تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان دشت کاشان

محمد فاریابی[۱]*

چکیده

آب زیرزمینی یگانه منبع تامین آب در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است. بهره برداری بیش از حد، خشکسالی و تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر باعث افت کمی و کیفی منابع آب‌زیرزمینی شده‌اند. یکی از نتایج افت سطح آب-زیرزمینی، کاهش آبدهی چاه‌ها است. افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری به عنوان یکی از گزینه‌های مهم برای جبران این مشکل مطرح شده است. هدف از این تحقیق تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری در دشت کاشان است، به طوری که آب باقی مانده در آبخوان پاسخگوی نیازهای آبی شرب و صنعت در یک افق پانزده ساله (سال ۱۴۰۵) باشد. به این منظور اطلاعات زمین شناسی و داده‌هائی مانند تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای، ارتفاع سنگ کف، ضرایب آب‌پویایی آبخوان و داده‌های کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی استفاده شده‌اند. با استفاده از داده‌های سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای، معادلات ریاضی تغییر سطح آب با زمان استخراج گردیده، و از این معادلات برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در سال‌های آینده استفاده شده است. کیفیت آب زیرزمینی نیز با استفاده از داده‌های کیفی چاه‌های معرف در سال‌های آینده پیش‌بینی شده است. تغییرات کمی و کیفی آب موجود در آبخوان نیز با درنظر گرفتن نمایشنامه‌های مختلف افزایش افت سطح آب زیرزمینی نسبت به روند بهنجار آن بررسی شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، نمایشنامه افزایش افت ۲۵ درصدی نسبت به افت بهنجار افق طرح به عنوان مناسب‌ترین راهبرد برای تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری در دشت کاشان در نظر گرفته شد. البته با توجه به اینکه عمق اغلب چاه‌های منطقه مطالعه شده بیش از مقدار پیشنهاد شده در این نمایشنامه است، بنابراین افزایش عمق و کف شکنی چاه‌های بهره‌برداری پیشنهاد نمی‌شود.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، چاه‌های بهره‌برداری، عمق بهینه، دشت کاشان.

[۱] استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت،
تلفن: ۰۹۱۳۳۴۹۴۶۹۴ Email: Faryabi753@yahoo.com

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تامین نیاز آبی کشاورزی، شرب و صنعت است (زکستر و اورت، ۲۰۰۴). بیشترین حجم آب مصرفی در ایران مربوط به بخش کشاورزی است. به دلیل گسترش بیش از حد فعالیت‌های کشاورزی و خشکسالی در دهه‌های گذشته، اکثر بخش‌های کشور با مشکل کم آبی مواجه هستند. محور قرار دادن بخش کشاورزی بدون توجه به میزان آب در دسترس موجب برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی شده است، به طوری که بسیاری از دشت‌های کشور حالت ممنوعه و بحرانی پیدا کرده‌اند (فاضلی فارسانی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به پایین رفتن سطح آب زیرزمینی بر اثر برداشت های غیر مجاز در اکثر دشت های ایران، بده چاه‌ها پس از مدت زمان کوتاهی (چند سال) به میزان زیادی کاهش پیدا می‌کند و برای دست‌یابی به بده اولیه چاه، باید چاه‌های جدید حفر کرد و یا با افزایش عمق چاه های موجود مجدداً به همان بده دست یافت. مهار کردن عمق چاه‌های بهره‌برداری یکی از راهکارهای پیشنهادی وزارت نیرو در راستای تامین آب شرب و بهداشت و صنعت در دشت ها است (وصالی و همکاران، ۲۰۱۵).

از معدود مطالعات انجام شده در زمینه‌ی تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. صفری و همکاران (۲۰۰۴) جهت تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌ها جهت کف شکنی یک شبیه برنامه ریزی غیرخطی ارائه دادند. در این شبیه فرض شد که تراز آبی آبخوان، اجازه‌ی کف شکنی چاه را بین سطح آب آبخوان و سطح سنگ کف آن را فراهم می‌کند. این محققان از شبیه تهیه شده جهت محاسبه‌ی حداکثر عمق کف‌شکنی سه چاه تامین آب شرب در شهر فریمان استان خراسان استفاده کرده و در نهایت عمق و بده بهینه این چاه‌ها را پیشنهاد نمودند.

فاضلی فارسانی و همکاران (۲۰۰۸) دشت بروجن را در استان چهار محال و بختیاری جهت تعیین حداکثر عمق کف شکنی چاه‌های بهره‌برداری مطالعه کردند. در این مطالعه ابتدا دشت به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شد و در هر بخش، جمعیت و حجم آب بسنده جهت مصارف شرب و بهداشت و صنعت برای یک دوره‌ی بیست ساله محاسبه گردید. سپس با توجه به مطالعات آب‌زمین‌شناسی، عمق سنگ کف و ضریب آبدهی ویژه، حجم آب موجود در آبخوان به ازای سطوح مختلف سطح آب محاسبه شد. در نهایت، نقشه پیشنهادی جهت حداکثر عمق چاه‌های کشاورزی در بخشهای شمالی و جنوبی دشت ارائه گردید.

فرجادیان و همکاران (۲۰۰۹) عمق کف‌شکنی چاه های کشاورزی در دشت سرایان را مطالعه کردند. این محققان بیان کردند اگر عمق چاه‌های بهره‌برداری موجود هیچ افزایشی نیابد، باز هم ذخیرۀی باقی مانده در پایین‌تر از سطح چاه‌ها، پاسخگوی نیاز آبی طرح نخواهد بود، لذا، توقف کف‌شکنی چاه‌ها در حد موجود را به عنوان بهترین راهکار مدیریتی معرفی کردند. این محققان به منظور جلوگیری از بروز مشکلات اجتماعی، و به دلیل محدودیت حجم آب، پیشنهاد کردند که تنها چاه‌هائی اجازه کف شکنی داشته باشند که عمق آنها به طور محسوس از چاه‌های اطراف کمتر است.

مجرد و صبوحی (۲۰۱۰) برای تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های آب کشاورزی دشت بجنورد با هدف کاهش هزینه‌ی حفاری و استخراج آب و تامین آب لازم برای کشاورزی از مدل برنامه ریزی ریاضی غیر خطی استفاده کردند. برای تعیین عمق بهینه‌ی حفر چاه‌ها فرض شد که کشاورزان برای دستیابی به بده اولیه، در شرایطی که تراز آبی آبخوان، اجازه‌ی حفاری دوباره‌ی چاه و برداشت اب از آن را بدهد، به حفاری دوباره (کف شکنی) چاه‌های موجود می پردازند. نتایج این تحقیق نشان داد که برداشت آب از چاه با کف شکنی چاه‌های موجود تا عمق ۲۰۵ متری مقرون به صرفه خواهد بود. با حفاری چاه تا عمق ۲۰۵ متری بده چاه و ارتفاع تلمبه چاه به ترتیب ۲۹ لیتر برثانیه و ۲۲۸ متر تعیین شد.

وصالی و همکاران (۲۰۱۵) عمق بهینه‌ی کف شکنی را در چاه‌های کشاورزی دشت بوشکان در استان بوشهر مطالعه کردند. ابتدا جمعیت ومصرف سرانه متناسب با جمعیت در یک دوره ۲۲ ساله محاسبه شد، با توجه به مطالعات آب‌زمین شناسی، عمق سنگ کف و ضریب آبدهی ویژه آبخوان، حجم آب قابل استفاده در مصرف شرب و بهداشت و صنعت موجود در مساحتی از دشت که از نظر کیفیت آب مشکلی ندارد، به ازای سطوح آب مختلف به عنوان سطح بالایی براورد گردید، و در نهایت با مقایسه

حجم‌های براورد گردیده با حجم‌های محاسبه شده، بر اساس مصرف سرانه و جمعیت، و همچنین عمق چاههای بهره برداری موجود، حداکثر عمق ممکن برای چاه‌های بهره‌برداری با مصرف کشاورزی در مناطق مختلف دشت محاسبه گردید.

هدف این تحقیق نیز تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت کاشان است به طوری که آب باقی مانده در آبخوان پاسخگوی نیاز شرب و صنعت و بهداشت در یک افق پانزده ساله باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

محدوده‌ی مطالعاتی کاشان با مساحت ۷۰۶۸ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ″۵۴ ˚۵۰ و ″۶ ˚۵۲ و عرض‌های جغرافیایی ″۳۷ ˚۳۳ و ″۳۱ ˚۳۴ قرار گرفته است. متوسط دما و بارندگی در دشت کاشان به ترتیب برابر با ۱۹ درجه‌ی سانتی‌گراد و۱۵۰ میلی‌متر است. منطقه‌ی مطالعه شده در اقلیم خشک سرد قرار می‌گیرد (مهندسین مشاور زومار، ۲۰۱۰). مهمترین منبع آب سطحی اثر گذار بر منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعه شده دریاچه‌ی نمک (قم) در شمال شرقی محدوده‌ی بررسی است. در منطقه‌ی مطالعه شده تعداد ۱۹۵۸ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق وجود دارند (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۲۰۰۶) که اکثر آن‌ها در قسمت‌های مرکزی دشت قرار دارند (شکل ۱).

نقشه‌ی زمین شناسی محدوده‌ی کاشان در شکل ۲ ارائه شده است. مهمترین واحدهای واحدهای آذرین و دگرگونی این محدوده شامل توف و پلمه سنگ‌های سازند کرج و سنگ‌هایی از قبیل گرانیت، ریولیت، دیوریت، آندزیت، توف و گدازه‌های آتشفشانی هستند. واحدهای رسوبی منطقه‌ی مطالعه شده نیز از کوارتزیت، دلومیت و گچ مربوط به سازند پادها، پلمه سنگ و ماسه سنگ سازند شمشک، آهک رسی، جوش‌سنگ و ماسه سنگ سازند قرمز بالایی، دلومیت‌های سازند شتری، آهک‌های سازند تیزکوه و بهرام، آهک، پلمه‌سنگ و آهک‌های رسی سازند قم و سنگ‌های نظیر گچ، آهک نومولیتی، جوش سنگ و ماسه سنگ‌های قرمز تشکیل شده‌اند.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌های اکتشافی انجام گردیده، مهمترین آبخوان موجود در محدوده‌ی مطالعه یک آبخوان آزاد است. آبخوان دشت کاشان در نواحی دامنه ارتفاعات جنوب و جنوب غربی دشت از ته نشست‌های آبرفتی دانه‌درشت تشکیل شده است. میزان ته نشست‌های دانه ریز رسی به سمت مناطق شرقی و شمال شرقی افزایش یافته و در مجاورت شوره زار دریاچه‌ی نمک به حداکثر مقدار خود می‌رسد (مهندسین مشاور سبزاندیش پایش، ۲۰۰۶). با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های آبکشی در دشت کاشان متوسط ضریب ذخیره‌ی آبخوان ۰/۰۳۷ گزارش شده است (مهندسین مشاور زومار، ۲۰۱۰). جهت غالب جریان آب زیرزمینی از سمت جنوب وجنوب غرب به طرف شوره‌زار دریاچه‌ی نمک است. در منطقه‌ی مطالعه شده عمق آب زیرزمینی در دامنه‌های ارتفاعات زیاد است و هر چه از ارتفاعات به سمت دشت حرکت کنیم، عمق سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد، به طوری‌که کمترین عمق سطح آب زیرزمینی در بخش شمال شرقی دشت و در مجاورت شوره زار دریاچه نمک مشاهده می‌شود. در این مناطق عمق سطح آب به کمتر از پنج متر هم می‌رسد. از آبخوان دشت کاشان در حال حاضر سالانه حدود ۴۰ میلیون متر مکعب بیش از توان تجدید پذیر آبخوان برداشت می‌شود که منجر به افت سطح ایستابی سالانه در حدود ۴۹ سانتیمتر می‌گردد. این افت شدید سطح ایستابی نیز باعث بروز مسائلی از قبیل شوری آب‌زیرزمینی و فرونشست زمین شده است (مهندسین مشاور سبزاندیش پایش، ۲۰۰۶).

روش تحقیق

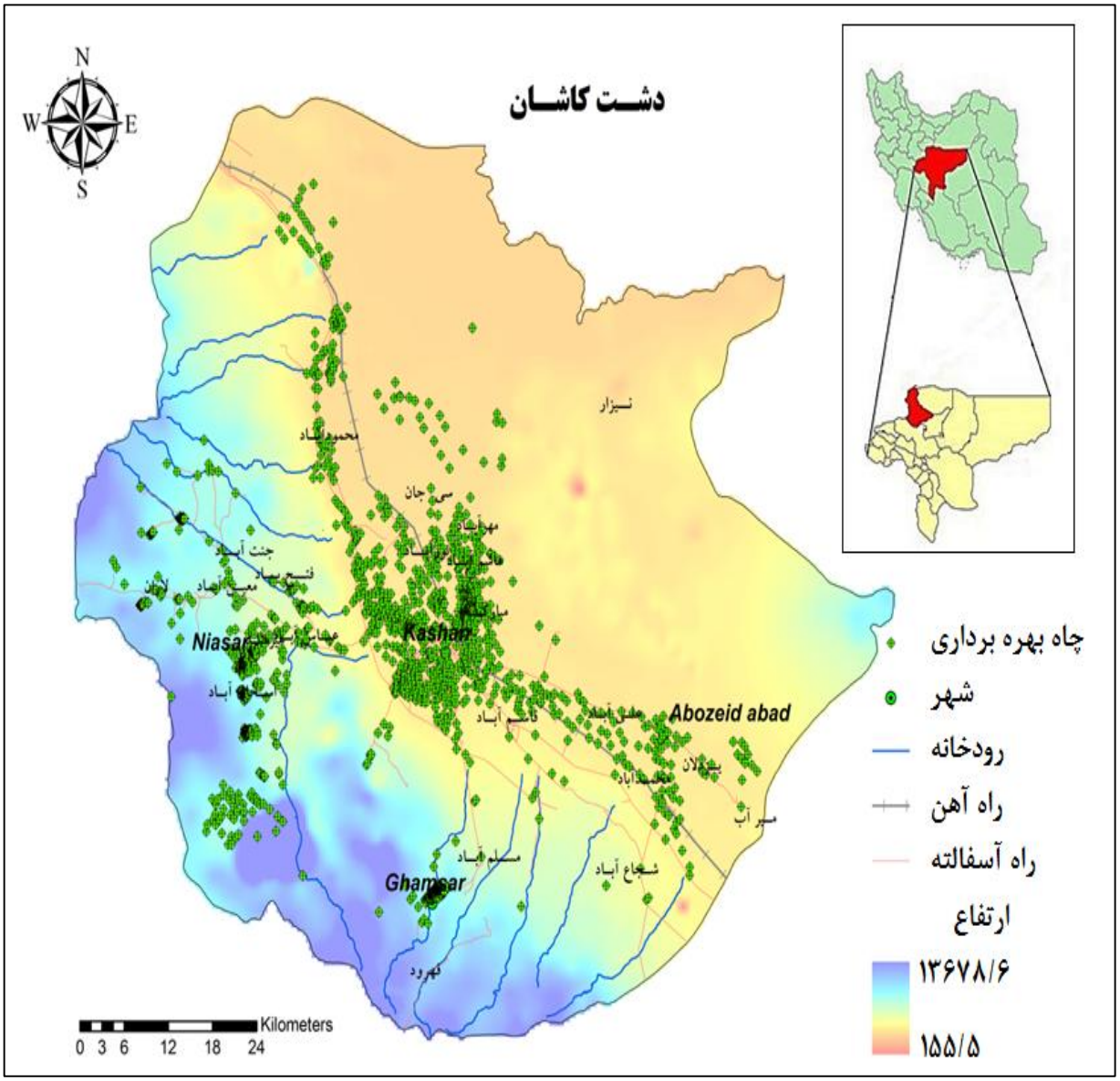
هدف اصلی این تحقیق، تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های کشاورزی به گونه‌ای است که آب موجود در آبخوان، نیاز شرب و صنعت را در سال ۱۴۰۵ براورده سازد. بر این اساس مطالعه‌ی حاضر در سه مرحله‌ی اصلی انجام شده است. در مرحله‌ی اول جمعیت شهرها و روستاهای دشت کاشان با استفاده از آمار موجود برای یک دورهٔ پانزده ساله براورد شد (مرکز آمار ایران، ۲۰۰۶). سپس مصرف سرانه متناسب با جمعیت در سال‌های مختلف محاسبه، و در نهایت حجم آب لازم برای شرب و صنعت تعیین گردید. در مرحله‌ی دوم بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌فیزیک و آمار و اطلاعات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان، حجم

آب موجود در آبخوان در سال‌های مختلف محاسبه شد. همچنین، بر اساس مطالعات کیفی، مساحتی از دشت که منابع آب زیرزمینی موجود در آن قابلیت استفاده جهت شرب و صنعت و بهداشت در دوره‌ی زمانی پانزده سال آینده را دارند، مشخص گردید. در مرحله‌ی سوم باتوجه به گزینه‌های مختلف افزایش افت سطح آب زیرزمینی و تغییر کیفیت آب در سال‌های آینده، عمق بهینه‌ی چاه‌های کشاورزی مشخص شد.

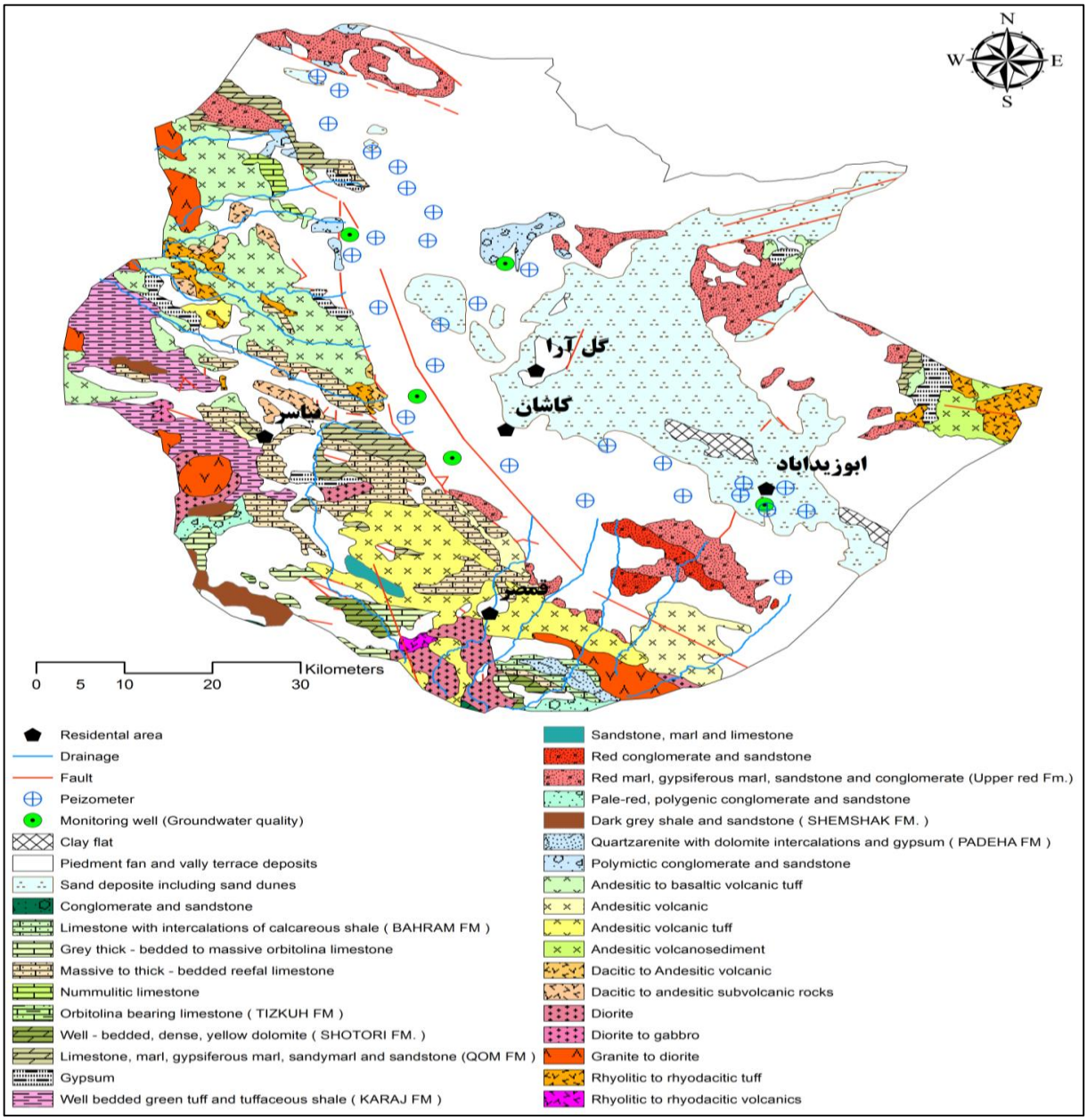
نتایج و بحث

براورد میزان نیاز آبی

با توجه به جمعیت شهرها و روستاهای محدوده‌ی مطالعاتی کاشان، جمعیت این منطقه در سال‌های آینده پیش‌بینی شده و میزان حجم آب لازم برای شرب و صنعت در سال‌های مختلف براورد شده است. جدول ۱ نتایج این محاسبات را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. میزان آب لازم برای شرب و صنعت در سال‌های مختلف تا افق طرح (سال۱۴۰۵) محاسبه شده است. با توجه به این‌که متوسط ضریب ذخیره آبخوان برابر با ۳/۷ درصد در نظر گرفته شده است، میزان حجم مورد نیاز آبخوان جهت تامین آب شرب و صنعت در سال‌های آینده نیز محاسبه شده است (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری در محدوده‌ی مطالعاتی کاشان.



شکل۲- نقشه زمین شناسی محدوده‌ی کاشان همراه با موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های معرف کیفی.

جدول ۱- جمعیت و حجم آب لازم برای دشت کاشان تا سال ۱۴۰۵ (مرکز آمار ایران، ۲۰۰۶).

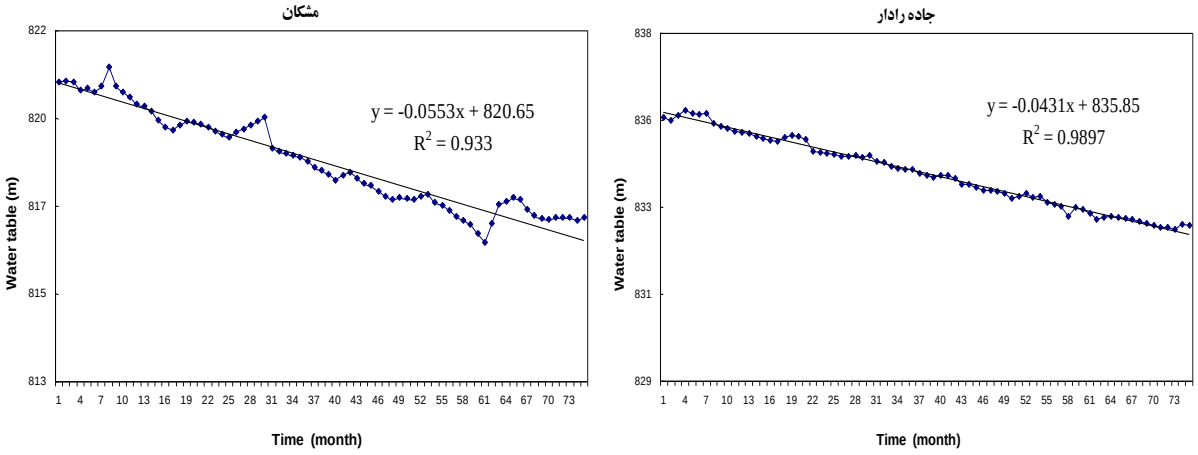
	واحد	سال			
		۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵
جمعیت	نفر	۳۸۳۰۸۴	۴۱۹۹۱۳	۴۶۰۳۴۹	۵۰۴۷۶۱
حجم آب لازم برای آب شرب	هزار متر مکعب	۵۲۵۱۵	۵۴۴۴۶	۵۸۰۴۰	۶۱۰۷۶
حجم آب لازم برای صنعت	میلیون متر	۵/۴	۶/۶	۸/۸	۱۰
جمع کل نیاز آب شرب و	میلیون متر	۵۸	۶۱	۶۷	۷۱
حجم لازم برای آبخوان	میلیون متر	۱۵۶۷/۶	۱۶۴۸/۶	۱۸۱۰/۸	۱۹۱۸/۹

بررسی میزان نوسان‌های سطح آب زیرزمینی و حجم آب موجود در آبخوان

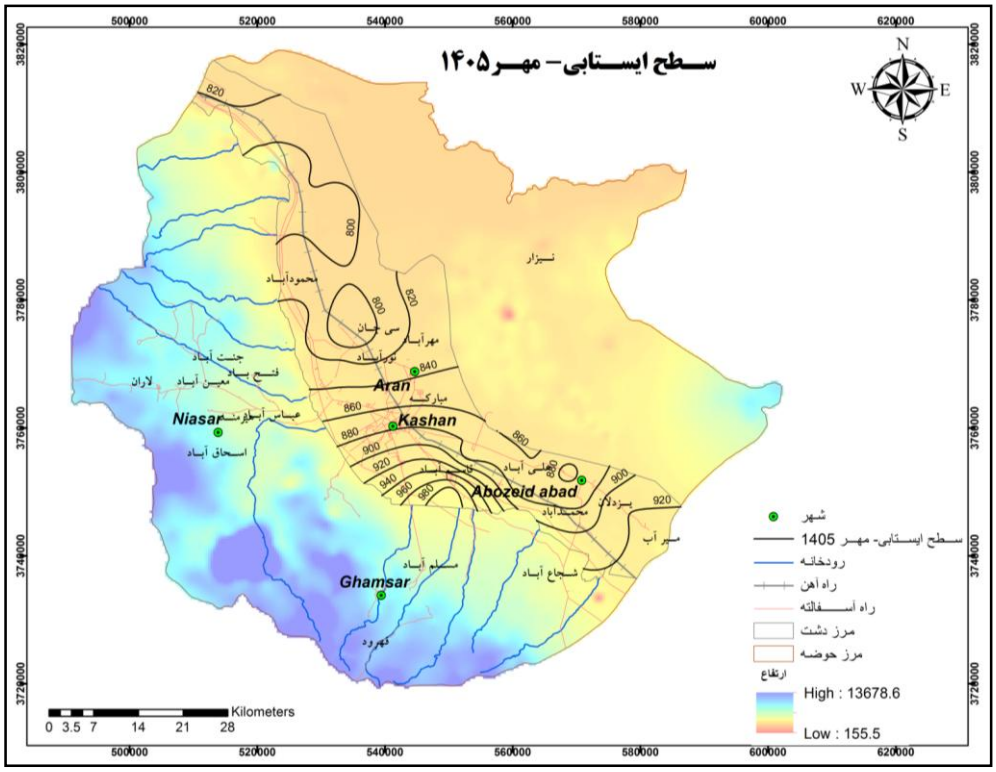
جهت بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی در سال-های آینده از آمار بلندمدت (۷۶ ماهه) سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای موجود استفاده شده است، که ۶۲ حلقه آنها در دشت کاشان وجود دارند. ۲۶ حلقه از این چاه‌های مشاهده‌ای دارای آمار تقریباً کاملی هستند. موقعیت این چاه‌های مشاهده‌ای در شکل ۲ ارائه شده است. معادله‌ی ریاضی تغییر سطح آب زیرزمینی با گذشت زمان برای چاه‌های مشاهده‌ای منتخب در جدول۲ آورده شده است. در این معادلات، Y نشان‌دهنده‌ی تراز سطح آب بر حسب متر و x شماره‌ی ماه مطلوب از ابتدای دوره‌ی آماری است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، سطح آب زیرزمینی در دشت کاشان دارای روندی نزولی با گذشت زمان است. این روند نزولی نیز به صورت خطی است (شکل ۳). ضرایب همبستگی موجود در جدول ۲ نیز موید این موضوع است. از این معادلات جهت پیش بینی نوسان‌های تراز سطح آبخوان برای سال‌های آینده، و در نهایت برای افق طرح (سال ۱۴۰۵) استفاده شده است. نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی سال ۱۴۰۵ براساس همین معادلات پیش‌بینی و ترسیم شده است (شکل ۴). جهت پیش بینی حجم آب موجود در آبخوان دشت کاشان در سال‌های آینده از نقشه‌های سطح آب زیرزمینی در سال-های آینده، و نقشه‌ی سنگ کف آبخوان (شکل ۵) استفاده شده است. لازم به ذکراست این محاسبات بر اساس ادامه‌ی روند کنونی بهره‌برداری از آبخوان انجام شده است. جدول ۳ حجم آبخوان و حجم آب موجود در آن را در سال های آینده با توجه به ضریب ذخیره ۳/۷ درصدی آبخوان نشان می‌دهد.

جدول ۲- معادلات تغییر سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت کاشان با گذشت زمان.

نام چاه مشاهده‌ای	معادله	ضریب همبستگی (R^2)
شرق آبشیرین	Y =-0.0262x +	۰/۹۱
آبشیرین	Y =-0.0195x +	۰/۹۰
امین آباد	Y =-0.0167x +	۰/۸۶
یحیی آباد	Y =-0.0262x +	۰/۹۲
فیروزآباد	Y =-0.0222x +	۰/۸۲
دهنار	Y =-0.02x + 809.89	۰/۸۹
عابدین آباد	Y =-0.0166x +	۰/۷۸
اکبرآبادخرابه	Y =-0.0437x +	۰/۹۴
جاده رادار	Y =-0.0431x +	۰/۹۹
مشکان	Y =-0.0553x +	۰/۹۳
امین آباد-	Y =-0.0325x +	۰/۸۳
شجاع آباد	Y =-0.0733x +	۰/۹۶
شمال نصرآباد	Y =-0.0873x +	۰/۹۲
کیلومتر۴۵ جاده کاشان	Y =-0.0902x +	۰/۹۲
طاهرآباد	Y =-0.0969x +	۰/۹۴
ک ۲۷ ابوزیدآباد	Y =-0.0728x +	۰/۹۴
روبروی ایستگاه گز	Y =-0.0978x +	۰/۸۷
اراضی کاغذی	Y =-0.1878x +	۰/۸۷
غرب ابوزیدآباد	Y =-0.1062x +	۰/۹۵
کیلومتر۱۰ ابوزیدآباد	Y =-0.0544x +	۰/۹۴
شرق محمدآباد	Y =-0.1141x +	۰/۹۶
یزدلان	Y =-0.0549x +	۰/۹۶
ایستگاه امین آباد	Y =-0.114x + 903.05	۰/۹۲
اکتشافی جعفرآباد	Y =-0.0765x +	۰/۹۱
میرزاخانی	Y =-0.0756x +	۰/۸۸
غرب فرودگاه - جعفرآباد	Y =-0.0303x + 1001.3	۰/۶۹



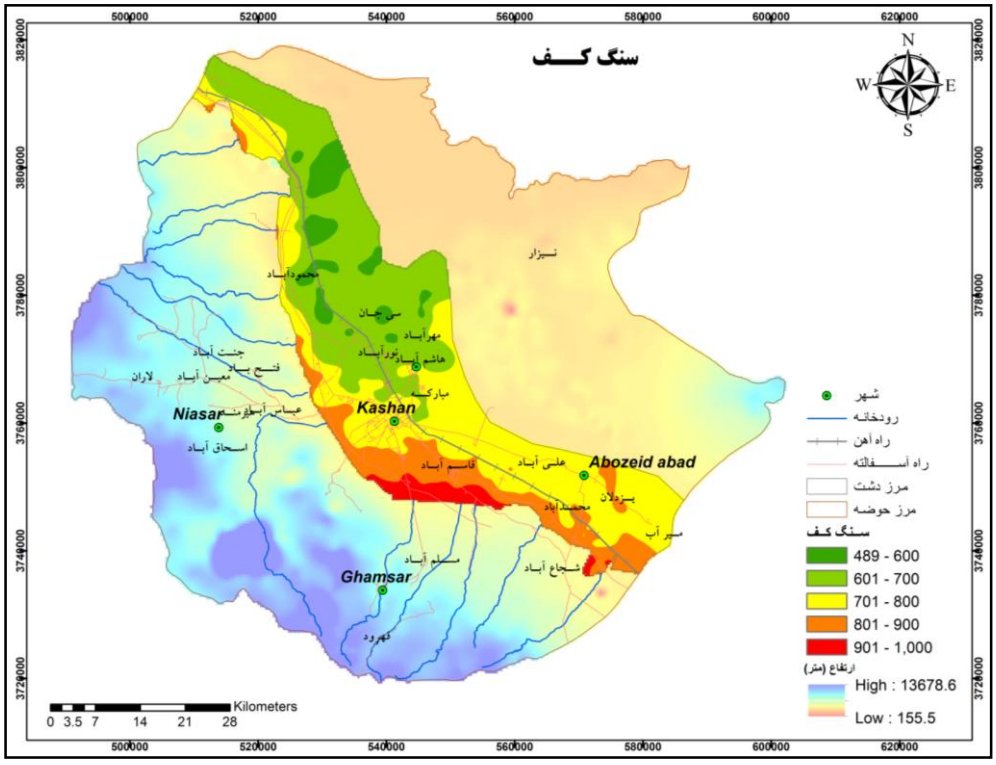
شکل۳- دو نمونه از آبنمود چاه‌های مشاهده‌ای محدوده‌ی کاشان.



شکل ۴- نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی دشت کاشان در افق طرح (سال ۱۴۰۵).

جدول ۳- پیش بینی حجم آبخوان و حجم آب موجود در آن در سال‌های مختلف.

سال	حجم آبخوان	حجم آب موجود
	(میلیون متر مکعب)	
۱۳۹۰	۲۱۳۶۵۵/۴	۷۹۰۵/۲
۱۳۹۵	۲۰۸۰۵۰/۷	۷۶۹۷/۹
۱۴۰۰	۲۰۲۴۴۶/۱	۷۴۹۰/۵
۱۴۰۵	۱۹۶۸۴۱/۵	۷۲۳۸/۱



شکل ۵- نقشه‌ی تراز سنگ کف آبخوان محدوده‌ی دشت کاشان.

میزان افت سطح آب

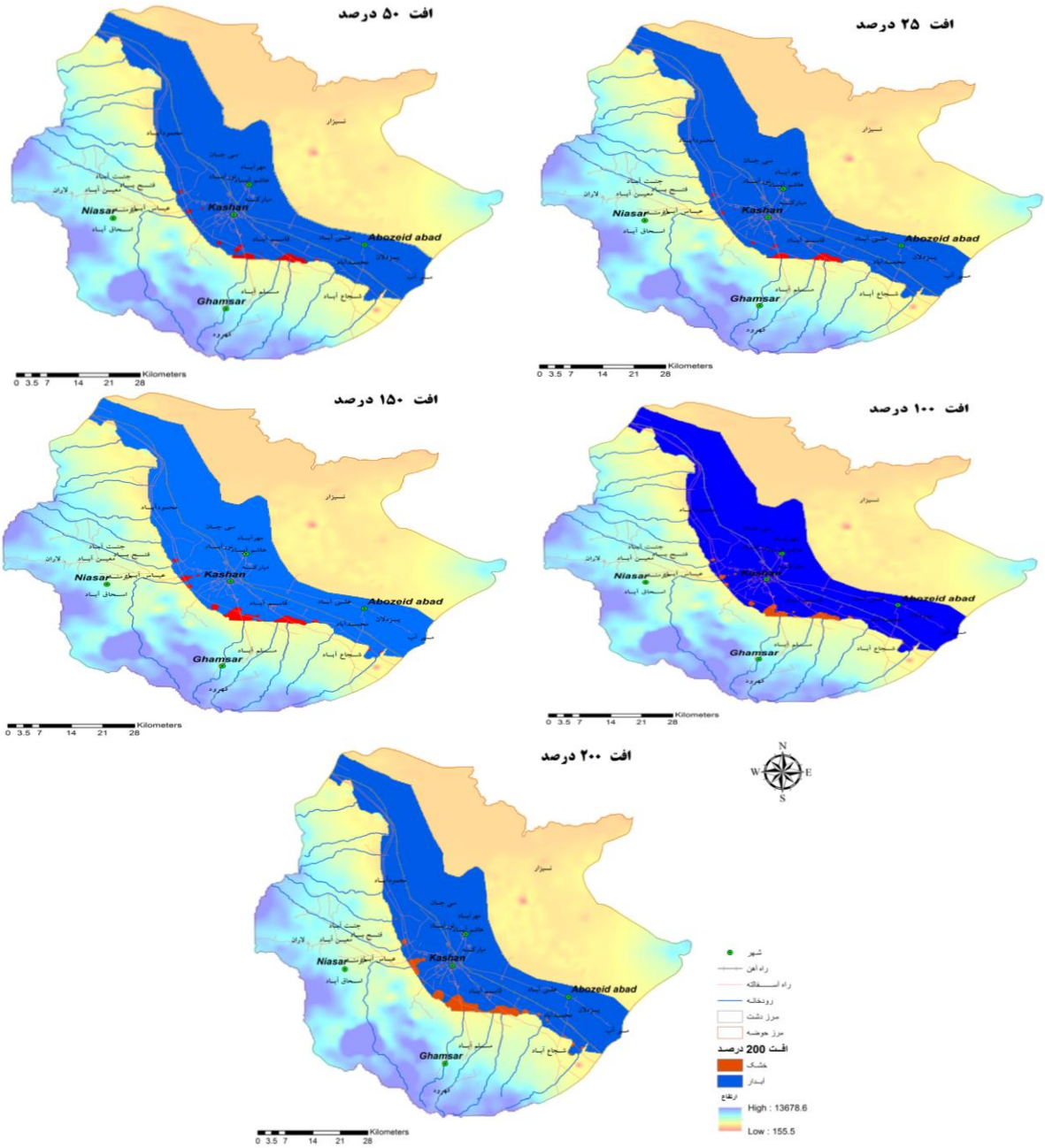
افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری منجر به افزایش افت سطح آب زیرزمینی خواهد شد. با توجه به محاسبات انجام شده در بخش‌های قبلی (جداول ۱ و ۳)، با ادامه‌ی روند کنونی، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، امکان ذخیره آب در آبخوان دشت کاشان به اندازه تامین آب شرب و صنعت در افق طرح (سال ۱۴۰۵) وجود دارد. در این بخش میزان آب موجود در آبخوان تحت نمایشنامه‌های مختلف افزایش افت سطح آب زیرزمینی، و در نتیجه، افزایش عمق چاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نمایشنامه‌ها عبارتند از:

- ۲۵ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۰/۲۵ d)
- ۵۰ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۰/۵ d)
- ۷۵ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۰/۷۵ d)
- ۱۰۰ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۱d)
- ۱۵۰ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۱/۵d)
- ۲۰۰ درصد افزایش نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ (۱۴۰۵ + ۲d)

منظور از افت بهنجار، افت ایجاد شده با ادامه روند کنونی بهره‌برداری از آبخوان است (d). با توجه به این نمایشنامه‌ها، میزان افت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف آبخوان دشت کاشان محاسبه و حجم آب موجود در آبخوان براورد گردید. نتایج این محاسبات در جدول ۴ ارائه شده‌اند. با توجه به این جدول، حتی اگر افت ایجاد شده دو برابر روند بهنجار آن در سال ۱۴۰۵ باشد، باز هم آب موجود در آبخوان پاسخگوی نیاز آب شرب و صنعت است. البته باید در نظر داشت که با افزایش افت تحت این نمایشنامه‌ها، بخش‌هایی از آبخوان خشک خواهند شد (شکل ۶). کمترین میزان خشک‌شدگی آبخوان تحت نمایشنامه‌ی افزایش ۲۵ درصدی افت نسبت به افت بهنجار ۱۴۰۵ رخ خواهد داد، بنابراین، از دیدگاه مطالعات کمی می‌توان نمایشنامه‌ی افزایش ۲۵ درصدی افت را نسبت به افت بهنجار ۱۴۰۵ به عنوان بهترین گزینه‌ی مدیریتی برای آبخوان در نظر گرفت.

جدول۴- تغییرات حجم آبخوان و حجم آب موجود در آن تحت نمایشنامه‌های مختلف افزایش افت سطح آب.

نمایشنامه‌ی افزایش افت	حجم آبخوان	حجم آب موجود
	(میلیون متر مکعب)	
۱۴۰۵	۱۹۷۰۰۰	۷۰۶۸
۱۴۰۵ + ۰/۲۵d	۱۹۱۰۰۰	۶۸۵۳
۱۴۰۵ + ۰/۵d	۱۸۲۵۰۰	۶۶۳۸
۱۴۰۵ + ۰/۷۵d	۱۷۹۴۰۰	۶۴۲۳
۱۴۰۵ + ۱d	۱۷۳۶۰۰	۵۹۹۲
۱۴۰۵ + ۱/۵d	۱۶۲۰۰۰	۵۵۶۲
۱۴۰۵ + ۲d	۱۵۰۳۰۰	۴۷۰۱



شکل۶- وضعیت آبخوان دشت کاشان تحت نمایشنامه‌های مختلف افزایش افت سطح آب زیرزمینی.

تغییرات هدایت الکتریکی با گذشت زمان

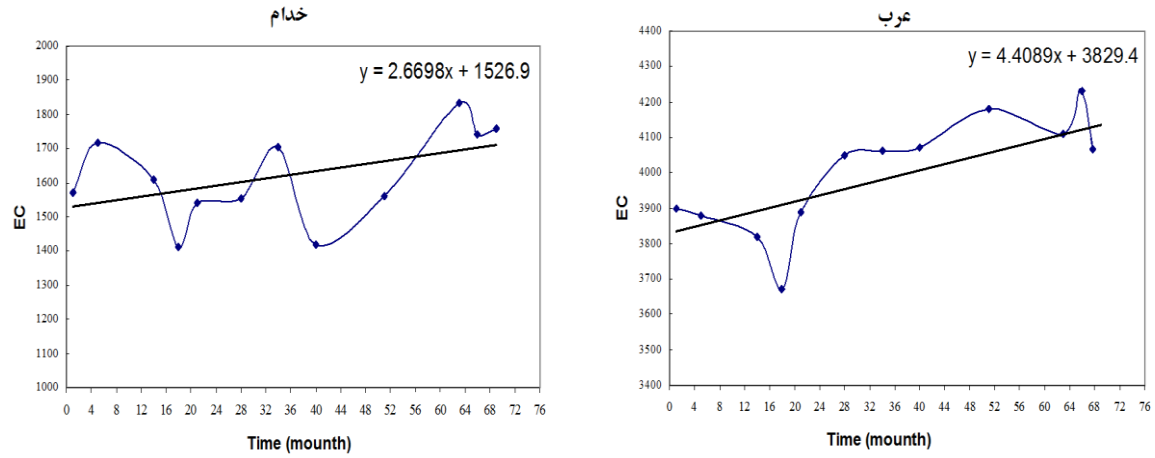
یکی از عوامل محدود کننده‌ی تامین آب در دشت کاشان وضعیت کیفی آبخوان، و وجود منابع آلاینده است. دریاچه‌ی نمک در شمال‌شرقی دشت کاشان، نواحی کویری و شوره زارهای شرق دشت، و وجود گنبد نمکی در شمال دشت کاشان مهمترین عوامل مخرب و شورکننده‌ی آب-زیرزمینی هستند (مهندسین مشاور زمین الکتریک کویر، ۲۰۱۰). از آنجا که افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری موجب افزایش شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی، و در نتیجه افزایش ورود آب‌های شور به آبخوان می‌شود، بنابراین هدایت الکتریکی (شوری) یک عامل محدود کننده جهت افزایش عمق چاه‌ها، به خصوص در نواحی مرکزی و شرقی دشت به شمار می‌رود.

جهت بررسی میزان تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در سال‌های آینده، معادله‌ی ریاضی تغییر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با گذشت زمان برای برخی از چاه-های معرف کیفی دشت کاشان، که از آمار نسبتاً کاملی برخودار بودند، به دست آمد (شکل ۷) و از این معادلات جهت پیش‌بینی تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی برای سال‌های آینده استفاده شد. با استفاده از این معادلات، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در سال‌های آینده، و در افق طرح پیش‌بینی شده است. نقشه‌ی هدایت الکتریکی آبخوان مطالعه شده در افق طرح (سال۱۴۰۵) در شکل ۸ ارائه شده است. حداکثر هدایت الکتریکی مجاز در افق طرح برابر با ۲۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در نظر گرفته شده است، بنابراین، تنها آب موجود در حاشیه‌ی غربی آبخوان دشت کاشان جهت مصارف شرب و صنعت در افق طرح قابل استفاده بوده و سایر بخش‌های آبخوان کیفیت مناسبی را ندارند. در بخش غربی منطقه مطالعه شده نیز تنها بخشی از آبخوان، که دارای هدایت الکتریکی کمتر یا مساوی با ۲۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر مربع است، تامین کننده‌ی آب لازم برای شرب و صنعت خواهد بود، بنابراین، افزایش عمق و کف شکنی چاه‌های بهره‌برداری در کل دشت باید به نحوی انجام گیرد که مقدار آب باقی‌مانده در بخش غربی آبخوان جوابگوی نیاز آبی شرب و صنعت در افق طرح باشد. بدین منظور حجم آبخوان در بخش غربی دشت کاشان، و حجم آب موجود در آن تحت تاثیر نمایشنامه‌های مختلف افزایش افت نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ محاسبه گردید (جدول ۵). با توجه به محاسبات انجام شده، آب موجود در این بخش از آبخوان فقط تا نمایشنامه‌ی ۵۰ درصد افزایش افت نسبت به افت بهنجار افق طرح توانایی تامین نیاز آب شرب و صنعت را خواهد داشت. البته باید توجه داشت که همه‌ی این آب از لحاظ عملی و توجیه اقتصادی قابل استخراج نخواهد بود، چه، در صورت استخراج این آب، در سال‌های بعد از افق طرح دیگر آب مناسبی برای شرب در منطقه وجود نخواهد داشت، بنابراین، از دیدگاه مطالعات کیفی نیز نمایشنامه‌ی افت ۲۵ درصد نسبت به افت بهنجار ۱۴۰۵ یک گزینه‌ی مناسب جهت افزایش عمق چاه‌ها به نظر می‌رسد.

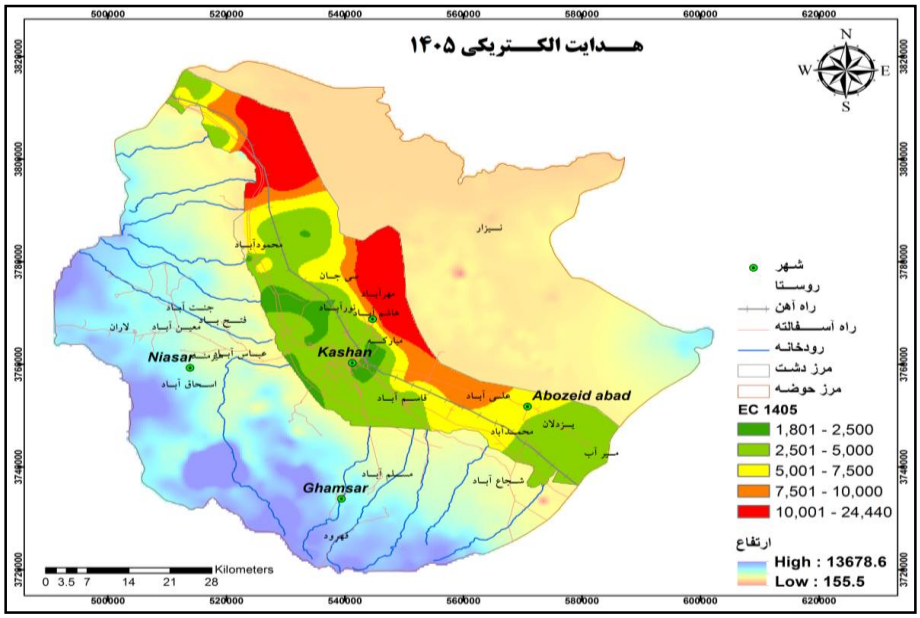
تعیین عمق بهینه‌ی چاه‌های بهره‌برداری

با توجه به مطالعات کمی صورت گرفته در بخش‌های قبلی این تحقیق، نمایشنامه‌ی افزایش افت ۲۵ درصدی نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ به عنوان یک گزینه‌ی بهینه برای مدیریت افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری دشت کاشان در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعات کیفی انجام شده نیز در افق طرح (سال ۱۴۰۵)، تنها بخشی از حاشیه‌ی غربی آبخوان دشت کاشان جهت مصارف شرب و صنعت قابل استفاده بوده و سایر بخش‌های آبخوان کیفیت مناسبی را برای تامین آب شرب و صنعت ندارند. وضعیت کیفی آبخوان نیز اجازه‌ی افتی بیش از ۲۵ درصد را نسبت به افت بهنجار سال ۱۴۰۵ نمی‌دهد. بر این اساس، نقشه‌ی هم عمق سطح آب زیرزمینی با افت ۲۵ درصدی نسبت به افت بهنجار آبخوان در افق طرح به عنوان نقشه‌ی بهینه‌ی عمق چاه‌ها در محدوده دشت کاشان پیشنهاد می‌گردد. این نقشه در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، عمق بهینه‌ی چاه‌ها در دشت کاشان بین ۲۶ تا ۱۰۵ متر در بخش‌های مختلف دشت کاشان متغیر است. نکته‌ی قابل توجه این است که عمق چاه‌های بهره-برداری در حاشیه‌ی ارتفاعات زیاد و در مناطق مجاور شوره‌زار نمک در بخش شرقی دشت کمتر از سایر مناطق دشت پیشنهاد شده، که دلیل آن افزایش خطر هجوم شورابه‌ها در این مناطق است. نقشه‌ی گروه‌بندی چاه‌های دشت کاشان بر اساس میزان عمق آن‌ها در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در حال حاضر، عمق چاه‌های بهره‌برداری دشت کاشان در اغلب مناطق بیش از مقادیر پیشنهادی در شکل ۹ است؛ بنابراین جهت حفظ آبخوان و تامین نیاز آبی منطقه در افق

طرح (سال ۱۴۰۵) افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری پیشنهاد نمی‌شود.



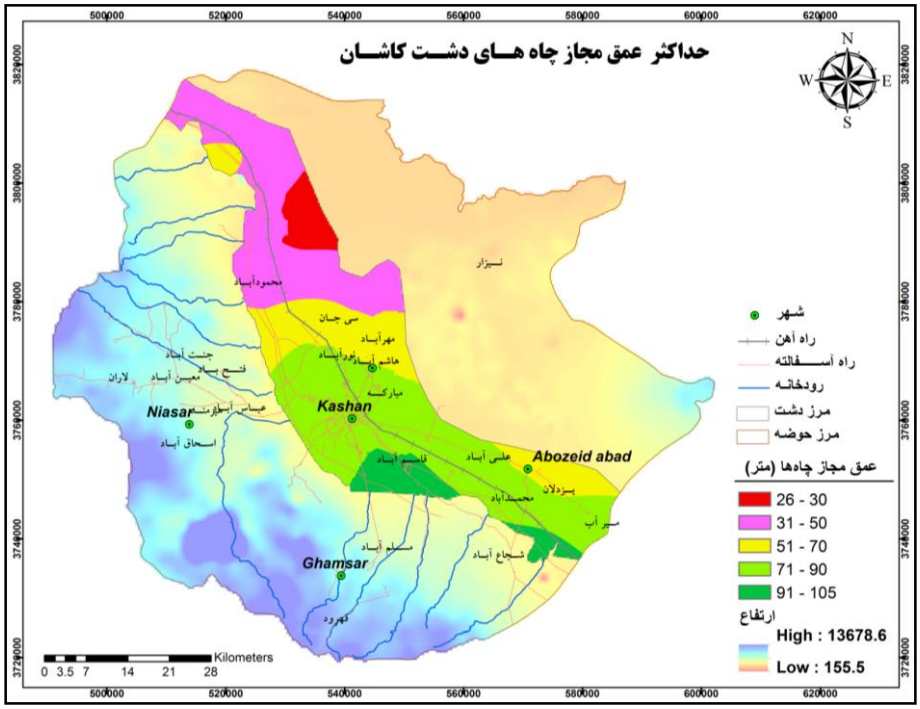
شکل۷- نمودار تغییرات هدایت الکتریکی دو نمونه از چاه های معرف کیفی محدوده‌ی کاشان.



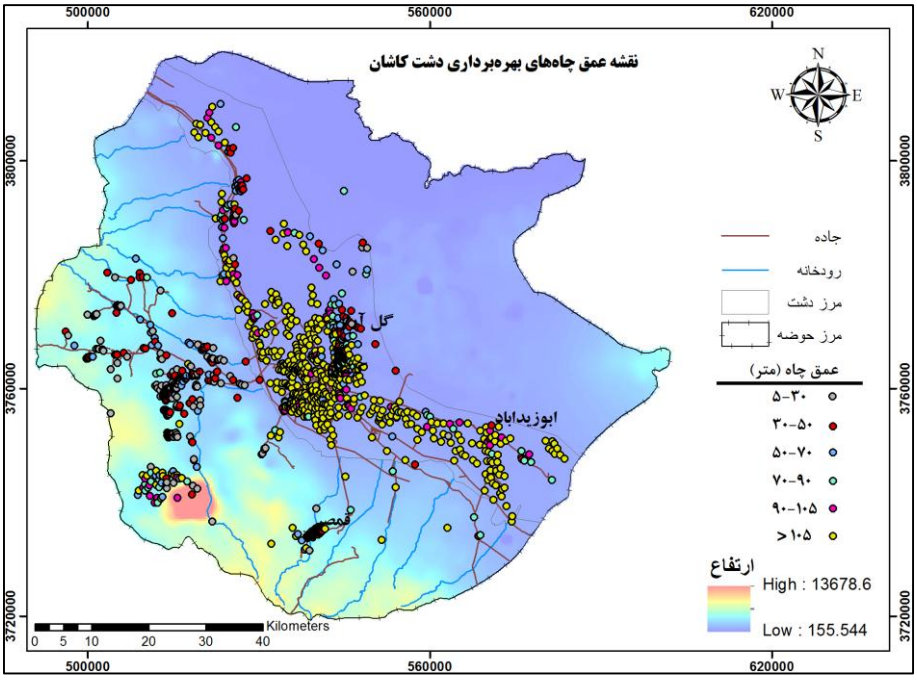
شکل ۸- نقشه‌ی هدایت الکتریکی پیش بینی شده‌ی مهرماه سال ۱۴۰۵ دشت کاشان.

جدول ۵- حجم آبخوان در بخش غربی دشت کاشان و حجم آب آن تحت نمایشنامه‌های مختلف افت سطح آب زیرزمینی.

نمایشنامه‌ی افزایش افت	حجم آبخوان در بخش غربی	حجم آب موجود
	(میلیون متر مکعب)	
۱۴۰۵	۲۲۹۷/۴	۸۵/۰
۱۴۰۵ + ۰/۲۵d	۲۲۰۵/۹	۸۱/۶
۱۴۰۵ + ۰/۵d	۲۱۱۴/۴	۷۸/۲
۱۴۰۵ + ۰/۷۵d	۲۰۲۲/۸	۷۴/۸
۱۴۰۵ + ۱d	۱۹۳۱/۳	۷۱/۵
۱۴۰۵ + ۱/۵d	۱۷۴۸/۳	۶۴/۷
۱۴۰۵ + ۲d	۱۵۶۵/۲	۵۷/۹



شکل۹- نقشه‌ی عمق مجاز چاه‌های دشت کاشان.



شکل ۱۰- عمق چاه‌های محدوده‌ی کاشان در آماربرداری سال ۱۳۸۵.

نتیجه گیری

این تحقیق به منظور تعیین عمق بهینه چاه‌های بهره‌برداری دشت کاشان به منظور تامین نیازهای آبی شرب و صنعت در سال ۱۴۰۵ انجام شد. در ابتدا جمعیت منطقه‌ی مطالعه شده برای سال‌های مختلف محاسبه و حجم آب بسنده مشخص شد. با توجه به خصوصیات زمین شناسی آبخوان، و داده‌هایی مانند تراز سطح آب زیرزمینی، ارتفاع سنگ کف، ضرایب آب‌پویایی آبخوان و داده‌های کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، کمیت و کیفیت آب موجود در آبخوان بررسی گردید و کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در سال‌های آینده نیز پیش‌بینی شد. نمایشنامه-های مختلفی نیز برای افزایش افت سطح آب زیرزمینی نسبت به روند بهنجار آن در نظر گرفته شد. با توجه بر

نتایج به دست آمده در این تحقیق، بر اثر افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری و افت سطح آب زیرزمینی، بخش‌های از آبخوان خشک خواهند شد. کمترین میزان خشکیدگی آبخوان در نمایشنامه‌ی افزایش افت به میزان ۲۵ درصد بیشتر از روند بهنجار افت رخ می‌دهد. از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی نیز تنها بخشی از حاشیه‌ی غربی آبخوان در افق طرح دارای کیفیت مناسبی برای شرب و صنعت است. آب موجود در این بخش نیز حداکثر تا افتی معادل با ۲۵ درصد بیشتر از افت بهنجار آبخوان، توانایی تامین آب شرب و صنعت را خواهد داشت، بنابراین، نمایشنامه‌ی افزایش افت ۲۵ درصدی نسبت به افت بهنجار افق طرح به عنوان مناسب‌ترین راهبرد مدیریتی جهت افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری در دشت کاشان معرفی می‌شود. بر همین اساس، نقشه‌ی هم عمق سطح آب زیرزمینی با افت ۲۵ درصدی نسبت به افت بهنجار آبخوان در افق طرح به عنوان نقشه‌ی بهینه عمق چاه‌ها در محدوده‌ی دشت کاشان در نظر گرفته شده است. اما با توجه به اینکه عمق اغلب چاه-های بهره‌برداری در دشت کاشان بیش از مقدار پیشنهاد شده در این تحقیق است، بنابراین، افزایش عمق و کف شکنی چاه‌های موجود به هیچ وجه پیشنهاد نمی‌شود. بدیهی است که صدور مجوزهای کف‌شکنی و افزایش عمق چاه‌ها به صورت موقت باعث افزایش آبدهی آن‌ها می گردد، ولی با توجه به روند نزولی سطح آب زیرزمینی، اثر کف-شکنی پس از چند سال از بین خواهد رفت و مجدداً نیاز است که عمق چاه‌ها برای تامین آب لازم افزایش یابد. این موضوع سبب کاهش شدید حجم آب زیرزمینی، تخریب کیفی آب و تهاجم بیشتر آب شور به سمت آبخوان خواهد شد.

منابع

1) Esfahan regional water authority. 2006. Report of water wells inventory in Kashan plain. 256 p. (In Persian).

2) Farjadian, Sh., Naseri, H. and Molazem, B. 2009. Developing an applied strategy to determine the maximum depth of agricultural wells. The 27'th seminar of Iranian Earth Science. 24-29 (In Persian).

3) Fazeli Farsani, A., Naseri, H., Karimi Vardanjan, H. and Mohammadi, Z. 2008. Detrmination of maximum depth of agricultural wells (Case study, Broojen plain). The 12'th conference of geological society of Iran.345-358 (In Persian).

4) Iran national center of statistics. 2006. Prediction of urban population of Iran. 428 p. (In Persian).

5) Mojarad, E., Sabohi, M. 2010. Identification of optimal economic depth of agricultural wells, Case study: Bojnourd plain. Agricultural Economic Research. 2(1): 93-104 (In Persian).

6) Sabz Andish Payesh consulting engineers (SAP). 2006. Saltwater intrusion in Kashan aquifer. 250 p. (In Persian).

7) Safari, H.R., Navaeenia, B., Sharifi, M.B. 2004. Determination of optimal depth for well extension using nonlinear programming model. Water and Sewage. 15(3): 35-41. (In Persian).

8) Vesali, Z., Farjadian, Sh., Ghalmbor, A. and Mozaffarizade, J. 2015. Determination of the maximum depth of agricultural wells for optimal water resources management (Case study, Booshkan Plain). First national conference of agricultural and soil engineering. 42-48 (In Persian).

9) Zaminelectric Kavir consulting engineers. 2010. Final report of geoelectric study in Kashan plain. 124 p. (In Persian).

10) Zektser, I.S. and Everette, L.G. 2004. Groundwater resources of the world and their use. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 249 p.

11) Zoumar consulting engineers, 2010. Hydrogeological study of Kashan district, 350 p. (In Persian).