اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۷۲-۵۷

تغییرات حجم ذخیره و بهره‌برداری از آبخوان‌های دشت‌های شرق استان کردستان

مطلّب بایزیدی[1*]، مهری کاکی[2]

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ایران

۲. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۴/۰۶، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱۰/۱۰)

چکیده

در گذشته، به دلیل عدم توسعهٔ تکنولوژی، بهره‌برداری از سفره‌های زیرزمینی به‌صورت محدودی انجام می‌گرفت. اما در سه دههٔ اخیر، روش تخلیهٔ سفره به‌تدریج تغییر کرده و استفاده از سیستم‌های برداشت جدید مانند چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق متداول شده است. با استفاده از این چاه‌ها، تخلیهٔ آب زیرزمینی بدون توجه به میزان تغذیهٔ آن، افزایش یافته و در نتیجه، سطح آب زیرزمینی سیر نزولی داشته است. در پژوهش حاضر وضعیت بهره‌برداری، تغییرات حجم ذخیره و حجم مخزن آبخوان‌های ممنوعهٔ قروه، دهگلان و چهاردولی در استان کردستان تا انتهای سال آبی ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ بررسی شد. بر این اساس، نقشه‌های هم‌ضخامت اشباع، هم‌عمق، ایزوپیز و هم‌جهت جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌ها در محیط ArcGIS تهیه شد. سپس، سطح تأثیر هر چاه از طریق پلی‌گون‌بندی تیسن محاسبه شد. سپس، با میانگین‌گیری وزنی، ارتفاع پیزومتری آبخوان‌ها در سال‌های مختلف محاسبه شده و نمودار هیدروگراف واحد آنها ترسیم شد. از بررسی هیدروگراف واحد دشت‌های شرق استان کردستان طی دورهٔ ۳۱ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۷) مشخص شد که سطح آب زیرزمینی روند نزولی دارد و با محاسبهٔ بیلان آب زیرزمینی آبخوان‌ها، کسری تجمعی مخازن آبخوان‌های قروه، دهگلان و چهاردولی طی این دوره به‌ترتیب ۲، ۱۷/۴ و ۲/۹۸ میلیون مترمکعب بوده و بیلان منفی است. به‌طور کلی، دشت‌های شرق استان کردستان با وجود اینکه جزء مناطق ممنوعه است و باید به این منظور تلاش بیشتری از سوی بهره‌برداران به‌خصوص کشاورزان صورت گیرد، اما مخازن این دشت‌ها با میزان کسری تجمعی ۲۲/۲ میلیون مترمکعب همراه است.

کلیدواژگان: آبخوان، تراز آب زیرزمینی، کسری حجم مخزن، هیدروگراف واحد.

* نویسندهٔ مسئول

Email: m.byzedi@gmail.com

مقدمه

کمبود آب یکی از تنگناهای توسعهٔ اقتصادی ایران، به‌ویـژه در بخش کشاورزی است.گرچه آماری مدون در دسترس نیست، اما به گمان غالب، افت سطح آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین عامل وجود صدها روستای خالی از سکنه در مرکز، جنـوب و شـرق ایران است. استخراج بیش از اندازهٔ آب و حفر چاه‌های بـدون پروانه، در سرزمینی که میانگین بارندگی ۴۷ درصد از پهنهٔ آن فقط ۱۱۵ میلی‌متر تخمین زده می‌شود، خشـکی بسـیاری از چاه‌ها و کاریزها را موجب شده است. نیاز فزاینده به منابع آب در ایران، موجب بهره‌برداری بی‌رویه و سبب بر هم زدن تعادل طبیعی منـابع آب زیرزمینـی شـده اسـت، طـوری کـه تـراز سفره‌های آبدار در بسیاری از نقاط کشـور منفـی شـده اسـت. پیدایش شیوه‌های جدید حفر چاه و استمرار برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، تأمین آب کشاورزی را با مشـکل روبـه‌رو کرده است [۱]. استان کردستان نیز بـا وجـود اینکـه یکـی از استان‌های پرآب کشور محسوب می‌شود، اما برداشت بی‌رویـه و مدیریت نادرست برداشت از آب زیرزمینی دشت‌های شـرق استان را با مشکل بیلان منفی روبه‌رو کرده است. ۶۵ درصـد آب مصرفی این استان از منابع آب زیرزمینی تأمین شده کـه بیشتر آبخوان‌های آن با بیلان منفی روبه‌رو هستند. در دشت محدودهٔ قروه- دهگلان با کد مطالعاتی (۱۳۰۸) بـا مسـاحت ۱۶۱۴/۹ کیلومترمربـع واقـع در شـرق اسـتان بـیلان آب زیرزمینی منفی است. بررسی تبـادلات آب در یـک محـدودهٔ معین و طی مدت زمان مشخص که بر اساس اصل بقای ماده استوار است، بیلان یا ترازنامهٔ آب نامیده می‌شود [۲]. هدف از برقراری میزان ورودی و خروجی آب، مشخص شدن پتانسیل منابع آب، مقادیر و مکان‌هـای مناسـب برداشـت، پیشـگیری زیان‌های حاصل از تغییرات سطح آب و تهیـهٔ مناسـب‌تـرین برنامهٔ بهره‌برداری به منظور اعمال مدیریت بهینه و اقتصـادی بر منابع آب موجود در محدودهٔ بررسی‌شده است. با توجه بـه شرایط موجود در بهره‌برداری از منابع آبی و افزایش روزافزون آن و ایجاد تنش‌های اجتماعی اقتصـادی بـین بهـره‌بـرداران، آگاهی از شرایط این منابع با در نظـر گـرفتن تـأثیر برداشـت بی‌رویه و تغییرات هواشناسی و اقلیمی، یکـی از اولویـت‌هـای حیاتی کشور است. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضـر میـزان حجـم مخازن آب زیرزمینی در دشت‌های شرق اسـتان کردسـتان و میـزان تغییـرات حجـم ذخیـره و بهـره‌بـرداری از آنهـا طـی سال‌های آبی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۷ بررسی شـد. همچنـین، تـأثیر ساخت سد سنگ سیاه و تغذیهٔ پخش سیلاب در روستای ذله جوب روی سطح ایستابی آبخوان‌ها به صـورت کمـی بررسـی شد.

پیشینهٔ تحقیق

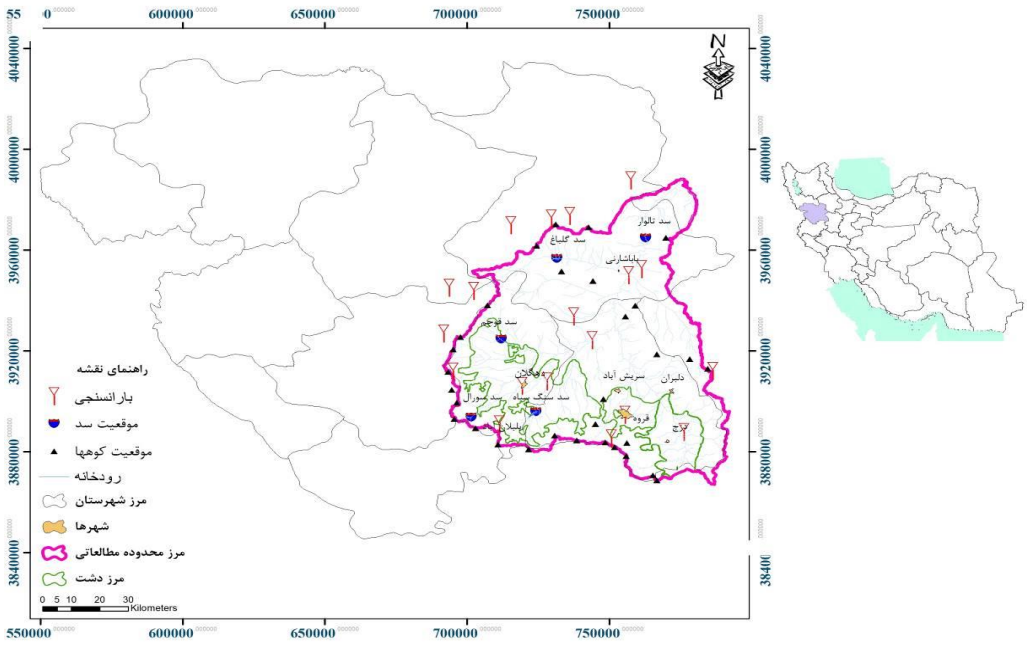
محققان دیگری نیز به منظور اهداف مـدیریتی در آبخـوان‌هـا، اقدام به بررسی تغییـرات تـراز سـطح آب زیرزمینـی و حجـم مخزن و میزان بهره‌برداری از آب دشت‌های مختلف کـرده‌انـد. ارست و شجاعی (۲۰۱۲) بـه منظـور ارائـهٔ راهکارهـایی بـرای جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینـی و کـاهش کیفیـت آب آبخوان آزاد دشت قم، اقدام به تهیهٔ بیلان ایـن دشـت کردنـد [۳]. پورمحمـدی و همکـاران (۲۰۱۵) بـیلان آب زیرزمینـی دشت تویسرکان همدان را با کمـک مـدل ریاضـی مـادفلو در محیط نرم‌افزار GMS برای مدیریت بهینهٔ منـابع آب بـه‌ویـژه برای مصارف کشاورزی بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیلان دشـت منفـی و کسـری مخـزن بـه میـزان ۱۲/۲- میلیون مترمکعب در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ است. همچنین، نتایج محاسبهٔ بیلان را به صـورت دسـتی بـا تغییـرات حجـم سطح ایستابی دشت به‌دست‌آمده با مدل آب زیرزمینی مادفلو یکسان به دست آوردند [۴]. مسماریان و همکاران (۲۰۱۶) بـه بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی دشت شهرکرد پرداختند. آنها شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینـی را بـا نرم‌افزار GMS در دو حالت ماندگار و غیرماندگار انجام دادنـد. نتایج بررسـی تغییـر اقلـیم در دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۲۹ نشـان داد دمای سالانه به طور متوسـط ۰/۴ درجـهٔ سلسـیوس افـزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش بهره‌برداری از چاه‌ها در دورهٔ آتـی به‌میزان ۱۰ و ۲۰ درصد تحت تأثیر تغییر اقلیم، مشاهد کردند که ذخیرهٔ آبخوان به‌ترتیـب ۶/۳ و ۱۰/۹۴ میلیـون مترمکعـب کاهش می‌یابد [۵]. موسکی (۲۰۱۷) بیان کرد که تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی تأثیرات پیچیده‌تری نسبت به منابع آب سطحی دارد. ایشان پس از بررسی تأثیر تغییـرات آب‌وهـوایی روی آب‌های زیرزمینی در آفریقای جنوبی در ۲۶ شـهر نشـان داد بازندگی سالانه ۲۰ درصد کاهش یافتـه اسـت. همچنـین، نشان داد همراه با تغییرات آب‌وهوایی سطح دریا افزایش و آب شور به منابع آب زیرزمینی نفوذ یافته و سبب کاهش کیفیـت این منابع شـده اسـت [۱۳]. مایمونـا و همکـاران (۲۰۱۹) بـه ارزیابی توزیع مکانی و زمانی ذخیرهٔ آب زیرزمینـی در حوضـهٔ هایان واقع در کره طی دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۱۷ پرداختنـد. آنهـا از

داده‌های هیدرولوژیکی، ضخامت اشباع‌شده و سطح تراز آب زیرزمینی استفاده کردند و با محاسبهٔ ذخیرهٔ آب زیرزمینی مشاهده کردند طی ۶۵ سال سطح آبخوان ۳۳ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. همچنین، نشان دادند طی این دهه با افزایش مصرف آب ۰/۴۹ میلیون مترمکعب آب سطح آب زیرزمینی آبخوان ۴/۶ متر کاهش می‌یابد و عامل آن را تغییر در سطح متوسط آب زیرزمینی بیان کردند. بنابراین، آنها بیان کردند تغییرات سطح آب زیرزمینی بر ضخامت اشباع سفره و حجم ذخیرهٔ آب زیرزمینی تأثیر دارد و باید استفاده از آب‌های سطحی بیشتر و حفر چاه‌ها محدود شود [۱۴].

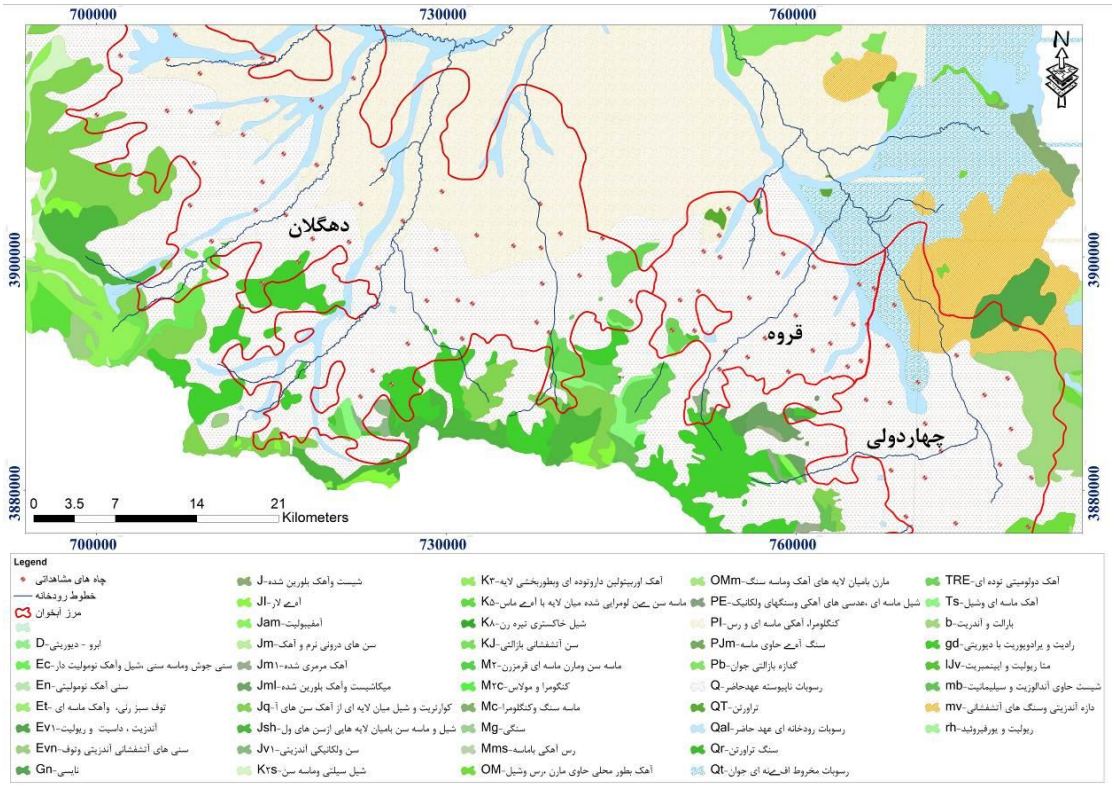
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده

محدودهٔ مطالعه‌شده قروه-دهگلان در غرب ایران واقع در استان کردستان و در مختصات طولی جغرافیایی "۳۰ ’۰۷ °۴۷ تا "۰۰ ’۱۲ °۴۸ و عرض‌های جغرافیایی "۰۰ ’۰۰ °۳۵ تا "۰۰ ’۰۰ °۳۶ قرار دارد (شکل ۱). این محدودهٔ مطالعاتی شامل دشت‌های قروه، دهگلان و چهاردولی است. مساحت این محدودهٔ مطالعاتی حدود ۱۶۱۴/۴ کیلومترمربع است و از نظر منابع آب سطحی رودخانه‌های ویهج، اوریه و تلوار از مهم‌ترین آنها هستند. رودخانه‌های ویهج و اوریه از ارتفاعات کوه کانی شیخه، بنه‌آباد و عبدالرحمن و رودخانهٔ تلوار از ارتفاعات جنوبی کوه‌های سینوند، حسین بگ، بر، سنگ سیاه سرچشمه می‌گیرند و به سمت دشت‌های محدودهٔ قروه و دهگلان جریان می‌یابند. سپس، دو رودخانهٔ شور و تلوار به هم می‌پیوندند و وارد شهر زنجان شده و تغذیه و زهکشی می‌شوند. از نظر زمین‌شناسی این ناحیه کاملاً متأثر از روندهای حاکم و زمین‌شناسی کامل ایران مرکزی است. از نظر مورفولوژی متشکل از بلندی‌های آتشفشانی و دگرگونی با روند شمال غربی –جنوب شرقی بوده که همراه با دیگر بلندی‌های متشکل از سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین حصارهایی را تشکیل می‌دهد که دشت‌های مرتفع و هموار و یا تپه‌ماهوری را احاطه کرده‌اند. محدودهٔ مطالعه‌شده مجموعه سنگ‌های آذرین و رسوبی (دگرگون‌شده) دارد و کوه‌هایی است با فعالیت‌های آتشفشانی قبل از سنوزوئیک و اوایل کواترنری مؤثر بوده و در نیمهٔ جنوبی علاوه بر ماگماتیزم، پدیدهٔ دگرگونی نیز تغییرات زیادی را به وجود آورده است. ارتفاعات اطراف دشت غالباً از سنگ‌های آذرین بیرونی و بیشتر از نوع آندزیتیک، سنگ‌های آذرین درونی از نوع گرانیت، دیوریت و سنگ‌های دگرگونی از نوع میکاشیست و گنیاس هستند (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در محدودهٔ مطالعه‌شده ۵ سد تلوار، گلباغ، قوچم، سنگ سیاه و سورال وجود دارد که از این تعداد، سد سنگ سیاه در آبخوان دهگلان قرار گرفته است.

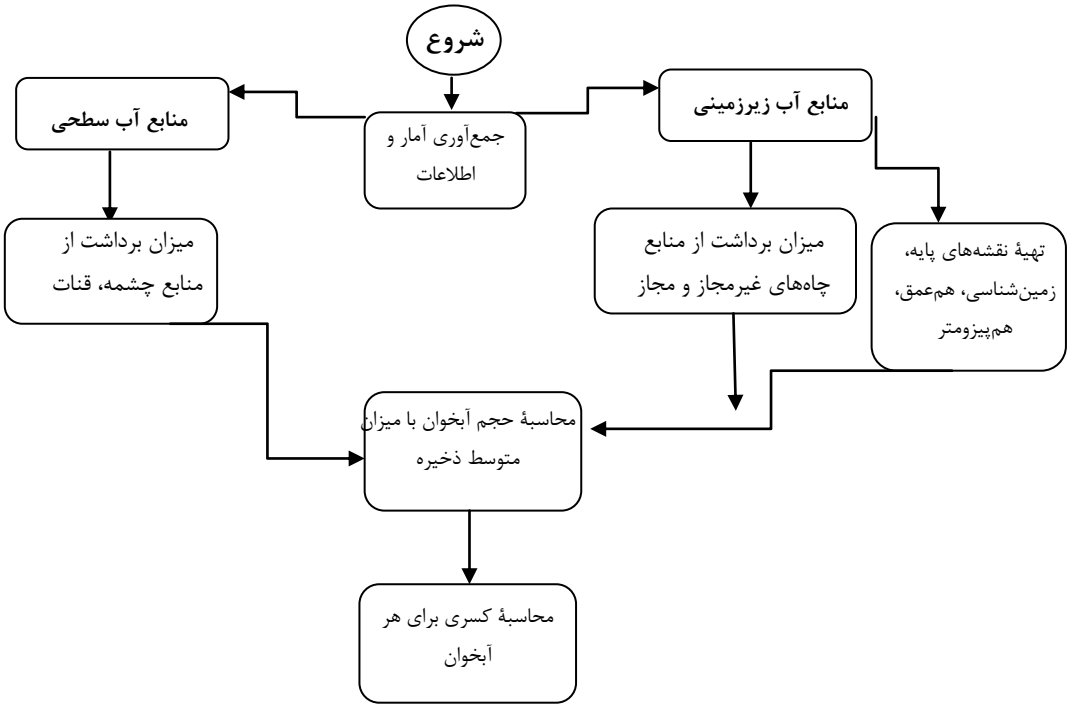


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مطالعه‌شده در کشور و استان



شکل ۲. نقشهٔ سازندهای زمین‌شناسی دشت‌های مطالعه‌شده و موقعیت چاه‌های پیزومتری

برای بررسی هیدروژئولوژی آبخوان‌های محدودهٔ مطالعه‌شدهٔ قروه-دهگلان به‌منظور مدیریت و بهره‌برداری از آن، مطالعات طی مراحل ارائه‌شده در فلوچارت انجام گرفت (شکل ۳).



شکل ۳. فلوچارت مراحل انجام پژوهش

داده‌های استفاده‌شده

بررسی وضعیت بارندگی در منطقه با توجه به ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک در منطقهٔ مطالعه‌شده نشان داد در محدودهٔ قروه- دهگلان بارش سالانه طی دورهٔ ۳۱ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۶) ۲۷۰/۳ میلی‌متر و حداکثر و حداقل بارندگی ۵۰۳ و ۱۳۸ میلی‌متر است. حداکثر بارندگی مربوط به ارتفاعات جنوب و جنوب غربی محدوده است که با حرکت به سمت نواحی مرکزی به‌تدریج میزان بارندگی کاهش می‌یابد و در شمال منطقه به کمترین میزان خود می‌رسد. براساس ایستگاه‌های هیدرومتری در محدودهٔ مطالعه‌شده، میزان متوسط آبدهی ماهانهٔ رودخانه‌های شور و تلوار در پرآب‌ترین ماه (فروردین) در ایستگاه‌های شادی‌آباد، دلبران، دهگلان و حسن‌خان به‌ترتیب برابر ۴/۳۷، ۱/۱۲، ۲/۰۴ و ۳/۸۹ مترمکعب بر ثانیه است. در کم‌آب‌ترین ماه در ایستگاه‌های یادشده مرداد و شهریور به‌ترتیب با دبی ۰/۰۸، ۰/۰۴، ۰/۰۲ و ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه است. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در شکل ۱ نشان داده شده است. به منظور اطلاع از تغییرات ذخیره و حجم مخازن آبخوان‌های مطالعه‌شده و تهیهٔ نقشه‌های ایزوپیز آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت‌های محدودهٔ قروه-دهگلان برای مهرماه ۱۳۶۶-۱۳۶۷ و ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ از آمار ۱۰۷ حلقه چاه پیزومتری استفاده شد. قطر حفاری چاه‌های پیزومتری حدود ۱۰ اینچ و قطر لوله‌گذاری جدار ۶ اینچ است و همچنین، عمق آنها از ۱۵ تا ۱۴۰ متر متغیر بوده که برخی از آنان در سال ۱۳۸۲ برای مطالعهٔ بیشتر از طریق شرکت آب منطقه‌ای افزایش عمق پیدا کرده و تا ۷۳ متر نیز رسیده‌اند. همچنین، تراکم و پراکندگی این چاه‌ها در محدودهٔ آبخوان مناسب است و می‌توان وضعیت آب زیرزمینی را به شیوهٔ مناسبی بررسی و آنالیز قرار کرد. موقعیت جغرافیایی پیزومترهای استفاده‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

روش کار

برای آزمون تست همگنی از آزمون ناپارامتری مان-ویتنی[1] و به منظور بررسی روند داده‌ها از روش رگرسیون خطی ساده استفاده شد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، از امکانات نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار به‌سادگی می‌توان نمودار هیستوگرام با نمایش منحنی نرمال را ترسیم کرد. پس از بررسی عادی یا نرمال بودن کشیدگی و یا چولگی توزیع داده‌ها، از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف[2] استفاده می‌شود تا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شود. در شرایطی که داده‌ها توزیع نرمال نداشتند، با تبدیل‌های مناسب لگاریتمی یا ریشهٔ دوم متغیر به توزیع نرمال تبدیل شدند. از آنجا که داده‌های عمق و تراز آب زیرزمینی منطقه توزیع نرمال داشت، پهنه‌بندی‌ها و نقشه‌های ایزوپیز و هم‌عمق از روش کریجینگ با کمک نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. برای ترسیم هیدروگراف هر آبخوان و تعیین تغییرات حجم ذخیره از رابطهٔ ۳ استفاده شد. بنابراین، در این بخش ابتدا سطح تأثیر هر چاه از طریق پلی‌گون‌بندی تیسن تعیین شده و سپس میانگین ماهانهٔ ارتفاع پیزومتری آبخوان‌ها در سال‌های مختلف تعیین شده و نمودار ترسیم شد. در نهایت، با توجه به تغییرات تراز سطح ایستابی طی دورهٔ آماری، میزان افت سالانهٔ سطح آب زیرزمینی در هر آبخوان محاسبه شد. سپس، کل میزان حجم کسری هر آبخوان به صورت رابطهٔ ۲، طی سال آبی ۱۳۶۶-۱۳۹۶ و همچنین، میزان کسری مخازن طی سه سال اخیر به دست آمد.

$$H_j = \frac{\sum_{n=1}^{3}\sum_{i=1}^{n} h_i a_i}{A_n} \qquad (۱)$$

H_j: تراز سطح ایستابی متوسط هر سال، h_i تراز سطح ایستابی هر پیزومتر، a_i: سطح اثر هر پیزومتر، A_n: سطح کل هر آبخوان.

$$\Delta V_s = A \times S_y \times \Delta H \qquad (۲)$$

کل میزان ذخیرهٔ قابل استحصال برای هر آبخوان نیز طبق رابطهٔ ۳ محاسبه شد.

$$\Delta V = A \times S_y \times \mathrm{h} \qquad (۳)$$

که در آن S_y: ضریب ذخیره؛ h: ضخامت اشباع آبخوان، ΔH : تغییرات تراز سطح ایستابی، A: مساحت آبخوان، ΔV_s: حجم کسری آبخوان و ΔV: حجم ذخیرهٔ آبخوان.

1. Mann-Whitney

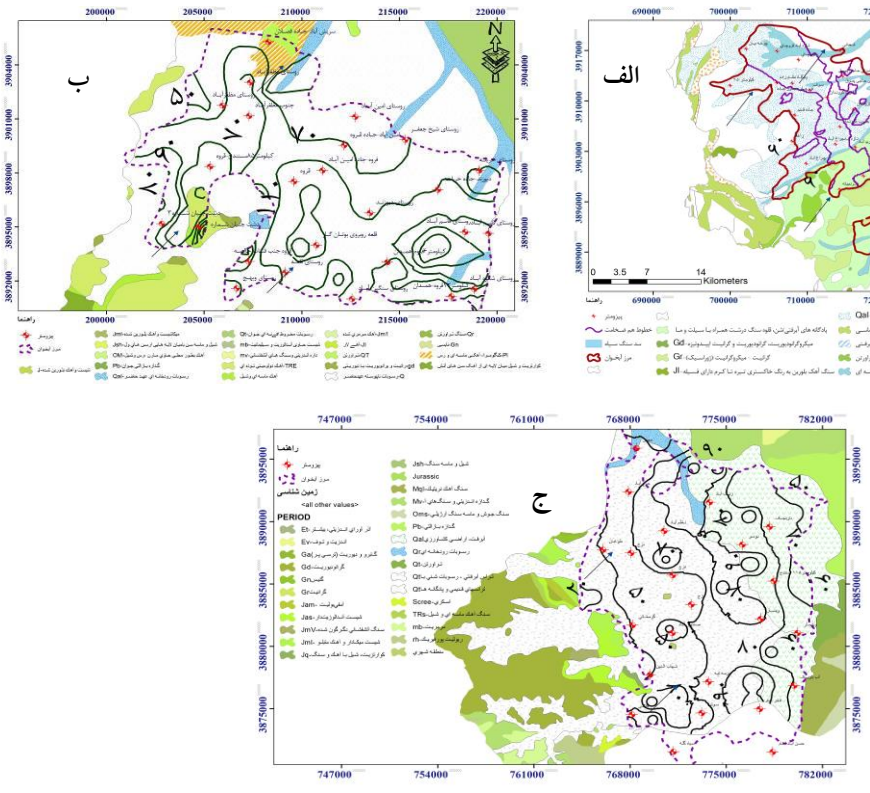
2. Kolmogorov-Smirnov

یافته‌ها

با توجه به وضعیت زمین‌شناسی و اطلاعات حاصل از لاگ چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری دشت‌های مطالعه‌شده سفرهٔ آب زیرزمینی از نوع آزاد بوده که در رسوبات آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای حاصل از فرسایش ارتفاعات مشرف به دشت‌ها ایجاد شده است. لوگ حفاری در دشت دهگلان نشان می‌دهد رسوبات دشت به طور عمومی از سطح زمین تا اعماق حدود ۲۰ تا ۳۵ متری از آبرفتی با مقادیر زیادی از سیلت و رس تشکیل شده و از این عمق به بعد حاوی مصالح درشت‌دانه مانند شن و ماسه است. ستون حفاری چاه‌ها در محدودهٔ دشت چهاردولی، جنس رسوبات اغلب از رس، سیلت و گراول است و سنگ کف در محل اکتشاف مشخص نشده و علت آن، عملکرد گسل در بخش مرکزی دشت است که برهم‌ریختگی وسیعی را در آبرفت‌های زیرین منطقه به وجود آورده و تفکیک و لایه‌بندی رسوبات را در آبخوان با مشکل مواجه ساخته است. در محدودهٔ دشت قروه، نوع رسوبات از سطح تا عمق تقریباً یکسان است و فقط درصد مواد تشکیل‌دهنده به صورت جزئی تغییر می‌کند. نقشهٔ هم‌ضخامت رسوبات آبرفتی محدودهٔ دشت‌ها تهیه شده و برای هر دشت جداگانه ترسیم شد.

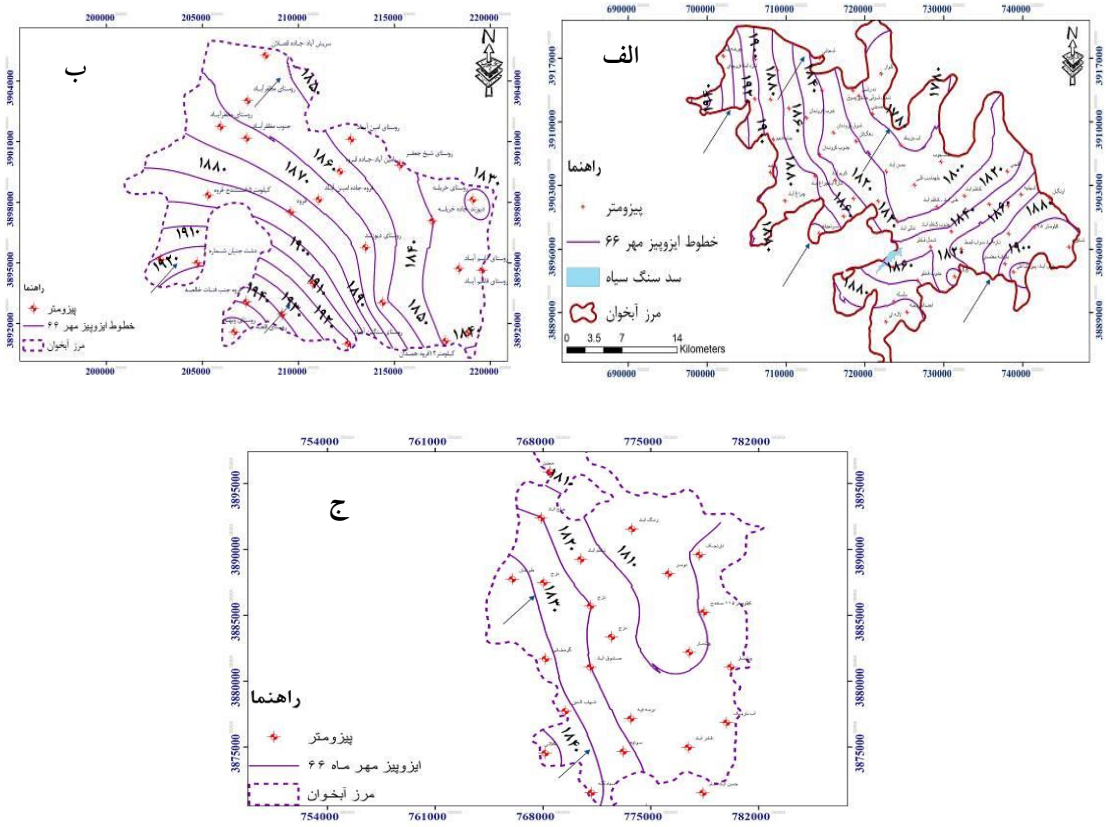
نقشهٔ هم‌ضخامت دشت قروه نشان می‌دهد ضخامت رسوبات آبرفتی مقاوم در نواحی مختلف متفاوت است و حداکثر آن به ۱۱۰ و حداقل آن به ۶۰ متر می‌رسد و بیشترین ضخامت آبرفت در مرکز دشت و در نزدیکی مناطق شهری واقع شده است. کمترین ضخامت نیز مربوط به نوارهای غرب، شمال و جنوب منطقه است. این رسوبات شامل دو بخش فوقانی (رسوبات سطحی جدید) و بخش زیرین (رسوبات قدیمی) بوده که با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک تکمیلی و از متد لرزه‌نگاری تفکیک می‌شوند (شکل ۴. الف).

نقشهٔ هم‌ضخامت رسوبات آبرفتی محدودهٔ دشت دهگلان نشان می‌دهد ضخامت رسوبات آبرفتی مقاوم در نواحی مختلف متفاوت است و حداکثر آن به ۱۲۰ و حداقل آن به ۲۰ متر می‌رسد و بیشترین ضخامت آبرفت در مرکز دشت و در نزدیکی مناطق شهری واقع شده است (شکل ۴. ب). هم ضخامت رسوبات آبرفتی دشت چهاردولی را نشان می‌دهد که ضخامت رسوبات آبرفتی در محدودهٔ ۳۰ تا ۹۰ قرار دارد و ضخامت در این آبخوان همانند دو آبخوان قروه و دهگلان در نواحی مرکزی حداکثر ضخامت و در نزدیکی مناطق شهری واقع شده است (شکل ۴. ج).



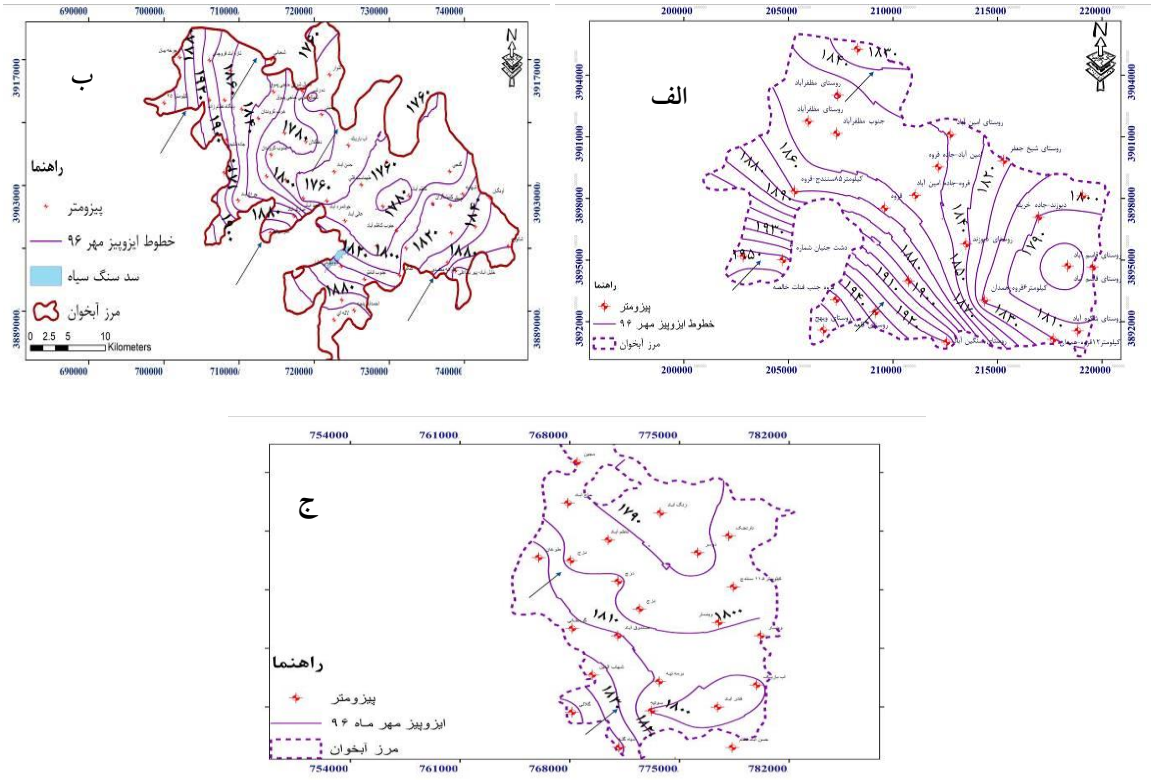
شکل ۴. نقشه‌های هم‌ضخامت اشباع دشت‌های الف) قروه، ب) دهگلان و ج) چهاردولی

برای نمایش میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان‌ها نقشه‌های ایزوپیز مهرماه سال‌های آبی ۱۳۶۶-۱۳۶۷ و ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ ترسیم شد (شکل‌های ۵ و ۶). درخور یادآوری است به دلیل اینکه ماه مهر بدترین شرایط آبخوان را نشان می‌دهد، تغییر وضعیت مخازن در این ماه بررسی شد. مطابق شکل ۵، وضعیت آبخوان‌ها در مهر ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ نشان می‌دهد تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب حدود ۱۸۳۰-۱۹۴۰ متر، ۱۷۸۰-۱۸۸۰ متر و ۱۸۱۰-۱۸۴۰ متر متغیر است و بالاترین سطح تراز آب زیرزمینی در هر سه آبخوان در مناطق جنوبی و جنوب غربی بوده و کمترین سطح تراز آب زیرزمینی در شمال آبخوان‌ها است.



شکل ۵. نقشه‌های ایزوپیز (مهر ۱۳۶۶) دشت‌های الف) قروه، ب) دهگلان و ج) چهاردولی

مطابق شکل ۶، وضعیت تراز آب در آبخوان قروه در مهرماه ۱۳۹۶ نشان می‌دهد تغییرات مکانی تراز آب (بار هیدرولیکی) از مقدار حداقل ۱۸۳۰ متر در شمال آبخوان تا مقدار حداکثر ۱۹۴۰ متر در جنوب غرب متغیر است. جهت جریان در آبخوان قروه جنوب و جنوب غربی به مرکز و در نواحی جنوب شرقی و مرکز به سمت شرق و شمال شرقی است (شکل ۶. الف). مقدار تراز آب زیرزمینی در آبخوان دهگلان بین ۱۷۴۰ تا ۱۹۲۰ متر متغیر و کمترین مقدار در نواحی مرزی و مرکزی آبخوان است. با توجه به تراکم خطوط ایزوپیز در هر سه آبخوان، بیشترین گرادیان هیدرولیکی مربوط به جنوب آبخوان و کمترین مقدار آن مربوط به مرکز آبخوان است. جهت جریان در این آبخوان در مناطق جنوبی و جنوب شرقی منطقه به سمت شمال و شمال شرقی و در نواحی غربی جهت جریان از جنوب غربی و غرب به شمال و شمال شرقی است (شکل ۶. ج). خطوط ایزوپیز آب زیرزمینی در مهرماه ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد که براساس آن، تغییرات مکانی تراز آب از مقدار حداقل ۱۷۹۰ متر در مرکز آبخوان چهاردولی تا مقدار حداکثر ۱۸۳۰ متر در جنوب آبخوان متغیر است. بالاترین تراز آب مربوط به جنوب آبخوان چهاردولی و کمترین مقدار آن، مربوط به مرکز آبخوان چهاردولی است. بیشترین گرادیان هیدرولیکی مربوط به جنوب و جنوب غربی آبخوان چهاردولی است. جهت جریان از جنوب و غرب به مرکز آبخوان و شمال و در نواحی جنوب شرقی به مرکز است.

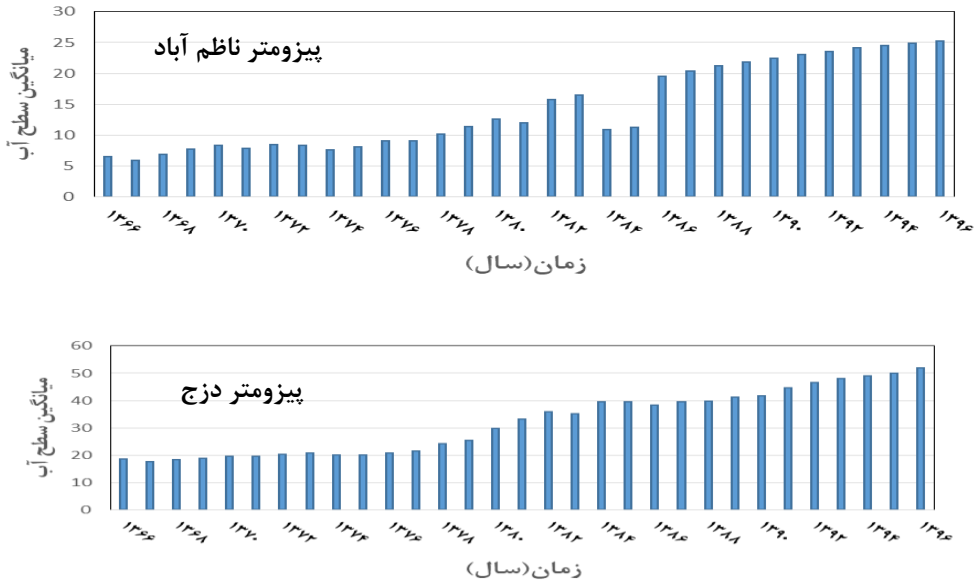


شکل ۶. نقشه‌های ایزوپیز (مهر ۱۳۹۶) دشت‌های الف) قروه، ب) دهگلان و ج) چهاردولی

از مقایسهٔ تغییرات تراز آب زیرزمینی طی دورهٔ ۳۱ ساله (۱۳۶۶ـ ۱۳۹۶) مشاهده می‌شود که در آبخوان چهاردولی تراز سطح ایستابی پیزومترهای شمالی نارنجک، زنگ‌آباد، کیلومتر ۱۱۵ سنندج، ناظم‌آباد ۳۰ متر افت داشته و سطح آب زیرزمینی پیزومترهای دزج، صندوق‌آباد، برمه‌تپه و سوتپه در مرکز آبخوان ۲۰ متر افت یافته است. همچنین، در آبخوان دهگلان مشاهده می‌شود که سطح ایستابی پیزومترهای شمالی حاجی پمق، آب باریک، عباس‌جوب، حسن‌آباد، گنجی، شعبانی و دهرشی از سطح تراز ۱۷۸۰ متر به ۱۷۴۰ تغییر یافته و آبخوان هر سال ۱/۳۳ متر افت داشته است. پیزومترهای جنوب کاظم‌آباد، علی‌آباد، جوانمردآباد، جنوب کروندان و تازه‌آباد قروچای حدود ۲۰ متر افت را نشان دادند. افت سطح ایستابی در آبخوان قروه در پیزومترهای روستای مظفرآباد، امین‌آباد، خریله و قاسم‌آباد رخ داده و تراز سطح آب حدود ۱ متر در سال کاهش پیدا کرده است. همچنین، پیزومترهای مرکزی قروه و دیوزند ۱۰ متر افت داشته و پیزومترهای جنوبی تغییری زیادی نیافته است. رشد جمعیت، افزایش نیازهای مختلف بشری، استفادهٔ بهینه از منابع آب و خاک، چرای مفرط، استفادهٔ نادرست از زمین و ده‌ها عامل دیگر از این نوع سبب شده تا خاک بیشتر در معرض فرسایش آبی قرار گیرد و باران رحمت سیل‌های ویرانگری را ایجاد کند. علاوه بر خسارت‌های ملموس به دنبال این امر ذخیرهٔ آب‌های زیرزمینی با فرسایش و کاهش نفوذپذیری کم شده و افت بیلان آب‌های زیرزمینی را به همراه دارد. از آنجا که کاهش و افت آب‌های زیرزمینی سبب شور شدن اراضی و پخشیدگی خاک‌های منطقه می‌شود، به منظور جلوگیری از خطرات سیلاب و حرکت آب‌های شور گازدار به سمت آب‌های شیرین و همچنین، تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۷۶ مدیریت آبخیزداری با در نظر گرفتن خشکسالی‌های موردی و افت شدید سطح آب زیرزمینی، در محدوده‌ای به مساحت حدودی ۷۰ هکتار اقدام به طرح کنترل و پخش سیلاب در دشت قروه کرده است. در این طرح با توجه به شرایط فیزیوگرافی خاص منطقه با استفاده از سازهٔ سد انحرافی هرزآب‌ها را مهار کرده و توسط کانال‌های اصلی و فرعی آن را به حوضچه‌های ته‌نشینی رسوب و درنهایت، بندهای خاکی احداث‌شده در عرصه‌های منابع طبیعی و کشاورزی هدایت می‌کنند (شکل ۷).

همچنین، در آبخوان دهگلان برای جلوگیری از نشست زمین و مدیریت منابع آب زیرزمینی این ناحیه آب منطقه‌ای استان کردستان سد سنگ سیاه را برای تأمین آب شرب و کشاورزی دهگلان در سال ۱۳۸۷ به بهره‌برداری رساندند. برای نمایش میزان بالاآمدگی سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف آبخوان‌ها در نتیجهٔ احداث سد سنگ سیاه و اجزای طرح پخش سیلاب ذله جوب، نمودارها متوسط سطح آب پیزومترهای دزج، شمال قاملو و جنوب قاملو در محدودهٔ سد سنگ سیاه ترسیم شده و ترازها در قبل و بعد از اجرای طرح‌ها بررسی شدند. مطابق نمودارهای شکل ۸، پیزومترهای ناظم‌آباد و دزج طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶ با نوسانات کاهشی و افزایشی همراه بوده، اما در دورهٔ اجرای این پروژه تا سال آبی ۱۳۹۶ عمق متوسط آب زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان‌های قروه و چهاردولی بالا رفته و نوسانات سطح ایستابی هم حذف شده و با یک روند رو به افزایش و شیب مثبت بوده است. رستمی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی تأثیر تغذیهٔ مصنوعی بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت قروه با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW دریافتند که افزایش ۱۰ درصدی میزان تغذیه از طریق بارندگی سبب کاهش افت مخزن از مقدار ۴/۰۱ میلیون متر به مقدار حدود ۲/۷ میلیون متر شد و ۴۴ درصد از بیلان منفی دشت را جبران کرد. همچنین، بیان کردند که تغذیهٔ مداوم دشت طی چند سال بیلان دشت می‌تواند مثبت شود [۱۵].

شکل ۷. موقعیت تغذیهٔ مصنوعی و پخش سیلاب دشت قروه

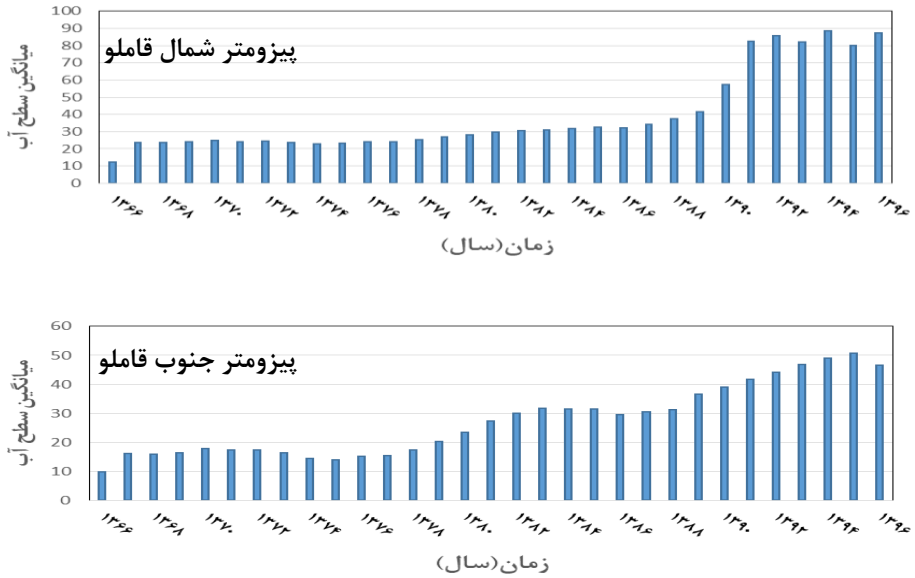


شکل ۸. نمودار میانگین سطح آب پیزومترهای ناظم‌آباد و دزج در آبخوان چهاردولی

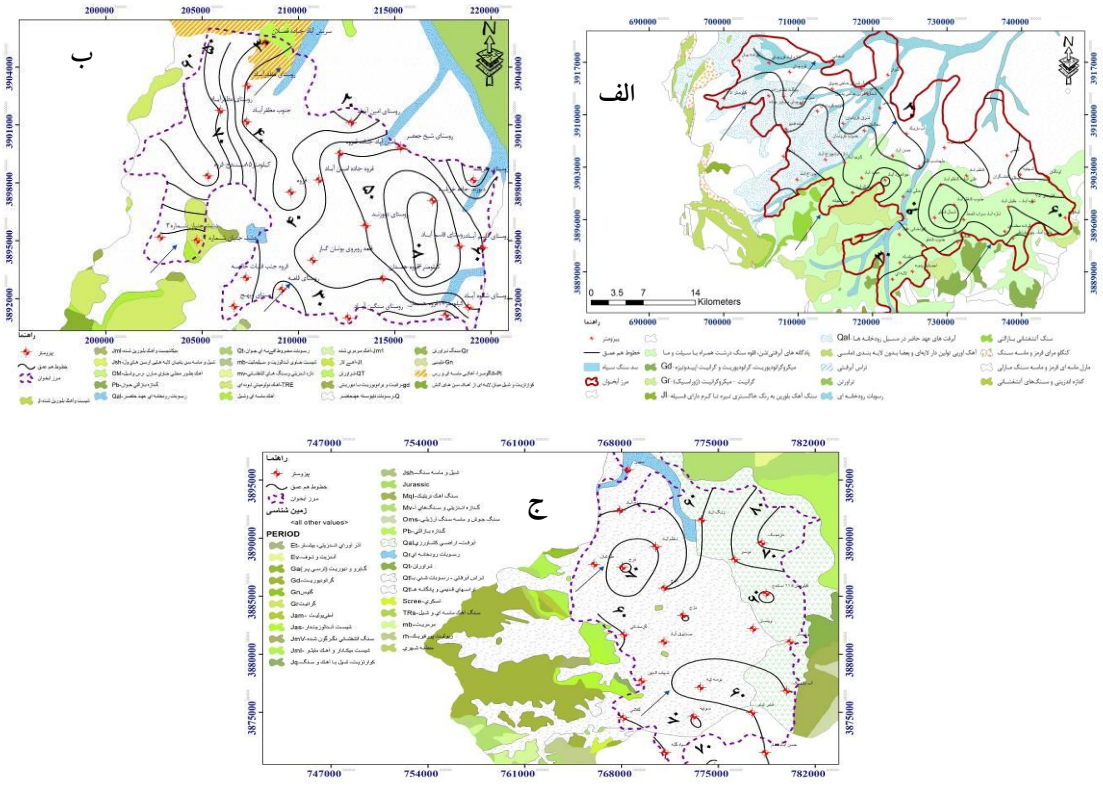
بررسی پیزومترهای شمال و جنوب قاملو مطابق شکل ۹ نشان می‌دهد در دورهٔ بعد از بهره‌برداری از سد سنگ سیاه، سطح آب در این دو پیزومتر روند افزایشی داشته، اما این روند با نوسانات همراه است، به طوری که ساخت سد در افزایش سطح ایستابی به دور دایم تأثیر مثبت نداشته است.

ترسیم نقشهٔ هم‌عمق آبخوان

شکل ۱۰ نقشهٔ هم‌عمق آبخوان‌های قروه، دهگلان و چهاردولی را نشان می‌دهد. مطابق نقشه‌ها، در هر سه آبخوان در مناطق مرکزی عمق آب زیرزمینی در بیشترین مقدار است و در نوارهای مرزی کمترین عمق آب زیرزمینی را دارند.



شکل ۹. نمودار میانگین سطح آب پیزومترهای ناظم‌آباد و دزج در آبخوان دهگلان



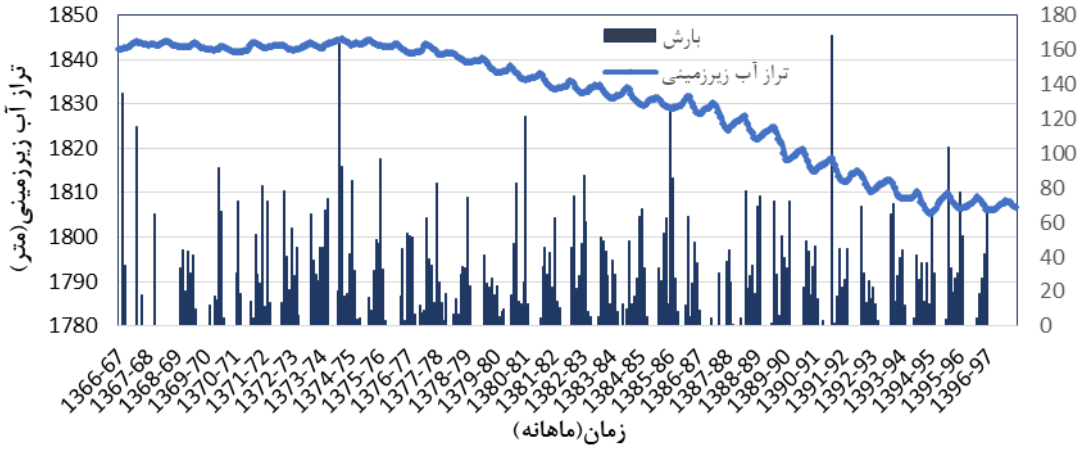
شکل ۱۰. نقشه‌های هم‌عمق دشت‌های الف) قروه، ب) دهگلان و ج) چهاردولی

بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی هیدروگراف واحد (آبنمو معرف) آبخوان‌ها

برای بررسی نوسانات تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های مطالعه‌شده سطح اثر چاه‌ها از طریق پلی‌گون‌بندی تیسن محاسبه و با روش میانگین وزنی، ارتفاع پیزومتری آبخوان‌ها به‌دست آمده و سپس هیدروگراف واحد ۳۱ ساله برای سال‌های آبی ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷، ترسیم شده است. با توجه هیدروگراف واحد در سال‌های آبی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ چهار قسمت روی آن قابل تفکیک است، قسمت اول شامل دورهٔ زمانی مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۷۷ است که تراز متوسط آبخوان به دلیل ۲/۷ متر در حال افت بوده است. قسمت دوم از مهر ۱۳۷۸ تا شهریور ۱۳۸۷ است که به میزان ۱۷/۱ افت یافته است که این به دلیل افزایش تخلیه و حفر چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان است، قسمت سوم شامل مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۲ است که تراز آبخوان ۱۲/۹۸ متر افت داشته و در قسمت چهارم شامل دورهٔ زمانی مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۶ است تراز متوسط آبخوان دهگلان ۱/۸۳ متر افت پیدا کرده است. با توجه به نمودار هیدروگراف، سطح آب زیرزمینی آبخوان دهگلان طی ده سال گذشته با شیب تقریباً کمی افت داشته است، که احتمالاً بر اثر اعمال ممنوعیت در بهره‌برداری از چاه‌های غیرمجاز و تخصیص میزان بهره‌برداری به چاه‌های مجاز به میزان ۰/۷ لیتر در ثانیه در ازای هر هکتار زمین زارعی توسط شرکت آب منطقه‌ای کردستان و بر اثر آغاز آبگیری مخزن سد در سال ۱۳۸۷ و شروع تغذیهٔ آبخوان از مخزن سد سنگ سیاه، سطح آب با روند نسبتاً ضعیفی افت می‌یابد. با توجه به نمودار شکل ۱۱ هیدروگراف واحد آبخوان دهگلان در سال‌های اخیر روند کاهشی تراز آب زیرزمینی کمتر شده (کاهش شیب نزولی هیدروگراف) است. افت سطح آب زیرزمینی آبخوان دهگلان در دورهٔ آماری مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد بیشترین میزان افت ماهانه مربوط به ماه مرداد در سال ۱۳۸۸ـ ۱۳۸۹ است که نسبت به ماه مشابه در سال ۱۳۸۹ـ ۱۳۹۰ به میزان ۵/۶۳- متر افت داشته است. همین ماه در سال ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ نسبت سال ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ به میزان ۳۶/۴۵- متر کاهش تراز سطح ایستابی آبخوان مشاهده شده است.

۳۶/۴۵- =۱۸۴۳/۴۲ -۱۸۰۶/۹۷= ارتفاع مطلق مردادماه (۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷)- ارتفاع مطلق مردادماه (۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷)= کل تغییرات تراز M

متوسط تغییرات سالانه سطح آب نیز برابر: m **۱/۱۸**- = **۴۵÷۳۶/۳۱**- است.



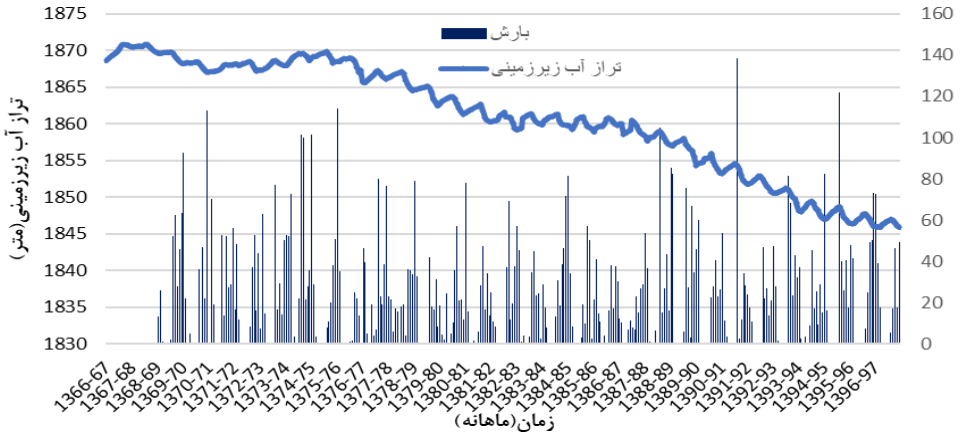
شکل ۱۱. تغییرات سطح مطلق آبخوان دهگلان طی دورهٔ آماری (۱۳۶۵-۱۳۶۶) تا (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

با توجه به نمودار شکل ۱۲ هیدروگراف واحد قروه در ۳۱ سال روند کاهشی تراز آب زیرزمینی کمتر شده (کاهش شیب نزولی هیدروگراف) است. با توجه هیدروگراف واحد در سال‌های آبی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ چهار قسمت روی آن قابل تفکیک است، قسمت اول شامل دورهٔ زمانی مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۷۳ است که تراز متوسط آبخوان ثابت بوده است. قسمت دوم از مهر ۱۳۷۴ تا شهریور ۱۳۸۶ است که به میزان ۱۰/۴۷ افت یافته است

که این به دلیل افزایش حفر چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان است، قسمت سوم شامل مهر ۱۳۸۷ تا شهریور ۱۳۹۲ است که تراز آبخوان ۹/۲ متر افت داشته و در قسمت چهارم شامل دورهٔ زمانی مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۶ است تراز متوسط آبخوان قروه ۲/۲۵ متر افت پیدا کرده است. شیب روند کاهشی تراز آب زیرزمینی به‌ترتیب برای چهار قسمت ۰، ۰/۸، ۱/۵۳ و ۰/۵۶ متر در سال به دست آمد و افت کمتر تراز آب زیرزمینی بعد از اعمال ممنوعیت برداشت از آبخوان و اجرای طرح پخش سیلاب در آبخوان قروه با شیب کمتر افت یافته است. افت سطح آب زیرزمینی در دورهٔ آماری مطالعه‌شده بررسی و مشخص شد بیشترین میزان افت ماهانهٔ آبخوان قروه مربوط به ماه آبان در سال۱۳۷۶ـ ۱۳۷۷ است که نسبت به ماه مشابه در سال ۱۳۷۵ـ ۱۳۷۶ به میزان ۲/۹- متر افت داشته است. همین ماه در سال ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ نسبت سال ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ به میزان ۲۲/۹۸- متر افت داشته است. با توجه به کل تغییرات از سال آبی ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ تا ابتدای سال ۱۳۹۶ــ ۱۳۹۷ که برابر ۲۲/۹۸- متر بوده است:

M ۲۲/۹۸ -= ۱۸۶۸/۹۴ - ۱۸۴۵/۹۶= ارتفاع مطلق آبان‌ماه (۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷)- ارتفاع مطلق آبان‌ماه (۱۳۹۶ــ ۱۳۹۷) = کل تغییرات تراز

متوسط تغییرات سالانهٔ سطح آب نیز برابر: m **۰/۷۴**- = **۹۸÷۲۲/۳۱**- است.

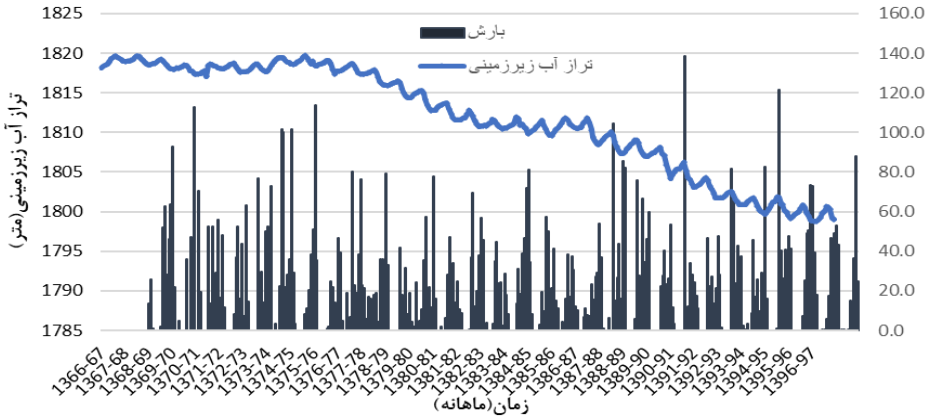


شکل ۱۲. تغییرات سطح مطلق آبخوان قروه طی دورهٔ آماری (۱۳۶۵-۱۳۶۶) تا (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

با توجه به نمودار شکل ۱۳ هیدروگراف واحد دشت چهاردولی در چهار سال اخیر روند صعودی داشته است و بیشترین افت در دههٔ دوم سال‌های آماری رخ داده است. با توجه هیدروگراف واحد سه قسمت روی آن قابل تفکیک است، قسمت اول شامل دورهٔ زمانی مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۷۲ است که تراز متوسط آبخوان ۱/۱۶ متر افت کرده است. قسمت دوم از مهر ۱۳۷۳ تا شهریور ۱۳۸۷ است که به میزان ۱۰/۴۱ متر و با شیب ۰/۶۹ متر در سال افت یافته است، قسمت سوم شامل مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۶ است که تراز آبخوان ۹ متر افت پیدا کرده است. روند شیب افت تراز سطح آب در آبخوان چهاردولی نشان داد طی ۳۱ سال روند افزایشی و اعمال مدیریت‌های حفاظتی در کل آبخوان تأثیر مثبتی را نداشته است و باید اعمال پخش سیلاب در آبخوان با بررسی‌های بیشتر انجام شود. در بررسی تغییرات آب زیرزمینی ماهانهٔ آبخوان چهاردولی مشخص شد که بیشترین میزان افت ماهانه در آبخوان چهاردولی مربوط به ماه مهر در سال ۱۳۸۹ــ ۱۳۹۰ است و نسبت به ماه مشابه در سال ۱۳۹۰ــ ۱۳۹۱ به میزان ۲/۷۷- متر افت داشته است. همین ماه در سال ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷ نسبت سال ۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷ افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۱۹/۳۲- متر در آبخوان صورت گرفته است. هیدروگراف واحد آبخوان میزان تراز آب زیرزمینی میانگین آبخوان چهاردولی در شکل ۱۳ ارائه شده است.

۱۹/۳۲- =۱۸۱۸/۱۴ -۱۷۹۸/۸۲= ارتفاع مطلق مهرماه (۱۳۶۶ـ ۱۳۶۷)- ارتفاع مطلق مهرماه (۱۳۹۶ــ ۱۳۹۷)= کل تغییرات تراز M

متوسط تغییرات سالانه سطح آب نیز برابر: m **۰/۶۲**- = **۳۲÷۱۹/۳۱**- است.



شکل ۱۳. تغییرات متوسط تراز آب زیرزمینی و بارندگی در محدودهٔ آبخوان چهاردولی

براساس هیدروگراف واحد آبخوان‌های دهگلان، قروه و چهاردولی سطح آب زیرزمینی به‌ترتیب در مردادماه، آبان‌ماه و مهرماه حداقل بوده، به‌تدریج افزایش یافته و در بهمن‌ماه به حداکثر میزان خود رسیده است. یعنی از فروردین روند نزولی طی کرده است. تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های مطالعه‌شده به دو عامل بارندگی و بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی توسط چاه‌های عمیق مجاز و غیرمجاز بستگی دارد. به‌طوری که از آبان‌ماه که بارندگی شروع می‌شود تراز آب زیرزمینی به‌تدریج بالا می‌آید تا اینکه در بهمن‌ماه به حداکثر میزان خود می‌رسد. در این دوره معمولاً از آبخوان آبرفتی بهره‌برداری نمی‌شود، چون بارندگی‌های موجود نیاز آبی گیاهان را برطرف می‌کنند. در اواخر فروردین‌ماه و اوایل اردیبهشت در منطقه بهره‌برداری‌ها از آبخوان آغاز می‌شود. بنابراین، از اردیبهشت‌ماه در کردستان که تقریباً بارندگی‌ها قطع می‌شود، به علت افزایش بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی، سطح آب زیرزمینی به‌تدریج پایین می‌رود. همچنین، در اواخر اردیبهشت‌ماه، قطع بارندگی سالانه مزید بر علت شده و میزان اُفت تراز آب زیرزمینی را تشدید می‌کند تا اینکه در مرداد تا آبان‌ماه به حداقل میزان خود می‌رسد. علاوه بر نوسانات ماهانه، آبخوان‌های موجود در منطقهٔ قروه- دهگلان نوسانات سالانه نیز دارد. نوسانات سالانهٔ تراز آب زیرزمینی آبخوان‌ها بیشتر به‌صورت اُفت تراز آب زیرزمینی مشهود است و افت در یک سال برای سال‌های آتی با ادامه روند کاهش تراز سطح آب در آبخوان ادامه‌دار خواهد شد. به بیان دیگر، به دلیل برداشت بیش از ظرفیت مجاز آبخوان، تراز آب زیرزمینی آبخوان‌ها اُفت پیدا کرده است. بنابراین، از طرف شرکت آب منطقه‌ای کردستان پیشنهاد ممنوعیت توسعهٔ بهره‌برداری در این دشت‌ها به‌ترتیب برای قروه از سال ۱۳۷۲ تا سال ۱۴۰۰، دهگلان از سال ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۰ و دشت چهاردولی از سال ۷۱ تا ۱۴۰۰ ارائه شده و شرکت مدیریت منابع آب ایران با پیشنهادهای یادشده موافقت کرده است.

تعیین حجم مخزن و کسری حجم آبخوان‌ها

حجم ذخیرهٔ آبخوان‌ها شامل ذخیرهٔ دینامیک و استاتیک بوده و در حقیقت میزان ذخیره قابل استحصال آبخوان است. ذخیرهٔ دینامیک (پویا) آب زیرزمینی به ذخیره‌ای گفته می‌شود که در ارتباط با چرخهٔ هیدرولوژیکی بوده و حجم آن در حقیقت برابر میزان تغذیهٔ سالانهٔ آب زیرزمینی باشد. در صورت عدم بهره‌برداری از آبخوان، ذخیرهٔ دینامیک به هر شکل ممکن از آبخوان خارج می‌شود که می‌تواند به صورت خروجی زیرزمینی به دشت‌های مجار، زهکشی، تبخیر مستقیم در مناطق کم‌عمق و غیره باشد. به همین دلیل، در صورت بهره‌برداری از آبخوان کمتر یا معادل میزان ذخیرهٔ دینامیک باشد، تأثیرات نامطلوبی بر سفرهٔ آب زیرزمینی وارد نمی‌شود. بنابراین، این میزان برداشت به‌عنوان برداشت مجاز شناخته می‌شود. ذخیرهٔ استاتیک (ایستا یا لایه‌های محصور) به ذخیره‌ای گفته می‌شود که طی زمان زمین‌شناسی، در بخش‌های تحتانی آبخوان انباشته شده و معمولاً در ارتباط با چرخهٔ هیدرولوژیکی نیست. ذخیرهٔ استاتیک برگشت‌پذیر نیست. بنابراین، در صورت بهره‌برداری از ذخیرهٔ دینامیک آبخوان آثار نامطلوب بر سفرهٔ آب زیرزمینی نظیر اُفت تراز آب زیرزمینی، نشست زمین، کاهش کیفیت آب، هجوم آب شور و غیره وارد می‌شود. بنابراین، برداشت از ذخایر استاتیک، برداشتی بی‌رویه و غیرمجاز شناخته شده است. متأسفانه

سال‌هاست در کشور ما و همچنین، سفره‌های زیرزمینی شرق استان کردستان گریبانگیر این مشکل هستند. تعیین حجم مخزن با داشتن مساحت، ضخامت بخش اشباع و ضریب ذخیرهٔ آبخوان قابل محاسبه است. بر این اساس، مساحت آبخوان‌های دشت قروه، دهگلان و چهاردولی در منطقهٔ مطالعه‌شده قروه- دهگلان به‌ترتیب حدود ۱۶۹/۲، ۷۷۹/۸ و ۳۲۱ کیلومترمربع بوده و متوسط ضریب ذخیره طبق نظر کارشناسان بخش مطالعات منابع آب استان کردستان برای آبخوان قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب ۱/۶، ۱/۹ و ۱/۵ درصد در نظر گرفته شده است.

برای محاسبهٔ ضخامت متوسط بخش اشباع آبخوان، ابتدا در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های هم‌ضخامت آبرفت و هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه، سپس نقشهٔ هم‌عمق آب زیرزمینی از نقشهٔ هم‌ضخامت آبرفت کسر شد. خروجی محاسبات در حقیقت نقشهٔ هم‌ضخامت بخش اشباع بوده است. بر این اساس، میانگین ضخامت بخش اشباع آبخوان دشت قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب برابر ۸۰، ۶۵ و ۵۵ متر محاسبه شد.

حجم ذخیرهٔ آبخوان قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب برابر ۲۱۷، ۹۶۳ و ۲۶۵ میلیون مترمکعب برآورد شد که این حجم ذخیرهٔ محاسبه‌شده، شامل مجموع ذخیرهٔ دینامیک و ذخیرهٔ استاتیک بوده و بخش عمده‌ای از آن ذخیرهٔ استاتیک است. براساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، میزان ذخیرهٔ دینامیک آبخوان دشت‌های قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب ۱۲ تا ۱۵، ۶۵ تا ۷۰ و ۱۷ تا ۲۰ میلیون مترمکعب بوده است. بنابراین، میزان ذخیرهٔ استاتیک این آبخوان‌ها به‌ترتیب ۲۰۱، ۸۹۰ و ۲۴۴ میلیون مترمکعب است. بنابراین، میزان برداشت مجاز سالانه دشت‌ها همان میزان ذخیرهٔ دینامیک باید باشد.

جدول ۱. حجم ذخیره و کسری آبخوان‌ها در محدودهٔ مطالعه‌شده (بر حسب MCM)

آبخوان	حجم ذخیرهٔ آبخوان	حجم کسری آبخوان در هر سال از دورهٔ ۳۱ سال	حجم کسری آبخوان طی سه سال گذشته
قروه	۲۱۶/۶	۲	۴/۶
دهگلان	۹۶۳/۰۵	۱۷/۴	۳۲
چهاردولی	۲۶۴/۸	۲/۹۸	۷/۰۳

میزان بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی

میزان بهره‌برداری از آبخوان‌های آبرفتی منطقهٔ قروه- دهگلان علاوه بر چاه‌های پمپاژ از منابع چشمه و قنات نیز برای بهره‌برداری صورت می‌گیرد. براساس نتایج آماربرداری سراسری سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۳، ۱۳۸۶-۱۳۸۶ تعداد کل منابع موجود در کل محدودهٔ قروه- دهگلان و میزان تخلیه از آنها به صورت جدول ۲ بوده است. براساس نتایج آماربرداری سراسری که در سال آبی ۱۳۸۲ـ ۱۳۸۳ انجام شده میزان تخلیهٔ سالانه از تعداد ۷۲۸۰ منبع حدود ۵۴۱/۸ میلیون مترمکعب محاسبه کرده است. براساس نتایج آماربرداری سراسری سال آبی ۱۳۸۶ـ ۱۳۸۷ مختلف میزان تخلیهٔ سالانه تعداد ۷۱۱۷ منبع که همگام با آماربرداری صحرایی فعال و موجود بوده، حدود ۴۸۰/۷ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. براساس نتایج گشت و بازرسی‌های به‌عمل‌آمده در سال ۱۳۹۷ در منطقهٔ قروه و دهگلان توسط مهندسین مشاور رهاب سازه تدبیر، حدود ۱۵۵۰ حلقه چاه مجاز وجود دارد. که از این تعداد در دشت دهگلان ۹۶۵ حلقه چاه فعال بوده و کل میزان حجم مجاز مندرج در پروانه از این تعداد براساس کارشناسان محترم شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان ۶۹/۱ میلیون مترمکعب بوده در حالی که میزان حجم آب مصرفی هنگام بازدید ۱۹۶/۹ میلیون مترمکعب بوده است. و برای دشت قروه ۲۴۸ حلقه چاه مجاز وجود دارد که میزان کل حجم مندرج در پروانه ۱۳/۳ میلیون مترمکعب، اما هنگام بازدید ۴۸/۷ میلیون مترمکعب بوده و برای دشت چهاردولی تعداد حلقه چاه مجاز بازدید شده حدود ۳۳۷ بوده و میزان کل حجم مندرج در پروانه ۱۶/۹ میلیون مترمکعب و کل حجم آب مصرفی در زمان بازدید ۷۴/۱ میلیون مترمکعب حاصل شد. براساس بازدید گروه‌های گشت و بازرسی در سال ۱۳۹۷ میزان عمق متوسط چاه‌های در کل محدوده ۸۲ متر و آبدهی متوسط چاه‌ها ۹/۵ لیتر در ثانیه است.

جدول ۲. تعداد و تخلیهٔ منابع آب (چاه، چشمه و قنات) در سال‌های مختلف آماربرداری در محدودهٔ قروه دهگلان

ردیف	آماربرداری سال ۱۳۸۳		آماربرداری سال ۱۳۸۷	
	تعداد	تخلیه (میلیون مترمکعب)	تعداد	تخلیه (میلیون مترمکعب)
چاه	۵۰۶۲	۴۴۰/۱۳	۴۸۲۶	۳۷۸/۸۶
چشمه	۲۰۲۲	۹۵/۸۳	۲۱۰۱	۸۸/۷۲
قنات	۱۹۶	۲۸/۳۴	۱۹۰	۱۳/۱۳
جمع کل	۷۲۸۰	۵۴۱/۸۴	۷۱۱۷	۴۸۰/۷۱

بحث و نتیجه‌گیری

در شرایط حاضر از منابع آب زیرزمینی کشور حداکثر استفاده به عمل می‌آید، به طوری که به سبب برداشت بی‌رویه از این منابع، در ۱۶۳ دشت کشور سطح آب زیرزمینی دچار افت شده و مشکلاتی را برای ادامهٔ حیات کشاورزی و توسعهٔ اقتصادی این نواحی فراهم آورده است. با توجه به اینکه بهره‌برداری حدود ۸۹ درصد نیاز آبی کشاورزی خود را از آبخوان‌های آبرفتی دشت‌های قروه و دهگلان تأمین می‌کنند. بخشی از تغذیهٔ آبخوان دهگلان در قسمت جنوب، توسط مخزن سد سنگ سیاه و برای آبخوان‌های قروه و چهاردولی به‌ترتیب در قسمت‌های شرق و مرکزی، توسط پخش سیلاب در روستای ذله جوب است که از سال ۱۳۸۷ صورت می‌گیرد. در این محدوده جریان سطحی ورودی ندارد و جریان سطحی خروجی رودخانهٔ تلوار در بخشی از شمال آبخوان دهگلان قرار دارد. در این پژوهش تغییر وضعیت تراز سطح ایستابی در مهرماه سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۶ با ترسیم نقشه‌های ایزوپیز مطالعه شد. نمودار هیدروگراف واحد آبخوان‌ها با محاسبهٔ تعیین سطح اثر هر چاه از طریق پلی‌گون‌بندی تیسن و محاسبهٔ میانگین ماهانه ارتفاع پیزومتری آبخوان‌ها در سال‌های مختلف ترسیم شد. همچنین، نمودارهای تغییرات سطح ایستابی از مهر ۱۳۶۶ تا شهریور ۱۳۹۶ پیزومترهای شمال و جنوب قاملو در نزدیک طرح اجرا شده در آبخوان دهگلان و پیزومترهای دزج و ناظم‌آباد در محدودهٔ پخش سیلاب در روستای ذله جوب تحلیل شد. در نهایت، به تعیین حجم مخازن با داشتن مساحت، ضخامت بخش اشباع و ضریب ذخیرهٔ هر آبخوان پرداخته شد. از مقایسهٔ نقشه‌های ایزوپیز مهر ۱۳۶۶ و مهر ۱۳۹۶ مشاهده شد که بیشترین افت سطح ایستابی در هر سه آبخوان در قسمت‌های شمال و مرکز رخ داده است و بخش‌های جنوب و جنوب غربی با افت سطح آب کمتری همراه بوده‌اند و این امر می‌توان مرتفع بودن و نفوذ بارش‌ها به آبخوان باشد. نمودار هیدروگراف واحد آبخوان دهگلان نشان داد سطح آب زیرزمینی طی ۳۱ سال دارای روند کاهشی است. اما در بررسی تأثیر بهره‌برداری از سد سنگ سیاه در این ناحیه مشاهده می‌شود این روند تقریباً با شیب کمتری کاهش یافته است و تا حدودی در حال جبران کمبود مخزن است، به طوری که کاهش سطح آب در کل آبخوان در سه سال اخیر تقریباً ثابت شده و با ادامهٔ این روند در درازمدت همچنان با اعمال برنامه‌های مدیریتی یعنی جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز، تخصیص آب به کشاورزان و آگاهی و اطلاع‌رسانی در این خصوص به بهره‌برداران، می‌تواند در به حداقل رساندن این کمبودها کمک کند. در ترسیم هیدروگراف و محاسبهٔ کسری حجم مخزن آبخوان قروه نیز مشاهده شد که طی ۳۱ سال، آبخوان با کسر حجم مخزن همراه است و این میزان در دو دورهٔ ۱۳۶۶ مهر تا شهریور ۱۳۹۶ و از مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۶ (سه سال اخیر) ۲ میلیون مترمکعب در سال و ۴/۶ میلیون مترمکعب به دست آمد. به این معنا که در سال‌های اخیر افت سطح آب از میانگین افت درازمدت بیشتر بوده است. هیدروگراف آبخوان چهاردولی نیز نشان داد تراز سطح ایستابی طی ۳۱ سال همانند دو آبخوان دهگلان و قروه افت پیدا کرده است. از بررسی میانگین عمق سطح آب در پیزومترهای دزج و ناظم‌آباد مشاهده شد که سطح آب دارای روند افزایشی و در سال‌های اجرای طرح (سال ۱۳۸۸ــ ۱۳۹۶) سطح آب تقریباً ثابت شده است. بنابراین، برای عملکرد بهتر در کل آبخوان باید این طرح در سایر مناطق نیز بررسی و در صورت امکان اجرا شود. نتایج این کار با نتایج تحقیق صورت‌گرفته توسط محققان از جمله: خوشحال و همکاران (۲۰۱۱) و مفاخری و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی مناسبی داشت. نتایج بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی و محاسبهٔ

کسری مخزن آبخوان نشان داد آبخوان‌های قروه، دهگلان و چهاردولی به‌ترتیب ۲، ۱۷/۴ و ۲/۹۸ میلیون متر مکعب با کسری مخزن هر ساله همراه است و دارای بیلان منفی است. منفی بودن بیلان، کاهش سطح ایستابی آبخوان‌ها و افزایش بهره‌برداری زیاد از آبخوان‌های منطقه با تحقیق محققان دیگر در سایر دشت‌های دیگر کشور از سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷)، فاریابی و همکاران (۲۰۱۷)، جباری و همکاران (۲۰۰۸)، شکری (۲۰۱۳) و جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۹) هم‌خوانی داشته است. ارقام بهره‌برداری از آبخوان‌ها، وابستگی شدید کشاورزی منطقه به منابع آب زیرزمینی و افزایش اضافه کشت‌ها در منطقه از سوی کشاورزان می‌تواند آسیب‌پذیری جبران ناپذیری در زمان خشکسالی‌های شدید و مخرب را داشته باشد.

منابع

[1]. Zarei A, Abed kopaei J, Mrofpour E. Locating areas prone to groundwater recharge through runoff control (Case study of Qorveh-Kurdistan plain). 6th National Conference on Water Resources Management of Iran.2016; 1-3 May 2016. [Persian]

[2]. Qobadi Alamdari Sh, Asghari Moghadam A. Determining the water balance of Dehloran plain aquifer. 6th National Conference on Water Resources Management of Iran.2016; 1-3 May 2016. [Persian]

[3]. Arest M, Shojaei S. Investigation and determination of groundwater balance of Qom plain free aquifer. 5th Iranian Water Resources Management Conference, Shahid Beheshti University; 2012. [Persian]

[4]. Poormohammadi S, Taqi Dastorani M, Jafari H, Rahimian M.H, Goodarzi M, Mesmarian Z, et al. Investigation of groundwater balance in Tuserkan plain of Hmaedan using MODFLOW. Journal of Eco Hydrology. 2015; 2(4): 371-382. [Persian]

[5]. Mesmarian Z, Massahbavan A, Javadipirbazari S. Climatechange impact on Groundwater budgetof ShahreKord plain in the future period. Iranian Journal of ECO Hydrology.2016; 3(2): 233-242. [Persian]

[6]. khoshhal J, Ghauor H A, moradi M. A Survey on the Impact of Groundwater Drought in Dehgolan Basin, Kurdistan Province. Physical Geography Research Quarterly. 2011; 44(79): 19-36. [Persian]

[7]. Mafakheri O, Khaledi Sh, Shamsipour A.A, Kermani A. Drought analysis using NDVI index in Qorveh and Dehgolan plains. Journal of Applied Research in Geographical Sciences. 2015; 41(16): 94-77. [Persian]

[8]. Solimani F, Kolahchi A, Arsham H. Investigating the effect of climate change on the balance and groundwater level of Ramhormoz plain. Journal of Watershed Management Extension and Development. 2017; 5(17). [Persian]

[9]. Faryabi M, Kalantari N, Chitsazan M, Rahimi M H. Groundwater Balance as a Tool for Water Resources Management, Case Study: Baghmalek Plain, Khuzestan Province. 3th Iranian Water Resources Management Conference, University of Tabriz; 2017. [Persian]

[10]. Jabari P, Qanbarpour M R, Ashabeh A R. Evaluation and determination of groundwater balance of Sari-Neka plain free aquifer. 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters), Iran-Karaj Watershed Management Association; 2008. [Persian]

[11]. Jafarzadeh A, Khashei A, Shahidi A. Impact assessment of climate change on groundwater table using of balance conceptual model (Case study: Birjand Plain). Journal management system. 2019; 12(41): 1-16. [Persian]

[12]. Shokri G. Study of groundwater balance in order to provide appropriate management solutions (Case study: Dasht-e Aleshtar), Master Thesis;2013. P.1. [Persian]

[13]. Poormohammadi S. Taqi Dastorani M. Jafari H. Hassan Rahimian M. Goodarzi M. Mesmarian Z. Baqeri F.

[14]. Moseki M C. Climate change impacts on groundwater: literature review. Environmental Risk Assessment and Remediation. 2017; 2(1): 16-20.

[15]. Maimoona R. Jin-Yong L. Kideok D K. Estimation of quantitative spatial and temporal distribution for groundwater storage in agricultural basin of Korea: implications for rational water use. Environmental Earth Sciences. 2019; 75(5):169.

[16]. Rostami S, Nakhea M, Khodaee K. The effect of artificial nutrition on the groundwater potential of Qorveh-Kurdistan plain. The first conference on applied research in Iranian water resources;2010. [Persian]