

مدیریت و بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب در راستای کاهش افت آبخوان هشترگرد

مهسا جمعدار^۱، مهدی سرائی تبریزی^{۲*} و علی صارمی^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

(۲) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: m.sarai@srbiau.ac.ir

(۳) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

چکیده

کاهش تراز سطحی آبخوان‌ها به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه و مدیریت نشده، علاوه بر خسارات جبران‌ناپذیر به منابع آبی و خاکی، موجب بروز بحران از دست دادن منابع آب استراتژیک در آینده می‌شود. حفاظت از منابع آب زیرزمینی موجود، در شرایطی که کشور در منطقه نیمه‌خشک واقع شده است، علاوه بر تأمین نیازهای آبی در چشم‌اندازها باعث افزایش پتانسیل‌های هیدروژئولوژی خاک می‌شود. هدف از این پژوهش مدیریت و بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی منابع آب سطحی، زیرزمینی و غیرمتعارف در راستای کاهش افت تراز سطحی آبخوان هشترگرد بر اساس مدیریت یکپارچه منابع آب برای تأمین نیازهای آبی موجود، با کم‌ترین اثرات سوء بر کیفیت منابع آب زیرزمینی و ظرفیت‌های خاکی در محدوده طرح می‌باشد. در این راستا ابتدا بیان هیدروکلیماتولوژی و بیان آبخوان را با روش تورنت‌وایت و استفاده از پارامترهای نشریه فائو برآورد کرده و پس از شبیه‌سازی محدوده مطالعاتی در مدل GIS، طی رفتارسنجی ۲۱ پیرومتر در سطح آبخوان و ترسیم هیدروگراف واحد بلندمدت آن مشخص شد. افت ۲۵ ساله آبخوان هشترگرد ۲۰/۳۲ متر می‌باشد. با مدل‌سازی سناریوهای افزایش جمعیت با نرخ رشد پنج‌ساله ۳/۴ درصدی و احداث دو تصفیه‌خانه اختصاصی یکی جهت پساب‌های صنعتی و دیگری برای پساب‌های شهری و کشاورزی، طی بهینه‌سازی تأمین نیازها از طریق مدیریت سیستماتیک تلفیق استفاده از منابع آبی در مدل WEAP¹ مشخص شد در چشم‌انداز ۵ ساله، هرچند تخلیه از آبخوان جهت تأمین نیازهای شرب ۵/۷ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد، ولی با تصفیه پساب‌های صنعتی، کشاورزی، شرب، تخلیه از آبخوان کاهش می‌یابد. همچنین با آنالیز حساسیت متغیرها در مدل WEAP، مشخص شد نیازهای کشاورزی بیش‌ترین تأثیر را در افت تراز سطحی آبخوان دارند. لذا با هدف آزادسازی آبخوان آبرفتی هشترگرد از ممنوعیت در فرایند مدل‌سازی، نیازهای کشاورزی ثابت فرض شد. نتایج نشان داد که افت آبخوان در چشم‌انداز پنج‌ساله نه‌تنها به صفر می‌رسد، بلکه تراز آبخوان به‌میزان ۲/۱ متر تغذیه می‌شود. پیشنهاد می‌گردد با احداث تصفیه‌خانه‌های اختصاصی پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی، با استانداردهای لازم از منابع آبی غیرمتعارف به‌عنوان روشی نوین در تأمین نیازهای آبی کشاورزی و صنعتی استفاده شود تا حداکثر بهره‌وری در منابع آبی و خاکی حاصل گردد.

کلید واژه‌ها: استحصال منابع آب؛ منابع غیرمتعارف؛ IWRM^۲

¹ Water Evaluation And Planning

² Integrated Water Resources Management

مقدمه

محدودیت‌های مرتبط با نیاز آبی، تراز آب زیرزمینی و کنترل پیشروی آب دریا به آبخوان بوده است. در این پژوهش مقادیر برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌عنوان متغیرهای تصمیم و مقادیر تراز آب زیرزمینی به‌دلیل تأثیرپذیری به‌عنوان متغیرحالت در نظر گرفته شده است. در نهایت با استفاده از آنالیز حساسیت بر روی کاهش مقدار پیک نیاز، در نظر گرفتن برابری مقدار حجم ذخیره آب مخزن در دوره اول و انتهای بهره‌برداری، الزامات تراز آب زیرزمینی صورت گرفت و نتایج هر یک به‌صورت تغییرات مقدار گزارش شده است.

کارآموز و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای در آلاسکا، مدل بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی، با تأکید بر مشخصات کیفیت آب زیرزمینی در قالب مدل شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۲ و با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)^۳ مورد بررسی قرار دادند. در این مدل هدف استخراج مقادیر تخصیص بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی به اراضی کشاورزی جنوب تهران بوده است، نتایج مدل‌سازی نشان داد استفاده از این روش در بهبود کمی و کیفی منابع آب تأثیر بسیاری دارد.

کارآموز و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی، مدل بهره‌برداری تلفیقی را جهت کنترل تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی، کاهش هزینه‌های پمپاژ و تأمین آب کشاورزی تدوین نمودند. در این پژوهش، معادلات بررسی آبخوان در قالب مدل ANN تدوین شده و GA نیز به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است. نتایج پژوهش حاکی از مزیت یکپارچه‌نگری در تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد و تغییرات تراز تجمعی سطح آب زیرزمینی به کمتر از ۴ متر نسبت به شرایط موجود (بیش از ۲۰ متر) کاهش یافته است.

رودخانه‌ها که تمرکز و شدت جریان سطحی در آن‌ها بیش از سایر مناطق است، به‌عنوان اولین گزینه‌های مطرح جهت استحصال و مصارف در مناطق خشک و نیمه‌خشک چون ایران است. اما توزیع زمانی جریان موجود در آن‌ها برخی موارد با توزیع نیازهای موجود در تضاد می‌باشد و یا گاه این جریان‌ها به‌صورت فصلی و سیلابی اتفاق می‌افتد. در مقابل منابع آب زیرزمینی، یکی از بهترین ذخایر آبی است که به‌طور معمول از کیفیت مناسبی نیز جهت استفاده در مصارف مختلف، به‌خصوص در فصول خشک برخوردار می‌باشند. اما ذخیره و احیای مجدد آن زمان زیادی را طلب می‌نماید (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۰). با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر در جهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و کاهش نزولات جوی و افزایش دما، جلوگیری از افت سطح آب‌های زیرزمینی بسیار اهمیت دارد. افت تراز سطح ایستایی، تداخل آب شور و شیرین در نواحی ساحلی، هزینه‌های ناشی از حفاری و پمپاژ، فرونشست، تخلیه منابع زیرزمینی و کاهش کیفیت و کمیت منابع آب از جمله مشکلات موجود در استفاده و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است (مهندسین مشاور آبخوان، ۱۳۹۲). در پی افزایش مصرف آب، میزان پساب تولید شده نیز سیر صعودی دارد. محدودیت منابع آب تجدید شونده باعث گردیده، استفاده از منابع آب غیرمتعارف به‌عنوان یکی از منابع مهم آبی در مصارف به‌شمار آیند (عابدی‌کوپایی، ۱۳۸۲).

نیشیکاو (۱۹۹۸) در مطالعه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، با در نظر گرفتن شرایط خشکسالی مدل بهره‌برداری بهینه از آب سطحی و زیرزمینی را ارائه نمود. هدف مورد نظر حداقل نمودن میزان هزینه تأمین آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (LP)^۱ با در نظر گرفتن

^۲ Artificial Neural Network

^۳ Genetic Algorithm

^۱ Linear Programming

بهینه‌سازی مصارف از آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، سهم تقریبی آب تأمینی از منابع، به‌ترتیب ۱۳/۵ درصد مربوط به آب‌های سطحی و ۸۶/۵ درصد مربوط به آب‌های زیرزمینی است. بنابراین نیاز آبی منطقه باید بر اساس این درصدها تأمین گردد، تا منابع آب در حالت تعادل قرار گیرد.

در تمامی مطالعات و پژوهش‌هایی که تا کنون انجام شده است، بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌منظور بهینه‌سازی مصارف مدنظر بوده است و استفاده از منابع غیرمتعارف به‌عنوان یک پتانسیل که با افزایش مصرف ارتباط مستقیم دارد و نیز مدیریت یکپارچه منابع آب جهت کاهش افت آبخوان مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش مدیریت سیستماتیک بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی، زیرزمینی و غیرمتعارف در محدوده مطالعاتی هشترگرد در راستای کاهش افت سطح آب‌های زیرزمینی است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی هشترگرد با مساحت ۱۱۷۰/۵ کیلومترمربع در استان البرز با کد ۴۱۰۵ در تقسیم‌بندی شرکت مدیریت منابع آب ایران شناخته شده و از شرق به محدوده مطالعاتی تهران-کرج و از غرب به محدوده مطالعاتی قزوین متصل می‌گردد. جریان‌های سطحی خروجی از این محدوده مطالعاتی وارد شوره‌زار قزوین می‌شود. مهم‌ترین رودخانه موجود در این محدوده مطالعاتی، رودخانه کردان می‌باشد. آبخوان آبرفتی دشت هشترگرد از نوع آزاد بوده که به سمت جنوب آبخوان چندلایه شده و کیفیت آب زیرزمینی در لایه‌های محبوس پایین بهتر از لایه آزاد می‌باشد. در اراضی جنوبی دشت به‌واسطه رخنمون رسوبات تبخیری می‌وسن کیفیت آب در لایه سطحی به‌شدت تنزل پیدا نموده و غیرقابل استفاده در بخش‌های کشاورزی و شرب می‌باشد. در این پژوهش مقادیر هواشناسی، هیدرولوژی و تراز سطح آبخوان

بابازاده (۱۳۸۶) در پژوهشی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در طرح توسعه شبکه آبیاری و زهکشی در حوضه هلیل‌رود کرمان را با استفاده از شبیه‌سازی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در مدل‌های Modflow و Hec-Ressim و ارائه الگوی بهینه و کم مصرف برنامه‌ریزی خطی، مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد طی شبیه‌سازی منابع آبی به‌صورت توزیع مکانی و زمانی و با اعمال الگوی کم مصرف، تراز سطح ایستایی آبخوان پس از ۳۰ سال به حالت تعادل خواهد رسید.

بابازاده و بهشتی (۱۳۸۷) در پژوهشی مدیریت یکپارچه منابع آب را با استفاده از فنون مدل‌سازی برای حل مسائل خاص در مخازن، ضمن بهره‌گیری از داده‌های قطعی و تصادفی، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، کاربردهای منطق فازی و برنامه‌ریزی خطی فازی در بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های مخازن چندمنظوره را به‌کار بردند و نتایج نشان داد، استفاده از این روش‌ها می‌تواند در جلوگیری از تخریب زود هنگام و شاید نابودی غیر قابل جبران سیستم‌های تولید منابع آب مؤثر واقع شود.

زیبایی و اردوخوانی (۱۳۹۲) در پژوهشی استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس را به‌وسیله یک مدل ریاضی با محدودیت‌های هیدرولوژیکی و مدیریتی برای رسیدن به الگوهای کشت بهینه به‌منظور استفاده‌ی بهینه از منابع آب در راستای حداکثر کردن بازده اقتصادی بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده‌ی توأمان آب سطحی و زیرزمینی اطمینان نسبت به منابع آب را بهبود می‌بخشد که می‌تواند زیان ناشی از عدم قطعیت مربوط به آب را کاهش دهد و بنابراین همچون یک سیستم مدیریت ریسک علیه عدم قطعیت آب عمل می‌کند.

ولیزادگان و یزدان‌پناه (۱۳۹۷) در تحقیقی تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت مهاباد را با استفاده از نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی کردند. سپس بر اساس نتایج به‌دست آمده، از روش شبکه عصبی مصنوعی جهت

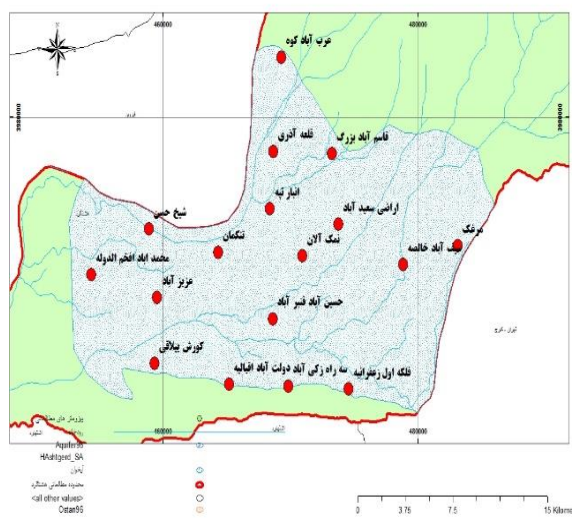
که مقادیر محاسبه شده ممکن است در برخی مناطق کم‌تر از مقدار واقعی باشد، ولی به هر حال از آن جهت که فقط به آمار درجه حرارت نیازمند است، به‌عنوان یک روش، مقبولیت جهانی یافته است. بیلان آبخوان بر اساس استانداردهای فائو محاسبه می‌شود. از طریق رفتارسنجی ۲۱ پیرومتر مطالعاتی در سطح آبخوان (مطابق شکل ۲)، طی ۱۲ ماه سال آبی ۹۵-۹۶ و مدل‌سازی آن‌ها در GIS میزان افت تراز سطحی آبخوان را محاسبه می‌کنیم.

مدل‌سازی در WEAP را با سه شاخص مصارف یا نیازها (مطابق جدول ۱)، منابع و سناریوها انجام می‌دهیم. با شناسایی حساس‌ترین متغیر، بهینه‌سازی مصارف را با تلفیق استفاده از منابع در مدل آنالیز کرده و بیلان حاصل از نتایج مدل را برآورد می‌کنیم.

در این محدوده مطالعاتی ایستگاه هیدرومتری و سنجش کیفیت نجم‌آباد بر روی رودخانه کردان قرار دارد. در ایستگاه یاد شده، میزان هدایت الکتریکی بین ۲۲۸ تا ۴۵۵ میکروموس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند.

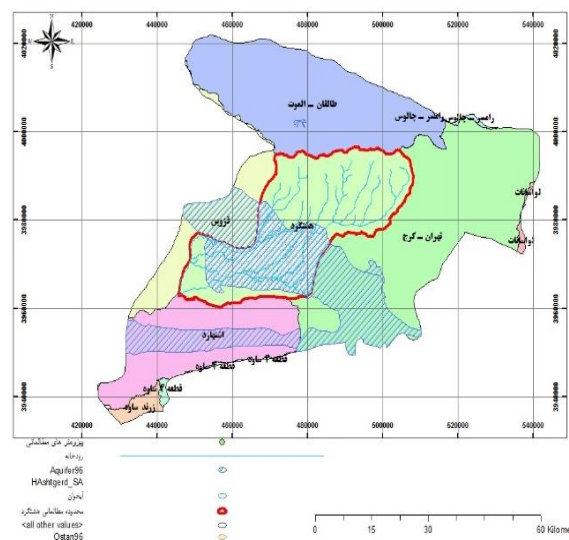
هشتگرد در سال آبی ۹۵-۹۶ (۲۰۱۶-۲۰۱۷) مدنظر قرار گرفته است. مساحت ارتفاعات ۵۷۹، دشت ۵۹۱ و آبخوان ۴۱۰/۷ کیلومترمربع است. با استفاده از مقادیر متوسط دما، بارش و تبخیر ماهانه، متوسط دما، بارش و تبخیر سالانه در محدوده هشتگرد در نرم‌افزار Arc GIS، نقشه منحنی‌های هم‌دما هم‌باران و هم‌تبخیر تهیه می‌شود. مقادیر حداقل و حداکثر رقم منحنی هم‌دما در این محدوده مطالعاتی بین ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این محدوده منحنی‌های هم‌تبخیر از ۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰ میلی‌متر وجود دارند که به دلیل مرتفع بودن بخش شمالی محدوده نسبت به بخش مرکزی آن از شمال به جنوب و جنوب‌غربی بر مقدار تبخیر افزوده می‌شود. دبی رودخانه کردان، در محل ایستگاه ده‌صومعه به‌عنوان ایستگاه ورودی و در محل ایستگاه نجم‌آباد به‌عنوان ایستگاه خروجی اندازه‌گیری می‌شود.

از روش تورنت‌وایت، بیلان هیدروکلیماتولوژی را محاسبه می‌کنیم. این روش در اقلیم خشک و نیمه‌خشک نتیجه مطلوب می‌دهد. مطالعات فراوان حاکی از آن است



شکل ۲. موقعیت پیرومترها در سطح آبخوان

جداول ۱ و ۲ مصارف و نیازها از منابع زیرزمینی و سطحی را در سطح محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند. حداکثر برداشت از منابع زیرزمینی به‌خصوص چاه‌ها



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی هشتگرد

کیفیت آب از لحاظ شرب عموماً در شرایط خوب قرار دارد و از لحاظ کشاورزی در شرایط C2-S1 قرار دارد.

صورت می‌گیرد. مصارف کشاورزی بیش‌ترین تخلیه از منابع زیرزمینی و سطحی را دارا هستند. نشان می‌دهد.

جدول ۳ دبی ورودی و خروجی جریان‌های سطحی را در محل ایستگاه‌های فشند، ده‌صومعه و نهرکردان به‌عنوان

جدول ۱. مصارف آب زیرزمینی (MCM)، (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

محدوده	ناحیه	چاه			قنات			چشمه		
		صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی
ارتفاعات	۰/۶۶	۰/۲۳	۲/۴۶	۰	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۳۶	۲/۷۴	۲/۸۶	۴/۳
هشتگرد	۱۰/۲۴	۱۹/۰۲	۲۷۷/۴۵	۰/۰۶۵	۰	۲/۴۳	۰	۰	۰/۱	۳۰۹/۲۰۵
آبخوان	۹/۷۶	۱۷/۲۱	۲۷۳/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰۰/۲۸
جمع	۱۰/۹	۱۹/۲۵	۲۷۹/۹۱	۰/۰۶۵	۰/۵۷	۲/۸۱	۰/۳۶	۲/۷۴	۲/۹۶	۳۱۹/۵۶۵

جدول ۲. مصارف آب سطحی (MCM)، (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

محدوده	ناحیه	انهار			آببندان			ایستگاه پمپاژ			موتور پمپ	
		صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی	شرب	کشاورزی
ارتفاعات	۰	۰	۳۵/۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰/۰۳	
هشتگرد	۰	۰	۶/۶۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
آبخوان	۰	۰	۶/۶۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
جمع	۰	۰	۴۲/۳۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰/۰۳	

جدول ۳. آبدهی ایستگاه‌های ورودی و خروجی جریان سطحی (MCM)، (شرکت مدیریت منابع آب ایران)

رودخانه	ایستگاه	(مهر)	(آبان)	(آذر)	(دی)	(بهمن)	(اسفند)	(فروردین)	(اردیبهشت)	(خرداد)	(تیر)	(مرداد)	(شهریور)	سالانه
		October	November	December	January	February	March	April	May	June	July	August	September	
کردان	ده صومعه	۰/۳۱	۰/۵۴	۱/۰۱	۳/۰۲	۱/۲۹	۳/۰۲	۹/۸۷	۱۱/۱۰	۵/۲۹	۱/۷۷	۰/۱۹	۰/۳۶	۳۷/۷۷
نهر	کردان ده صومعه	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۶۰	۰/۴۹	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۷۱
کردان	نجم آباد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۶۵	۱/۴۴	۰	۰	۰	۰	۳/۱۸
فشند	فشند	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۷۱	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۲۵۳

نتایج و بحث

بارندگی از تبخیر و تعرق پتانسیل بیش‌تر باشد، مازاد بارندگی پس از کسر آب مورد نیاز رطوبت خاک به‌عنوان بارندگی مفید تعیین می‌گردد که از نظر روش کار با یافته‌های مهندسیین مشاور یکم در سال ۱۳۹۰ هم‌خوانی دارد.

در جدول ۴ پس از محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش تورنت‌وایت مقادیر بارندگی هر ماه با تبخیر و تعرق پتانسیل همان ماه مقایسه و اگر میزان بارندگی مساوی یا کمتر باشد، تمام بارش تبخیر و تعرق حقیقی محسوب می‌شود و اگر

جدول ۴. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی مفید ماهانه ارتفاعات و دشت از روش تورنت وایت در سال ۲۰۱۶-۲۰۱۷

سالانه	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	وسعت (Km ²)	پارامتر	محل
۱۵/۱	۲۴/۷	۲۸/۶	۲۸/۲	۲۲/۵	۱۷/۶	۱۲/۲	۹/۲	۱/۲	۲/۱	۳/۶	۱۳/۴	۱۸/۳	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)		
۲۰۸۰/۸	۲۶۶/۲	۳۵۰/۱	۳۳۵/۲	۲۹۵/۰	۱۴۷/۲	۱۲۵/۳	۹۶/۵	۵۷/۷	۶۵/۰	۶۴/۳	۱۰۲/۳	۱۷۶/۱	مقدار تبخیر از نشست (میلی‌متر)		
۸۸۰/۸	۱۲۴/۲	۱۸۰/۴	۱۸۹/۲	۱۲۷/۷	۸۴/۲	۴۰/۴	۲۳/۴	۰/۶	۱/۶	۳/۸	۳۵/۸	۶۹/۵	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)		
۲۵۵/۳	۰/۰	۰/۱	۰/۸	۰/۰	۵۳/۷	۴۶/۶	۲۸/۷	۶۰/۲	۴۵/۰	۷/۴	۱۳/۰	۰/۰	۵۹۱/۶	بارندگی (میلی‌متر)	دشت
۱۳۷/۳	۰/۰	۰/۱	۰/۸	۰/۰	۵۳/۷	۴۰/۴	۲۳/۴	۰/۶	۱/۶	۳/۸	۱۳/۰	۰/۰		تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)	
۲۱۶/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۹/۵	۵۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۴۳/۴	۳/۶	۰/۰	۰/۰		ذخیره رطوبت خاک (میلی‌متر)	
۱۱۸/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶/۲	۵/۳	۵۹/۶	۴۳/۴	۳/۶	۰/۰	۰/۰		بارندگی مفید (رواناب+ نفوذ)	
۱۲/۸	۲۳/۱	۲۴/۹	۲۴/۵	۲۰/۱	۱۵/۶	۹/۶	۷/۳	۰/۷	۱/۴	۱/۴	۱۰/۴	۱۵/۲		متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)	
۷۵۳/۶	۱۱۴/۸	۱۴۵/۲	۱۵۲/۷	۱۱۳/۸	۷۸/۴	۳۵/۱	۲۲/۱	۰/۶	۱/۶	۱/۶	۲۹/۵	۵۸/۲		تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	
۴۲۳/۴	۰/۰	۰/۳	۱۰/۶	۰/۰	۷۰/۰	۸۲/۲	۵۰/۳	۸۸/۵	۶۹/۴	۳۰/۳	۲۱/۷	۰/۰	۵۷۹	بارندگی (میلی‌متر)	ارتفاعات
۱۸۸/۶	۰/۰	۰/۳	۱۰/۶	۱۶/۶	۷۸/۴	۳۵/۱	۲۲/۱	۰/۶	۱/۶	۱/۶	۲۱/۷	۰/۰		تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر)	
۱۴۱/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۶/۶	۲۵/۰	۲۵/۰	۲۵/۰	۲۵/۰	۲۵/۰	۰/۰	۰/۰		ذخیره رطوبت خاک (میلی‌متر)	
۳۳۴/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴۷/۱	۲۸/۲	۸۷/۹	۶۷/۸	۳/۷	۰/۰	۰/۰		بارندگی مفید (رواناب+ نفوذ)	

دشت‌های مجاور وارد آبخوان می‌شوند و جریان‌های خروجی به سمت دریاچه، کویر و دشت پایین‌دست منتقل می‌شوند. جریان‌های ورودی و خروجی را بر اساس آمار شرکت مدیریت منابع آب ایران ثبت می‌کنیم. با مقایسه بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت و دبی ایستگاه‌های هیدرومتری نفوذ از بارندگی را محاسبه می‌کنیم. مقدار نفوذ از مصرف کشاورزی را طبق نشریه شماره ۳۸ FAO^۵ محاسبه می‌کنیم که بر اساس میزان تلفات (نفوذ) نسبت به راندمان آبیاری منطقه، روش آبیاری محدوده که بیش‌تر به‌طور کرتی می‌باشد، و بافت خاک، ۳۷ درصد آب مصرفی آبیاری می‌باشد. مقدار آب نفوذ یافته از مصارف شرب و صنعت، که دفع پس‌آب آن‌ها عمدتاً از طریق چاه‌های جذبی صورت می‌گیرد را بین ۶۰ تا ۷۵ درصد

در جدول ۵ معادله عمومی بیلان هیدروکلیماتولوژی جهت منابع سطحی به‌صورت $P=RET+(I+R)$ در نظر گرفته شد. که در آن P متوسط بارندگی سالانه، RET تبخیر و تعرق حقیقی، I نفوذ به زمین و R جریان سطحی است. هر چند در قسمت جنوبی دشت، سنگ کف دارای رسوبات میوسن است که رسوبات مذکور دارای گچ بوده و از نظر کیفی دارای تأثیر منفی بر آب زیرزمینی می‌باشند، ولی در کل وجود رودخانه‌های بزرگ و کوچک در این منطقه باعث شده است، سفره آب زیرزمینی موقعیت بسیار خوبی پیدا نماید.

در جدول ۶ بیلان آب زیرزمینی را بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌کنیم.

$$(Q_{in} + Q_{is}) - (Q_w + Q_{Eg} + Q_d + Q_{out}) = \Delta V \quad (1)$$

جریان زیرزمینی ورودی عمدتاً از سمت ارتفاعات و

جدول ۵. برآورد بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت و ارتفاعات در سال ۲۰۱۶-۲۰۱۷

حدود	مساحت (m ²)	نزولات جوی (MCM)	تبخیر و تعرق حقیقی (MCM)	بارش مفید (MCM)
ارتفاعات	۵۷۹	۲۴۵/۱۲	۱۰۹/۲	۳۳/۹۷
دشت	۵۹۱/۶	۱۵۱/۰۲۴	۱۱۰/۸	۲۸/۸۷

- 1 Precipitation
- 2 Real EvapoTranspiration
- 3 Infiltrate
- 4 Runoff

⁵ Food and Agriculture Organization of the United Nations

بین آن‌ها، نفوذ از جریان‌های سطحی محاسبه شد که به علت در نظر گرفتن جریان ورودی رودخانه فشند به عنوان ایستگاه ورودی، بیلان محاسبه شده با روش کار مشاور آبخوان در سال ۱۳۹۲ متفاوت است.

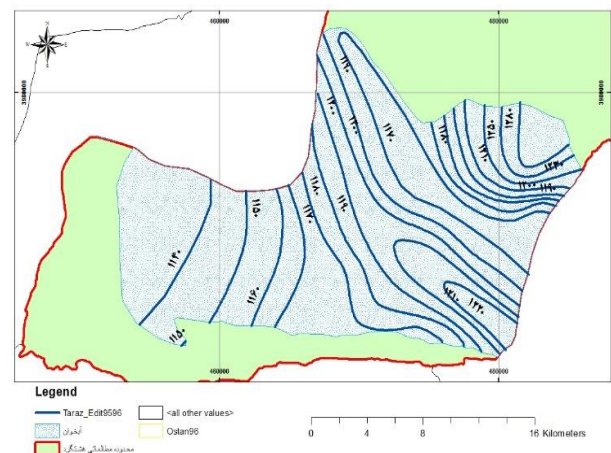
آب مصرفی محاسبه می‌کنیم. تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی با توجه به رابطه تبخیر از آب زیرزمینی با روش منحنی وایت در این آبخوان صفر محاسبه شد. با مقایسه حجم آب در ایستگاه‌های ورودی و خروجی و مصارف

جدول ۶. برآورد بیلان آب زیرزمینی آبخوان (MCM)

		تخلیه Qeva					تغذیه Qis				
نام	جریان	نفوذ از	نفوذ از	مجموع	تخلیه چاه، زهکشی	تبخیر از	جریان	مجموع	تغییر	تغذیه	تخلیه
آبخوان	زیرزمینی	بارندگی	از جریان‌های	مصرف	چشمه و	آبخوان	زیرزمینی	مصرف	حجم	تخلیه	تخلیه
ورودی	Qp	سطحی	کشاورزی	شرب و	قنات Qw	Qeg	خروجی	شرب و	ذخیره	تخلیه	تخلیه
	Qin	Qr	Qi	صنعت Qsw		Qout	Qout	Qout	ΔV		
	۱۰۲/۲۹	۴۸/۸۷	۱۰۶/۶۴	۱۸/۶۹	۳۰۵/۳۶	۰/۰۰	۲۳/۹۷	۰/۰۰	-۱۸/۹	۳۲۴/۲۷	۳۲۴/۲۷

در شکل ۴ منحنی‌های هم‌عمق آبخوان در مدل GIS ترسیم و مشخص شد رقوم منحنی‌های هم‌عمق آب زیرزمینی بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر متغیر می‌باشد. در اراضی مخروط افکنه‌ای رودخانه کردان عمق سطح آب زیرزمینی بیش از ۱۰۰ متر می‌باشد. عمق چاه‌ها به سمت جنوب در اراضی سعیدآباد به ۵۰ متر کاهش می‌یابد. در اراضی نمک‌آلان و قاسم‌آباد آقا به واسطه بالا بودن سنگ کف سفره سطحی منطقه، عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی کم‌تر از ۱۰ متر می‌باشد. حفاری‌های اکتشافی و مطالعات ژئوالکترونیک که توسط شرکت آب منطقه‌ای البرز انجام شده است، ضخامت آبخوان را بین ۱۱۱ تا ۳۱۱ متر نشان می‌دهد. حداقل ضخامت در نزدیکی ارتفاعات شمالی و جنوبی محدوده است و به سمت مرکز افزایش می‌یابد. در مسیر رودخانه کردان به دلیل رسوب‌گذاری‌های انجام شده، این ضخامت بیش‌تر است. همچنین فروافتادگی سنگ کف در مرکز دشت باعث شده است که ضخامت آبرفت به بیش از ۳۱۱ متر در شمال روستاهای محمدآباد و لشکرآباد برسد. به سمت شرق و در حدفاصل دشت کرج و هشترگرد سنگ کف بالا آمده و به حدود ۱۱۱ متر می‌رسد. در نزدیکی شوره‌زار ضخامت آبخوان کم شده و

در شکل ۳ منحنی‌های هم‌تراز آبخوان در مدل GIS ترسیم و مشخص شد بیشینه تراز آب زیرزمینی با رقم ۱۲۹۰ متر مربوط به اراضی کردان در شمال شرقی و کمینه آن در اراضی نجم‌آباد واقع در پایاب دشت ۱۱۳۵ متر می‌باشد. لذا جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت از شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد.



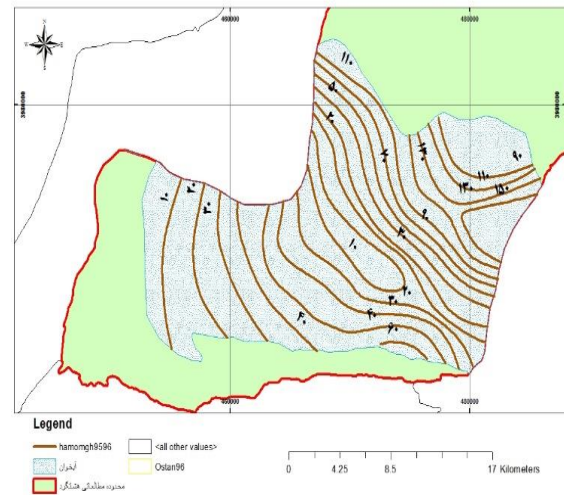
شکل ۳. نقشه نقاط هم‌تراز آبخوان هشترگرد

۱۳۷۵ لغایت ۱۳۸۰ آبنمود به شدت سیر نزولی داشته و سطح آب زیرزمینی افت نموده است. از سال ۱۳۸۰ لغایت ۱۳۸۶ آبنمود به صورت متعادل بوده و مجدداً از سال ۸۶ شروع به افت می کند. نتایج حاصله با گزارش بیان مهندسی مشاور آبخوان در سال ۱۳۹۲ هم خوانی مطلوبی دارد.

مطابق جدول ۶ بیان زیرزمینی تهیه شده در سطح دشت هشتگرد مجموع عوامل خروجی از ناحیه بیان آب زیرزمینی دشت هشتگرد، برابر با ۳۲۴/۲۷ (MCM) میلیون مترمکعب در سال است و مجموع عوامل ورودی به آن برابر با ۳۰۵/۳۶ میلیون مترمکعب است. بنابراین عوامل خروجی از بیان آب زیرزمینی ۱۸/۹ میلیون مترمکعب بیش تر از عوامل ورودی به ناحیه بیان آب زیرزمینی است.

در شکل ۵ آبنمود (هیدروگراف) معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی است که از متوسط مجموع تغییرات سطح آب طولانی مدت چاه های مشاهده ای طی ۲۵ سال رسم شده است. شکل نوسانات سالانه آبنمود نیز برای ماه های مرطوب (دارای بارش) حالت افزایشی را نشان می دهد. در طولانی مدت، صرف نظر از سال های خشک و مرطوب چنانچه هیدروگراف معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان در یک ماه معین برای اولین و آخرین سال آماری یکسان باشد و یا تغییرات جزئی داشته باشد، آبنمود حالت متعادل بودن سطح آب زیرزمینی را نشان می دهد و اگر در طول زمان کاهش تدریجی داشته باشد، آبنمود حالت افت سطح آب در آبخوان را مشخص می نماید (دستورالعمل تهیه بیان، شرکت مدیریت منابع آب).

به حدود ۱۱۱ متر و کمتر می رسد که با توجه به وضعیت توپوگرافی و کم شدن شیب و بالا آمدن سطح آب طبیعی به نظر می رسد.

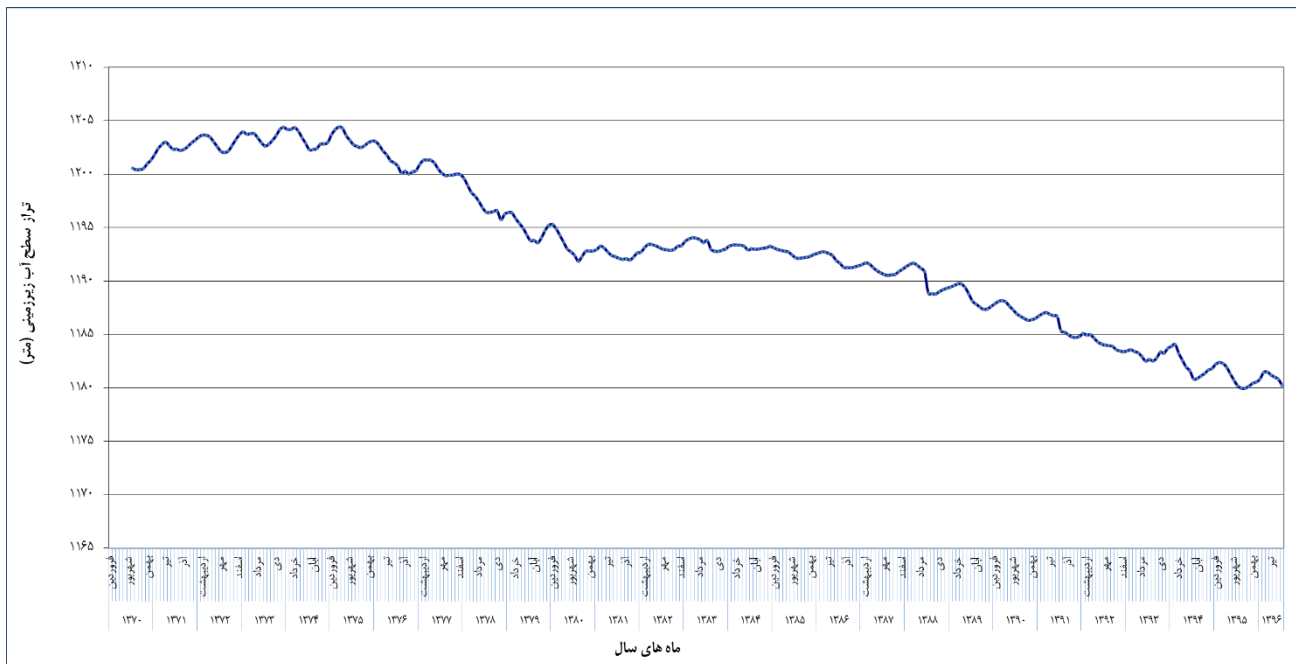


شکل ۴. نقشه نقاط هم عمق پیزومترها در

از طریق رفتارسنجی ۲۱ پیزومتر در محدوده آبخوان هشتگرد که به وسیله مدل سازی شبکه تیسن متشکل از آن ها در GIS حاصل شده است، ارقام آبنمود آبخوان آبرفتی مربوط به سال های ۷۱-۱۳۷۰ لغایت ۹۶-۱۳۹۵ را محاسبه و مشخص شد، طی دوره مذکور سطح آب زیرزمینی در این دشت ۲۰/۳۲ متر افت نموده که متوسط سالانه آن برابر با ۷۸ سانتی متر می باشد.

بیشینه افت سطح آب زیرزمینی با رقم ۳/۶۴ متر مربوط به سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ بوده و در سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تراز متوسط آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی موجود در این دشت ۱۷۷ سانتی متر بالا آمده است. طی دوره آماری موجود بیشینه تراز آب زیرزمینی با رقم ۱۲۰۴/۴۲ متر مربوط به خرداد ماه سال آبی ۷۵-۱۳۷۴ بوده و کمینه آن در آبان ماه سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ برابر ۱۱۷۹/۹۶ متر می باشد.

بر اساس آبنمود ارائه شده طی سال های ۱۳۷۰ لغایت ۱۳۷۵ آبنمود دارای سیر صعودی بوده و در سال های

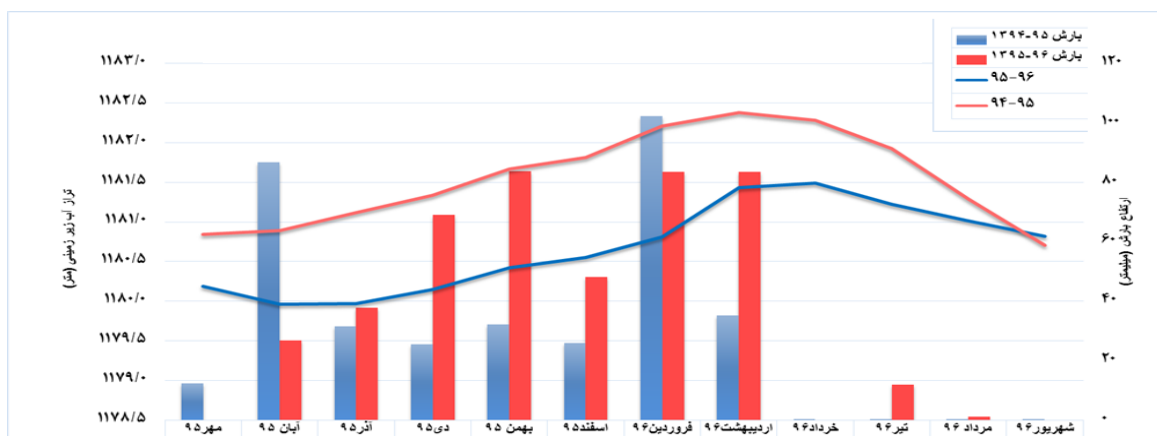


شکل ۵. هیدروگراف آبخوان آبرفتی هشنگرد از سال ۷۰-۷۱ الی ۹۵-۹۶

نوسانات سالانه آبنمود نیز برای ماه‌های مرطوب (دارای بارش) حالت صعودی را نشان می‌دهد.

حال با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی آبخوان را با در نظر گرفتن مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی به‌عنوان نیازها (Demands) و آب‌های سطحی، زیرزمینی و غیرمتعارف (به‌عنوان یک پتانسیل جدید با سیر صعودی) را به‌عنوان منابع، تعریف می‌کنیم.

در شکل ۶ با نمایش هم‌زمان نمودارهای بارش و هیدروگراف واحد آبخوان در سطح محدوده مورد بررسی در سال آبی ۹۵-۹۶، مشخص شد آبنمود معرف تغییرات سطح آب در سال‌های پر باران که تغذیه آبخوان بیشتر است، حالت صعودی را نشان می‌دهد و در سال‌های خشک که از تغذیه آبخوان توسط بارندگی کاسته می‌شود، به‌علت بهره‌برداری بیش‌تر از آب زیرزمینی به‌عنوان جایگزین کمبود آب مصرفی سطحی، آبنمود حالت نزولی یا افت را مشخص می‌نماید. شکل



شکل ۶. تغییرات تراز آب زیرزمینی و ارتفاع بارش در دو سال آبی ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ در محدوده مطالعاتی هشنگرد

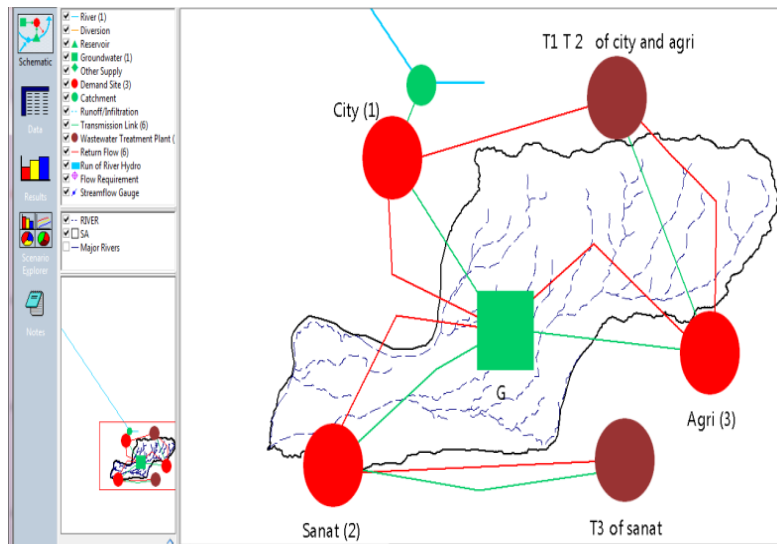
آمار مرکز آمار ایران، به میزان ۳/۴ افزایش جمعیت در دوره مورد نظر، به‌عنوان سناریو اول مورد بررسی قرار می‌گیرد. افزایش جمعیت باعث افزایش مصرف شرب و افزایش پساب حاصله می‌شود. در دوره پنج‌ساله، جمعیت محدوده مورد مطالعه شامل شهرستان‌ها و روستاهای شهرستان‌های استان شامل ساوجبلاغ و نظرآباد از ۱۱۲۸۰۰ نفر در سال ۹۶ (۲۰۱۶)، به ۱۴۲۴۰۰ نفر در سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) می‌رسد. طی این افزایش جمعیت نیازهای آبی نیز از ۲۲/۵۶ میلیون مترمکعب به ۲۸/۴۸ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد.

در شکل ۷ مدل‌سازی آبخوان و اعمال سناریوهای بهینه‌سازی را با در نظر گرفتن چشم‌انداز پنج‌ساله جهت تغذیه آبخوان انجام می‌دهیم. سال پایه سال آبی ۲۰۱۶-۲۰۱۷ و هدف کاهش افت آبخوان در سال آبی ۲۰۲۱-۲۰۲۲ می‌باشد. میزان تأمین آب شرب از سد طالقان به‌میزان ۹/۷۹ میلیون مترمکعب در سال، و از آب‌های زیرزمینی ۲۲/۶۵ میلیون مترمکعب است.

جدول ۷ میزان مصارف شرب در سال‌های مختلف تا سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) را نشان می‌دهد. با اعمال سناریو افزایش جمعیت، قدرت آبخوان کاهش و افت آبخوان بیش‌تر می‌شود. با در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت مطابق

جدول ۷. میزان نیاز آبی در سال‌های مدل، بر طبق سناریو افزایش جمعیت

سال	سال ۹۵ (۲۰۱۶)	سال ۹۶ (۲۰۱۷)	سال ۹۷ (۲۰۱۸)	سال ۹۸ (۲۰۱۹)	سال ۹۹ (۲۰۲۰)	سال ۱۴۰۰ (۲۰۲۱)	سال ۱۴۰۱ (۲۰۲۲)
جمعیت (نفر)	۱۱۲۸۰۰	۱۱۷۷۳۳	۱۲۲۶۷	۱۲۷۶۰۰	۱۳۲۵۳۳	۱۳۷۴۶۷	۱۴۲۴۰۰
نیاز آبی (MCM)	۲۲/۵۶	۲۳/۵۵	۲۴/۵۳	۲۵/۵۲	۲۶/۵۱	۲۷/۴۹	۲۸/۴۸

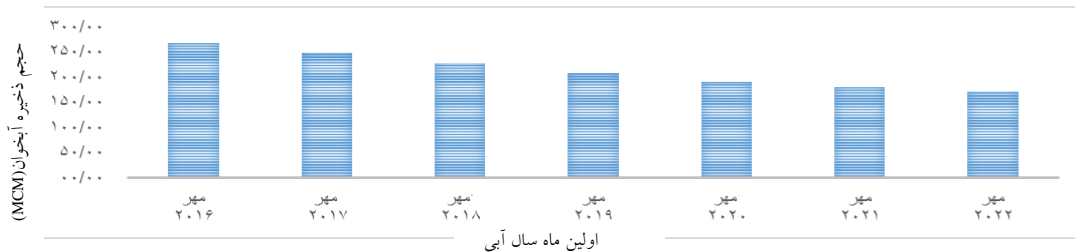


شکل ۷. مدل‌سازی آبخوان در مدل WEAP

جدول ۸ میزان تامین نیاز آب شرب به تفکیک ماه‌های سال آبی ۲۰۱۶-۲۰۱۷ (۱۳۹۵-۱۳۹۶) تا ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۴۰۱) از طریق آبخوان و سد طالقان را در مدل نشان می‌دهد. مطابق شکل ۸ با اعمال مصارف ماهانه شرب در مدل پتانسیل برداشت از آبخوان در سناریو افزایش جمعیت کاهش یافته است.

جدول ۸. میزان نیاز آبی در ماه‌های سال‌های مدل، برطبق سناریو افزایش جمعیت

کل	تابستان			بهار			زمستان			پاییز			مصارف شرب
	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	
۲۲/۵۰	۱/۹۷	۲/۱۲	۲/۱۱	۲/۱۱	۱/۸۴	۱/۶۵	۱/۷۹	۱/۶۷	۱/۶۸	۱/۷۰	۱/۸۲	۲/۰۵	کل مصرف از آبخوان در سال (MCM) ۲۰۱۶
۹/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۸۲	کل مصرف از سد در سال (MCM) ۲۰۱۶
۳۲/۲۹	۲/۷۹	۲/۹۴	۲/۹۳	۲/۹۲	۲/۶۶	۲/۴۷	۲/۶۰	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۲	۲/۶۴	۲/۸۶	کل مصرف شرب در سال (MCM) ۲۰۱۶
۲۸/۳۵	۲/۴۸	۲/۶۷	۲/۶۶	۲/۶۵	۲/۳۲	۲/۰۸	۲/۲۵	۲/۱۰	۲/۱۲	۲/۱۴	۲/۲۹	۲/۵۸	کل مصرف از آبخوان در سال (MCM) ۲۰۲۲

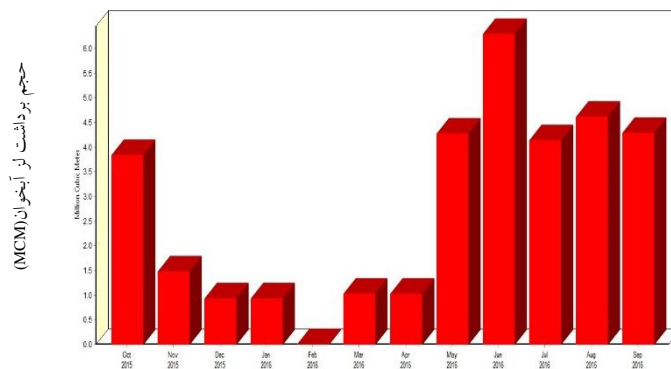


شکل ۸. افت پتانسیل برداشت از آبخوان در سناریو افزایش جمعیت در مدل

در جدول ۹ تخلیه ماهانه از آبخوان جهت مصارف کشاورزی در مدل اعمال شده است. مصارف کشاورزی با رقم ۳۳۰/۹۷ میلیون مترمکعب در سال بیش‌ترین میزان تخلیه از آبخوان را در منطقه هشنگرد به خود اختصاص می‌دهند (شرکت مدیریت منابع آب ایران).

جدول ۹. میزان مصارف کشاورزی در ماه‌های سال آبی ۲۰۱۶-۲۰۱۷ (۱۳۹۵-۱۳۹۶)

کل	تابستان			بهار			زمستان			پاییز			کشاورزی
	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	
۳۳۰/۹۷	۴۳/۱۸	۴۶/۴۷	۴۱/۷۹	۶۳/۵۲	۴۳/۰۶	۱۰/۳۸	۱۰/۳۸	۰	۹/۳۳	۹/۳۶	۱۴/۸۶	۳۸/۶۴	کل مصرف از آبخوان در سال ۲۰۱۶ (MCM)
۱۲۴/۶۰	۱۶/۱۲	۱۷/۳۵	۱۵/۶۰	۲۳/۷۲	۱۶/۰۸	۳/۸۸	۴/۰۰	۰/۰۰	۳/۶۰	۳/۶۱	۵/۷۳	۱۴/۹۱	کل مصرف از آبخوان در سال ۲۰۱۶ (m3/s)
۱۰۰	۱۳/۰۴۶	۱۴/۰۴۱	۱۲/۶۲۷	۱۹/۱۹۲	۱۳/۰۱۰	۳/۱۳۶	۳/۱۳۶	۰	۲/۸۱۹	۲/۸۲۸	۴/۴۹۰	۱۱/۶۷۵	در صد مصرف در ماه
۲۰۸/۵۱	۲۷/۲۰	۲۹/۲۸	۲۶/۳۳	۴۰/۰۲	۲۷/۱۳	۶/۵۴	۶/۵۴	۰/۰۰	۵/۸۸	۵/۹۰	۹/۳۶	۲۴/۳۴	consumption
۱۰۰/۰۰	۱۳/۰۵	۱۴/۰۴	۱۲/۶۳	۱۹/۱۹	۱۳/۰۱	۳/۱۴	۳/۱۴	۰/۰۰	۲/۸۲	۲/۸۳	۴/۴۹	۱۱/۶۷	consumption%



شکل ۹. نسبت تأمین مصرف کشاورزی از آبخوان در ماه‌های سال ۲۰۱۶

جدول ۱۰ فاصلاب ناشی از مصارف شرب در ماه‌های سال ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. با توجه به این که دفع فاضلاب شرب از طریق چاه‌های جذبی است، با احداث تصفیه‌خانه T1 جهت مناسب‌سازی و تصفیه پساب‌های شرب و کشاورزی و توجه به تصفیه پساب حاصله طبق استانداردهای مربوطه، جهت مصارف کشاورزی به‌عنوان سناریو شماره دو در مدل، می‌تواند تا حد زیادی مصارف کشاورزی را تأمین و حجم تخلیه از آبخوان برای کشاورزی را کاهش دهد. Si میزان آب هدر رفته در انتقال پساب شرب به تصفیه‌خانه شماره یک (T1) در مدل

می‌باشد.

در جدول ۱۱ میزان بهره‌مندی نیازهای کشاورزی از تصفیه‌خانه T1 به تفکیک سال مدل شده‌است. Consumption عبارت است از مقدار آبی که از دسترس خارج است و به‌عنوان پساب باعث تغذیه آبخوان و تصفیه‌خانه نمی‌شود. Si میزان آب هدر رفته در انتقال پساب کشاورزی به تصفیه‌خانه شماره یک (T1) در مدل می‌باشد. میزان مصارف کشاورزی در فرآیند مدل‌سازی در چشم‌انداز ۵ ساله ثابت فرض شد.

جدول ۱۰. میزان پساب تولیدی از مصارف شرب در منطقه و قابلیت انتقال به تصفیه‌خانه T1

کل	تابستان			بهار			زمستان			پاییز			فاضلاب
	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	
۲۴/۲۳	۲/۱۰	۲/۲۷	۲/۲۷	۲/۲۵	۱/۹۷	۱/۷۸	۱/۹۱	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۴	۱/۹۶	۲/۲۰	کل پساب شرب (MCM)
۱/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	Si(0.05*vi^0.08)
۹۵/۶۵	۹۵/۶۹	۹۵/۷۶	۹۵/۷۶	۹۵/۷۵	۹۵/۶۳	۹۵/۵۴	۹۵/۶۱	۹۵/۵۵	۹۵/۵۵	۹۵/۵۷	۹۵/۶۳	۹۵/۷۳	درصد آب برگشتی به تصفیه‌خانه T1 با اعمال Si

جدول ۱۱. میزان مصارف و پساب تولیدی از مصارف کشاورزی در منطقه و قابلیت انتقال به تصفیه‌خانه T1

کل	تابستان			بهار			زمستان			پاییز			مصارف کشاورزی
	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	
۳۳۰/۹۷	۴۳/۱۸	۴۶/۴۷	۴۱/۷۹	۶۳/۵۲	۴۳/۰۶	۱۰/۳۸	۱۰/۳۸	۰	۹/۳۳	۹/۳۶	۱۴/۸۶	۳۸/۶۴	کل پساب (MCM)
۱۰۰/۰۰	۱۳/۰۵	۱۴/۰۴	۱۲/۶۳	۱۹/۱۹	۱۳/۰۱	۳/۱۴	۳/۱۴	۰/۰۰	۲/۸۲	۲/۸۳	۴/۴۹	۱۱/۶۷	consumption%
۱۰۵/۹۱	۱۳/۸۲	۱۴/۸۷	۱۳/۳۷	۲۰/۳۳	۱۳/۷۸	۳/۳۲	۳/۳۲	۰/۰۰	۲/۹۹	۳/۰۰	۴/۷۶	۱۲/۳۶	آب برگشتی از کشاورزی به تصفیه‌خانه T1
۳/۲۵	۰/۴۰۸۶	۰/۴۳۳۳	۰/۳۹۸۱	۰/۵۵۶۴	۰/۴۰۷۷	۰/۱۳۰۶	۰/۱۳۰۶	۰/۰۰۰۰	۰/۱۱۹۹	۰/۱۲۰۳	۰/۱۷۴۱	۰/۳۷۳۹	Si(0.05*vi^0.08)
۳/۰۹	۲/۹۵۷	۲/۹۱۴	۲/۹۷۷	۲/۷۳۸	۲/۹۵۹	۳/۹۳۳	۳/۹۳۳	۰/۰۰۰	۴/۰۱۸	۴/۰۱۵	۳/۶۶۰	۳/۰۲۴	(Si/vi)*100
۴/۹۸	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۹۵	۰/۶۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۶۰	درصد تغذیه آبخوان %
۱۰۲/۶۶	۱۳/۴۱	۱۴/۴۴	۱۲/۹۷	۱۹/۷۷	۱۳/۳۷	۳/۱۹	۳/۱۹	۰/۰۰	۲/۸۷	۲/۸۷	۴/۵۸	۱۱/۹۹	آب ورودی به تصفیه‌خانه T1
۲۲۸/۳۱	۲۹/۷۷	۳۲/۰۳	۲۸/۸۲	۴۳/۷۵	۲۹/۶۹	۷/۱۹	۷/۱۹	۰/۰۰	۶/۴۶	۶/۴۹	۱۰/۲۸	۲۶/۶۵	مصارف کشاورزی از آبخوان طبق سناریو دوم (MCM)
۸۵/۹۵	۱۱/۱۲	۱۱/۹۶	۱۰/۷۶	۱۶/۳۳	۱۱/۰۸	۲/۶۸	۲/۷۷	۰/۰۰	۲/۴۹	۲/۵۰	۳/۹۷	۱۰/۲۸	مصارف کشاورزی از آبخوان طبق سناریو دوم (m3/s)
۳۶/۸۶	۴/۱۵	۴/۴۷	۴/۸۴	۷/۳۸	۴/۹۹	۱/۱۹	۱/۲۳	۰/۰۰	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۷۷	۴/۶۳	مصارف کشاورزی از T1 طبق سناریو دوم (m3/s)

استانداردهای لازم به‌عنوان سناریو شماره سه با نماد T3 می‌تواند نیاز صنایع به منابع آبی را تأمین نماید. در مدل افزایش فعالیت‌های صنعتی در چشم‌انداز برطبق سند توسعه ۴ درصد در نظر گرفته شد.

در جدول ۱۲ میزان پساب‌های صنعتی بر طبق گزارش مرکز آمار ایران در سال ۹۶ به تفکیک ماه‌های سال تنظیم شد. با توجه به این که دفع فاضلاب صنعتی از طریق چاه‌های جذبی است، با احداث تصفیه‌خانه جهت مناسب‌سازی و تصفیه پساب‌های صنایع، طبق

جدول ۱۲. میزان مصارف و پساب تولیدی از مصارف کشاورزی در منطقه و قابلیت انتقال به تصفیه‌خانه T3

کل	تابستان			بهار			زمستان			پاییز			صنعت
	September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	
۱۱/۳۷	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۸	۰/۹۴۸	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	۰/۹۴۷۵	کل پساب در سال ۲۰۱۶ (MCM)
۸/۵۲۸	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	آب برگشتی از صنعت به آبخوان
۱۷/۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	۱/۴۹	کل پساب در سال ۲۰۲۲ (MCM)
۶/۵۳	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۴	مصرف از آبخوان طبق سناریو ۳
۴/۳۱۵۸	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۰/۳۶۶	۰/۳۶۶	۰/۳۶۶	۰/۳۶۶	۰/۳۶۶	۰/۳۶۶	مصرف از T3 طبق سناریو ۳ (m ^۳ /S)

میزان تغذیه آبخوان از طریق زهکشی پساب‌های شرب و صنعتی، به‌علت ورود آب برگشتی به تصفیه‌خانه T1 و T3، نیز به صفر رسیده است. با توجه به این که تمام پساب‌های کشاورزی وارد تصفیه‌خانه T1 نمی‌شود، مقدار تغذیه آبخوان از محل پساب‌های کشاورزی ۹۳/۶۰ می‌باشد.

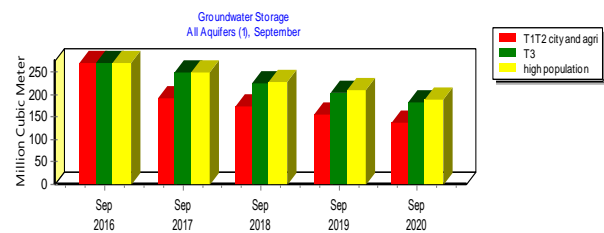
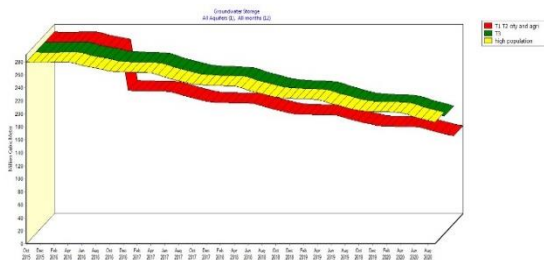
جدول ۱۳ خروجی نهایی مدل WEAP در خصوص تخلیه و تغذیه از آبخوان را با اعمال سناریوهای مربوطه نشان می‌دهد. میزان مازاد نیازهای کشاورزی از محل تصفیه‌خانه T1 و نیازهای صنعتی از محل تصفیه‌خانه T3 تأمین می‌شود.

جدول ۱۳. تخلیه و تغذیه آبخوان از مصارف با اعمال سناریوها

مصرف	مصارف از آبخوان در سال	مصارف از آبخوان در سال	میزان تغذیه آبخوان از طریق مصارف
	۲۰۱۶ (۱۳۹۵)	۲۰۲۲ (۱۴۰۱)	
شرب	۲۲/۶۵	۲۸/۳۵	۰
صنعت	۱۱/۳۲	۱۷/۹	۰
کشاورزی	۲۸۵/۶۸	۲۲۸/۳۱	۹۳/۶
جمع	۳۱۹/۵۶	۲۷۴/۵۶	۹۳/۶

شکل ۱۱ شبیه‌سازی سناریوها در مدل و تأثیر آن‌ها در آبخوان را نشان می‌دهد، سناریو T1 بیش‌ترین تأثیر را در افزایش قدرت آبخوان دارد.

شکل ۱۰ شبیه‌سازی سناریورها در مدل و کاهش مصرف از آبخوان تا چشم‌انداز ۵ ساله را نشان می‌دهد.

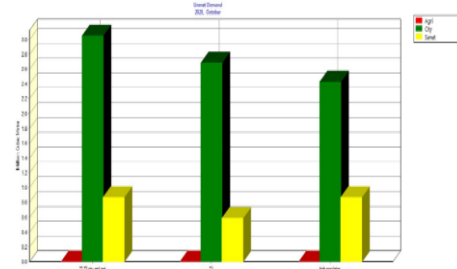


شکل ۱۰. شبیه‌سازی سناریوها در مدل و کاهش مصرف از آبخوان تا چشم‌انداز ۵ ساله

شکل ۱۱. شبیه‌سازی قدرت سناریوها در کاهش افت آبخوان در تابع هدف

جدول ۱۴ بیان نهایی آبخوان با اعمال سناریوها محاسبه و مشخص گردید در سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) در صورت احداث تصفیه‌خانه با مصرف کشاورزی با ورودی پساب‌های شرب و کشاورزی محدوده، (T1) و نیز احداث تصفیه‌خانه جهت مصارف صنعتی (T3)، که در چشم‌انداز ۵ ساله طرح می‌بایست با ضریب ۴ درصدی افزایشی همراه باشد، با ورودی پساب‌های صنعتی و نیز در نظر گرفتن نرخ رشد ۳/۴ درصدی جمعیت محدوده برطبق گزارش‌های مرکز آمار، می‌بایست با ضریب ۴ درصدی افزایشی همراه باشد، با ورودی پساب‌های صنعتی و نیز در نظر گرفتن نرخ رشد ۳/۴ درصدی جمعیت محدوده برطبق گزارش‌های مرکز آمار ایران، افت تراز سطحی آبخوان هشتگرد نه تنها به صفر می‌رسد، بلکه تراز سطحی آبخوان به میزان ۲/۱ (MCM) تغذیه می‌شود.

شکل ۱۲ نشان می‌دهد، طی آنالیز حساسیت که در خصوص متغیرها و نیازها انجام شد، تصفیه‌خانه T1 جهت تأمین مصارف کشاورزی بیش‌ترین تأثیر را در افت آبخوان دارد و نیاز کشاورزی حساس‌ترین متغیر ورودی به مدل است.



شکل ۱۲. حساسیت بالای سناریو تصفیه‌خانه T1 جهت تأمین مصارف کشاورزی در تابع هدف، تخلیه کمتر آبخوان در سال

جدول ۱۴. بیان نهایی محاسبه شده با اعمال سناریوها در مدل WEAP

تخلیه Qeva				تغذیه Qis			
تغییر حجم	مجموع	جریان	تخلیه از	مجموع	نفوذ از	نفوذ از	نفوذ از
ذخیره ΔV	تخلیه	زیرزمینی	آبخوان	تغذیه	مصرف	مصرف	مصرف
		خروجی	Qd	چشمه و قنات	شرب و	کشاورزی	از جریانهای
		Qout	Qeg	Qw	صنعت	Qi	سطحی
						Qr	Qp
						Qsw	Qin
۲/۱	۲۷۱/۵۳	۲۳/۹۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۴۷/۵۶	۲۷۳/۶۳	۰
							۹۳/۶
							۴۸/۸۷
							۲۸/۸۷
							۱۰۲/۲۹
							هشتگرد

برداشت بیش از حد ظرفیت و تغییرات اقلیمی سال‌های گذشته، سفره آب زیرزمینی منطقه را به شدت تحت تأثیر قرار داده است و از حجم ذخایر آن کاسته است. به طوری که علی‌رغم ممنوعه بودن محدوده فوق‌الذکر با توجه به

نتیجه‌گیری
آبخوان آبرفتی دشت هشتگرد از آبخوان‌های آبرفتی نسبتاً مناسب محسوب می‌گردد ولی کوتاه بودن دوره تغذیه از سطح دشت، کاهش میزان تغذیه از بارندگی و

می‌شود. حجم ذخایر، از نظر کیفیت نیز منابع آب زیرزمینی را در آینده تهدید خواهد کرد. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی دشت هشتگرد در شرب منطقه، امکان کم‌جایگزینی آن با سایر منابع در راستای حفظ منابع آب زیرزمینی منطقه و متعادل نمودن رفتار سفره آب زیرزمینی، ضروری است از منابع آب غیرمتعارف به‌عنوان یک پتانسیل آبی نوین جهت تأمین نیازهای صنعتی و کشاورزی استفاده کنیم. این مهم تنها با ساخت تصفیه‌خانه‌های مجزا جهت تأمین آب کشاورزی و صنعت امکان‌پذیر است تا با سالم‌سازی پساب‌ها برطبق استانداردهای مربوطه از پساب کشاورزی و شرب جهت کشاورزی و از پساب صنعت جهت نیازهای صنعتی استفاده کنیم. علاوه‌بر این موارد لازم است ممنوعیت و کاهش توسعه بهره‌برداری از دشت ادامه یافته و با اعمال سیستم‌های نظارتی از برداشت غیرمجاز ممانعت به‌عمل آید.

هیدروگراف واحد دشت با کاهش متوسط سالانه حجم ذخیره‌ای در حدود ۲۰/۳۲ میلیون مترمکعب مواجه هستیم. بیلان نهایی آبخوان با اعمال سناریوها محاسبه و مشخص گردید در سال ۲۰۲۲ (۱۴۰۱) در صورت احداث تصفیه‌خانه با مصرف کشاورزی با ورودی پساب‌های شرب و کشاورزی محدوده، (T1) و نیز احداث تصفیه‌خانه جهت مصارف صنعتی (T3)، که در چشم‌انداز ۵ ساله طرح می‌بایست با ضریب ۴ درصدی افزایشی همراه باشد، با ورودی پساب‌های صنعتی و نیز در نظر گرفتن نرخ رشد ۳/۴ درصدی جمعیت محدوده برطبق گزارش‌های مرکز آمار، می‌بایست با ضریب ۴ درصدی افزایشی همراه باشد، با ورودی پساب‌های صنعتی و نیز در نظر گرفتن نرخ رشد ۳/۴ درصدی جمعیت محدوده برطبق گزارش‌های مرکز آمار ایران، افت تراز سطحی آبخوان هشتگرد نه تنها به صفر می‌رسد، بلکه تراز سطحی آبخوان به میزان ۲/۱ (MCM) تغذیه می‌شود.

افت تراز سطحی آبخوان هشتگرد نه تنها به صفر می‌رسد، بلکه تراز سطحی آبخوان به میزان ۲/۱ (MCM) تغذیه

منابع مورد استفاده

بابازاده، ح. ۱۳۸۶. بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در طرح توسعه شبکه آبیاری و زهکشی. جهت دریافت دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ۲۲۷.

بابازاده، ح. و بهشتی، م. ۱۳۸۷. مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های منابع آب. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ۲۸۵.

بی‌نام. ۱۳۹۲. گزارش بیلان دریاچه نمک. مهندسین مشاور آبخوان. شرکت مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، ۴۵۲.

بی‌نام. ۱۳۹۰. گزارش مطالعات بهبود و توسعه شبکه آبیاری و زهکشی دشت هشتگرد. مهندسین مشاور یکم. شرکت آب منطقه‌ای استان البرز، وزارت نیرو، ۳۵۲.

حسینی‌موغاری، س.م. و بنی‌حبیب، م.ا. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن برای تأمین آب کشاورزی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب. نشریه حفاظت آب‌و‌خاک، ۳ (۴): ۱۷-۳۱.

دهقانیان، پ.، منصوری سراب بادیه، ط. و صارمی، ع. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی فرهنگ مصرف آب‌های غیرمتعارف در کشاورزی، دومین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری، اردبیل، موسسه حامیان زیست‌اندیش محیط آرمانی، ۱۷-۳۱.

- زیبایی، م. ح. و اردوخانی، ک. ۱۳۹۲. ارزیابی سناریوهای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس. نشریه تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۵ (۱): ۱۵۷-۱۸۱.
- سرائی تبریزی، م.، نبی جلالی، م. و محمدیان خراسانی، ش. ۱۳۹۷. ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم از دیدگاه مدیریت آب سبز. نشریه حفاظت آب و خاک، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۵-۱۳۳.
- صارمی، ع.، خواجه پور، م. و کمال بدست، ا. ع. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی سیلاب رودخانه مارون. دومین کنفرانس سراسری آب. بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.
- عابدی کوپایی، ج. ۱۳۸۲. روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع آب. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، مجموعه مقالات روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع آب، ۲۱۸-۲۱۷.
- عابدی کوپایی، ج. ۱۳۸۲. وضعیت منابع آب در ایران، استان اصفهان و مقایسه آن با شاخص‌های جهانی بحران آب. مجموعه خلاصه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان، ۱۱۷.
- مهجوری، ن. ۱۳۸۳. مدل تعادل بخشی کمی-کیفی آب‌های زیرزمینی دشت کاشان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ولیزادگان، ا. و یزدان‌پناه، س. ۱۳۹۷. مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۰ (۴): ۶۴۰-۶۳۱.
- Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M. 2013. Combined Optimization Of Soybean Water Productivity And Crop Yield By Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA). *Journal of Irrigation and Drainage*, 62(4), 425-434.
- Buras, N. 1963. Conjunctive operation of dams and aquifers. *Journal of Hydraulic Division (ASCE)*, 89(6), 111-131.
- Karamouz, M., Mohammad Rezapour Tabari, M., and Kerachian, R. 2007. Application of genetic algorithms and artificial neural networks in conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of Water International*, 32(1), 163-176.
- Karamouz, M., Mohammad Rezapour Tabari, M., Kerachian, R., and Zahraie, B. 2005. Conjunctive use of surface and groundwater resources with emphasis on water quality. *World Water and Environmental Resources Congress 2005*, Raymond Walton, Anchorage, Alaska, USA. May 15-19.
- Nishikawa, T. 1998. Water resources optimization model for Santa Barbara, California. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 124(5), 252-263.
- Peranginangin, N., Sakthivadivel, R., Scott, N. R., Kendy, E., and Steenhuis, T. S. 2004. Water accountings for conjunctive groundwater/surface water management: case of the Singkarak-Ombilin river basin, Indonesia. *Journal of Hydrology*, 292(1-4), 1-22.
- Safavi, H. R., Darzi, F., and Marino, M. A. 2010. Simulation- optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater. *Water Resources Management*, 24(10), 1965-1988.



Management and Optimization of Combined Utilization of Water Resources to Reduce the Hashtgerd Aquifer

Mahsa Jamdar¹, Mahdi Sarai Tabrizi^{2*} and Ali Saremi³

1) M.Sc. Student of Water Resources, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2*) Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: m.sarai@srbiau.ac.ir

3) Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 23-12-2018

Accepted: 11-03-2019

Abstract

Reduction of the surface level of aquifers due to high exploitation, in addition to irreparable damage to water and soil resources, causing a crisis in strategic water resources in the future. Preservation of existing ground water resources, considering that the country is in a semi-arid region, in addition to supplying demands in the perspectives, increases the hydrogeological potential of the soil. The goal of this research is to manage and optimize the combined utilization of surface, sub-surface, and unconventional water resources in order to reduce the surface loss of Hashtgerd aquifer, based on integrated water resources management (IWRM) to supply existing demands, with the least harmful effects on the quality of ground water resources and soil potential within the scope of the plan. In this regard, first the hydroclimatology balance was calculated by the Thornth White method and use of parameters of the FAO publication and after the simulation of the area in the GIS software, during the monitoring of the behavior of piezometers at the aquifer surface and drawing a long-term unit hydrograph, the 25 year drop of Hashtgerd aquifer decline was obtained as 20.32 meters. By modeling population growth scenarios with five-year increase rate of 3.4% and the construction of two special wastewater refineries, one for the industrial wastewater and the other for urban and agricultural wastewater by optimizing supplying demands through systematic management of the combined use of water resources. In the WEAP model it was found in a 5 year perspective, although discharge of the aquifer to supply urban demands will increase 5.7 million cubic meters by purifying industrial, agricultural, and urban wastewater the discharge will decrease. Also by analyzing the sensitivity of the variables in the WEAP model, it was determined that agricultural demands have the greatest impact on the aquifer decline. Therefore, with the aim of lifting the ban of withdrawal from Hashtgerd alluvial aquifer in the modeling process, fixed agricultural demands were assumed constant. The results showed that the aquifer drop in the 5 year perspective has not only reaches zero, but also the aquifer level rises 2.1 meters. It is suggested that by constructing industrial, urban and agricultural wastewater treatment plants, with the required standards, unconventional water resources be used as a new method to supply agricultural and industrial demands to maximize productivity in water and soil resources.

Keywords: withdrawal water Resources; unconventional water resources; IWRM