فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال هفتم، شماره بیست و هشتم، زمستان ۱۳۹۲، صفحات ۹۹-۱۱۰

بررسی تاثیر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بر کیفیت آبخوان (مطالعه موردی: دشت اشتهارد)*

محمد رضوانی[۱]، احمدعلی قربانیان[۲]، مهدی نوجوان[۳و]، مهدی صهبا[۴]**

۱. استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور واحد تهران

۲. کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای تهران

۳. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۴

چکیده

دشت اشتهارد در سال‌های اخیر در معرض اضافه برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و کسری مخزن بوده است و عدم توجه کافی به کیفیت آب‌های زیرزمینی منجر به تشدید آلودگی و پدیده شوری در آبخوان اشتهارد شده است. در این تحقیق پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی نظیر هدایت الکتریکی، غلظت یون‌های سولفات و کلر و در نهایت افت سطح ایستابی آبخوان بررسی شده است. بدین منظور ابتدا براساس اطلاعات موجود در خصوص تراز متوسط سطح آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۶، نمودار تغییرات طولانی مدت سطح آب آبخوان ترسیم و مقدار افت متوسط سالیانه ۰/۶۹ متر به دست آمد. همچنین براساس ارقام مطلق سطح آب زیرزمینی ۱۶ حلقه از چاه های مشاهده‌ای موجود در پهنه آبخوان، نقشه هم تراز آب‌های زیرزمینی برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ تهیه گردید. سپس از ۱۴ منبع انتخابی دشت مشتمل بر ۹ حلقه چاه و ۵ رشته قنات در دو نوبت در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ نمونه‌برداری شد. پس از سنجش شیمیایی نمونه‌ها و مشخص شدن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نظیر کلر، سولفات و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، منحنی‌های هم هدایت الکتریکی، هم کلر و هم سولفات ترسیم گردید. همچنین کموگراف سالیانه آبخوان برحسب میانگین حسابی برای یک دوره ۸ ساله بین سال‌های ۹۰-۱۳۸۲ استخراج گردید. نتایج نشان داد با توجه به تغذیه محدود در این حوضه، عدم تعادل در میزان بهره‌برداری باعث افت سطح آب در آبخوان و تغییر مسیر جریان گردیده است. براساس هیدروگراف سالیانه آبخوان و بر پایه داده‌های بیلانی، متوسط تغذیه سالانه حدود ۲۹/۷ میلیون متر معکب و متوسط افت سطح آب زیرزمینی در یک دوره ۱۵ ساله حدود ۰/۶۹ متر در سال می‌باشد که نشانه استفاده بیشتر از ظرفیت تجدیدپذیری آبخوان است. نقشه‌های منتج از میزان هدایت الکتریکی، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های منابع انتخابی دشت و کموگراف سالیانه، نشان داد که در نواحی غربی آبخوان به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان، آب‌های شور از قسمت شمالی دشت به سمت جنوب دشت پیشروی نموده است به طوریکه مقدار هدایت الکتریکی از ۴۲۵۸/۱۲ میکروموس بر سانتی‌متر در سال ۸۳-۱۳۸۲ به ۶۷۳۳/۹ میکروموس بر سانتی‌متر در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ افزایش یافته

* این مقاله مستخرج از طرحی است که با حمایت مالی دانشگاه پیام نور با عنوان "ارزیابی میزان آلودگی آبخوان و علل تغییرات آن (مطالعه موردی: آبخوان دشت اشتهارد)" به تصویب رسیده است.

** نویسنده مرتبط nojavan_mehdi@ut.ac.ir

است و با توجه به این‌که در قسمت شمالی آبخوان، تیپ آب شدیداً کلروره می‌باشد، نفوذ آب‌های شور کلروره از افزایش شدیدتری نسبت به یون سولفات برخوردار بوده است. بنابراین شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیشروی جبهه آب شور به طرف جبهه آب شیرین به عنوان یکی از پیامدهای ناشی از افت مستمر سطح آب زیرزمینی یا اضافه برداشت، در این منطقه قابل مشاهده می‌باشد که ادامه روند کنونی، چشم‌انداز روشنی را برای دشت ترسیم نمی‌نماید.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آبخوان، دشت اشتهارد، هدایت الکتریکی، کلر، سولفات.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی که بخشی از چرخه آب را تشکیل می‌دهند، بخش مهمی از آب‌های پویا و تجدیدپذیر جهان به شمار می‌آیند (Ramakrishna and et al., 2000) و ذخایر قابل اطمینانی برای تامین آب مورد نیاز در تکمیل منابع برای مواقع بحرانی به عنوان ذخایر استراتژیک محسوب می‌شوند (Pereira and et al., 2009). با توجه به ثابت بودن منابع آب‌های تجدید شونده، حفظ این منابع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و به تبع رشد روز افزون صنایع آلاینده در محیط زیست انسانی، این منابع در معرض آلودگی‌های مختلفی قرار دارند. همچنین با توجه به اینکه درک تأثیرات بالقوه فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی برای حفاظت و استفاده پایدار از منابع آب و همچنین استخراج آن‌ها افزایش یافته است (Dashpande and Aher, 2012)، شناخت کمیت و کیفیت این ذخایر، به عنوان یکی از مهمترین و آسیب‌پذیرترین منابع تامین آب در دهه‌های اخیر، یک امر کاملا بدیهی است (Mouser and Rizzo, 2004).

با توجه به این‌که منطقه اشتهارد واقع در محدوده شهرستان کرج و بخش بسیار محدودی از نواحی جنوب شرقی استان قزوین، در شرایط اقلیمی بیابانی واقع شده و فاقد رودخانه‌های دائمی قابل استفاده است، تقریبا تمامی منابع آبی مورد نیاز (کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی) از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. حاکم بودن شرایط اقلیمی بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک و سایر شرایط موجب گردیده که رودخانه دائمی و حتی فصلی قابل بهره‌برداری در محدوده مورد بررسی وجود نداشته باشد. عدم وجود جریان‌های سطحی با کیفیت مناسب، از قرن‌ها قبل ساکنین این نواحی را به سمت حفر قنات و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی سوق داده است. بطوریکه تا قبل از سال ۱۳۴۰ و زلزله بوئین‌زهرا، منحصراً قنات تأمین کننده آب مصرفی این محدوده بوده و از این سال به بعد حفر چاه و بهره‌گیری از موتورپمپ، توسعه یافته است که این موضوع باعث متوسط افت سالانه ۰/۶۹ متر در سطح ایستابی آبخوان گردیده و نهایتا خشک شدن قنوات را به دنبال داشته است. کاهش سطح ایستابی و پایین آمدن سطح کیفیت آب‌ها به دلیل اضافه برداشت بیش از ظرفیت آبخوان، نه تنها از نظر محیط‌زیستی تاثیرات مخربی بر جای می گذارد، بلکه باعث کاهش امکانات معیشتی منطقه نیز می‌گردد (مقامی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Ramakrishna and et al., 2000). علاوه بر مسائل اشاره شده در این خصوص، برداشت‌های بدون کنترل می‌تواند باعث مسائلی نظیر فرونشست زمین نیز گردد، که این موضوع در منطقه اشتهارد توجه مسئولین را به خود جلب کرده است (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸). بنابراین با توجه به این رویکرد که حفاظت از منابع آبی و عملکرد آن‌ها به طور مداوم مقرون به صرفه می‌باشد (Ramakrishna and et al., 2000)، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در هر منطقه ای باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد (ولایتی، ۱۳۸۱؛ Ramakrishna and et al., 2000). در تحقیقی در منطقه کاداپای هند، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و خشک شدن چاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و عامل کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری بی‌رویه در زمینه‌های کشاورزی، صنعت و تامین آب دام شناسایی شد (Ramakrishna and et al., 2000). با توجه به یافته‌های این تحقیق، حفاظت سفره‌های آب زیرزمینی به منظور تامین نیازهای دائمی، نیازمند مدیریت منابع آب در زمینه‌های زمین شناسی، هیدرولوژی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی در منطقه مورد نظر می‌باشد.

در تحقیق دیگری در منطقه تالوکا در هند، عوامل موثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که توسعه کشاورزی در سال‌های اخیر در منطقه، منجر به افزایش تقاضا برای منابع آب گردیده و این عامل موجب کاهش کمیت و کیفیت آبخوان شده و بررسی هیدروشیمی منطقه و استانداردهای WHO نشان داد که در نهایت ۴۰ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه برای مقاصد آبیاری بر اساس پارامترهای کیفیت آبیاری نامناسب می‌باشد (Dashpande and Aher, 2012).

در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۹ جنبه‌های اصلی برداشت و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی تحلیل شد و چشم انداز دستیابی به توسعه پایدار آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت که پس از بررسی روش‌های مدیریت و همچنین الزمات مورد نیاز برای نظارت، کنترل و نگهداری از چاه ها، پمپ ها و دیگر امکانات، اثرات محیط‌زیستی برداشت‌های بیش از ظرفیت آبخوان نیز مورد بررسی قرار گرفت (Pereira and et al., 2009).

ولایتی (۱۳۸۱) در تحقیقی به بررسی منحنی‌های هم هدایت الکتریکی و هم کلر در حواشی روستای جنب‌آباد آبخوان دشت جنگل پرداخت که با توجه به تغییرات منحنی‌های هم هدایت از ۵۰۰ میکروموس در سال ۱۳۶۶ به ۶۰۰۰ در سال ۱۳۷۵ به نتایج قابل قبولی در خصوص تاثیر اضافه برداشت آب از چاه‌ها و شور شدن آبخوان دست یافت. کرمی و کاظمی (۱۳۹۱) در مطالعات

خود به مدیریت بهینه منابع آب دشت تبریز و پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی در سال‌های شاخص خشکسالی و ترسالی پرداخته‌اند و با بررسی انواع شاخص‌ها از جمله EC میزان شوری آن‌ها را به صورت جداگانه در سال‌های خشک و تر مورد بررسی قرار داده و به نتایجی در خصوص این‌که میزان کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در سال‌های خشک کمتر از سال‌های تر می‌باشد، دست یافتند. بنابراین بررسی تحقیقات پیشین و نقش منابع آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مختلف کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اهمیت این منابع را بیش از پیش نمایان می‌سازد. از سویی با توجه به این‌که محدوده مورد مطالعه به دلیل کمبود زمین قابل کشت در منطقه یک قطب کشاورزی بوده و تقریبا تمامی منابع آبی مورد نیاز (کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی) از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود، و از طرفی با خطر جدی شور شدن منابع آب و خاک همراه است، انجام این تحقیق با هدف بررسی تاثیر بهره‌برداری بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و به ویژه اثر افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی در شور شدن منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین ضروریات این منطقه به شمار می‌آید، تا با پایش مکانی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد و ارائه پیشنهاداتی جهت مدیریت و بهره‌برداری مناسب از آب‌های زیرزمینی به منظور جلوگیری از افت سطح سفره آب‌های زیرزمینی در این دشت گامی موثر در بحران آب پیش رو در منطقه برداشته شود. بدین منظور پس از جمع‌آوری کلیه داده‌های مورد نیاز برای ترسیم هیدروگراف و کموگراف متوسط سالانه آبخوان و نمونه‌برداری از منابع انتخابی و آزمایش آن‌ها، از منحنی‌های هم تراز در محیط GIS جهت پایش تغییرات کیفی استفاده گردید.

منطقه مورد مطالعه

هیدروژئولوژی اشتهارد، یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک است و با کشیدگی شرقی- غربی بین دو سری ارتفاعات شمالی (حلقه‌در) و جنوبی (قوش گونی، کردها و جارو) قرار دارد، که موقعیت قرارگیری این دشت از غرب به منتهی‌الیه جنوب شرقی دشت قزوین و از شرق به دشت تهران- کرج در ناحیه ماهدشت مرتبط است.

این واحد هیدروژئولوژی از نظر مختصات جغرافیایی در بین '۹ °۵۰ تا '۵۰ °۵۰ طول شرقی و '۳۴ °۳۵ تا '۴۸ °۳۵ عرض شمالی می‌باشد. این منطقه در سیستم تصویری U.T.M بین ۴۲۵۰۰۰ تا ۴۸۲۰۰۰ متر شرقی و ۳۹۳۸۰۰۰ تا ۳۹۶۰۰۰۰ متر شمالی نیز واقع شده‌است. بر اساس آمار ایستگاه باران‌سنجی نجم‌آباد واقع در مرز شمالی محدوده مطالعاتی متوسط بارش سالانه (۶۴-۱۳۶۳ لغایت ۸۶-۱۳۸۵) ۲۳۲/۷ میلیمتر در سال است. در طول دوره آماری مذکور مرطوب‌ترین سال با متوسط بارش ۳۷۵/۵ میلیمتر در سال آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۴ و کم‌ترین بارش سالانه با رقم ۱۲۹ میلیمتر در سال مربوط به سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ است (حیدریان، ۱۳۸۶).

متوسط بارش سالانه در دشت اشتهارد بر اساس نقشه هم‌باران ۲۰۵ میلیمتر بوده که حجمی معادل ۷۸/۵ میلیون مترمکعب را شامل می‌گردد. متوسط بارندگی بر سطح کوهستان نیز برابر ۲۳۶ میلیمتر بوده که با توجه به مساحت حوضه، حجمی معادل ۹۵/۸۲ میلیون مترمکعب است. بنابراین با احتساب متوسط بارش سالانه در سطح کل محدوده مطالعاتی به میزان ۲۲۰/۹ میلیمتر، حجم آبی معادل ۱۷۴/۳۳میلیون مترمکعب در سال را در پی خواهد داشت.

دشت اشتهارد در منطقه نیمه خشک واقع گردیده و با توجه به متوسط بارندگی و میزان تبخیر بالغ بر ۲۵۶۰ میلیمتر در سال، آن را از نعمت رودخانه آب شیرین محروم نموده و تنها رودخانه شور نیز جز افزایش معضلات زیست محیطی قسمت میانی دشت ارمغان دیگری را به دنبال نداشته است (بی‌نام، ۱۳۸۶).

آب رودخانه شور که تنها رودخانه این حوضه است، عمدتاً از سرریز پهنه تبخیری- نمکی جنوب شرقی قزوین تأمین می‌شود. به علت شرایط خاص اقلیمی در حوزه آبریز رود شور و کمبود بارندگی، این رودخانه دائمی نبوده و به صورت فصلی است و در بارندگی‌های شدید، سیلابی شده و در مواقع غیر بارندگی به صورت زهکش عمل می‌نماید. آب آن در پائین‌دست در بعضی مناطق در بستر نفوذ نموده و مجددا ظاهر می‌شود (حیدریان، ۱۳۸۶). این رودخانه در بخش عمده‌ای از سرتاسر باند شمالی این محدوده، از غرب به شرق جریان داشته ولی به دلیل شوری زیاد امکان بهره‌برداری و استفاده از آن وجود ندارد. رودخانه سرریز تالاب و شوره‌زاری است که از تجمع جریان‌های همگرای رودخانه‌های ابهررود، خررود، حاجی عرب و تعدادی آبراهه و رودخانه‌های کوچکتر تشکیل شده است.

وجود لایه‌های مارنی با میان لایه‌های گچ و نمک در یال شمالی ارتفاعات حلقه‌در و در برخی از بخش‌های دیگر حوضه آبریز این تالاب و همچنین ورودی نهائی آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی قزوین که از املاح فراوانی هم برخوردار است، به علاوه مسئله تبخیر، موجب گردیده که آب این تالاب فوق‌العاده شور و نامطلوب باشد و رودخانه حاصل از سرریز آن نیز به دلیل شرایط کیفی مذکور رودخانه شور نامیده شود.

همچنین آبخوان اشتهارد با کشیدگی شرقی- غربی در حد فاصل حاشیه ارتفاعات جنوبی تا حاشیه نزدیک به پهنه تبخیری گسترش دارد. در نواحی غربی به دلیل عدم گسترش پهنه نمکی، پهنای آبخوان به سمت شمال گسترش می‌یابد. طول آبخوان در حدود ۵۰ کیلومتر و عرض آن در نواحی نزدیک به مرز شرقی حدود ۲/۵ کیلومتر، در نواحی نزدیک به مرز غربی حدود ۷/۵ کیلومتر و در حد واسط مرزهای شرقی- غربی حدود ۴/۵ کیلومتر است (بی‌نام، ۱۳۸۶). بهترین و توانمندترین بخش این آبخوان تقریباً شامل نواحی بین شهر اشتهارد و جنوب آن تا مرز غربی محدوده مورد مطالعه می‌باشد که بیشترین حجم بهره‌برداری از آبخوان نیز مربوط به این نواحی است و متأسفانه بیشترین افت سالانه سطح آب زیرزمینی را نیز تحمل نموده و می‌نماید و شرایط کاملاً بحرانی بر آن حاکم است.

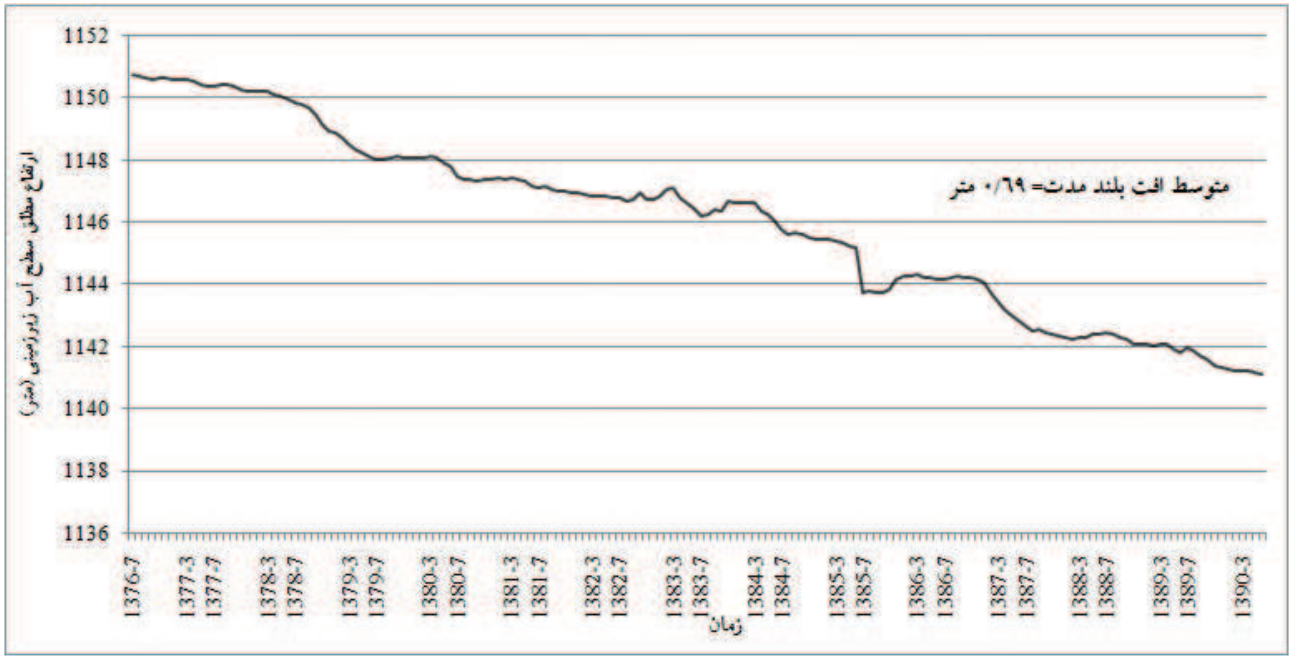
روش مطالعه

همانطورکه بیان گردید هدف از این تحقیق پایش مکانی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد و بررسی تاثیر بهره‌برداری بیش از حد و افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی بر کیفیت آن و به‌ویژه شور شدن منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در این راستا به منظور تامین داده‌های مورد نیاز برای بررسی افت سطح ایستابی بر کیفیت آن، ابتدا اطلاعات موجود در خصوص تراز متوسط سطح آب زیرزمینی بین سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۶، جهت ترسیم نمودار تغییرات طولانی مدت سطح آب آبخوان و ارقام مطلق سطح آب زیرزمینی ۱۶ حلقه از چاه های مشاهده‌ای موجود در پهنه آبخوان جهت تهیه نقشه هم تراز آبهای زیرزمینی برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و هدایت الکتریکی آبخوان برای یک دوره ۸ ساله بین سال‌های ۹۰-۱۳۸۲ جهت تهیه کموگراف بلند مدت جمع‌آوری گردید. سپس از ۱۴ منبع انتخابی دشت مشتمل بر ۹ حلقه چاه و ۵ رشته قنات در دو نوبت در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ نمونه برداری شد. اولین نمونه‌برداری در تاریخ ۱۳۸۹/۹/۱۱ و دومین نمونه‌برداری در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۰ بوده است. پس از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در آزمایشگاه آب منطقه‌ای تهران، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نظیر کلر و سولفات مشخص گردید (جدول ۳). پس از بررسی‌های صورت گرفته و با توجه به تغییرات زیاد هدایت اکتریکی و غلظت سولفات و کلر در سطح منطقه و اهمیت بررسی تاثیر آن‌ها در شوری و کیفیت آب زیرزمینی، منحنی‌های هم هدایت الکتریکی، هم کلر و هم سولفات ترسیم گردید.

بیلان آب زیرزمینی و تغییرات سطح ایستابی آبخوان اشتهارد

جهت به دست آوردن بیلان متوسط سالیانه و هیدروگراف معرف آبخوان ابتدا اطلاعات مربوط به تراز متوسط سطح آب زیرزمینی در یک دوره ۱۵ ساله بین سال‌های ۹۰-۱۳۷۶ جمع‌آوری گردید. سپس هیدروگراف معرف آبخوان برای این دوره ترسیم شد (شکل ۱). با استفاده از این نمودار میزان متوسط افت بلند مدت ۰/۶۹ متر به دست آمد. همچنین با توجه به این‌که ضریب ذخیره متوسط دشت ۴ درصد و وسعت آبخوان (مساحت شبکه تیسن) ۲۴۵/۲ کیلومترمربع است، در نتیجه مقدار تغییر حجم ذخیره (کسری حجم مخزن) یا به‌عبارت دیگر اضافه برداشت از ذخیره ثابت آبخوان حدود ۶/۷۷ میلیون‌مترمکعب در سال محاسبه شد. با توجه به گزارش و محاسبات بیلان متوسط سالیانه (جدول ۱ و شکل ۲)، میزان تخلیه از چاه، چشمه و قنات ۲۷/۱ میلیون مترمکعب[1] در سال جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت بوده و عمده تخلیه دشت توسط چاه‌های عمیق و در بخش غربی آبخوان اشتهارد انجام می‌گردد (حیدریان، ۱۳۸۶). باید به این مساله نیز توجه داشت که تنها منبع تامین آب شرب جمعیت ۱۷۱۴۴ نفری (آمار سرشماری سال ۱۳۸۵) بخش اشتهارد و صنایع مستقر و همچنین مصرف کشاورزی منطقه، آب زیرزمینی است. در واقع مطابق بیلان متوسط سالیانه میزان کسری مخزن که تفاضل بین مجموع عوامل ورودی و مجموع عوامل خروجی می‌باشد، ۶/۷۷ MCM می‌باشد.

همچنین جهت بررسی افت سطح آب زیرزمینی، نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ ترسیم گردید (شکل ۳). مطابق شکل ۳ بالغ بر ۷۰ درصد بهره‌برداری کل



شکل ۱. هیدروگراف معرف آبخوان دشت اشتهارد در دوره ۹۰- ۱۳۷۶ .

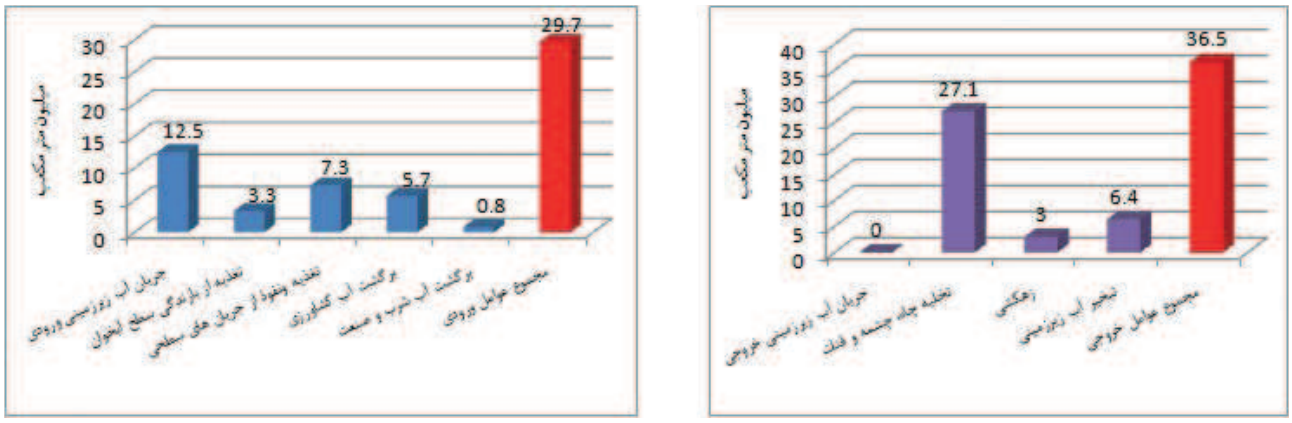
1. MCM

جدول۱. بیلان متوسط سالیانه آب زیرزمینی آبخوان دشت اشتهارد براساس اطلاعات سال‌های ۹۰-۱۳۷۶ .

تغذیه (عوامل ورودی)	MCM	تخلیه (عوامل خروجی)	MCM
جریان زیرزمینی ورودی	۱۲/۵	جریان آب زیرزمینی خروجی	۰
بارندگی سطح آبخوان	۳/۳	تخلیه چاه، چشمه و قنات	۲۷/۱
تغذیه و نفوذ از جریان‌هاس سطحی	۷/۳	زهکشی	۳/۰
برگشت آب کشاورزی	۵/۷	تبخیر آب زیرزمینی	۶/۴
برگشت آب شرب و صنعت	۰/۸		
مجموع عوامل ورودی	**۲۹/۷**	**مجموع عوامل خروجی**	**۳۶/۵**

جدول۲. آنالیز شیمیایی منابع انتخابی دشت اشتهارد- دوره اول (۱۳۸۹/۹/۱۱) .

ردیف	منبع	UTM X	UTM Y	EC (µs/cm)	SO4 (mg/lit)	CL (mg/lit)	Na (mg/lit)	SAR	K (mg/lit)
۱	فتح‌آباد مراد تپه	۴۳۲۴۵۰	۳۹۵۵۹۰۰	۶۶۸۰	۲۳/۱۲	۱/۴۳	۵/۳۶	۱۴۸/۹	۰۳/۰
۲	آب و فاضلاب اشتهارد	۴۴۰۹۰۰	۳۹۵۰۷۳۰	۱۵۲۱	۶/۰۵	۹/۶	۳/۸	۷۱۸/۴	۰۱/۰
۳	شهرداری اشتهارد ۱	۴۴۲۷۵۰	۳۹۵۳۳۵۰	۳۱۶۰	۱۶/۷۹	۷/۱۴	۴/۱۹	۵۶۹/۷	۱/۰
۴	انجمین	۴۳۲۲۰۰	۳۹۵۲۷۰۰	۳۳۱۰	۱۵/۴۱	۱۸	۲/۲۱	۹۰۳/۸	۰۶/۰
۵	مروت‌آباد	۴۳۹۷۵۰	۳۹۵۴۰۵۰	۷۹۷۰	۲۲/۷۱	۶۶/۵۵	۴۰	۱۲۹/۹	۱/۰
۶	جعفرآباد	۴۷۴۹۸۰	۳۹۵۳۱۵۰	۱۳۷۴۰	۶/۱۸	۱۳۰	۹۷/۱۰۲	۱۲۲/۲۵	۸/۰
۷	پلنگ‌آباد شهرک کوثر	۴۶۲۵۹۰	۳۹۵۳۵۹۰	۶۷۲۰	۵۶/۱۵	۴۸	۵/۴۵	۲۱۹/۱۴	۳۸/۰
۸	مزرعه سلطان‌آباد	۴۴۳۶۵۰	۳۹۵۵۳۲۰	۷۶۱۰	۲۵/۲۷	۹/۴۷	۳۹	۷۵۳/۸	۰۳/۰
۹	مزرعه فدک	۴۷۰۸۷۱	۳۹۵۳۰۰۴	۲۴۳۰۰	۸۳/۵۵	۲۲۳	۲۰۰	۴۲۷/۳۱	۴
۱۰	محمد یار	۴۴۸۳۴۱	۳۹۴۸۷۵۷	۴۳۶	۲۵/۱	۶/۰	۸۸/۱	۵۲۵/۱	۰۳/۰
۱۱	رئیس محمد	۴۴۰۰۵۱	۳۹۴۶۸۴۸	۶۴۱	۹۸/۱	۹/۰	۹۵/۲	۲۴۳/۲	۰۴/۰
۱۲	قلعه افشار	۴۵۲۷۶۶	۳۹۴۸۷۴۲	۴۲۹	۳۵/۱	۴۳/۰	۴۸/۱	۲۵۱/۱	۰۸/۰
۱۳	مختارآباد	۴۵۳۲۵۲	۳۹۵۱۲۱۳	۵۶۷۰	۹۴/۱۱	۳۳/۴۱	۴۹/۴۰	۱۶۱/۱۴	۱۱/۰
۱۴	ابوالفضل علمی نکوجار	۴۴۵۹۱۲	۳۹۴۸۲۵۴	۳۶۴	۹۵/۰	۴/۰	۲	۲۷۲/۲	۰۱/۰

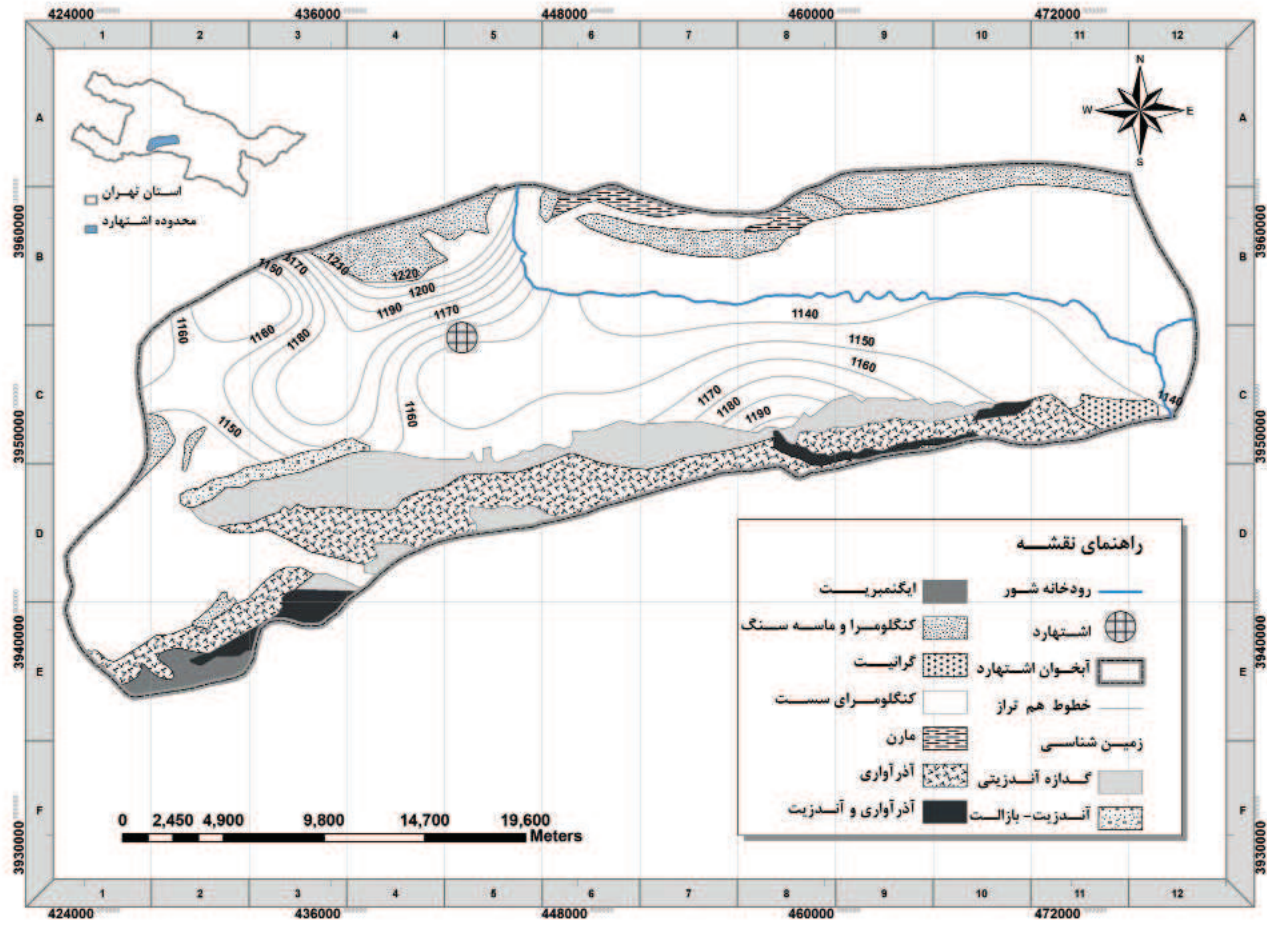


شکل ۲. عوامل ورودی و خروجی متوسط سالیانه به آبخوان دشت اشتهارد .

آبخوان اشتهارد منحصراً به ۵ شبکه ۲۵ کیلومترمربعی ،2B، 2C 3C ، 3B و 4C اختصاص دارد و همچنین شرایط "وجود ورودی آب زیرزمینی از محدوده مطالعاتی قزوین" حاکم است و آبخوان قزوین خود نیز با افت مستمر سالانه و کسری حجم مخزن مواجه می‌باشد، می‌توان کاهش ورودی از آبخوان قزوین به اشتهارد را به‌عنوان یکی دیگر از عوامل کاهنده توان آبخوان اشتهارد و به‌ویژه بخش غربی، منظور نمود (حیدریان، ۱۳۸۶).

همانطورکه در شکل ۳ مشخص است، در بخش شرقی آبخوان روند منحنی‌های تراز از جابجائی، چرخش و اعوجاج‌های کمتری برخوردارند، در صورتی‌که در بخش باختری یعنی از نواحی شرقی شهر اشتهارد (شبکه 6C) به سمت باختر و تا مرز غربی محدوده مورد مطالعه، روند منحنی‌های تراز چرخش و اعوجاج‌های شدیدی را نشان می‌دهد.

در این بخش از آبخوان یعنی تقریباً نواحی شمال شبکه 3C و



شکل ۳. نقشه هم تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت اشتهارد در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹

حواشی آن، جهت حرکت آب‌های زیرزمینی تغییر نموده است. در این ناحیه در طول سال‌های مذکور با روندی تند، از شیب آب زیرزمینی کاسته شده و به صفر نزدیک شده و پدیده نامطلوب، ناخوشایند و نگران کننده تغییر شیب و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی که بیانگر وجود بحران می‌باشد، خود را نشان داده است. بهره‌برداری بیش از توان آبخوان عامل پدید آمدن چنین شرایطی است.

بحث و نتایج

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد پس از دو دوره نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی با توجه به پراکنش چاه‌های مورد مطالعه شاخص‌هایی چون قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، غلظت سولفات و کلر از شاخص‌های کیفی آب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جداول ۳ و ۴) و منحنی‌های هم‌هدایت الکتریکی، هم سولفات و هم کلر تهیه گردید. نتایج نشان دهنده کاهش کیفیت آب آبخوان در اثر پایین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی می‌باشد که در ادامه نتایج هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه به تفکیک ارائه می‌گردد.

نقشه هم‌هدایت الکتریکی

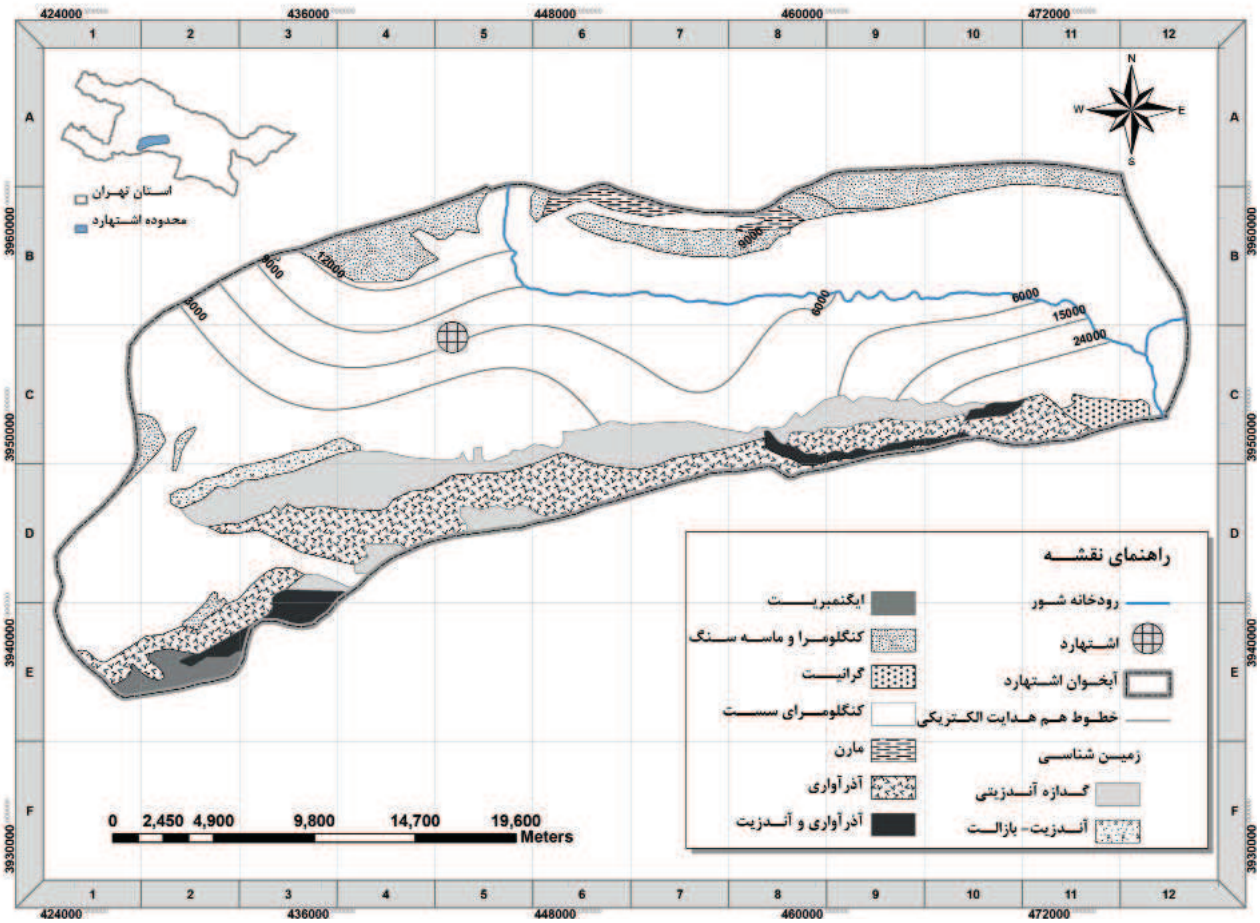
با استفاده از آنالیزهای انجام شده (جداول ۲ و ۳) نقشه هم‌هدایت الکتریکی تهیه گردید (شکل ۴). همچنین با استفاده از متوسط هدایت الکتریکی آبخوان برای یک دوره ۸ ساله بین سال‌های ۹۰-۱۳۸۲ (جدول ۴)، کموگراف سالیانه ترسیم گردید (شکل ۵). همانطورکه درشکل ۴ مشاهده می‌شود، بخش قابل ملاحظه‌ای از ناحیه شرقی آبخوان (از شهر اشتهارد یعنی شبکه

جدول۳. آنالیز شیمیایی منابع انتخابی دشت اشتهارد- دوره دوم (۱۳۹۰/۲/۲۰) .

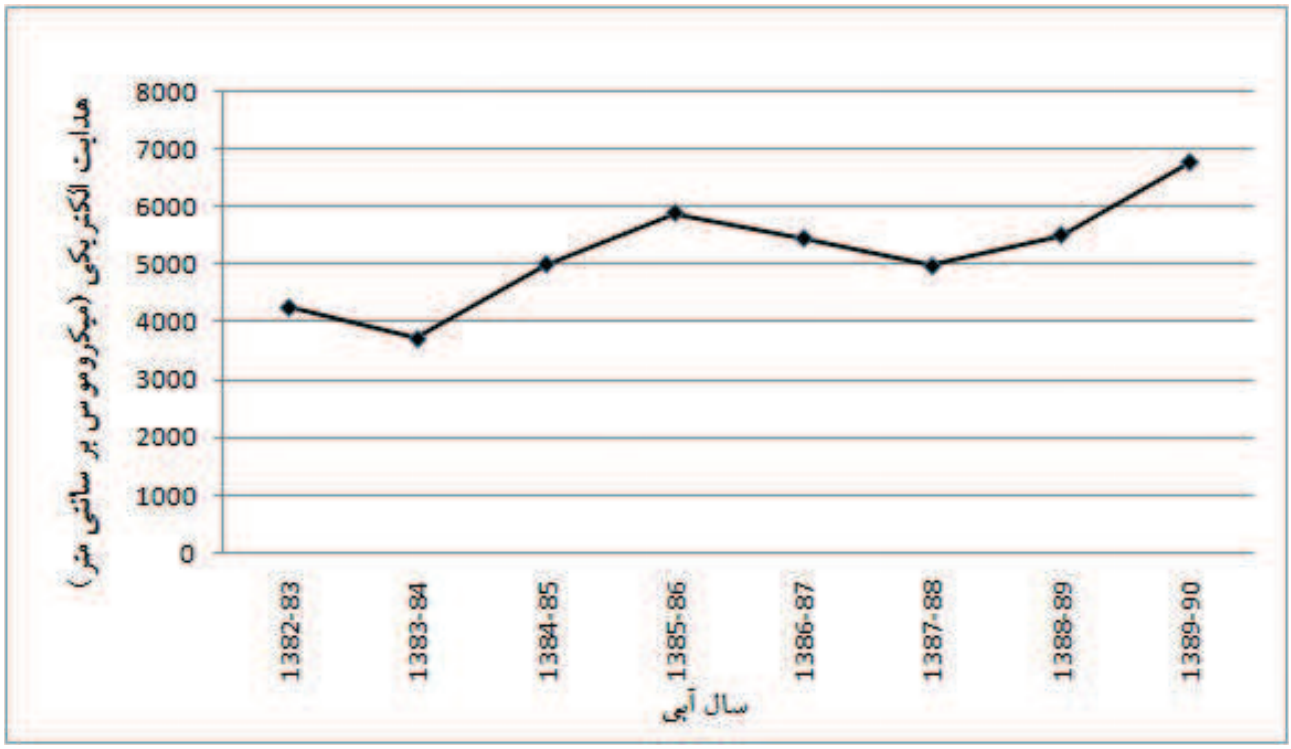
ردیف	منبع	UTM X	UTM Y	EC (µs/cm)	SO_4 (mg/lit)	CL (mg/lit)	Na (mg/lit)	SAR	K (mg/lit)
۱	فتح‌آباد مراد تپه	۴۳۲۴۵۰	۳۹۵۵۹۰۰	۴۳۰۰	۶۶/۱۲	۲۸	۲۴	۸	۰۸/۰
۲	آب و فاضلاب اشتهارد	۴۴۰۹۰۰	۳۹۵۰۷۳۰	۱۵۵۶	۶	۷	۸	۱۳۱/۴	۰۷/۰
۳	شهرداری اشتهارد ۱	۴۴۲۷۵۰	۳۹۵۳۳۵۰	۳۴۰۰	۱۹	۱۷	۲۰	۸۸/۶	۱۵/۰
۴	انجمین	۴۳۲۲۰۰	۳۹۵۲۷۰۰	۳۴۵۰	۱۷	۱۷	۲۵	۱۰	۱/۰
۵	مروت‌آباد	۴۳۹۷۵۰	۳۹۵۴۰۵۰	۷۵۰۰	۲۴	۴۸	۳۶	۰۵/۸	۰۸/۰
۶	جعفرآباد	۴۷۴۹۸۰	۳۹۵۳۱۵۰	۱۴۰۰۰	۲/۵	۱۲۹	۱۰۰	۶۲۸/۲۰	۷/۰
۷	پلنگ‌آباد شهرک کوثر	۴۶۲۵۹۰	۳۹۵۳۵۹۰	۷۰۵۰	۱۵	۶۰	۴۵	۴۸۱/۱۲	۳/۰
۸	مزرعه سلطان‌آباد	۴۴۳۶۵۰	۳۹۵۵۳۲۰	۸۴۲۰	۳۳	۵۰	۴۰	۷۷/۷	۱/۰
۹	مزرعه فدک	۴۷۰۸۷۱	۳۹۵۳۰۰۴	۲۲۸۰۰	۵۰	۱۷۸	۱۶۳	۷۵۱/۲۷	۷/۰
۱۰	محمد یار	۴۴۸۳۴۱	۳۹۴۸۷۵۷	۳۹۹	۲/۱	۵/۰	۶/۱	۴۰۳/۱	۰۷/۰
۱۱	رئیس محمد	۴۴۰۰۵۱	۳۹۴۶۸۴۸	۵۳۹	۹۴/۱	۶/۰	۳	۶۸۹/۲	۰۳/۰
۱۲	قلعه افشار	۴۵۲۷۶۶	۳۹۴۸۷۴۲	۴۱۹	۳/۱	۴/۰	۳۵/۱	۰۸۴/۱	۰۸/۰
۱۳	مختارآباد	۴۵۳۲۵۲	۳۹۵۱۲۱۳	۵۲۶۰	۱۵	۴۱	۳۸	۶۶۷/۱۲	۲/۰
۱۴	ابوالفضل علمی نکوجار	۴۴۵۹۱۲	۳۹۴۸۲۵۴	۵۱۰	۷۵/۱	۵/۰	۱/۲	۶۳۷/۱	۰۳/۰

جدول۴. مقادیر به‌دست آمده هدایت الکتریکی به روش میانگین حسابی .

ردیف	سال آبی	مجموع	میانگین حسابی
۱	۸۳-۱۳۸۲	۱۰۶۴۵۳	۱۲/۴۲۵۸
۲	۸۴-۱۳۸۳	۸۹۲۶۸	۵/۳۷۱۹
۳	۸۵-۱۳۸۴	۹۵۲۱۸	۴۷/۵۰۱۱
۴	۸۶-۱۳۸۵	۱۰۶۱۱۴	۲۲/۵۸۹۵
۵	۸۷-۱۳۸۶	۱۱۴۶۳۸	۹۵/۵۴۵۸
۶	۸۸-۱۳۸۷	۹۹۶۲۰	۴۹۸۱
۷	۸۹-۱۳۸۸	۹۹۲۸۶	۸۸/۵۵۱۵
۸	۹۰-۱۳۸۹	۱۵۵۸۰۰	۹۱/۶۷۷۳



شکل ۴. نقشه هم‌هدایت الکتریکی دشت اشتهارد .



شکل ۵. کموگراف سالیانه آبخوان اشتهارد بر اساس روش میانگین حسابی .

5C به سمت شرق)، منحنی‌های هدایت الکتریکی با روند غربی- شرقی نمایانگر تغذیه از جنوب به شمال بوده و از اعوجاج بسیار کمی برخوردارند. در ناحیه غربی یعنی از شهر اشتهارد به سمت غرب منحنی‌های هدایت الکتریکی دارای اعوجاج زیاد بوده به نحوی که در شبکه 2C و 3C، تقریباً روند جنوبی- شمالی به خود می‌گیرند.

با بررسی نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی و هم‌تراز آب‌های زیرزمینی دشت، مشخص می‌گردد که از شبکه 5C (شهر اشتهارد) به سمت شرق منحنی‌های هدایت الکتریکی و ایزوپیز تا حدود زیادی دارای روندی (شرقی- غربی) مشترک می‌باشند و به تبع وجود این شرایط، روند افزایش هدایت الکتریکی در جهت جریان آب زیرزمینی بوده و از جنوب به شمال می‌باشد. در ناحیه غربی و جنوب غربی نیز منحنی‌های هدایت الکتریکی با اعوجاج زیاد هم‌خوانی کامل با منحنی‌های هم‌تراز و جهت جریان و تغذیه دارند.

همچنین نقشه‌های منتج از میزان هدایت الکتریکی و کموگراف سالیانه، نشان می‌دهد که در نواحی غربی آبخوان به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان، آب‌های شور از قسمت شمالی دشت به سمت جنوب دشت پیشروی نموده است به‌طوریکه مقدار هدایت الکتریکی از ۴۲۵۸/۱۲ میکروموس بر سانتی‌متر در سال ۸۳-۱۳۸۲ به ۶۷۳۳/۹ میکروموس بر سانتی‌متر در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ افزایش یافته است. بنابراین شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیشروی جبهه آب شور به طرف جبهه آب شیرین به‌عنوان یکی از پیامدهای ناشی از افت مستمر سطح آب زیرزمینی یا اضافه برداشت، در این منطقه قابل مشاهده می‌باشد.

نقشه هم‌کلر (Cl)

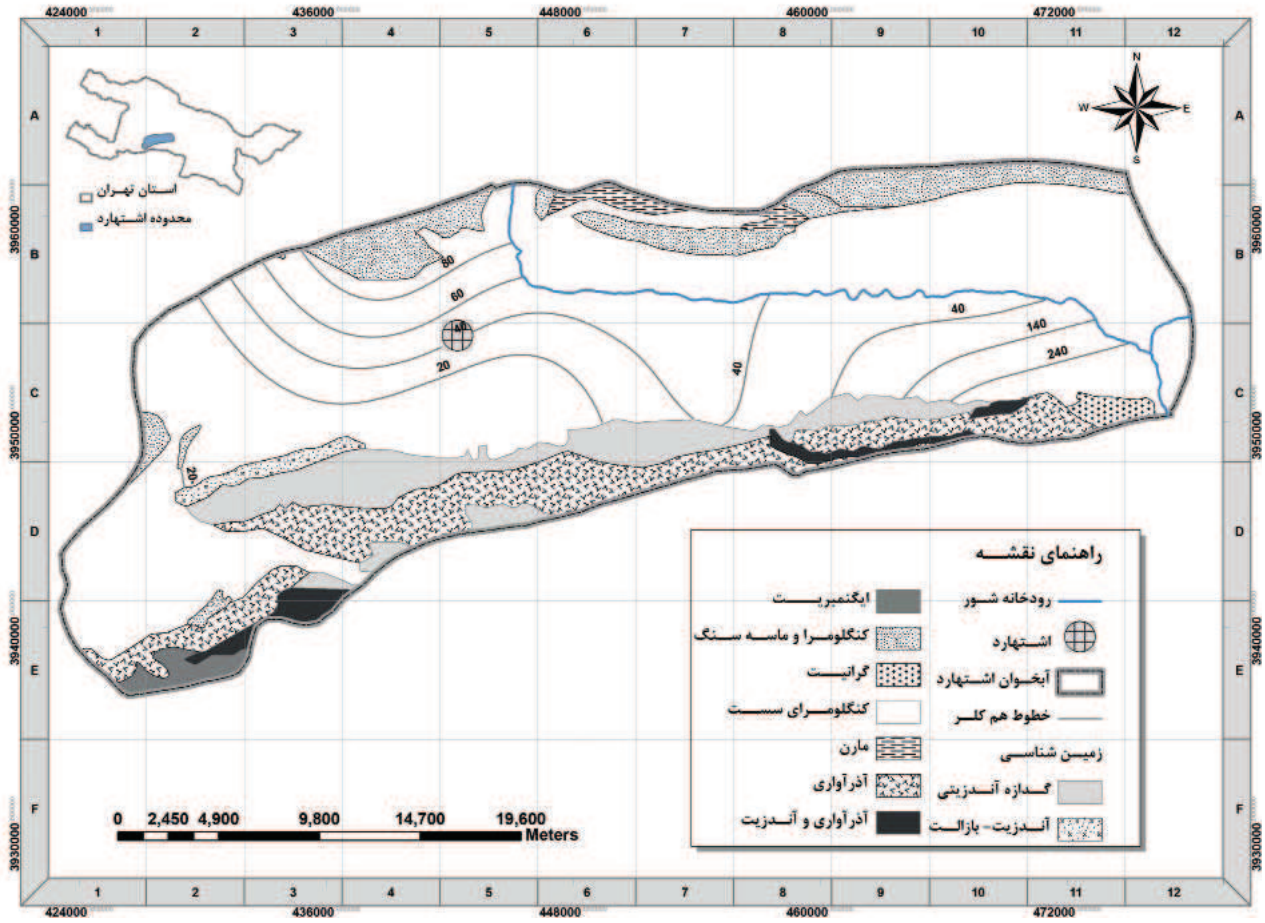
با استفاده از آنالیزهای انجام شده (جداول ۲ و ۳) منحنی هم‌کلر در محیط GIS ترسیم گردید. براساس شکل ۶ افزایش ارقام منحنی‌های هم‌کلر از جنوب به شمال بیانگر جهت حرکت آب زیرزمینی است. منحنی‌های هم‌کلر در شکل ۶ نیز مانند منحنی‌های هم‌هدایت الکتریکی، در بخش شرقی از چرخش و اعوجاج کمتری برخوردارند. در بخش غربی، منحنی‌های هم‌کلر از روند شرقی - غربی منحرف شده و دارای اعوجاج گردیده و تقریباً روند جنوب به شمال به خود می‌گیرند.

منحنی‌های هم‌کلر در قسمت شرقی آبخوان علاوه بر بیان مسیر جریان از جنوب به شمال دشت، بیانگر وقوع کیفیت آب نامناسب‌تر در فاصله دورتری نسبت به رودخانه شور و پیشروی آب شور در آن ناحیه می‌باشد که می‌تواند تهدیدی برای نواحی شرقی دشت به شمار آید.

نقشه هم‌سولفات (SO_4)

براساس شکل ۷، افزایش ارقام منحنی‌های هم‌سولفات از جنوب به شمال، بیانگر جهت حرکت آب زیرزمینی است. منحنی‌های هم‌سولفات نیز مانند هم‌هدایت الکتریکی و هم‌کلر، در بخش غربی از چرخش و اعوجاج بیشتری برخوردارند. در شرایط معمول، هرچه آب مسیر طولانی‌تری را بپیماید میزان انحلال یون سولفات در آب بیشتر بوده و لذا جهت افزایش میزان خطوط هم‌سولفات بیانگر جهت مسیر جریان خواهد بود.

در نهایت مقایسه منحنی‌های تغییرات سطح آب زیرزمینی در طولانی مدت، کموگراف سالیانه، هم‌هدایت الکتریکی، هم‌کلر



شکل ۶. نقشه هم‌کلر آبخوان دشت اشتهارد .

و هم‌سولفات بیانگر این موضوع می‌باشد که در نواحی غربی آبخوان به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان، آب‌های شور از قسمت شمالی دشت به سمت جنوب دشت پیشروی نموده است و با توجه به این‌که در قسمت شمالی آبخوان، تیپ آب شدیداً کلروره می‌باشد لذا نفوذ آب‌های شور کلروره با افزایش شدیدتری نسبت به یون سولفات برخوردار بوده و اعوجاج بیشتری را به وجود آورده است. در واقع شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیشروی جبهه آب شور به طرف جبهه آب شیرین به‌عنوان یکی از پیامدهای ناشی از افت مستمر سطح آب زیرزمینی یا اضافه برداشت، در این منطقه قابل نمایان می‌باشد.

همچنین بهره‌برداری بیش از توان آبخوان به‌ویژه در ناحیه جنوب و جنوب باختر شهر اشتهارد تا مرز غربی محدوده مورد مطالعه، موجب حاکم شدن شرایط خاص کمی و کیفی شده است. جهت حرکت طبیعی آب زیرزمینی در بخشی از این نواحی تغییر نموده و به سمت نواحی تخلیه کننده شدید آب‌های زیرزمینی متمایل شده است.

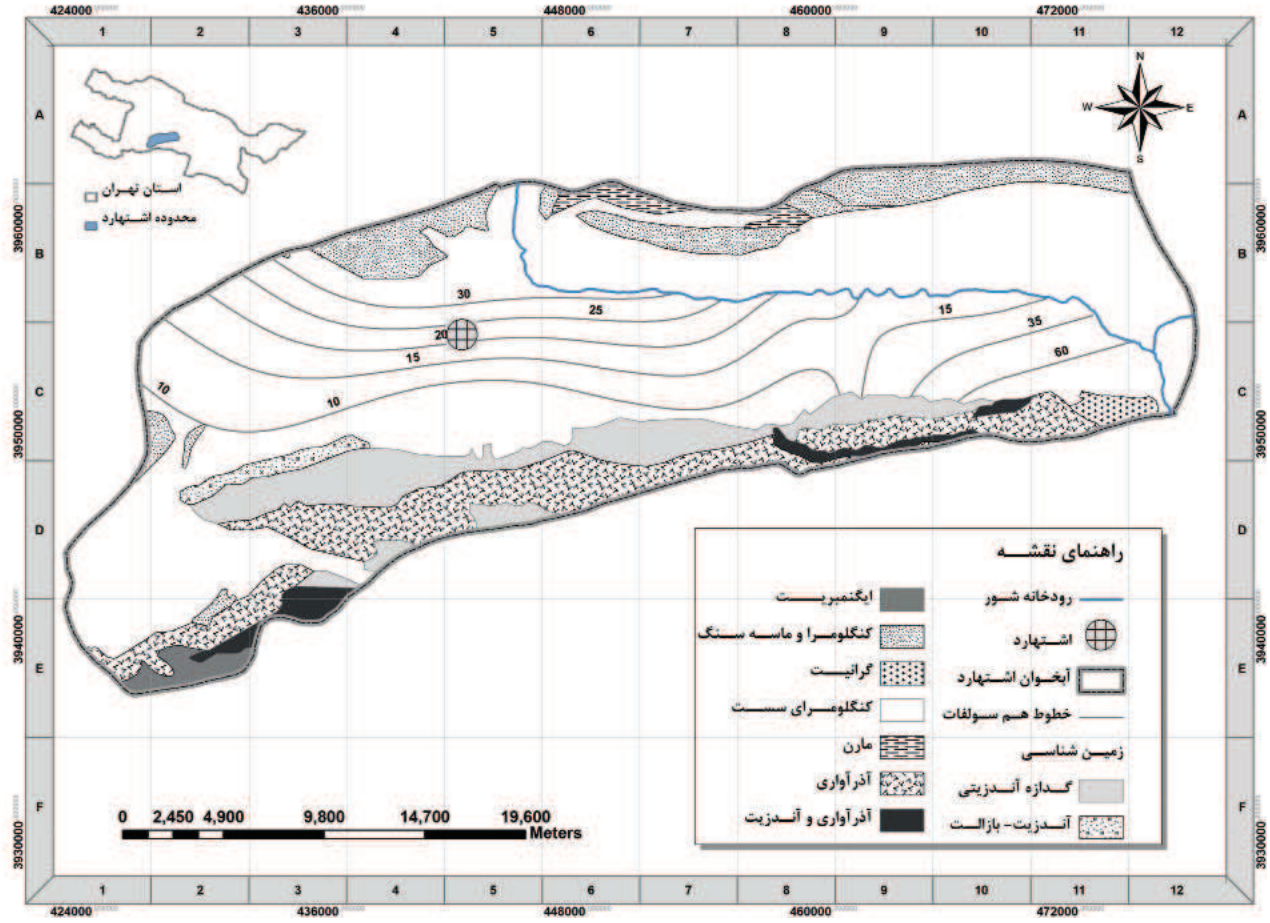
از سوی دیگر مقایسه نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی با نقشه‌های هم‌هدایت الکتریکی، هم‌کلر و هم‌سولفات آبخوان دشت اشتهارد بیانگر وجود آنومالی درمنحنی‌های ترسیمی و تغییر در سیر طبیعی جریان می‌باشد و اعوجاج منحنی نقشه‌های کیفی یاد شده با اعوجاج نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی در تطابق بوده که همگی بر هجوم آب‌های شور کفه نمکی و تاثیر سوء بهره‌برداری در محدوده غربی دشت اشتهارد بر کیفیت آبخوان دلالت دارد.

بنابراین با توجه به نتایج و به منظور کنترل افت سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب آبخوان، ۳ پیشنهاد اساسی زیر ارائه می‌گردد:

۱- با توجه به محدودیت شدید منابع آب در دشت اشتهارد، لازم است اعمال مدیریت مناسبی برای آبخوان دشت نظیر جلوگیری از برداشت‌های بی‌رویه با کنترل پروانه‌های صادر شده و استفاده از سیلاب‌های منطقه برای تغذیه مصنوعی آبخوان لحاظ گردد. یقیناً نحوه بهره‌برداری کنونی، سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در بخش‌های مختلف در آینده بالاخص بخش صنعتی را دچار بحران خواهد نمود.

۲- با توجه به این‌که عمده مصرف آب در بخش کشاورزی می‌باشد لذا اقداماتی نظیر شیوه‌های صحیح آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای و یا استفاده ترکیبی از آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی شور می‌توانند نقش اساسی در کنار آموزش کشاورزان برای مدیریت بهینه منابع آب داشته باشند.

۳- با توجه به بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان و هجوم آب‌های شور کفه نمکی اشتهارد، باید نسبت به تعدیل میزان بهره‌برداری در بخش غربی دشت اقدام نمود.



شکل ۷. نقشه هم‌سولفات آب زیرزمینی دشت اشتهارد .

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بر کیفیت آبخوان و شوری آن مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا نمودار تغییرات طولانی مدت سطح آب آبخوان ترسیم و مقدار افت متوسط سالیانه ۰/۶۹ متر به دست آمد. همچنین براساس ارقام مطلق سطح آب زیرزمینی ۱۶ حلقه از چاه های مشاهده‌ای موجود در پهنه آبخوان، نقشه هم‌تراز آب‌های زیرزمینی برای سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ تهیه گردید. سپس از ۱۴ منبع انتخابی دشت مشتمل بر ۹ حلقه چاه و ۵ رشته قنات در دو نوبت در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ نمونه برداری شد. پس از سنجش شیمیایی نمونه‌ها و مشخص شدن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی نظیر کلر، سولفات و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، منحنی‌های هم‌هدایت الکتریکی، هم‌کلر و هم‌سولفات ترسیم گردید. همچنین کموگراف سالیانه آبخوان بر حسب میانگین وزنی برای یک دوره ۸ ساله بین سال‌های ۹۰-۱۳۸۲ استخراج گردید. نتایج نشان داد با توجه به تغذیه محدود در این حوزه، عدم تعادل در میزان بهره‌برداری باعث افت سطح آب در آبخوان و تغییر مسیر جریان گردیده است. همچنین بهره‌برداری بیش از توان آبخوان به‌ویژه در ناحیه جنوب و جنوب باختر شهر اشتهارد تا مرز غربی محدوده مورد مطالعه، موجب حاکم شدن شرایط خاص کمی و کیفی شده است.

جهت حرکت طبیعی آب زیرزمینی در بخشی از این نواحی تغییر نموده و به سمت نواحی تخلیه کننده شدید آب‌های زیرزمینی متمایل شده است.

علاوه بر این، مقایسه منحنی‌های هم‌هدایت الکتریکی، هم‌کلر و هم‌سولفات نشان داد که در نواحی غربی آبخوان به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان، آب‌های شور از قسمت شمالی دشت به سمت جنوب دشت پیشروی نموده است و با توجه به این‌که در قسمت شمالی آبخوان، تیپ آب شدیداً کلروره می‌باشد لذا نفوذ آب‌های شور کلروره با افزایش شدیدتری نسبت به یون سولفات برخوردار بوده و اعوجاج بیشتری را به وجود آورده است که یکی از پیامدهای ناشی از افت مستمر سطح آب زیرزمینی یا اضافه برداشت می‌باشد. همچنین اعوجاج منحنی نقشه‌های کیفی یاد شده با اعوجاج نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی در تطابق بوده که همگی بر هجوم آب‌های شور کفه نمکی و تأثیر سوء بهره‌برداری در محدوده غربی دشت اشتهارد بر کیفیت آبخوان دلالت دارد. بنابراین به علت محدودیت منابع آب در دشت اشتهارد، حفاظت کمی و بهره‌برداری بهینه از آبخوان و حفاظت کیفی و جلوگیری از آلودگی فزاینده دشت، از ضروری‌ترین اصول برنامه‌ریزی بوده و باید بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان دشت اشتهارد را به‌عنوان عامل مهم در ایجاد آلودگی شیمیایی دشت برشمرد.

منابع

– رنجبر، م. و جعفری، ن.، ۱۳۸۸. بررسی عوامل موثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد. فصلنامه انجمن جغرافیای ایران، ۱۹و ۱۸، ۱۶۶– ۱۵۵.

– حیدریان، م.، ۱۳۸۶. گزارش ادامه مطالعات منابع آب‌های زیرزمینی دشت اشتهارد، شرکت آب منطقه‌ای تهران، تهران، ایران.

– بی‌نام، ۱۳۸۶. مطالعات تامین آب درازمدت کرج (دشت اشتهارد)، شرکت مهندسین مشاورین ری‌آب، تهران، ایران.

– کرمی، ف. و کاظمی، ه.، ۱۳۹۱. پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی در سال شاخص خشکسالی و ترسالی، مطالعه موردی: دشت تبریز. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۲۸، ۹۴–۷۹.

– مقامی، ی.، قضاوی، ر.، ولی، ع. و شرفی، س.، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان آباده). فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۲، ۱۷۱–۱۸۲ .

– ولایتی، س.، ۱۳۸۱. تاثیر اضافه برداشت آب از چاه‌ها در شور شدن آبخوان دشت جنگل (تربت حیدریه). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۷، ۱۰۶–۹۱.

- Dashpande, S.M. and Aher, K.R., 2012. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agriculture use in parts of Vaijapur, District Aurangabad, MS, India. Research Journal of Chemical Sciences, 2, 25-31.

- Mouser, P. and, Rizzo, D. 2004. Evaluation of geostatistics for combined hydrochemistry and microbial community fingerprinting at a waste disposal site. Proceedings of the 2004 World Water and Environmental Resources Congress, Environmental and Water Resources Institute of American Society of Civil Engineers, Salt Lake City, Utah, USA, 1-11.

- Pereira, L.S., Cordery, I. and Iacovides, I., 2009. Coping with Water Scarcity, Springer Science, 382.

- Ramakrishna Reddy, M., Janardhana Raju, N., Venkatarami Reddy, Y. and Reddy, T.V.K., 2000. Water resources development and management in the Cuddapah district, India. Journal of Environmental Geology, 39, 342-352.