

ارزیابی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و شناسایی دشتهای ممنوعه (مطالعه موردی: استان یزد)

مهدی صاغی جدید^{۱*}، مصطفی نادری^۲، عطاله ندیری^۳

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران.

۲- دانش‌آموخته دکتری آموزش محیط زیست، گروه علوم طبیعی، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران.

۳- استاد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول: m.saghi@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۰۵

چکیده

ذخایر آب زیرزمینی یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در دهه‌های اخیر عوامل طبیعی مثل تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی مانند برداشت بی‌رویه و مدیریت ناصحیح، باعث افت تراز آب زیرزمینی و بروز پیامدهای منفی در ایران شده است. از این‌رو، حفظ و پایش مداوم کیفیت آب زیرزمینی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و حساس در برنامه‌ریزی‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. مطالعه حاضر به ارزیابی وضعیت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی استان یزد می‌پردازد. بدین‌منظور آمار و اطلاعات منابع و مصارف آب با لحاظ کردن تغییرات تعداد و میزان برداشت از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی کمی و کیفی دشتهای استان در یک دوره ۱۰ ساله (۹۶-۱۳۸۶)، نقشه‌های پهنه‌بندی کمی شامل: نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی در محیط GIS تهیه گردید. همچنین، با بررسی پارامترهای مهم نظیر: سدیم (Na)، کلر (Cl)، سولفات (SO₄)، اسیدیته (pH)، سختی کل (TH)، غلظت املاح محلول (TDH) و هدایت الکتریکی (EC) کیفیت شیمیایی و تغییرات آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استان برای مصارف شرب و کشاورزی بدست آمد که نتایج حاکی از شوری بالای آب برای کشاورزی بوده و آب شرب هم در مهریز، اردکان و بافق کیفیت پایینی را نشان داد. به لحاظ بهره‌برداری از دشتهای استان در آینده، میزان افت کلی تراز، متوسط سالانه افت تراز به همراه کسری مخزن مدنظر قرار گرفت و دشتهایی که وضعیت نامطلوبی داشتند مشخص گردید که دشتهای یزد-اردکان، ابرکوه، چاهک شهریار و بهادران جزء مناطق ممنوعه بحرانی به لحاظ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی طبقه‌بندی شدند.

کلمات کلیدی: استان یزد، پهنه‌بندی، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، ممنوعه بحرانی، GIS.

مقدمه

است و پایداری این منابع را هم به لحاظ کمی و هم کیفی با چالش مواجه ساخته است (صاغی جدید و کتابچی، ۱۳۹۸). در کنار ساختار زمین‌شناسی، فعالیت‌های انسان نقش مهمی در تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آبخوان دارد (Lobato et al., 2015) که در سال‌های اخیر محققان مختلف را ترغیب کرده تا با بررسی این پارامترها، به مطالعه کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی بپردازند و آبخوان‌ها را به لحاظ امکان بهره‌برداری و یا ممنوعیت بهره‌برداری

منابع آب زیرزمینی منبعی قابل اطمینان برای تأمین آب در تمامی اقلیم‌ها می‌باشد. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مثل بخش‌های مرکزی ایران این منابع تقریباً تنها منبع پایدار برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد که در دهه‌های اخیر برداشت بی‌رویه و مدیریت ناصحیح، پیامدهای منفی نظیر خشک‌شدن چاه‌ها، شور شدن آب و نشست زمین را در پی داشته

ارزیابی کنند (ندیری و صدقی، ۱۳۹۸؛ صباح‌نیا و صادق‌لاری، ۱۴۰۳). سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۱) کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین استان کرمان را با تمرکز بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بررسی کردند و طی ۱۷ سال پارامترهای کیفی از جمله کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت الکتریکی، مجموع املاح محلول، میزان اسیدیته آب، درصد سدیم، درصد سدیم جذب، کربنات، نیترات، سولفات و کلر را به تفکیک دوره‌های آماری ۸۷-۸۱، ۹۲-۸۸ و ۹۷-۹۳ تعیین کردند. در نهایت برای ارزیابی وضعیت کیفی آب از نمودارهای شولر و ویلکاکس و شاخص‌های اشباع لانژلیه و پایداری رایزنر استفاده کردند. نتایج کیفیت آب از لحاظ شرب در طبقه قابل قبول شولر و با نمودار ویلکاکس، در اکثر دوره‌های مورد بررسی و منابع سنجش کیفیت در کلاس C3-S1 گزارش کردند، به عبارتی، آب این محدوده دارای کیفیت متوسط بوده و برای کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. صدقی و ندیری (۱۳۹۹) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان ورزقان پرداختند. آن‌ها برای این منظور از دو شاخص GQI و GWQI و با تکیه بر نتایج آنالیز ۳۹ نمونه آب در محدوده مورد مطالعه بهره بردند و در نهایت کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب به ۷ رده مختلف از عالی تا غیرقابل شرب براساس دو شاخص مدنظر طبقه‌بندی کردند. نتایج بیانگر عملکرد بهتر شاخص GWQI نسبت به GQI در تعیین رده‌بندی کیفیت آب شرب بود. در تحقیقی اسدی و بیات (۱۳۹۷)، کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند در همین راستا از پارامترهایی نظیر، سولفات، کلراید، بی‌کربنات، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیمی، هدایت الکتریکی، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سختی کل جهت برآورد کیفی بهره‌گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد کلر موثرترین پارامتر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد. صالحی-کاه‌کش و همکاران در سال ۱۳۹۶، با استفاده از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه روستایی با پارامترهای TDS، سختی کل، کلر، سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات، کیفیت آب زیرزمینی دشت گلگیر را از لحاظ شرب با نمودار شولر مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور از طریق روش زمین‌آماری کریجینگ در محیط نرم‌افزاری ArcMap (GIS) بهره‌بردند. نتایج حاکی از تغییرات مکانی کم و مناسب بودن کیفیت آب دشت مورد مطالعه برای شرب بوده است.

Carroll و همکاران (۲۰۱۳)، نقش کاربری اراضی و عوامل فصلی را در تخریب کیفیت آب بررسی کردند و دریافتند که تاثیرگذاری کاربری اراضی و عوامل فصلی در تنوع کیفیت آب سطحی و زیرزمینی با توجه به گونه‌های آلوده‌کننده متفاوت است. در مطالعه‌ای برای تهیه نقشه‌های متنوع فضایی از عمق و کیفیت آب زیرزمینی، Dash و همکاران (۲۰۱۰)، دریافتند که نقشه‌های مکانی و احتمالی تولید شده، مدیران منابع آب و سیاست‌گذاران را در توسعه دستورالعمل مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب در منطقه دهلی هند کمک خواهد کرد. ارزیابی مکانی و زمانی شاخص کیفی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی آب در حوضه کارستیک در غرب ترکیه نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی بر تغییرات مکانی و زمانی، و پارامترهای کیفی اثرگذارند (Elci et al., 2009). نتایج مطالعات منابع آب زیرزمینی در منطقه آرایه‌هازر بنگلادش نشان داد شبیه‌سازی دینامیکی مکانی و زمانی خصوصیات آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار و فن سیستم اطلاعات جغرافیایی کاری شدنی است (Dhar et al., 2008). بر اساس تحقیق Zhu و همکاران (۲۰۰۹)، بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف نشان‌دهنده وجود هم‌زمانی بین بهره‌برداری بیش از حد مجاز منابع آب زیرزمینی و وقایع هیدرولوژی آب در منطقه است. به‌طوری که این امر در افت کمی و کاهش پایداری کیفی آبخوان‌ها تاثیر بسزایی خواهد گذاشت.

وجود تغییرات مکانی امری طبیعی بوده و شناخت این تغییرات جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری لازم و مفید است. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی مولفه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی نیست، این راستا به کارگیری زمین‌آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به علت ارائه تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری است تا به کمک آن بتوان هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که آثار زیست‌محیطی آن بصورت مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه محدوده مورد مطالعه باشد را با آگاهی بیشتری اتخاذ کرد (Hafashjani et al., 2014). محمدیاری و همکاران (۱۳۹۷) به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و درونابی به روش کریجینگ به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آب شرب دشت قزوین پرداختند برای این منظور از پارامترهای سدیم، کلر، سولفات، TDS و TH حاصل از نمونه‌های ۳۵ حلقه چاه بهره بردند و با استفاده از منطق فازی و طبقه‌بندی شولر کیفیت آب شرب را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۵۴ درصد از منطقه برای شرب مناسب، ۱۹ درصد نسبتاً مناسب و ۲۸ درصد نامناسب می‌باشد و کیفیت آب کل منطقه براساس دیاگرام شولر در وضعیت قابل قبول قرار می‌گیرد، اما متوسط TDS و TH منطقه طبق استاندارد WHO، بیشتر از حد مجاز می‌باشد. لذا چنانچه روند آلودگی و برداشت بیش از حد از

ارزیابی کنند (ندیری و صدقی، ۱۳۹۸؛ صباح‌نیا و صادق‌لاری، ۱۴۰۳). سلیمان‌پور و همکاران (۱۴۰۱) کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کرمان‌باغین استان کرمان را با تمرکز بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بررسی کردند و طی ۱۷ سال پارامترهای کیفی از جمله کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت الکتریکی، مجموع املاح محلول، میزان اسیدیته آب، درصد سدیم، درصد سدیم جذب، کربنات، نیترات، سولفات و کلر را به تفکیک دوره‌های آماری ۸۷-۸۱، ۹۲-۸۸ و ۹۷-۹۳ تعیین کردند. در نهایت برای ارزیابی وضعیت کیفی آب از نمودارهای شولر و ویلکاکس و شاخص‌های اشباع لانژلیه و پایداری رایزنر استفاده کردند. نتایج کیفیت آب از لحاظ شرب در طبقه قابل قبول شولر و با نمودار ویلکاکس، در اکثر دوره‌های مورد بررسی و منابع سنجش کیفیت در کلاس C3-S1 گزارش کردند، به عبارتی، آب این محدوده دارای کیفیت متوسط بوده و برای کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. صدقی و ندیری (۱۳۹۹) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی شهرستان ورزقان پرداختند. آن‌ها برای این منظور از دو شاخص GQI و GWQI و با تکیه بر نتایج آنالیز ۳۹ نمونه آب در محدوده مورد مطالعه بهره بردند و در نهایت کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب به ۷ رده مختلف از عالی تا غیرقابل شرب براساس دو شاخص مدنظر طبقه‌بندی کردند. نتایج بیانگر عملکرد بهتر شاخص GWQI نسبت به GQI در تعیین رده‌بندی کیفیت آب شرب بود. در تحقیقی اسدی و بیات (۱۳۹۷)، کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند در همین راستا از پارامترهایی نظیر، سولفات، کلراید، بی‌کربنات، اسیدیته، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیمی، هدایت الکتریکی، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و سختی کل جهت برآورد کیفی بهره‌گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد کلر موثرترین پارامتر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت زنجان می‌باشد. صالحی-کاه‌کش و همکاران در سال ۱۳۹۶، با استفاده از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه روستایی با پارامترهای TDS، سختی کل، کلر، سدیم، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و سولفات، کیفیت آب زیرزمینی دشت گلگیر را از لحاظ شرب با نمودار شولر مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور از طریق روش زمین‌آماری کریجینگ در محیط نرم‌افزاری ArcMap (GIS) بهره‌بردند. نتایج حاکی از تغییرات مکانی کم و مناسب بودن کیفیت آب دشت مورد مطالعه برای شرب بوده است.

Carroll و همکاران (۲۰۱۳)، نقش کاربری اراضی و عوامل فصلی را در تخریب کیفیت آب بررسی کردند و دریافتند که تاثیرگذاری کاربری اراضی و عوامل فصلی در تنوع کیفیت آب سطحی و

حاوی سدیم زیادی می‌باشند. همچنین، وجود یون سدیم در آب آبیاری یا خاک موجب می‌شود که نفوذپذیری خاک نسبت به آب مختل شود. این اثر علاوه بر تأثیری است که سدیم مستقیماً بر برخی گیاهان داشته و ممکن است برای آن‌ها سمی باشد. علائم مسمومیت عبارتند از: سوختگی برگ، ایجاد بافت مرده در لبه برگ که به تدریج رخ می‌دهد. غلظت‌های بالاتر از ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر مسمومیت گیاه را به دنبال دارد (مظفری‌زاده و سجادی، ۱۳۹۳).

کلرزنی امروزه به عنوان متداول‌ترین روش گندزدایی آب آشامیدنی در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما استفاده از کلر علی‌رغم اینکه مزایا و فواید بسیاری به همراه دارد، دارای معایب و مضراتی نیز است. به همین دلیل متخصصان ضمن توصیه روش‌های جایگزین کلرزنی، تأکید دارند که کلر باقی مانده در آب شهری، در نقطه مصرف و درست قبل از نوشیدن، از آب حذف شود. بنابراین، میزان زیاد کلر منبع آبی باید بررسی و حد مجاز آن برای مصارف معین، مشخص شود. برخی گیاهان به یون کلر حساسیت ویژه‌ای نشان می‌دهند، این یون در آب زیرزمینی از منابع طبیعی، فاضلاب‌های خانگی، پساب-های صنعتی و ورود آب‌های شور ناشی می‌شود. غلظت‌های بالای ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلر در آب آبیاری، منجر به آسیب در گیاهان می‌شود (مظفری‌زاده و سجادی، ۱۳۹۳). هدایت الکتریکی آب (EC)، یکی از شاخص‌های کیفی آب است که میزان املاح آب را می‌سنجد و برای سنجش شوری آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. عموماً در مسیر آبراهه‌ها سطوح ناچیزی از نمک وجود دارد که برای رشد گیاهان و حیوانات حائز اهمیت است. افزایش سطح نمک در آب شیرین می‌تواند برای اکوسیستم و کاربری‌های انسانی مشکلاتی در پی داشته باشد. آب از یون‌های هیدروژن H^+ و هیدروکسیل OH ترکیب یافته و مقدار یون‌های مزبور در آب معمولی در درجه حرارت معین ثابت است. چنانکه مقدار هر یک از این یون‌ها تغییر یابد آب حالت اسیدی (یون هیدروژن زیادتر) و یا حالت قلیایی (هیدروکسیل بیشتر) به خود می‌گیرد. از نظر pH آب را می‌توان به سه دسته: آب‌های خنثی ($pH=7$)، آب‌های اسیدی ($pH<7$)، آب‌های قلیایی ($pH>7$) تقسیم کرد. میزان pH آب آشامیدنی در استاندارد ایران و همچنین اکثر استانداردهای معتبر بین‌المللی نظیر EPA برای آب مطلوب ۶.۵ تا ۸.۵ و گاهی ۹ می‌باشد. هرچه pH آب پایین‌تر باشد آب تمایل بیشتری به خوردگی دارد و هرچه pH بالاتر باشد آب تمایل بیشتری به ایجاد رسوب و ته‌نشینی دارد (مریدی و همکاران، ۱۳۹۵).

سفره‌های آب زیرزمینی ادامه یابد با افزایش این دو پارامتر وضعیت آب از نظر شرب در گروه نامناسب قرار خواهد گرفت. غلظت املاح محلول (TDS)، بیانگر میزان شفافیت آب بوده و حاوی موادآلی یا غیرآلی (مواد معدنی) می‌باشد. این پارامتر در آب به‌جز رسوبات معلق، کلئیدها و گازهای محلول شامل نمک‌های معدنی با غلظت کمی از مواد آلی نظیر کربنات، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، نیترات، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌باشند. هرچه میزان این مواد بیشتر باشد، میزان شوری آن نیز افزایش می‌یابد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲). سختی آب (TH) کیفیتی است که بر اثر وجود بیش از اندازه نمک‌های محلول کلسیم و منیزیم و تا اندازه آهن، منگنز، آلومینیوم و روی در آن پدید می‌آید و سبب می‌شود که مصرف آب به طور کلی و به ویژه در صنعت دشواری‌هایی به وجود آورد. میزان شدت سختی آب، به بستر جریان آب در سطح و زیر زمین نیز بستگی دارد. آب‌های نواحی آهکی سختی زیادتری تا آب‌های نواحی گرانیتی و یا شنی دارند. مزایای آب سخت این است که معمولاً شکستگی استخوان-های آن‌هایی که آب سخت می‌آشامند زودتر بهبود می‌یابد اما با وجود فواید آب سخت، سختی بیش از حد آب نیز مضراتی دارد. یکی از این مضرات این است که نوشیدن بیش از حد آب سخت موجب رسوب در افراد سنگ‌ساز می‌شود و همچنین موجب بیماری‌های گوارشی بویژه سنگ کلیه است؛ بنابراین بیشتر توصیه می‌شود از آب سبک برای شرب استفاده کرد و منیزیم و کلسیم مورد نیاز بدن را از غذاها و یا سبزیجات و میوه جات تهیه نمود. آب سخت موجب از دست دادن طعم و مزه نوشیدنی‌ها می‌شود. دیر پخته شدن و سفتی حبوبات با آب سخت از دیگر عوارض آن است. به علاوه، آب سخت به جداره دیگ‌های بخار آسیب زده باعث خوردگی و ایجاد قشر آهکی بر روی جداره دیگ‌ها و تأسیسات مرتبط می‌شود. خوب کف نکردن صابون و موجب افزایش مصرف صابون از دیگر اثرات سختی آب است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲).

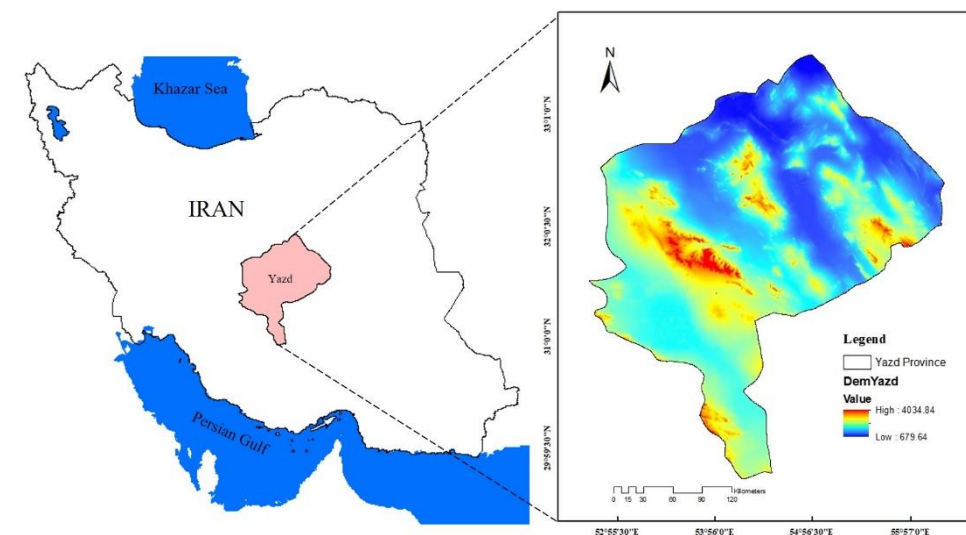
سولفات بیشتر از حل شدن ژیپس (سنگ گچ) یا سایر رسوبات معدنی که حاوی سولفات می‌باشند وارد آب‌های مصرفی می‌شود. غلظت بالای سولفات در طعم آب اثر می‌گذارد و گاهی اوقات یون سولفات توسط باکتری‌های موجود در آب احیا شده و H_2S تولید می‌کند. سولفات یکی از یون‌هایی است که دارای حداقل سمیت می‌باشد. مقدار سولفات کم‌تر از ۹۶۰ میلی‌گرم در لیتر، برای رشد گیاه مفید و غلظت بیشتر، سبب اختلال در سنتز پروتئین و اسیدنوکلئیک که منجر به مسمومیت گیاه می‌گردد (مظفری‌زاده و سجادی، ۱۳۹۳). آب‌های محبوس شور و یا آب‌های دریایی و نیز گنبدهای نمکی

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان یزد در مرکز فلات ایران و در حاشیه دشت‌های کویر لوت، با مساحت ۷۴۷۸۱ کیلومترمربع (۴/۶ درصد مساحت کل کشور) واقع شده که پست‌ترین نقطه آن در کویر ریگ‌زین و بلندترین نقطه حدود ۴۰۰۰ متر در شیرکوه ارتفاع دارد (شکل ۱). این استان در محدوده حوضه مرکزی ایران (حوضه آبریز درجه ۱) با شش حوضه کویر لوت، کویر مرکزی، کویر سیاه‌کوه، کویر درانجیر، گاو خونی و حوضه ابرقو-سیرجان (حوضه آبریز درجه ۲) و ۱۹ محدوده مطالعاتی (جهت مطالعات آب زیرزمینی) احاطه شده است. این استان از نظر تقسیمات سیاسی-اداری دارای ۱۰ شهرستان، ۲۱ بخش، ۴۵ دهستان و ۲۱ کانون شهری است. (وزارت نیرو، ۱۳۹۴).

مطالعات اخیر حاکی از ارزیابی پارامترهای مختلف در تعیین کیفیت آب‌زیرزمینی بوده است و در این راستا از روش‌های مختلف برای محدوده‌های خاصی بهره‌گرفته شده است. به جهت اینکه مدیریت و تصمیم‌گیری عمدتاً بصورت استانی و در قالب آب منطقه‌های هر استان شکل می‌گیرد. لذا بررسی استانی این پارامترها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق پارامترهای کمی و کیفی بصورت استانی در دشت‌های استان یزد مدنظر قرار گرفت و با مبنا قرار دادن روش‌های طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس به ترتیب برای مصارف شرب و کشاورزی به ارزیابی وضعیت منابع آب زیرزمینی آن‌ها پرداخته شد و در نهایت برای اولین بار براساس کاهش سطح و حجم، دشت‌های استان در سه رده آزاد، ممنوعه و ممنوعه بحرانی طبقه‌بندی گردید.



شکل ۱- موقعیت و توپوگرافی منطقه مطالعاتی، استان یزد، ایران.

Figure 1- position and topography of study area, Yazd province, Iran.

همچنین، درجه حرارت ماکزیمم ۴۷ و مینیمم ۲۰- درجه سانتی‌گراد بوده و متوسط ساعات آفتابی استان در طول سال ۳۳۶۹ ساعت برآورد شده است. (هواشناسی استان یزد، ۱۳۹۷). از نظر زمین‌شناسی استان یزد دارای قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی (پركامبرين) تا جوان‌ترین آن هولوسن است و بخشی از ایران مرکزی بوده و دارای ویژگی‌های مختلفی است. منابع بالفعل آب استان یزد شامل منابع آب سطحی، زیرزمینی و انتقالی است. با این حال در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵، جریان آب سطحی در استان وجود نداشته است. لذا به علت محدودیت منابع آب سطحی، تقریباً تمامی آب مورد مصرف در

استان یزد، از نظر اقلیمی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک به‌تمامی در منطقه خشک قرار گرفته است. (هواشناسی استان یزد، ۱۳۹۷). بارندگی استان یزد در طی دوره ۳۰ ساله آماری (۱۳۶۶-۱۳۹۵) ۹۷/۹ میلیمتر و متوسط بارندگی سالانه شهر یزد در همین دوره ۴۶ میلیمتر می‌باشد. این ارقام در سال‌های اخیر کاهش یافته است به طوریکه در دوره ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۷۸/۱ و ۳۵/۷ شده است. متوسط بارندگی استان در حدود ۲ درصد حجم نزولات جوی کشور است که با وجود پتانسیل سالانه تبخیر ۱۳۹۱ میلیمتر، بیش از ۹۰ درصد این مقدار تبخیر می‌شود. متوسط سالانه دما ۱۹/۲ سانتیگراد و رطوبت نسبی ۳۳ درصد است.

(بابامیر و همکاران، ۱۳۹۱). در این پژوهش، آمار و اطلاعات اندازه-گیری پیژومترها بصورت پراکنش زمانی (دوره ۱۰ ساله) و مکانی (در سطح استان) و با استفاده از ابزار GIS، مدنظر قرار گرفته است. همچنین، با بررسی پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی شامل: سدیم (Na)، کلر (Cl)، سولفات (SO₄)، اسیدیته (pH)، سختی کل (TH)، غلظت املاح محلول (TDH) و هدایت الکتریکی (EC)، نقشه‌های پهنه‌بندی این پارامترها تهیه و تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، نقشه پهنه-بندی کیفیت آب زیرزمینی استان برای مصارف شرب و کشاورزی بدست آمد. جهت دستیابی به این امر، کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی به ترتیب با استفاده از روش شولر (جدول ۱) و ویلکاکس (جدول ۲) کلاس‌بندی شده است.

بخش‌های مختلف از منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد (شرکت آب و فاضلاب استان یزد، ۱۳۹۶).

ارزیابی

شناسایی تراز آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم در ارزیابی کمی و تعیین پایداری سفره‌های آب زیرزمینی است که سبب گرفتن تصمیمات درست مدیریتی جهت برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود (Saghi-jadid and ketabchi, 2021). پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک محدوده نیز از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی است که با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان و با توجه به وضعیت کیفی آب می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب و کشاورزی مشخص نمود

جدول ۱- پارامترهای کیفیت و کلاس آب براساس طبقه‌بندی شولر (Johansen, 1982)

Table 1- Quality parameters and water class based on Schuler classification (Johansen, 1982)

Type of Quality (Derinkalbe)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	Na (mg/L)	TH (mg/L)	TDS (mg/L)
Good	5 >	5 >	10 >	190 >	280 >
Acceptable	10-5	10-5	15-10	50-191	500-281
Inappropriate	15-11	20-11	20-16	600-250	1000-501
Bad	20-11	25-21	26-21	1000-601	2000-1001
Drink for essential condition	25-21	30-26	30-26	1550-1001	3500-2001
Undrinkable	26 <	31 <	31 <	1551 <	3501 <

جدول ۲- پارامترهای کیفیت و کلاس آب براساس طبقه‌بندی ویلکاکس (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱)

Table 2- Quality parameters and water class based on Wilcox classification (Rahnema et al. 2012)

Type of Quality (Agriculture)	Water Classes
Fresh - completely harmless to agriculture	C1S1
Slightly salty - almost suitable for agriculture	C2S1; C2S2; C2S3
Salt — for farming with proper arrangements	C1S3; C2S3; C3S1; C3S3
Very Salt - bad for agriculture	C1S4; C2S4; C3S4; C4S4; C4S3; C4S2; C4S1

۸۰ کاهش محسوسی داشته است. به‌طوری‌که تعداد چشمه‌ها، از ۵۸۰ دهه به ۳۸۷ دهه، تعداد قنات‌ها از ۳۳۱۲ رشته به ۲۶۳۰ رشته، تعداد چاه‌های عمیق از ۳۱۶۱ حلقه به ۲۹۴۱ حلقه و تعداد چاه‌های نیمه‌عمیق از ۱۲۶۷ حلقه به ۷۷۴ حلقه چاه، طی این دوره آماری ۱۴ ساله تغییر یافته است. از طرفی تعداد چاه‌های عمیق با وجود کاهش محسوس در سال ۱۳۹۰، دوباره روند افزایش جزئی را طی سال‌های اخیر تجربه کرده و از ۲۸۶۵ در سال ۱۳۹۰ به ۲۹۴۱ حلقه چاه عمیق در سال ۱۳۹۵ رسیده است. تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه‌ها و قنات به تفکیک هر شهرستان (ابركوه، خاتم، بافق، اردکان، مهریز، تفت، بهاباد، میبد، صدوق و یزد) و بر اساس آمار و اطلاعات سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ نشان می‌دهد که بیشترین تعداد چاه در استان، با تعداد ۶۱۹ حلقه چاه عمیق و ۲۴۲ حلقه چاه نیمه‌عمیق در شهرستان ابرکوه واقع شده است. شهرستان بافق نیز با تعداد ۲۲۰

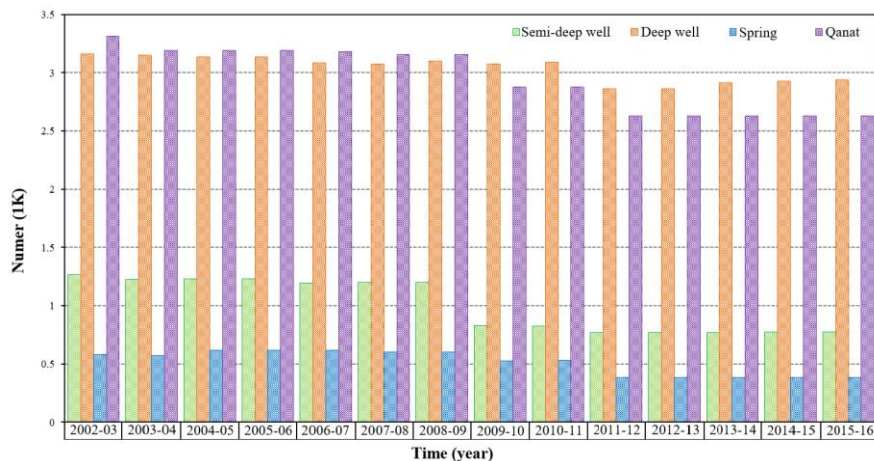
تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط GIS، با بهره‌گیری از روش‌های مختلف درون‌یابی انجام می‌گردد که از میان این روش‌ها، به جهت دقت و کاربرد فراوان، در این پژوهش، از روش کریجینگ استفاده شده است. در این روش پس از اندازه‌گیری مقدار متغیر برای نمونه-های متعدد همراه با درنظر گرفتن موقعیت آن‌ها، مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده نیز با توجه به موقعیت آن‌ها و فاصله‌ای که با نقاط معلوم دارند برآورد می‌گردد (مقامی و همکاران، ۱۳۹۰).

نتایج و بحث

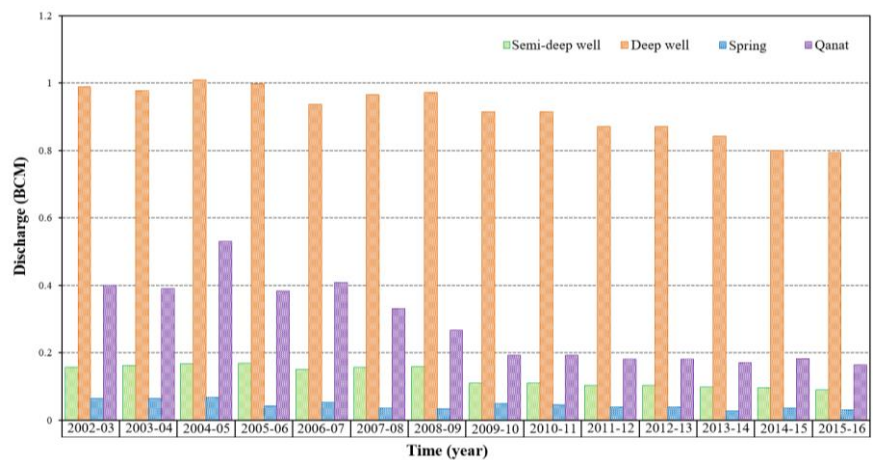
بررسی تغییرات تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، چشمه‌ها و قنات استان یزد طی ۱۴ سال (۱۳۸۱-۱۳۹۵) نشان داد که در دهه ۹۰ تعدادی از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات خشک شده و نسبت به دهه

۶۳/۹۴ به ۳۱/۳۴، از طریق قنات‌ها از ۴۰/۸ به ۱۶۳/۹، از طریق چاه‌های عمیق از ۹۸۹/۱۸ به ۷۹۲/۶۳ و از طریق چاه‌های نیمه‌عمیق از ۱۵۷/۷۲ به ۹۰/۳۸ میلیارد مترمکعب تغییر پیدا کرده است. از طرفی، بیشترین میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی در سال‌های آماری ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ بوده است. شایان ذکر است میزان تخلیه کل از آبخوان‌های استان یزد از مقدار ۱۶۱۱/۷۴ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۱ با کاهش ۳۳ درصدی به میزان ۱۰۷۸/۲۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۵ رسیده است.

دهنه چشمه بیشترین میزان چشمه‌های استان را دارا می‌باشد و در شهرستان‌های میبد، یزد و ابرکوه هیچ چشمه‌ای وجود ندارد. و بیشترین قنات موجود در استان مربوط به شهرستان تفت با تعداد ۱۹۹۵ رشته قنات بوده است (شکل ۲-الف). تخلیه آبخوان‌ها حاکی از کاهش میزان تخلیه آب زیرزمینی می‌باشد. بطوری که از سال ۱۳۹۰ و با کاهش تراز آب زیرزمینی و در نتیجه آن خشکی و کاهش تعداد چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات، میزان تخلیه نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای تجربه کرده است. و میزان تخلیه از طریق چشمه‌ها از



(a)



(b)

شکل ۲- تغییرات الف) تعداد و ب) تخلیه از طریق چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات استان یزد طی ۱۴ سال آماری (اقتباسی از دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه ای استان یزد).

Figure 2 - Changes in a) number and b) discharge through wells, springs and qanats in Yazd province during 14 statistical years (adapted from the office of basic studies of water resources of Yazd province regional water company).

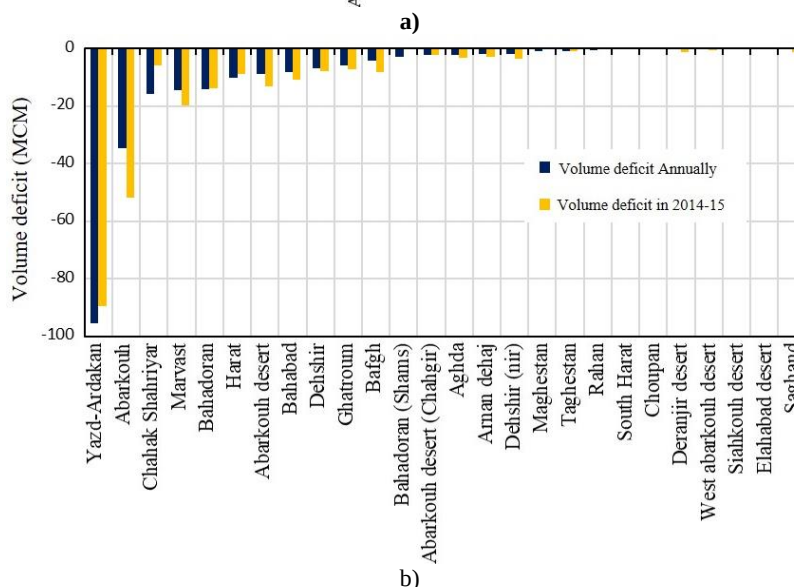
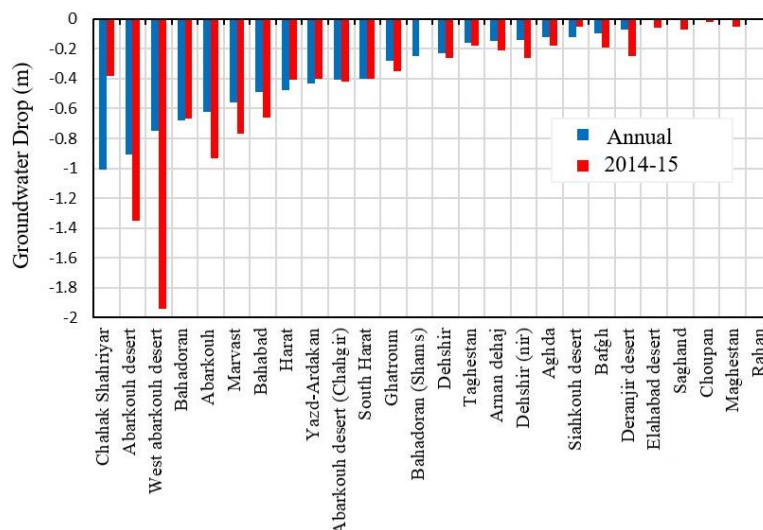
استان، در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ حدود ۸۸/۳ درصد کل مصرف آب استان از منابع زیرزمینی در بخش کشاورزی، ۴/۷ درصد در بخش صنعت و ۷ درصد در بخش شرب مورد استفاده قرار گرفته است. بطوریکه از میزان ۱۰۲۹/۴۴ میلیون مترمکعب مصرف، مقدار ۹۰۹/۲۴ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی (۸۸/۳ درصد)، ۴۸/۴۹ میلیون مترمکعب در بخش صنعت (۷ درصد) و ۷۱/۷۲

مجموع مصرف متوسط سالانه منابع آب در استان ۱۱۶۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. از این مقدار ۹۶۲/۷ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی (۸۲ درصد)، ۷۳/۷ میلیون مترمکعب در بخش صنعت (۶ درصد) و ۱۲۶/۶ میلیون مترمکعب در بخش شرب (۱۲ درصد) قرار دارد (دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه ای استان یزد، ۱۳۹۶). با گذشت زمان و در اثر تغییرات اقلیمی به وجود آمده در

نوسانات تراز آب زیرزمینی

بررسی وضعیت هیدروژئولوژیکی دشتهای استان یزد نشان می‌دهد بیشترین میزان افت سالانه تراز آب زیرزمینی مربوط به چاهک شهریار بوده و در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ نیز بیشترین افت تراز در کویر ابرکوه غرب و ابرکوه (صاحب آباد) اتفاق افتاده است. از طرفی، متوسط کسری حجم مخازن آب زیرزمینی استان به تفکیک هر دشت برای متوسط دارای مدت و سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ نیز نشان می‌دهد که بیشترین حجم کسری آب زیرزمینی مربوط به آبخوان دشت یزد- اردکان و ابرکوه به ترتیب با متوسط سالانه ۹۵/۳۳ و ۳۴/۷۵ میلیون مترمکعب کسری می‌باشد. این دشتهای در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ نیز بیشترین افت را تجربه کرده‌اند (شکل ۳-الف و ب).

میلیون مترمکعب در بخش شرب (۴/۷ درصد) قرار دارد. همچنین، از حدود ۱۱۶۳ میلیون مترمکعب تخلیه از منابع زیرزمینی استان در سال ۸۲-۱۳۸۱، معادل ۱۵۰۰/۷۲ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی (۹۳/۱ درصد) به مصرف رسیده است، سهم برداشت بخش شرب با ۶۸/۳۶ میلیون مترمکعب (۴/۲ درصد)، و بخش صنعت با ۴۲/۴۹ میلیون مترمکعب (۲/۶ درصد) بوده است. بررسی وضعیت مصرف آب زیرزمینی، طی دوره آماری ۱۴ ساله (۹۵-۱۳۸۱)، حاکی از کاهش ۹/۶ درصدی سهم کشاورزی و افزایش ۲/۴ درصدی سهم شرب و ۱/۹ درصدی سهم صنعت از مصارف آب زیرزمینی بوده است. این روند تغییرات، اتکای بیشتر تامین آب شرب به منابع آب زیرزمینی را بیان می‌کند.

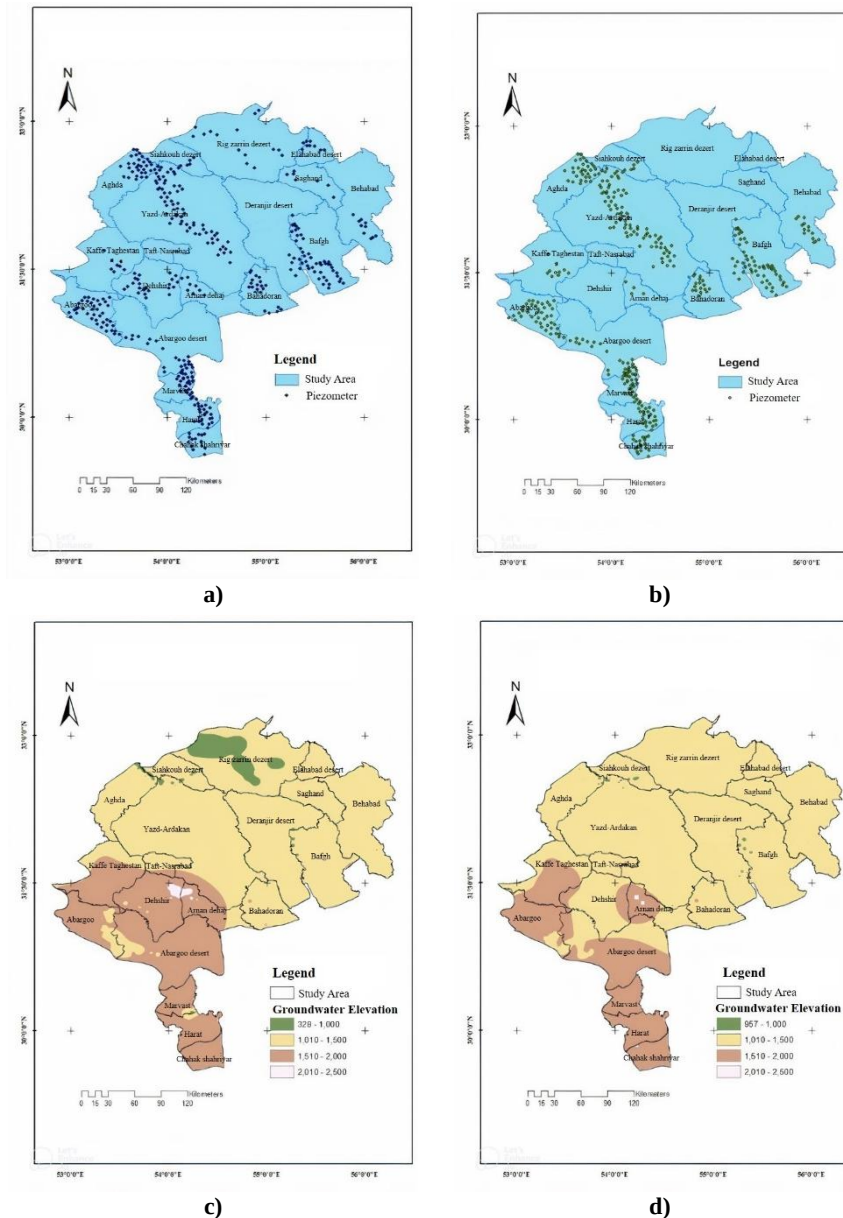


شکل ۳-الف) افت سالانه و ب) کسری حجم آب زیرزمینی استان یزد به تفکیک هر دشت برای متوسط دارای مدت و سال آبی ۹۴-۱۳۹۳.

Figure 3- a) annual drop and b) deficit of underground water volume of Yazd province, separately for each plain for long-term average and water year 2013-2014.

آینده‌ی نه چندان دور می‌باشد. از پیامدهای افت تراز آب زیرزمینی می‌توان بر خشک شدن قنات و چشمه‌ها، کاهش آبدهی چاه‌ها، تغییر کیفیت آب زیرزمینی و شور شدن این منابع با ارزش اشاره کرد که نتیجه این اتفاق منجر به نشست زمین خواهد شد.

به‌طور کلی کسری بیلان آب زیرزمینی بالغ بر ۲۵۱/۸۶ میلیون مترمکعب در سال آبی ۹۴-۹۵ بوده، درحالی‌که متوسط کسری بیلان دراز مدت آن ۲۲۹/۸۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. بدیهی است که شرایط موجود زنگ خطری برای وضعیت سفره‌های آبی استان در



شکل ۴- تراکم پیزومترها در سطح محدوده‌های مطالعاتی استان یزد در سال الف) ۱۳۸۶، ب) ۱۳۹۶ و نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی در سال پ) ۱۳۸۶ و ت) ۱۳۹۶.

Figure 4- The density of piezometers on the surface of the study areas of Yazd province in the years, a) 1386, b) 1396 and the level map of underground water in the years c) 1386 and d) 1396.

آب زیرزمینی مناسب نبوده و در برخی محدوده‌های مطالعاتی از جمله ده‌شیر و کویر ریگ‌زرین اندازه‌گیری ثبت نشده بود و از طرفی وضعیت توپوگرافی این نقاط بسیار متغیر است، لذا مقایسه زمانی

تغییرات زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی طی ده سال، در شکل ۴ کاملاً مشهود بوده ولی به جهت اینکه در سال ۱۳۸۶ پراکنش پیزومترها (شکل ۴-ب) و در نتیجه آن تراکم نقاط اندازه‌گیری تراز

همکاران، ۱۳۹۰). تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای مورد بررسی در ادامه ارائه شده است که تغییرات مکانی در شکل ۵ به تفکیک هر پارامتر در استان ارائه شده است.

بررسی غلظت املاح محلول (TDS) در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ نشان می‌دهد بازه تغییرات غلظت املاح محلول در سال ۱۳۸۶، از ۱۹۰ pp در یزد - اردکان تا ۱۲۸۹۵ pp در بهادران و در سال ۱۳۹۶، از ۱۹۰ pp در دهشیر تا ۱۹۸۷۰ pp در بهادران بوده است. تغییرات مکانی این پارامتر حاکی از وضعیت نامناسب املاح محلول (بیشتر از ۴۰۰۰ pp) در دشت‌های کویر سیاه‌کوه، دهشیر، بهادران، بخش عمده‌ای از کویر درانجیر، بافق و یزد - اردکان می‌باشد. به لحاظ تغییرات زمانی هم در طی این ده سال در این محدوده‌ها با افزایش TDS همراه بوده است. تغییرات مکانی این پارامتر برای سال ۹۶ در سطح شهرستان استان یزد در شکل ۵-الف ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، در همه شهرستان‌های استان TDS آب زیرزمینی در حال افزایش بوده که این وضعیت در بخش‌هایی از شهرستان‌های اردکان، بافق، مهریز و تفت حادث (غیرقابل شرب) بوده است. اگر به لحاظ قابل شرب بودن مقادیر TDS را بررسی کنیم، مطابق طبقه‌بندی شولر (جدول ۲)، بخش عمده‌ای از منابع آب زیرزمینی استان برای شرب نامناسب می‌باشد. و قسمت‌های مرکزی استان وضعیت مناسب‌تری را دارا می‌باشد.

تغییرات سختی کل آب (TH) در سال ۱۳۸۶، از ۱۳۹ در یزد - اردکان و کوهبان تا ۳۲۵۷ میلی‌گرم بر لیتر در دهشیر و در سال ۱۳۹۶، از ۱۰۵ در یزد - اردکان تا ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در بهادران بوده است. تغییرات مکانی این پارامتر حاکی از میزان بیشتر سختی آب در قسمت شرقی و شمال استان یزد بوده بطوریکه با گذشت زمان و در سال ۱۳۹۶، بخش‌های جنوبی استان را نیز دربرگرفته است. بیشترین میزان سختی آب نیز بطور متوسط در محدوده‌های بهادران، کویر سیاه‌کوه، کویر درانجیر و بافق مشاهده می‌شود. تغییرات مکانی TH آب زیرزمینی برای سال ۹۶، در سطح شهرستان استان یزد در شکل ۵-ب، ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، در همه شهرستان‌های استان سختی کل آب زیرزمینی در حال افزایش بوده که این وضعیت در شهرستان بافق و بخش‌هایی از شهرستان‌های اردکان، مهریز و بهاباد و خاتم حادث (نامناسب برای شرب) بوده است. اگر به لحاظ قابل شرب بودن مقادیر TH را بررسی کنیم، بخش عمده‌ای از منابع آب زیرزمینی استان برای شرب قابل قبول بوده و قسمت شرقی، بخشی از شمال و جنوب نیز نامناسب برای شرب می‌باشند. قسمت‌های مرکزی استان (بخش‌های از

تغییرات تراز در آن قسمت آنچنان مناسب نبوده است. همچنین، بر اساس آمار سال ۱۳۹۶ (شکل ۴ - الف)، ارتفاع تراز آب زیرزمینی متغیر و با توجه به توپوگرافی زمین از حداکثر ۲۳۲۵ متر در ارتفاعات شمال شرق دشت دهشیر (شهرستان تفت) تا ۷۸۰ متر در دشت کویر ریگزیرین (شهرستان اردکان) پراکنده شده است. حدود تغییرات عمق برخورد به سطح آب نیز از حداقل ۳ متر تا حداکثر ۱۸۰ متر می‌باشد که بیشترین عمق‌های ثبت‌شده در دشت‌های ساغند (شهرستان اردکان)، بهاباد (شهرستان بهاباد) و یزد - اردکان (شهرستان یزد) و کم‌ترین عمق نیز مربوط به بهادران (شهرستان مهریز)، مروست (خاتم) و کویر ریگزیرین (شهرستان اردکان) بوده است. همانطور که مشاهده می‌شود به سبب تراکم جمعیتی بالا در شهر یزد و مصرف بیشتر آب زیرزمینی، سطح آبخوان در این شهرستان بطور متوسط نسبت به شهرستان‌های دیگر پایین‌تر می‌باشد. همچنین، در شهرهای مهمی مانند اردکان نیز به جهت تراکم جمعیت بالا عمق آبخوان بیشتر بوده ولی به سبب گستره وسیع استان در برخی نقاط از سطح آبخوان بالاتری برخوردار است.

کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت منابع آب زیرزمینی در استان یزد بر اساس نمونه‌هایی از چاه‌های مختلف اندازه‌گیری شده است، و طی دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ در یک دوره ده ساله، تغییرات زمانی و مکانی مورد ارزیابی قرار گرفته است، در این راستا پارامترهای کیفی ذکر شده مدنظر قرار گرفته است. لازم به توضیح است طبق پراکنش پیزومترها برای اندازه‌گیری در سال ۱۳۸۶ پراکنش نمونه‌برداری ضعیف ارزیابی می‌شود. با استفاده از آستانه‌های طبقه‌بندی ویلکاکس، محدوده مطالعاتی از نظر پارامترهای کیفی مهم برای آبیاری کشاورزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این بررسی بجز گروه C1S1 (که نمایانگر آب شیرین و کاملاً بی‌ضرر برای کشاورزی می‌باشد)، تمام طبقه‌بندی‌ها موجود بوده و حاکی از شور بودن آب‌های زیرزمینی استان می‌باشد. از طبقه‌بندی شولر نیز برای کیفیت آب شرب بهره گرفته شد. بطوریکه پس از وارد کردن اطلاعات مربوط به پارامترهای مربوطه در محیط GIS، سطوح کیفیت اولیه آب زیرزمینی برای این پارامتر بر اساس روش وزن‌دهی معکوس فاصله تهیه گردید. روش ترکیب وزن‌دهی خطی از رایج‌ترین روش‌ها در تصمیم‌گیری چندمعیاره بر اساس مفهوم میانگین وزنی است. در این روش پس از اختصاص اهمیت نسبی به هر معیار از طریق عملگر ضرب، کلیه معیارها برای رسیدن به امتیاز کلی جمع می‌گردند (مقامی و

در حداکثر مقدار خود در محدوده دشت بهادران بوده است. بطوریکه، حداقل مقادیر ثبت شده در سال ۱۳۸۶، ۱۹۰ در یزد - اردکان و در سال ۱۳۹۶، ۳۵۰ میکروموس بر سانتی متر در تفت بوده است. تغییرات مکانی این پارامتر نیز بیانگر، بیشترین میزان شوری در محدوده‌های کویر سیاه‌کوه، ده‌شیر، بافق، بهادران و کویر درانجیر می‌باشد (شکل ۵-ج). در سال ۱۳۹۶، بر اساس طبقه‌بندی شولر چهار طبقه آب شیرین، آب لب‌شور، آب شور و آب بسیار شور، حاکی از میزان شوری بالا در آب زیرزمینی استان بوده بطوری‌که، عمده بخش‌های آن در طبقه آب‌های شور قرار گرفته است. آب با این میزان شوری (۱۰۰۰۰-۲۵۰۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر)، غیرقابل استفاده برای مصارف انسانی می‌باشد، البته آب با EC تا ۳۰۰۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر می‌تواند با دستگاه تصفیه خانگی جهت شرب مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، این نوع آب برای مصارف آبیاری نیز غیرقابل استفاده بوده و برای گیاهان با تحمل بالای نمک می‌توان از EC کم‌تر از ۶۰۰۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر استفاده کرد. از این آب تنها می‌توان برای مصارف در مراکز دام استفاده نمود.

با توجه به مقادیر تغییرات اسیدیته آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده، محدودیت خاصی برای مصارف آب به لحاظ pH وجود ندارد. پراکنش میزان pH آب زیرزمینی در سطح استان برای سال ۱۳۹۶، نیز در شکل ۵-د، ارائه شده است، که تغییرات مکانی حاکی از نزدیک به خنثی بودن آب در شهرستان‌های مهریز، بافق و خاتم بوده است، و اکثر در شهرستان‌ها مقادیر pH در بازه ۷.۵-۸ قرار دارد که مناسب برای تمامی مصارف می‌باشد.

طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استان برای کشاورزی

با استفاده از آستانه‌های طبقه‌بندی ویلکاکس (جدول ۱)، محدوده‌های مطالعاتی استان یزد از منظر پارامترهای کیفی مهم برای آبیاری کشاورزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این بررسی به‌جز گروه C1S1 (که نمایانگر آب شیرین و کاملاً بی‌ضرر برای کشاورزی می‌باشد)، تمام طبقه‌بندی‌ها موجود بوده و حاکی از شور بودن آب‌های زیرزمینی استان می‌باشد.

پراکنش مکانی کیفیت کشاورزی آب زیرزمینی در سطح استان برای سال ۱۳۹۶ در شکل ۵-ه، ارائه شده است، که تغییرات مکانی حاکی از میزان بالای شوری آب بوده که برای کشاورزی مضر است و آب بخش‌های اندکی بخصوص در نواحی مرکزی استان (شهرستان تفت و صدوق) مناسب برای آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشد. لذا آبیاری با آب زیرزمینی استان نیازمند تمهیدات لازم برای این کار

شهرستان صدوق، مهریز و تفت) وضعیت مناسب‌تری (خوب برای شرب) را دارا می‌باشد.

مقادیر سولفات در آب زیرزمینی استان یزد در سال ۱۳۸۶ از ۰.۲ در یزد - اردکان تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ده‌شیر متغیر بوده، بطوری‌که این میزان (حداکثر) در سال ۱۳۹۶ به ۸۵ میلی‌گرم در لیتر در یزد - اردکان رسیده است. طبق مقایسه انجام گرفته طی ده سال، مشاهده می‌شود که میزان سولفات در قسمت شمالی استان و در محدوده مطالعاتی کویر سیاه‌کوه و یزد - اردکان افزایش داشته و در قسمت شمال شرقی بطور متوسط کاهش جزئی را تجربه کرده است. پراکنش مکانی سولفات نیز حاکی از بسیار پایین بودن مقادیر آن به لحاظ کشاورزی است و آب زیرزمینی جزو آب‌های مناسب برای آبیاری محسوب می‌شود. اما از نظر آب شرب، قسمت‌های اندکی (در شهرستان‌های صدوق، تفت، مهریز، خاتم و ابرکوه) برای شرب، خوب و یا قابل قبول است. عمده بخش‌های آن نامناسب و یا بد برای آشامیدن بوده و برخی نقاط نیز مانند اردکان، بافق، بهاباد و بخش - هایی از مهریز، خاتم و تفت در طبقه غیرقابل شرب قرار گرفته است. بازه تغییرات سدیم در سال ۱۳۸۶، از ۰.۴۳ در تفت تا ۱۷۳ میلی‌گرم بر لیتر در یزد - اردکان و در سال ۱۳۹۶، از ۰.۸۷ در بافق تا ۱۶۹ میلی‌گرم بر لیتر در بهادران بوده است. تغییرات مکانی این پارامتر حاکی از میزان بیشتر سدیم در قسمت جنوب شرقی و شمال غربی استان یزد بوده بطوریکه با گذشت زمان تغییر محسوسی در این پارامتر مشاهده نشده است. بجز بخش مرکزی و ناحیه کوچکی از غرب، شرق و جنوب استان یزد، عمده بخش‌های آن به لحاظ سدیم جزو آب غیرقابل شرب می‌باشند. اما به لحاظ کشاورزی، آب هیچ محدودیتی نداشته و می‌توان از آب برداشتی آبخوان برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده کرد (شکل ۵-ت).

تغییرات مکانی و زمانی کلر نیز تا حدودی مشابه تغییرات سدیم بوده و بازه این تغییرات، در سال ۱۳۸۶، از ۰.۴۵ تا ۱۷۰ میلی‌گرم در لیتر در یزد - اردکان به ۰.۶۲ تا ۱۸۹ میلی‌گرم در لیتر از یزد - اردکان تا بهادران در ۱۳۹۶ بوده است. بجز بخش‌هایی از شهرستان‌های مهریز، تفت، ابرکوه و بهاباد، عمده بخش‌های استان یزد به لحاظ کلر جزو آب غیرقابل شرب می‌باشند (شکل ۵-ث). اما به لحاظ کشاورزی، با توجه به مقادیر کلر اندازه‌گیری شده اعداد بسیار کم‌تری می‌باشند، آب هیچ محدودیتی نداشته و می‌توان از آب برداشتی آبخوان برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده کرد.

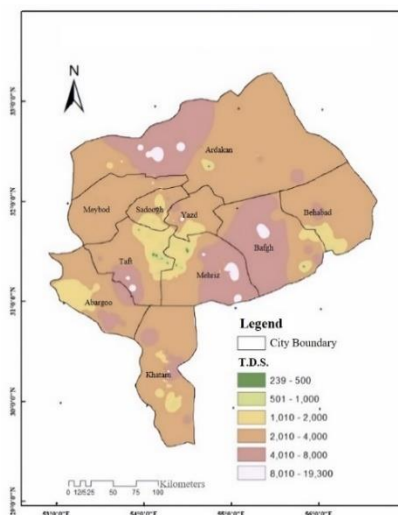
هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در استان یزد در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ حاکی از افزایش ۱۲۸۹۵ به ۲۱۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر

زمانی نیز طی ده سال، حاکی از کاهش کیفیت آب شرب می‌باشد. بطوریکه پراکنش مکانی تغییرات کیفیت آن در سطح استان برای سال ۱۳۹۶ مطابق شکل ۵-۱ حاکی از کیفیت پایین آب زیرزمینی برای مصارف شرب در شهرستان‌های مهریز، اردکان و بافق بوده است. آب بخش‌های اندکی بخصوص در نواحی مرکزی استان (شهرستان تفت، ابرکوه، بهاباد، صدوق و بخش‌هایی از مهریز) مناسب برای مصارف شرب می‌باشد.

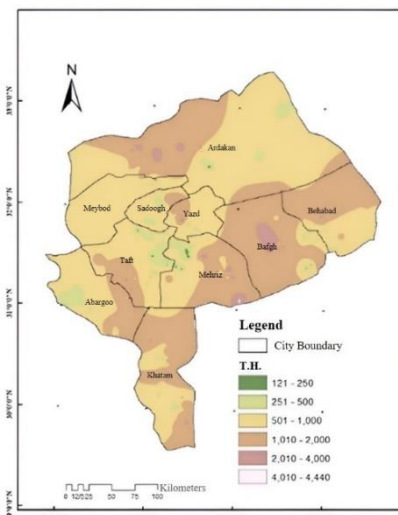
می‌باشد. به لحاظ کیفیت آب زیرزمینی این مناطق بیشتر مناسب برای گیاهان مقاوم به شوری می‌باشد.

طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استان برای شرب

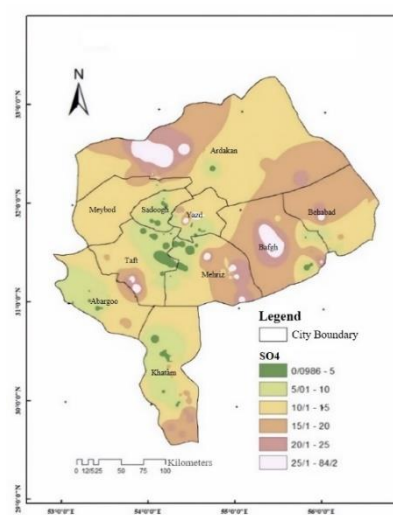
بر اساس طبقه‌بندی شولر آب‌های زیرزمینی عمده بخش‌های استان در کلاس نامناسب تا غیرقابل شرب قرار گرفته و در دشت‌های کویر سیاه‌کوه، کویر درانجیر، بافق، بهاداران و ده‌شیر کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب از همه مناطق بدتر بوده است. تغییرات



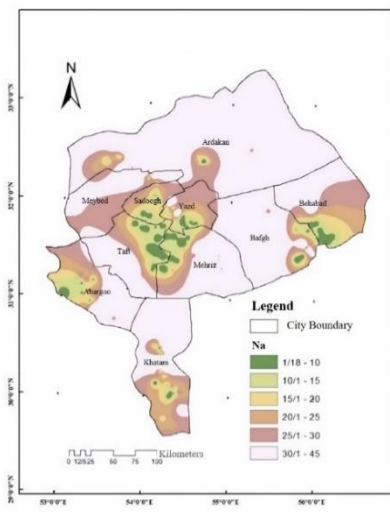
a)



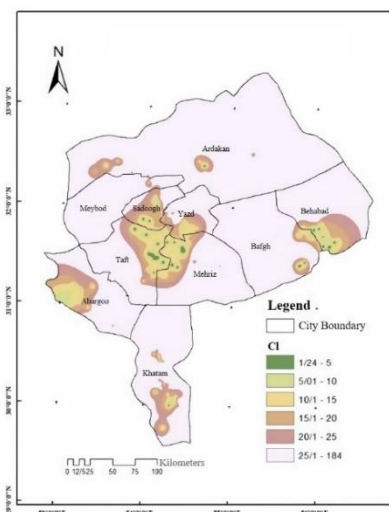
b)



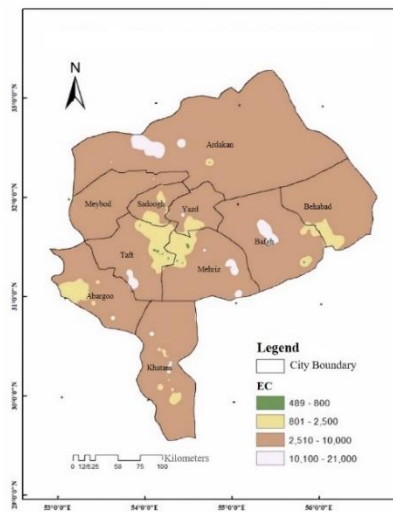
c)



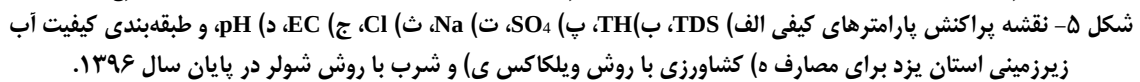
d)



e)



f)



طی سال‌های گذشته از مجموع ۱۹ محدوده مطالعاتی استان یزد، ۱۵ محدوده به جهت بهره‌برداری بیش‌از پتانسیل تجدیدپذیر و به تبع آن افت تراز آب زیرزمینی که امکان بازگشت طبیعی به سطح اولیه نداشته، به عنوان دشت ممنوعه طبقه‌بندی شد (شکل ۶). از این میان محدوده‌های مطالعاتی یزد- اردکان، چاهک شهریار، بهادران و ابرکوه به دلیل کاهش مستمر کمیت و کیفیت آب، همچنین، افت تراز بیشتر و کسری حجم مخزن آبخوان، جزء دشتهای ممنوعه بحرانی قرار گرفته که بعضا پدیده فرونشست زمین نیز در آنها مشاهده شده است. لذا برداشت حتی از چاه‌های مجوزدار نیز باید با احتیاط و به اندازه تعیین شده انجام گیرد تا وضع بدتر نشود. در استان یزد، بجز محدوده‌های ساغند، کویرریگزیرین و کویراله‌آباد بقیه دشت‌ها جزء مناطق ممنوعه می‌باشند.



۱۳۲

فرونشست زمین نیز مشاهده می‌شود. لذا برداشت حتی از چاه-های مجوزدار نیز باید با احتیاط و به اندازه تعیین شده انجام گیرد تا وضع بدتر نشود. و بجز محدوده‌های ساغند، کویرریگ‌زرین و کویراله‌آباد بقیه دشت‌ها جزء مناطق ممنوعه می‌باشند.

• بطور کلی کسری بیلان آب زیرزمینی استان یزد بالغ بر ۲۵۱/۸۶ میلیون مترمکعب در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ بوده، درحالی‌که متوسط کسری بیلان دراز مدت آن ۲۲۹/۸۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. بدیهی است که شرایط موجود زنگ خطری برای وضعیت سفره‌های آبی استان در آینده‌ی نه چندان دور می‌باشد.

• کیفیت آب زیرزمینی در استان یزد، به جهت برداشت بیش از حد ظرفیت آبخوان، پایین بوده و طی دوره ده ساله (۹۶-۱۳۸۶) مورد بررسی، نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد. بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب حاکی از کیفیت پایین آب زیرزمینی در شهرستان‌های مهریز، اردکان و بافق بوده است. آب بخش‌های اندکی بخصوص در نواحی مرکزی استان (شهرستان تفت، ابرکوه، بهاباد، صدوق و بخش‌هایی از مهریز) مناسب برای مصارف شرب می‌باشد.

• تغییرات مکانی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی، نیز حاکی از میزان بالای شوری آب بوده که برای کشاورزی مضر است و آب بخش‌های اندکی بخصوص در نواحی مرکزی استان (شهرستان تفت و صدوق) مناسب برای آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشد. لذا آبیاری با آب زیرزمینی استان نیازمند تمهیدات لازم برای این کار می‌باشد. به لحاظ کیفیت آب زیرزمینی این مناطق بیشتر مناسب برای گیاهان مقاوم به شوری می‌باشد.

جهت مدیریت و بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی استان، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

• به سبب کمبود بارش و محدودیت منابع آب، خشکسالی و پراکنش نامناسب بارندگی در سطح استان، عدم نزدیکی به منابع آب دائمی کشور اعم از رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین، توسعه کویر و بیلان منفی سفره‌های زیرزمینی استان، پیشنهاد می‌شود، الگوی کشت تغییر کند؛ کشت گیاهان کم-آبخواه توسعه یابد و از توسعه کشت گلخانه‌ای در استان حمایت شود.

• با توجه به ممنوعه بودن اکثر دشت‌های استان یزد، پیشنهاد می‌شود همه دشت‌های استان، ذیل طرح ملی احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (وزارت نیرو، ۱۳۹۳)، به تجهیزات

افت سطح آب در آبخوان‌های استان در سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ تا ۱۰۱ متر گزارش شده است. در همین سال کسری بیلان آب زیرزمینی در استان یزد بالغ بر ۲۵۲ میلیون مترمکعب بوده که نسبت به مقدار بلند مدت، ۱۰ درصد افزایش داشته است. در این مقدار سهم دشت یزد-اردکان، به عنوان بزرگترین کانون جمعیتی و صنعتی استان، در حدود ۳۵ درصد است. لازم به ذکر است کسری تجمعی حجم مخزن آب زیرزمینی دشت یزد اردکان از سال ۱۳۵۴ در یک دوره آماری ۴۲ ساله برابر چهار هزار میلیون مترمکعب است که این رقم معادل ۲۰ برابر ظرفیت حجم مخزن سد کرج می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت حفظ و پایش کیفیت آب زیرزمینی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و حساس استان یزد، به بررسی و ارزیابی این منابع ارزشمند پرداخته شد که اهم نتایج حاصل از انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

• به جهت موقعیت قرارگیری استان یزد در اقلیم خشک فلات مرکزی ایران و همچنین تغییرات اقلیمی اخیر که منجر به کاهش بارش‌ها گردیده است. منابع آب سطحی محدود استان، محدودتر شده و فشار اصلی به منابع آب زیرزمینی وارد می‌گردد.

• تخلیه آب زیرزمینی در استان یزد در ۱۹ محدوده مطالعاتی و توسط ۳۸۷ دهنه چشمه، ۲۶۳۰ رشته قنات، ۲۹۴۱ حلقه چاه عمیق و ۷۷۴ حلقه چاه نیمه‌عمیق صورت می‌گیرد (سال آبی ۱۳۹۴-۹۵). در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ از مجموع ۷۹۴۳ منبع آب زیرزمینی در اختیار استان، ۱۶۱۱.۷۴ میلیون مترمکعب آب استحصال گردیده که با کاهش ۶.۷ درصد به لحاظ تعداد و کاهش ۳۳ درصد به لحاظ میزان آب استحصال، در سال آبی ۱۳۹۵-۹۶ به ۷۴۱۴ منبع با برداشت ۱۰۷۸.۲۵ میلیون مترمکعب آب رسیده است.

• یکی از عوارض برداشت‌های بی‌رویه از منابع آبی را می‌توان فرونشست زمین در برخی مناطق استان اشاره نمود و به دلیل برداشت‌های زیاد و خالی شدن مخازن زیرزمینی سالانه ۵۰ سانتی‌متر افت آب‌های زیرزمین اتفاق می‌افتد. این امر موجب از بین رفتن ذخایر ظرفیت آبخوان‌ها و فشرده شدن خاک‌ها در زیرزمین می‌شود و بعد از بارندگی‌ها زمین قادر به ذخیره آب نیست و در نتیجه بارندگی‌ها هر چقدر هم زیاد شود هدر می‌رود. از این‌رو، از بین ۱۹ محدوده حوزه عمل شرکت آب منطقه‌ای یزد، ۴ محدوده مطالعاتی شامل، یزد-اردکان، چاهک شهریار، بهادران و ابرکوه به دلیل کاهش مستمر کمیت و کیفیت آب، جزء دشت‌های ممنوعه بحرانی هستند که بعضاً پدیده

چیت‌سازان، م.، میرزایی، ی.، محمدی‌بهباد، ح.ر.، شبان، م.، ۱۳۸۸. تاثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی: دشت خویس در شمال خوزستان، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

چیت‌سازان، م.، اختری، ی. ۱۳۸۵. پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت‌های زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله آب و فاضلاب، ۵۹: ۳۹-۵۱.

حسینی، ق.، محوی، ا.، ناصری، س.، عرب علی‌بیگی، ح.، یونسین، م.، قریبی، ح.، ۱۳۹۱. طراحی شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی، مجله سلامت و بهداشت اردبیل، ۳ (۱): ۳۱-۱۸.

دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان یزد، ۱۳۹۶. مطالعات تهیه بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کویرهای سیاهکوه، ریگ زرین و ذق سرخ: بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی یزد - اردکان.

رهنما، ه.، قنبرپور، م.، حبیب‌نژاد-روشن، م.، دادرسی، ا.، ۱۳۹۱. بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی: دشت جوبین، استان خراسان رضوی. جغرافیا و آمایش سرزمین. ۳، ۴۶-۳۱.

رجایی، ق.، مهدی‌نژاد، م.ه.، حصاری مطلق، س.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت شیمیایی آب شرب روستایی دشت بیرجند و قائن در سال‌های ۸۹-۱۳۸۸، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۷ (۶): ۷۴۵-۷۳۷.

سلیمان‌پور، س. م.، لطفی‌نسب، س.، رحمتی، ا.، معتمدنیا، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی با تأکید بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در حوزه آبخیز کرمان‌باغین، استان کرمان. ترویج و توسعه آبخیزداری، ۱۰ (۳۹): ۴۸-۶۲.

شرکت آب و فاضلاب استان یزد، ۱۳۹۶. گزارش وضعیت منابع و مصارف آب شرب در استان یزد و پروژه‌های در دست اقدام.

اندازه‌گیری منابع آب بر روی پیژومترها مجهز شوند تا بتوان وضعیت بهره‌برداری از آبخوان را با دقت پایش کرد.

- با توجه به اینکه دشت‌های کویر اله‌آباد، کویر ریگ زرین و ساغند جزء مناطق آزاد طبقه‌بندی شدند و به لحاظ توسعه و احداث چاه امکان بهره‌برداری وجود دارد پیشنهاد می‌شود دقت لازم برای اعطای مجوز چاه صورت پذیرد.
- جهت بهره‌برداری پایدار منابع آب زیرزمینی استان به جهت اینکه تقریباً همه دشت‌های استان دارای بیلان و تراز منفی می‌باشند پیشنهاد می‌شود، چاه‌های غیرمجاز و فاقد پروانه بهره‌برداری در حد امکان مسدود شوند و برداشت از چاه‌های مجوزدار نیز با کنترل و نظارت بیشتری ادامه پیدا کند.

مراجع

اسدی، ا.، بیات، ف.، ۱۳۹۸. ارزیابی کیفیت منابع‌های آب زیرزمینی دشت زنجان با استفاده از روش‌های EWQI و TOPSIS، فصلنامه علوم محیطی، ۷ (۱): ۵۶-۴۱.

انصاری، ح.، داوری، ک.، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره‌های خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS (استان خراسان)، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، ۱۰۸: ۹۷-۶۰.

انتظاری، ع.، اکبری، ا.، میوانه، ف.، ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب شرب استحصالی از منبع زیرزمینی بر بیماری‌های انسانی دهه اخیر در دشت مشهد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳ (۳۱) ۱۵۷-۱۷۲.

اکرامی، م.، شریفی، ذ.، ملکی‌نژاد، ح.، اختصاصی، م.ر.، ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت یزد - اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹، فصلنامه علمی - پژوهشی دانشکده یزد، ۱۰ (۳): ۸۲-۹۲.

بابامیر، ر.، چیت‌سازان، م.، میرزایی، ی.، زارع‌صفت، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب با استفاده از شاخص GQI در دشت دزفول- اندیمشک، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

پورکرمانی، م.، ناصری، ح.، ارجمی، ا.، ۱۳۸۷. تاثیر ساختاری گنبد نمکی قلعه گچی بر شوری آب‌های زیرزمینی دشت درایون، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۵۹-۱۴۱.

- پژوهشکده زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۷ (۵): ۹۳۷-۹۲۷.
- مریدی، ع.، کراچیان، ر.، ذکایی، م.، ۱۳۹۵. تحلیل وضعیت کیفیت منابع آب ایران (دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳)، مجله علمی - پژوهشی تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲ (۴): ۳۵-۲۳.
- محمدیاری، ف.، اقدر، ح.، پورخبا، ح.، ۱۳۹۷. پهنه‌بندی کیفیت آب شرب دشت قزوین با استفاده از طبقه‌بندی شولر، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست (انتشار آنلاین).
- ندیری، ع.، صدقی، زهرا. ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه با استفاده از روش‌های DRASTIC و SINTACS. هیدروژئولوژی، ۴ (۲): ۱۸۶-۱۷۱.
- وزارت نیرو، ۱۳۹۴. پایش کمی و کیفی منابع آب؛ ضرورت‌ها، مفاهیم و روش‌ها.
- هواشناسی استان یزد، ۱۳۹۷. تحلیل وضعیت بارندگی استان یزد.
- Carroll, S. et al., 2013. Role of Land Use and Seasonal Factors in Water Quality Degradations, Water Resources Management, 27 (9): 3433- 3440.
- Dash, G.P., Sarangi, A., Singh, D.K., 2010. Spatial Variability of Groundwater Depth and Quality Parameters in the National Capital Territory of Delhi, Environmental Management, 45(3): 640- 650.
- Dhar, R. et al., 2008. Temporal Variability of Groundwater Chemistry in Shallow and Deep Aquifers of Araihaazar, Bangladesh, Journal of Contaminate Hydrology, 99 (1): 97- 111.
- Elci, A. et al., 2009. Spatial and Temporal Assessment of Groundwater Quality Indicators and Hydrogeological Characterization of a Karstic Aquifer in Western Turkey.
- Hafashjani, E., Harchegani, H., Dehkordi, A., Tabataei, S., 2014. Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Journal of Irrigation and Water Sciences, 15:51-63.
- Johansen K., Andersen, A.N., Kampman J.P., Hansen J.M., Mortensen H.B., 1982. Excretion of methimazole in human milk. Eur J Clin Pharmacol, 23:339-41.
- عسکری، م.، مساعدی، ا.، دهقانی، ا.، مفتاح، ح.، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی بوسیله تحلیل-های زمین‌آمار و سیستم اطاعات جغرافیایی: دشت قزوین، کنفرانس بین‌المللی منابع آب.
- صاغی جدید، م.، کتابچی، ح.، ۱۳۹۸. مدیریت احیاء منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تلفیقی شبیه‌سازی عددی - بهینه‌سازی فراکاوشی جامعه مورچه‌ها، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۲): ۱۳۳-۱۱۹.
- صالحی-کاهکش، س.، اسلامی، ح.، رزاز، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ شرب (مطالعه موردی: دشت گلگیر). فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب، ۵ (۳): ۱۷۹-۱۸۹.
- صباح‌نیا، د.، صادقی‌لاری، ع.، ۱۴۰۳. مدل‌سازی کمی آب زیرزمینی با استفاده از GMS-MODFLOW (مطالعه موردی: آبخوان شمیل در استان هرمزگان). هیدروژئولوژی، ۹ (۱): ۸۵-۷۱.
- صدقی، ز.، ندیری، ع.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی شهرستان ورزقان با مقایسه نتایج دو شاخص GWQI و GQI. هشتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، ۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه ۱۳۹۹، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- قاسمی، ع.، زارع‌ابیان، ح.، شهنسوار، ا.، م.، یعقوبی، ب.، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت همدان - بهار، فصلنامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم، ۶ (۲۳): ۱۰۹-۱۲۶.
- محمدی، م.، ابراهیمی، ک.، عراقی‌نژاد، ش.، ۱۳۹۰. ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی: آبخوان‌های ساوه و اراک، مجله دانش آب و خاک، ۲۱ (۲): ۱۰۸-۹۳.
- مقامی، ی.، قضاوی، ر.، ولی، ع.، شرفی، س.، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان آباده)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۲ (۲): ۱۸۲-۱۷۱.
- مظفری‌زاده، ج.، سجادی، ز.، ۱۳۹۳. بررسی آلودگی شیمیایی آب زیرزمینی دشت برازجان، دو ماهنامه طب جنوب،

Saghi-Jadid, M., Ketabchi, H. 2021. Result-based management approach for aquifer restoration problems using a combined numerical simulation - parallel evolutionary optimization model, *Journal of Hydrology*, 594:125709.

Zhu, Y. et al., 2009. A Survey: Obstacles and Strategies for the Development of Groundwater Resources in Arid Inland River Basins of Western China, *Journal of Arid Environments*, 59(2): 351- 367.

Lobato T., Hauser-Davis R., Oliveira T., Silveira A., Silva H., Tavares M., 2015. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: a case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*, 522:674-83.

Ng, S.M.Y., Wai1, O.W.H., Xu1, Z.H., Li1, Y.S., Jiang, Y.W., 2005. Application of GIS for Retrieval and Display of Hydrodynamic and Water Quality Data for the Pearl River Estuary. *Environmental Informatics Archives*, 3:372–378.