقایسه کرد.



شکل ۳: نقشه هم عمق آب زیرزمینی در اسفندماه ۱۳۸۹

معادل عمق بررسی ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متر هستند)، نقشه های هم ضخامت آبرفت و نقشه های هم ارتفاع مطلق سنگ کف با توجه به کیفیت نسبی آب های زیرزمینی ترسیم شد و نتایج آن مورد پردازش و تفسیر قرار گرفت. همچنین برای همه پروفیل ها با استفاده از اکستشن Arc Hydro Groundwater اقدام به ترسیم شبه مقاطع آن ها شد که تمامی آن ها به طور کیفی مورد تعبیر و تفسیر واقع شده است. به دلیل حجم بالای مطالب، تنها یک مقطع طولی و ۴ مقطع عرضی در بخش های مختلف دشت در نتایج نشان داده شده است.



شکل ۱: نقشه زمین شناسی دشت کاشان

نتایج

به منظور بررسی کلی لایه های زمین شناسی از قبیل لایه بندی رسوبات آبرفتی و چگونگی تغییرات سنگ کف و تعیین کیفیت آب های زیرزمینی تا اعماق مورد نظر، نقشه های هم مقاومت مخصوص ظاهری تهیه شد و با استفاده از سونداژهای انجام شده در دشت و سونداژهایی که در حاشیه سازندها و مجاور چاه ها، مادر قنات ها و چشمه ها صورت گرفته، مقیاس مقاومت مخصوص لایه ها به دست آمد که در جدول ۱، به طور خلاصه نشان داده شده است.

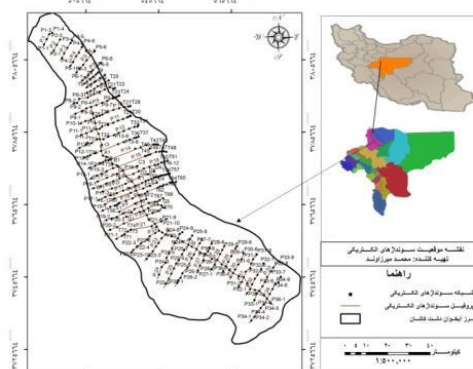
نقشه هم مقاومت مخصوص ظاهری برای خط جریان

۳۰۰ متر

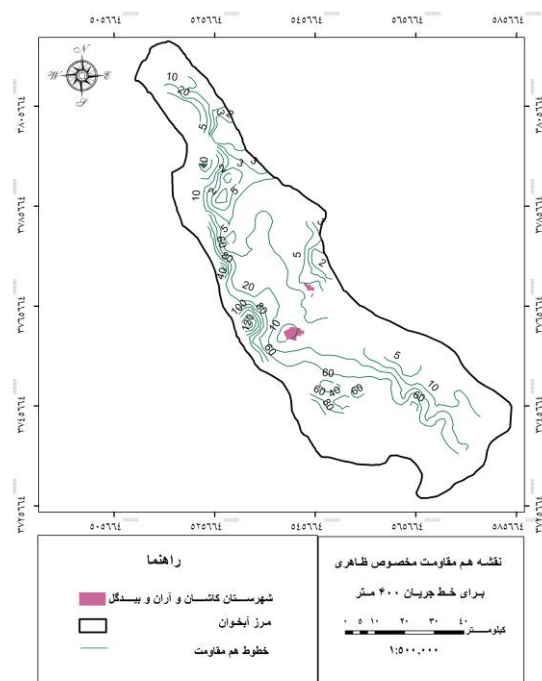
این نقشه که تا عمق تقریبی ۷۵ متری را به طور کیفی مورد

شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه و سونداژهای الکتریکی در

دشت کاشان



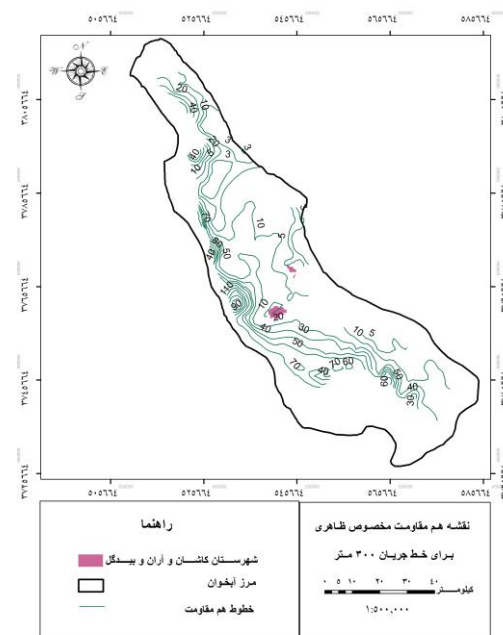
مقاومت مخصوص ظاهری کمتر از ۲ اهم- متر تا بالغ بر ۷۰ اهم- متر است. از نظر الگوی تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری، مشابه شکل ۴ بوده؛ به طوری که مناطق دارای مقاومت مخصوص ظاهری زیاد که حاکی از کیفیت نسبی بهتر آب‌های زیرزمینی و رسوبات دانه‌درشت است، در نیمه اول پروفیل‌های واقع در جنوب شرق دشت کاشان (از پروفیل ۱۵ تا پروفیل ۳۴) و حوالی سونداژهای ابتدایی سایر پروفیل‌ها ملاحظه می‌شود. اوج زون‌های کم‌مقاومت و با کیفیت پایین‌تر آب‌های زیرزمینی و نیز رسوبات ریزدانه، بیشتر در محدوده پروفیل‌های ۱ تا ۱۴ دیده می‌شود که با حرکت به سمت دریاچه نمک، این موضوع شاخص‌تر است.



شکل ۵: نقشه هم‌مقاومت ظاهری برای خط جریان ۴۰۰ متر

نقشه هم‌مقاومت ظاهری برای خط جریان ۶۰۰ متر این نقشه، به طور کیفی لایه‌های تحت الارضی تا عمق تقریبی ۱۵۰ متر را ارزیابی می‌کند (شکل ۶). مقاومت مخصوص ظاهری از حدود ۲ اهم- متر تا بالغ بر ۱۱۰ اهم- متر متغیر است. با توجه به الگوی تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری، دیده می‌شود که با حرکت از ابتدای پروفیل‌ها به سمت انتهای آن، از مقدار مقاومت ظاهری کاسته شده که حاصل کاهش

ارزیابی قرار می‌دهد، دارای مقاومت مخصوص ظاهری حدود ۳ تا بالغ بر ۱۷۰ اهم- متر است (شکل ۴). با توجه به نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری مشاهده می‌شود که نواحی با مقاومت ظاهری بالاتر از ۱۰ اهم- متر در مناطق مشرف به ارتفاعات واقع در غرب و جنوب دشت مورد مطالعه دیده می‌شود. رسوبات واقع در این قسمت‌ها هم دارای رسوبات دانه‌درشت بوده و هم از کیفیت بهتر آب‌های زیرزمینی برخوردارند؛ اما مقاومت مخصوص کمتر از ۱۰ اهم- متر، رسوباتی غالباً دانه‌ریز بوده و کیفیت آب‌های زیرزمینی در آنها پایین است. معمولاً در حوالی سونداژهای انتهایی پروفیل‌های واقع در جنوب شرق شهرستان کاشان و حوالی سونداژهای انتهایی پروفیل‌های ۱۵ تا ۲۰ واقع در شمال غرب شهرستان کاشان و در محدوده سونداژهای سایر پروفیل‌ها به جز حوالی سونداژهای ابتدایی آنها قابل مشاهده هستند.

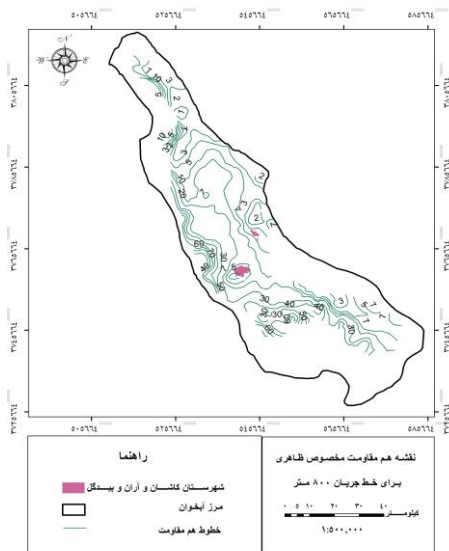


شکل ۴: نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خط جریان ۳۰۰ متر

نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خط جریان ۴۰۰ متر

این نقشه (شکل ۵) که حدوداً تا اعماق ۱۰۰ متری به بررسی کیفی لایه‌های تحت الارضی می‌پردازد، دارای دامنه تغییرات

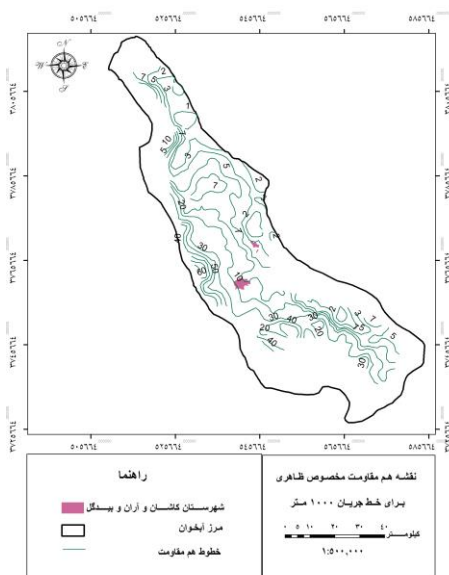
اندازه رسوبات آبرفتی و نیز کاهش نسبی کیفیت آب‌های زیرزمینی است. از طرف دیگر، با حرکت از سمت نواحی جنوب شرقی دشت، به طرف نواحی شمال غرب (سمت دریاچه نمک)، مقاومت ظاهری کمی کاهش می‌یابد و در نتیجه، می‌توان گفت که از کیفیت آب‌های زیرزمینی کاسته می‌شود.



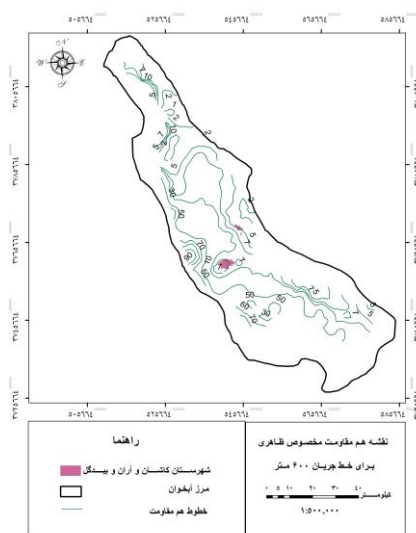
شکل ۷: نقشه هم‌مقاومت ظاهری برای خط جریان ۸۰۰ متر

نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خط جریان ۱۰۰۰ متر

این نقشه دارای مقاومت مخصوص ظاهری حدود ۲ اهم-متر تا بالغ بر ۷۰ اهم-متر بوده و به‌طور تقریبی تا عمق ۲۵۰ متری، لایه‌های تحت‌الارضی را به‌طور کیفی مورد بررسی قرار می‌دهد (شکل ۸). در این نقشه، زون کم‌مقاومت غالب، از محدوده جنوب غرب کاشان به طرف شمال غرب کشیده شده و دارای کیفیت پایین آب‌های زیرزمینی است. همچنین در نیمه دوم پروفیل‌های ۲۵ تا ۳۴، چنین وضعیتی حاکم است.



شکل ۸: نقشه هم‌مقاومت ظاهری برای خط جریان ۱۰۰۰ متر



شکل ۶: نقشه هم‌مقاومت ظاهری برای خط جریان ۶۰۰ متر

نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری برای خط جریان ۸۰۰ متر

این نقشه نیز از نظر الگوی تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری، مشابه نقشه‌های قبلی است و دارای تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری کمتر از ۲ اهم-متر تا بالغ بر ۸۰ اهم-متر است (شکل ۷). مطالب ارائه‌شده در نقشه هم‌مقاومت مخصوص ظاهری ۶۰۰ متر، دقیقاً در خصوص این نقشه هم صدق می‌کند. در حالت کلی، می‌توان گفت که نواحی واقع در شمال خط راه‌آهن (از پروفیل ۱۵ تا پروفیل ۳۴) از رسوبات دانه‌ریز و با کیفیت نسبی پایین‌تر آب‌های زیرزمینی و نواحی واقع در جنوب خط راه‌آهن، از رسوبات دانه درشت‌تر با کیفیت نسبی بیشتر آب‌های زیرزمینی برخوردار هستند؛ ولی از پروفیل ۱۵ به سمت پروفیل ۱، به‌جز در نواحی باریکه مشرف به ارتفاعات، در سایر قسمت‌ها رسوبات دانه‌ریز به همراه آب‌های زیرزمینی با کیفیت پایین وجود خواهد داشت.

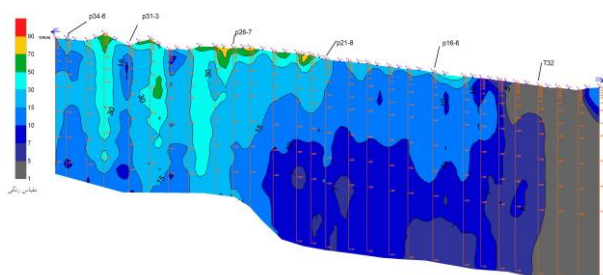
شبه مقطع ژئوالکتریک

در این پژوهش، به منظور بررسی کیفی لایه‌های زمین‌شناسی و کمک به تفسیر مقاطع ژئوالکتریک، از شبه مقاطع استفاده شده است. تغییر در میزان مقاومت الکتریکی می‌تواند نشان‌دهنده نوع سازند زمین‌شناسی و دانه‌بندی لایه‌های زمین باشد (جدول ۱).

جدول ۱: استانداردهای مقاومت لایه‌های مختلف زمین در مطالعات ژئوالکتریک (۶)

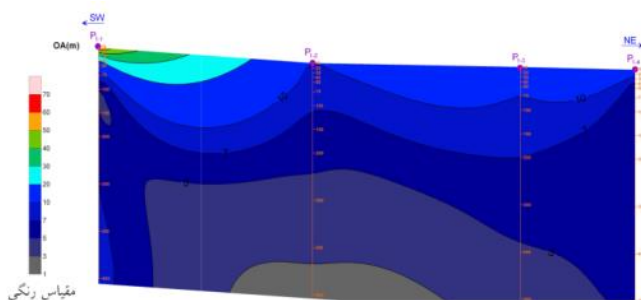
مقاومت مخصوص لایه (اهم-متر)	نوع تشکیلات
کمتر از ۱۰۰	تشکیلات ولکانیکی آنوسن
بیش از ۱۰۰	تشکیلات آهکی الیگوسن
کمتر از ۵	تشکیلات مارنی میوسن
بین ۸ تا ۱۵	تشکیلات میوپلیوسن و پلیوسن
۵۰ تا بیش از ۱۵۰	آبرفت‌های خشک و دانه درشت
۲۰ تا ۵۰	آبرفت‌های نسبتاً دانه درشت و آبدار
۱۰ تا ۲۰	آبرفت‌های حاوی آب تقریباً شور
کمتر از ۱۰	آبرفت‌های حاوی آب شور

ریگ و بعضاً قلوه‌سنگ) هستند. از محدوده سونداژ P₃₆₋₁₅ تا نزدیکی سونداژ P₁₄₋₅، مقاومت ظاهری ۱۰ تا ۱۵ اهم - متر وجود دارد که حاکی از رسوبات نسبتاً دانه‌درشت نظیر شن و ماسه است؛ اما از محدوده سونداژ A₁ تا نزدیکی انتهای این شبه مقطع، مقاومت ظاهری کمتر از ۵ اهم-متر دیده می‌شود که حاکی از رسوبات دانه‌ریز و نیز کیفیت پایین آب‌های زیرزمینی است.



شکل ۹: نمایی از شبه مقطع پروفیل شماره ۳۶ (پروفیل طولی)

– شبه مقطع پروفیل شماره ۱ (شبه مقطع عرضی) پروفیل شماره ۱ با راستای شمال شرقی- جنوب غربی شامل ۴ سونداژ الکتریکی است. مقادیر مقاومت مخصوص ظاهری در امتداد این پروفیل، از حدود ۱ اهم-متر تا حدود ۸۰ اهم-متر در نوسان است (شکل ۱۰). چنان‌که در شبه مقطع ملاحظه می‌شود، با حرکت از قسمت‌های سطحی به سمت عمق، از مقدار مقاومت ظاهری کاسته می‌شود که یکی از دلایل آن، افزایش املاح آب‌های زیرزمینی است؛ به طوری که قسمت‌های با مقاومت ظاهری کمتر از ۱۰ اهم-متر باید دارای املاح زیاد باشند. با توجه به دامنه تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری، به جز در محدوده سطحی سونداژ شماره ۱، در سایر قسمت‌ها باید غالباً رسوبات دانه‌ریز وجود داشته باشد.



شکل ۱۰: نمایی از شبه مقطع پروفیل شماره ۱ (پروفیل عرضی)

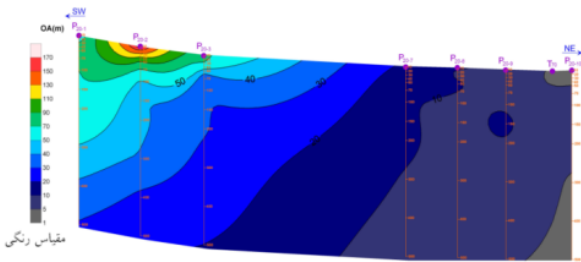
در محدوده دشت کاشان - آران و بیدگل، تعداد ۳۹۶ سونداژ در امتداد ۴۲ پروفیل برداشت شد که برای همه پروفیل‌ها اقدام به تهیه شبه مقاطع شده است. در اینجا تنها به تشریح شبه مقطع طولی (پروفیل ۳۶) و شبه مقطع پروفیل‌های عرضی ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ پرداخته می‌شود.

– شبه مقطع پروفیل شماره ۳۶ (شبه مقطع طولی)

شبه مقطع طولی (شکل ۹) دارای راستای شمال غربی- جنوب شرقی است. تعداد ۵۴ سونداژ الکتریکی در طول این شبه مقطع قرار دارد. مقاومت مخصوص ظاهری با نوسانات ۱ تا ۹۰ اهم-متر در امتداد این شبه مقطع گسترش دارد. به طوری که در این شبه مقطع دیده می‌شود، از محدوده سونداژ ابتدایی (P₃₆₋₁) تا نزدیکی سونداژ P₂₁₋₈، رسوبات آبرفتی با مقاومت ظاهری بالاتر از ۱۰ اهم-متر وجود دارد (در قسمت‌های تحتانی سونداژهای P₂₄₋₇ تا P₂₁₋₈ کاهش مقاومت دیده می‌شود). این رسوبات غالباً دانه درشت (دارای درصد زیادی از شن، ماسه،

– شبه مقطع پروفیل شماره ۱۰ (پروفیل عرضی)

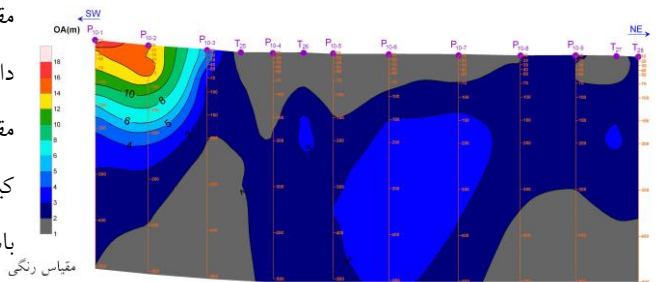
پروفیل شماره ۱۰ با ۱۳ سونداژ الکتریکی دارای راستای شمال شرقی- جنوب غربی است. دامنه تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری از حدود ۱ اهم- متر تا حدود ۱۸ اهم- متر است (شکل ۱۱). چنان که در شبه مقطع دیده می شود، فقط در حوالی دو سونداژ ابتدایی تا OA برابر ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر، رسوبات بیشتر از ۵ اهم- متر مشاهده می شود؛ ولی در قسمت های عمقی این دو سونداژ و در محدوده سایر سونداژها، مقاومت مخصوص ظاهری کمتر از ۵ اهم- متر وجود دارد. نکته درخور توجه، وجود آنومالی ۳ تا ۴ اهم - متری در قسمت های عمیق سونداژهای P10-6 تا P10-7 است که در ادامه آن، به طور شاخص در پروفیل های بعدی دیده می شود و می تواند حاکی از لایه های مقاوم تر نظیر رگه های سنگ جوش یا رسوبات دانه درشت باشد.



شکل ۱۲: نمایی از شبه مقطع پروفیل شماره ۲۰ (پروفیل عرضی)

– شبه مقطع پروفیل شماره ۳۰ (پروفیل عرضی)

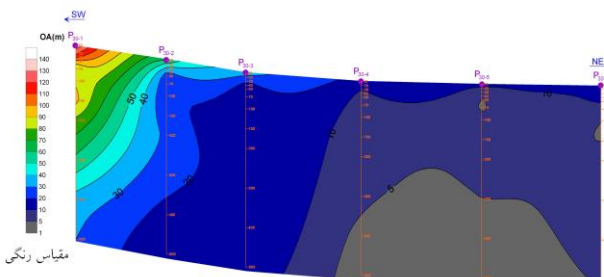
این شبه مقطع دارای ۶ سونداژ الکتریکی بوده و راستای آن به صورت شمال شرقی- جنوب غربی است (شکل ۱۳). مقادیر مقاومت مخصوص ظاهری از ۱ اهم - متر در نوسان بوده و بیشترین مقدار آن در حوالی دو سونداژ اول شبه مقطع دیده می شود و بیانگر رسوبات دانه درشت در این نواحی است. با حرکت از طرف سونداژ P30-3 به طرف انتهای شبه مقطع، مقاومت ظاهری کاهش می یابد. این مسئله بیانگر رسوبات دانه ریز است. در قسمت های تحتانی سونداژهای P30-4 و P30-5، مقاومت ظاهری کمتر از ۵ اهم- متر است که می تواند گویای کیفیت پایین آب های زیرزمینی یا رسوبات دانه ریز نظیر رس باشد.



شکل ۱۱: نمایی از شبه مقطع پروفیل شماره ۱۰ (پروفیل عرضی)

– شبه مقطع پروفیل شماره ۲۰ (پروفیل عرضی)

این شبه مقطع با ۸ سونداژ الکتریکی و راستای شمال شرقی - جنوب غربی دارای مقاومت مخصوص ظاهری ۱ تا ۱۷۰ اهم- متر است (شکل ۱۲). اوج مقاومت مخصوص ظاهری (بیشتر از ۲۰ اهم - متر) در محدوده سه سونداژ اول قرار دارد و حاکی از رسوبات دانه درشت تا خیلی دانه درشت (نظیر شن، ریگ، قلوه سنگ و غیره) است. با نزدیک شدن به سمت انتهای شبه مقطع، از مقادیر رسوبات دانه درشت کاسته می شود و در عوض، درصد رسوبات دانه ریز، افزایش و کیفیت آب های زیرزمینی کاهش می یابد.



شکل ۱۳: نمایی از شبه مقطع پروفیل شماره ۳۰ (پروفیل عرضی)

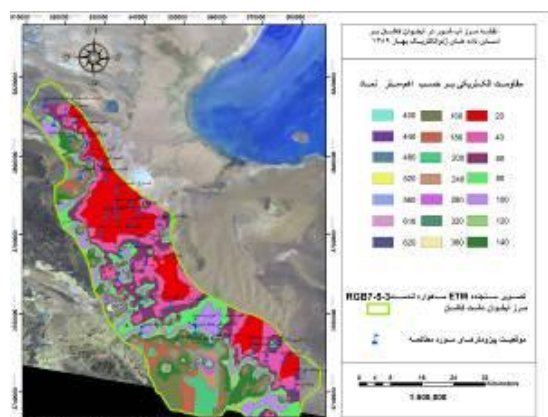
تعیین مرز آب شور با استفاده از مطالعات

ژئوالکتریک

در این پژوهش، با داشتن داده های ژئوالکتریک دشت کاشان در بهار ۱۳۸۹ اقدام به تهیه نقشه مرز آب شور در آبخوان دشت کاشان شد (شکل ۱۴). نتایج حاصل نشان داد که آب شور (رنگ قرمز) بخش زیادی از آبخوان کاشان را تحت تأثیر خود قرار داده است. این شوری در حال پیشروی به سمت دشت

نمی‌توان با استفاده از این خط جریان برای این منطقه، چندان درباره کیفیت آب و جنس رسوبات بحث کرد؛ ولی برای سایر بخش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که براساس نتایج این خط جریان، در شمال غرب و در قسمت جنوب آبخوان، کیفیت آب مناسب‌تر از قسمت‌های شرق و شمال شرق است. همچنین رسوبات واقع در قسمت شمال غرب، غرب و جنوب آبخوان نسبت به قسمت‌های دیگر دشت، دانه‌درشت‌تر بوده و از نظر پخش سیلاب و نفوذ آب، نسبت به قسمت‌های دیگر مناسب‌تر است؛ بنابراین، در این قسمت می‌توان برای بهبود وضعیت آبخوان، هم از نظر بهبود سطح ایستابی و هم از نظر کیفی، تغذیه مصنوعی را در اولویت برنامه‌های احیای آبخوان قرار داد. همچنان‌که نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات محققان، از جمله قضاوی و همکاران (۲۰۱۲) و ضیاء و همکاران (۱۳۸۵) مؤید این موضوع است. همچنین نتایج حاصل نشان داد که قسمت جنوب شرق و شرق آبخوان (حوالی ابوزیدآباد و چاله سمبک) تا محدوده شمال شرق آبخوان، دارای وضعیت کیفی نامناسبی است؛ ولی به‌دلیل اینکه تمرکز چاه‌ها در محدوده غرب (حوالی شهرستان کاشان و آران و بیدگل) است، گرادیان هیدرولیکی بالاتر در سایر بخش‌ها نسبت به محدوده شهری بالا بوده و این موضوع باعث تخلیه آب از سایر قسمت‌های دشت به سمت محدوده غربی شده است. با استفاده از خط جریان ۴۰۰ متر می‌توان تا عمق ۱۰۰ متر را مورد آنالیز قرار داد. بر این اساس، مشاهده می‌شود که به‌دلیل برداشت بیش از حد آب زیرزمینی، فروافتادگی‌ای که در محدوده پروفیل ۱۵ به سمت جنوب شرق شروع شده است، باعث زهکشی دریاچه نمک به سمت این قسمت شده است؛ بنابراین، افت شدید کیفیت آبخوان در این اعماق دیده می‌شود. البته یکی دیگر از دلایل این کاهش کیفیت، می‌تواند به‌دلیل سنگ بستر مازنی و نمکی باشد که در این اعماق وجود دارد. احداث چاه‌های عمیق در این محدوده، باعث مکش آب شور از اعماق زمین به داخل لایه‌های بالایی آبخوان و در نتیجه، باعث تخریب آبخوان شده است. نتیجه اینکه در این محدوده هرچه عمق افزایش می‌یابد، کیفیت آب کاهش پیدا می‌کند. همچنان‌که احداث

کاشان است. دلیل این روند شوری که نیمه شرقی آبخوان را تحت تأثیر قرار داده، ممکن است افزایش تراکم چاه‌ها در میانه دشت باشد. بهره‌برداری بیش از حد مجاز در میانه‌های دشت کاشان، باعث افت زیاد آبخوان شده و تغییر جهت جریان آب زیرزمینی از سمت دریاچه نمک به سمت آبخوان را به همراه داشته است. همچنین در منطقه ابوزیدآباد و چاله سمبک واقع در جنوب شرق و شرق دشت، به‌دلیل بالا بودن سطح آب و تماس با ریشه ارگ ریگ بلند که حاوی هالیت و املاح زیاد است، آب شور بوده و تغییر شیب هیدرولیکی باعث پیشروی شوری در داخل آبخوان شده است.



شکل ۱۴: نقشه مرز آب شور با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک در دشت کاشان

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی و نوع سازندهای زمین‌شناسی دشت کاشان، با استفاده از داده‌های حاصل از مطالعات ژئوالکتریک مورد مطالعه قرار گرفت. استفاده از خطوط جریان مختلف در اعماق متفاوت دشت مورد مطالعه، این امکان را فراهم کرد تا تغییرات سازند و کیفیت آب در تمام قسمت‌های دشت قابل ارزیابی باشد. با توجه به اینکه خط جریان ۳۰۰ متر، تا عمق ۷۵ متری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، تنها برای عوارض زیرسطحی تا این عمق می‌توان براساس این خط جریان، منطقه را ارزیابی کرد. از آنجاکه از محدوده شمال نصرآباد (غرب آبخوان) به سمت جنوب غرب آبخوان (شکل ۳) عمق آب زیرزمینی از ۷۵ متر بیشتر است،

قسمت جنوب شرق دشت (به دلیل عدم تراکم بهره‌برداری) و در قسمت شمال غرب دشت (به دلیل تغذیه مستمر از شریان‌هایی که کوهستان به دشت می‌ریزند)، به صورت یک نوار باریک دارای کیفیت مناسبی در این عمق هستند.

خط جریان ۱۰۰۰ متر که تا عمق ۲۵۰ متر را ارزیابی می‌کند، نشان می‌دهد که آبخوان در این عمق، محدود به بخش‌هایی از جنوب غرب دشت به طرف شمال غرب بوده که از نظر کیفیت، وضعیت مناسبی ندارند. در واقع، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در این بخش‌ها نیز آب زیرزمینی با لایه‌های زمین‌شناسی آلاینده برخورد داشته و کاهش کیفیت آب را در برداشته است. همچنان‌که در احداث چاه‌های عمیق (با کفشکنی چاه‌ها) در این منطقه، آب‌هایی با کیفیت پایین مشاهده می‌شود. همان‌طور که بیان شد، در مورد مرز آب شور و شیرین در بیشتر تحقیقات، آب‌های با مقاومت مخصوص کمتر از ۲۰ اهم را جزو آب‌های لب شور تا شور رده‌بندی می‌کنند؛ بنابراین، طبق نتایج به دست آمده از خط جریان ۶۰۰ متر که تا عمق ۱۵۰ متری و در واقع، کل اعماق کنونی آبخوان را ارزیابی می‌کند، بخش شرقی آبخوان دارای آب لب شور تا شور است. متوسط افت سالانه آبخوان در طی دوره ۲۰ ساله (۱۳۶۹ تا ۱۳۸۹) حدود ۰/۲۶ متر است (میرزاوند، ۱۳۹۱). در نتیجه، کل افت در این ۲۰ سال، ۱۰/۷۶ متر بوده که این افت شدید آبخوان موجب شده است که آب دریاچه نمک بر اثر شیب هیدرولیکی که به سمت آبخوان ایجاد شده است، به داخل آبخوان زهکشی شده و چنان‌که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، از سمت شرق و شمال شرق، آبخوان با کاهش کیفیت مواجه شده است و در حقیقت، بخش زیادی از آبخوان با کاهش شدید کیفیت آب مواجه شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه، با مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف از جمله اوسه‌چی جو (۱۳۸۴)، رضانی و القانی (۱۳۸۸)، امانوئل و همکاران (۲۰۱۱)، آلبل و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که اکتشاف ژئوفیزیکی آب‌های زیرزمینی، یکی از مهم‌ترین روش‌های نوین در بررسی آب‌های زیرزمینی و لایه‌های تحت‌الارضی است. با توجه به اینکه با استفاده از مطالعات

چاه‌های عمیق در سازند ریزدانه با کاهش آبدی چاه همراه است و ساکنان این منطقه برای جبران کاهش دبی، اقدام به افزایش تعداد و یا کف‌کنی چاه‌ها می‌کنند. در قسمت شمال غرب آبخوان، با توجه به اینکه این قسمت از آبخوان، بیشتر تحت تأثیر شریان‌ها و بارش‌های کوهستانی است و رسوبات آن نیز رسوبات کوهرفتی و آبرفتی هستند، در این عمق، آب کیفیت مناسبی دارد و رسوبات دانه‌درشت بوده و می‌توان عملیات تغذیه مصنوعی را مانند مناطقی که در خط جریان ۳۰۰ متر مناسب بودند، برای این مناطق در اولویت احیای آبخوان قرار داد. با خط جریان ۶۰۰ متر می‌توان تا اعماق ۱۵۰ متری لایه‌های زیرسطحی را ارزیابی کرد. طبق نتایج این خط جریان، با حرکت از سمت غرب به شرق و از سمت جنوب شرق به شمال غرب، از مقاومت مخصوص ظاهری کاسته می‌شود و به تبع آن، ابعاد رسوبات آبرفتی و کیفیت آب آبخوان نیز کاهش می‌یابد. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که همان‌طور که در خط جریان ۴۰۰ متر نیز دیده شد، این خط جریان با بستر ریزدانه روبرو بوده و با توجه به اینکه آبخوان کاشان نیز از طریق آبخوان قم و دریاچه نمک تغذیه می‌شود، می‌توان بیان کرد که علت کاهش کیفیت طبق این خط جریان می‌تواند ناشی از تغذیه آبخوان از طریق آبخوان قم (در محدوده غرب حسین‌آباد میش مست، جاده رادار) در شمال دشت کاشان و دریاچه نمک در شمال شرق دشت باشد. همچنین با توجه به اینکه در شرق و جنوب شرق آبخوان، آب با ریشه ارگ ریگ بلند که حاوی هالیت و املاح محلول زیادی است، تماس دارد، می‌توان گفت که کاهش کیفیت این قسمت نیز می‌تواند ناشی از املاح محلول در زیر و حاشیه ارگ باشد؛ بنابراین، چنان‌که جوان دولویی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقات خود بیان کردند، می‌توان نفوذ آب در خاک را با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک و منشأ شوری آبخوان را در هر منطقه، با این مطالعات بررسی کرد.

نتایج حاصل از خط جریان ۸۰۰ متر در اکثر مناطق، مشابه نتایج حاصل از خط جریان ۶۰۰ متر بود. با این تفاوت که طبق این خط جریان از نظر کیفیت آب، تنها آب‌های زیرزمینی

سپاس‌گزاری

با توجه به همکاری‌های ارزنده و واحد تلفیق مطالعات آب‌های زیرزمینی امور آب منطقه‌ای اصفهان، نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از این واحد تشکر و قدردانی به عمل آورند.

- سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۳ (پیاپی ۶۵)، زمستان ۱۳۸۳. ص ۳۴-۲۵.
۷. رمضانی، بهمن و طالقانی، محمد، ۱۳۸۸. کنترل آب‌های زیرزمینی (باتأکید بر روش ژئوالکترونیک)، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۸.
۸. شرقی، ع و کیانی، غ، ۱۳۸۹. سالنامه آماری آب کشور ۸۷-۱۳۸۶، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۳۲۴ص.
۹. ضیاء، حسن. ۱۳۸۳. هیدرولوژی آبخوان دشت بیرجند و تأثیرات طرح‌های تغذیه مصنوعی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز. ۱۲۳ص.
۱۰. ضیاء، حسن، لشکری‌پور، غلامرضا، رستمی بارانی، حمیدرضا، ۱۳۸۵. مطالعه ژئوالکترونیک طرح تغذیه مصنوعی پخش سیلاب بیرجند جهت آشکارسازی شرایط هیدرولوژیکی، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۱۴ و ۱۵ شهریورماه ۱۳۸۵.
۱۱. مهندسین مشاور و خدمات زمین فیزیک. ۱۳۸۰. اکتشافات ژئوفیزیکی محدوده کاشان و آران.
۱۲. میرزاوند، م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان. ۱۸۵ص.
۱۳. ناصری، آینلو. ۱۳۸۴. کاربرد روش ژئوالکترونیک در مطالعات آب‌های زیرزمینی، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، کرمان.

ژئوالکترونیک، می‌توان دید بسیار مناسبی نسبت به وضعیت و خصوصیات آبخوان‌ها و لایه‌های تحت‌الارضی پیدا کرد، توصیه می‌شود با انجام مطالعات ژئوالکترونیک در دشت‌های مختلف کشور و همچنین تکرار این مطالعات در سال‌های متوالی، تغییرات آبخوان‌ها که منبع مهم مصرف آب در کشور هستند، بررسی و در صورت امکان، این تغییرات مدل‌سازی شود.

منابع

۱. اروجی، بلال، رضایی، محسن، دهقان تنها، محمد رضا و مقدس صدقیانی، توحید، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان با تأکید بر مصرف شرب و کشاورزی با استفاده از GIS، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران. ۱۰ص.
۲. ایزدی، عزیزالله، داوری، کامران، علیزاده، امین، قهرمان، بیژن، حقایقی‌مقدم، سید ابوالقاسم، ۱۳۸۶. پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی؛ مطالعه موردی: دشت نیشابور. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۲): ۵۹-۷۱.
۳. پورمقدس، حسین، ۱۳۸۱. ترکیبات آلی جانبی حاصل از عمل کلرزی آب آشامیدنی. مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی. ۱(۲): ۷۵-۸۶.
۴. تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله، زارعیان جهرمی، مجتبی، محمودی، شهلا، حیدری، احمد، سرمیدان، فریدون، ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲(۵): ۶۳-۷۰.
۵. جوان دولویی، غلام، آزادی، اصغر، کاملیان، نصرالله، ۱۳۸۷. طراحی و ساخت فرستنده و گیرنده رقمی (دیجیتال) داده‌های ژئوالکترونیک و کاربرد آن در کاهش اثر نوفه. مجله فیزیک زمین و فضا. ۳۴ (۴): ۱۵-۳۲.
۶. داودی، هادی و گوهری، ابراهیم، ۱۳۸۳. معرفی روش مقاومت‌سنجی الکترونیک جهت آزمایش غیرمخرب اندازه‌گیری درجه اشباع نمونه خاک. مجله پژوهش و

- Sounding Data, Salamiyeh Region. Central Syria. *Hydrological Processes*, 21: 2934 - 2943.
21. Bello, A. A., Makinde, V., 2007. Delineation of the Aquifer in the South-Western Part of the NupeBasin, Kwara State, Nigeria. *Journal of American Science*, 3(2): 36-44.
 22. Danielsen, J., Dahlin, T., Owen, R., Mangeya, P., Auken, E., 2007. Geophysical and Hydrogeologic Investigation of Groundwater in the Karoo Stratigraphic Sequence at Sawmills Innorthern Matabeleland, Zimbabwe: a Case History, *Hydrogeology Journal*, 15(5): 945-960.
 23. Emenike, EA., 2001. Geophysical Exploration for Groundwater in a Sedimentary Environment. *Global J. Pure Appl. Sci.*, 7(1): 97-102.
 24. Emmanuel, O., Joshua, Olayinka O. Odeyemi, Oladotun O. Fawehinmi., 2011. Geoelectric Investigation of the Groundwater Potential of Moniya Area, Ibadan, *Journal of Geology and Mining Research* Vol. 3(3), pp. 54-62.
 25. Ghazavi, R., Vali, A.B., Eslamian, S., 2012. Impact of Flood Spreading on Groundwater Level Variation and Groundwater Quality in an Arid Environment. *Water Resources Management*. 26: 1651-1663.
 26. Obiora, D.N. Onwuka. O.S., 2005. Groundwater Exploration in Ikorodu, Lagos-Nigeria: a surface Geophysical Survey Contribution. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 6(1): 86-93.
 27. Potential Measurements: Case Studies. from SW Nigeria. *Water Resources J.*, 17: 11-16.
 28. Omosuyi, G.O., Adeyemo, A., Adegoke. A.O., 2007. Investigation of Groundwater Prospect Using Electromagnetic and Geoelectric
 14. Abdullahi, N.K., Aboh, H.O., Masanawa, A.A., 2011. Geo- Electric Assessment of Groundwater Potentials in Complex Basement Terrain: Case study of College of Arts and Social Sciences, Kaduna Polytechnic Bye- pass Campus, northwestern Nigeria, *Continental Journal of Earth Sciences*. 6 (1): 1 – 7.
 15. Akaolisa, c., 2006. Aquifer Transmissivity and Basement Structure Determination Using Resistivity Sounding at Jos Plateau state Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. 114: 1-3.
 16. Alile, O.M., Ujuanbi, O., Evbuomwan, I.A., 2011. Geoelectric Investigation of Groundwater in Obaretin Iyanomon locality, Edo State, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, January. Vol. 3(1) pp. 13-20.
 17. Alile OM, Amadasun, CVO., 2008. Direct Current probing of the Subsurface Earth for Water Bearing Layer in Oredo Local Government Area, Edo State, Nigeria. *Nig. J. Appl. Sci.*, 25: 107–116.
 18. Amah, E.A., Esu, E.O. 2007. Geophysical and Hydrogeological Studies of Shallow Groundwater Aquifers of Calabar Area, Southeastern Nigeria, *Proceedings of 43rd Annual International Conf. of Nigerian Mining and Geosciences Society*, 32-33.
 19. Anudu, G.K. Onuba, L.N., Ufondu, L.S., 2011. Geoelectric sounding for groundwater exploration. *Journal of Applied technology in Environmental sanitation*, Volume 1, Number 4: 34 3-3 54.
 20. Asfahan, J., 2007. Neogene Aquifer Properties Specified through the Interpretation of Electrical
 27. Olatunji, A.S., Oloruntola, M.O., Abimbola, A.F., 2007. Enhancing Groundwater Exploration through the Combination of Electrical Resistivity with Spontaneous

- Near Abeokuta South-west Nigeria, Pp. 501-504.
31. Park, Y., Doh, S., Yun, S., 2007. Geoelectric Resistivity Sounding of Riverside Alluvial Aquifer in an Agricultural Area at Buyeo, Geum river watershed, Korea: An Application to Groundwater Contamination Study, Environmental Geology Journal, 53(4): 849-859.
- Sounding at Afunbiowo, Near Akure, Southwestern Nigeria. The Pacific Journal of Science and Technology, 8(2): 172-182.
29. Oseji, J.O., Atakpo, E.A., Okolie, E.C., 2005. Geoelectric Investigation of the Aquifer Characteristics and Groundwater Potential in Kwale, Delta state, Nigeria, J. Applied Sci. Environ. Mgt., 9: 157-160.
30. Oyedele, KF., 2001. Geo-electric Investigation of Groundwater Resources at Onibode Area,