

مقاله پژوهشی

مدیریت بهره‌برداری بهینه آبخوان دشت ابرکوه با رویکرد پویایی سیستم

میرمحمد اسعدی^{*}، سیدحییب الله میرغفوری^۱، یاسمین برومندزاد^۲، مهدیه عالم‌زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

۱- استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

۲- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد، ایران

۳- مدرس گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

۴- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

* مسئول مکاتبات، آدرس الکترونیکی: asadi@sau.ac.ir

چکیده

سال‌های متمادی است که مردم از آب به عنوان یک منبع ارزان قیمت استفاده کرده و در نتیجه تعداد زیادی از آن‌ها به محدود کردن خود در مصرف آن اعتقادی ندارند. این نگرش بسیار مشکل‌ساز بوده و بحران آب را به دنبال داشته است. امروزه در کنار بحران آب، با مدیریت مناسب بهینه منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک نیز مواجه می‌باشیم. افزایش روزافزون نیازهای آبی، محدودیت منابع آبی و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب کلیه نیازهای موجود را غیرممکن می‌سازد. استفاده فزاینده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت ابرکوه در نتیجه توسعه کشاورزی و صنایع وابسته در این دشت منجر به تشدید روند نزولی سطح آبخوان آن شده است. در نتیجه ارائه چارچوبی که بتواند تخصیص بهینه آب را در این منطقه بررسی کند، ضروری است. هدف این پژوهش بررسی وضعیت منابع آب دشت ابرکوه و بررسی سیاست‌های ممکن در این منطقه می‌باشد. لذا پس از مرور پیشینه و شناسایی عوامل، با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم، مدلی پویا از عوامل مؤثر در وضعیت آبخوان دشت ابرکوه و روابط علی آن‌ها ارائه و تحلیل شد که طبق تحلیل‌های صورت گرفته مصرف کشاورزی بیشترین تهدید را در دشت داشت. سپس مدل ارائه شده در نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی و سیاست‌های مختلفی برای بهبود وضعیت منابع آب در دشت آبخوان ابرکوه بر روی مدل آزمون شد. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌ها نشان داد که سیاست افزایش قیمت آب، طرح بارور کردن ابرها و همچنین کاهش سطح زیر کشت تأثیر مناسبی بر شاخص تراز و حجم آبخوان دارند.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، پویایی سیستم، تراز آبخوان، حجم آبخوان، دشت ابرکوه

Optimal Exploitation Management of the Abarkouh Aquifer Plain with System Dynamics Approach

M Mohammad Asadi^{1*}, S H Mirghafouri², Y Boroumandzad³, M Alemzade⁴

Received: September 5, 2018

Accepted: January 9, 2021

1- Assist. Prof. of Management Dept., Faculty of Human Sciences, Science and Arts University, Yazd, Iran

2- Associ. Prof. of Management Dept., Faculty of Human Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

3- Instructure of Management Dept., Faculty of Human Sciences, Science and Arts University, Yazd, Iran

4- M.Sc. in Industrial Management, Science and Arts University, Yazd, Iran

*Corresponded Author, E-mail: asadi@sau.ac.ir

Abstract

For many years, people have been using water as an inexpensive resource, and many do not believe in limiting its consumption. This attitude is problematic and has led to a water crisis. Today, besides the water crisis, we are faced with improper water resources management, especially in arid and semi-arid regions. The increasing demand for water, the limitation of resources, and the principle of sustainability in water management, make it impossible to supply all existing water needs. The increasing use of surface and groundwater resources in Abarkouh Plain as a result of development of agriculture and related industries in this plain has intensified the decline of its aquifer. Therefore, it is necessary to provide a framework that can investigate the optimal allocation of water in this area. The purpose of this research was to study the status of Abarkouh Plain water resources and to evaluate the possible policies in this area. After reviewing the background and identifying the factors, a dynamic model of factors affecting the status of aquifer in Abarkouh Plain and their causal relationships were presented and analyzed through System Dynamics. According to the analysis, agricultural consumption had the greatest threat in the plain. The model was simulated in Vensim and various policies have been tested to improve the status of water resources in Abarkouh Plain. The simulation showed that the policy of increasing water price, implementing the plan of fertilizing clouds and decreasing the area under cultivation had a good effect on aquifer balance index and volume.

Key words: Abarkouh Plain, Alignment level, Aquifer, Aquifer volume, System Dynamics

مقدمه

عنوان جدیدی را به ادبیات مدیریت آب به نام بحران آب اضافه کرده است (عزیزی و همکاران ۲۰۱۶) و کمبود شدید آن یک نگرانی جهانی در حال حاضر و آینده می‌باشد (ایکسی و پو ۲۰۱۳). علی‌رغم توجه به ارتباط بین منابع آبی به منظور تقویت امنیت منابع، تعیین روابط بین سیستم‌های مؤثر در مدیریت آب به منظور تسهیل تصمیم‌گیری بین بخشی و کل نگر هنوز امری محدود است (راور و همکاران ۲۰۲۰) و مسئله بحران آب نه تنها به عنوان یک مسئله اقتصادی بلکه باید به عنوان یک دغدغه اجتماعی، زیست محیطی و فرهنگی درمان شود

آب به عنوان مهم‌ترین منبع طبیعی در جهان (ایکسی و پو ۲۰۱۳) نقش مؤثری در تمام فعالیت‌های روزانه دارد و مصرف آن به دلیل افزایش استاندارد سطح زندگی بشر در حال رشد است (گرجیان و قبادیان ۲۰۱۵). بررسی تحولات و توجه به مسائل آب نشان می‌دهد هر چند اولین جرقه‌ها و هشدارها از محافل و کانون‌های علمی برخاسته ولی به تدریج با مشاهده عینی پدیده‌های ناشی از نحوه بهره‌برداری، مدیریت منابع آب به بالاترین رده‌های تصمیم‌گیری در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی رسیده است. جمع‌بندی این فرایند

برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای بوده (دایی و همکاران ۲۰۱۳) و آن‌قدر حائز اهمیت است که اگر به درستی مورد توجه قرار نگیرد، پیشرفت در جهت اهدافی چون کاهش فقر و توسعه پایدار در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به خطر خواهد افتاد (نیکولا و همکاران ۲۰۱۵). وابستگی متقابل منابع آب و در نتیجه کمبود فزاینده آن‌ها، مصرف‌کنندگان رقیب و عدم موفقیت استراتژی‌های مدیریت بخش محور عواملی هستند که منجر به برجسته کردن اهمیت اتصالات تفکیک‌پذیر بین منابع آب می‌شوند (آسیدی و الاغیب ۲۰۱۷). در یک حوزه آبریز، سیستم‌های مختلف طبیعی و انسانی وجود دارد که در تعامل با یکدیگرند. در مدیریت جامع منابع آب در سطح حوزه آبریز، تعامل اجزای درونی هر سیستم و تعامل سیستم‌ها باید در نظر گرفته شود. تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف برای شرایط آبی متفاوت و دیدگاه‌های مدیریتی متفاوت از ضروریات مدیریت یکپارچه منابع آب به منظور اخذ تصمیم‌گیری می‌باشد. سرعت زیاد در مدل‌سازی، آسانی ساختار، اصلاح مدل، توانایی انجام تحلیل و ارتباط مؤثر با مدل و افزایش اطمینان در روند مدل‌سازی به دلیل مشارکت کاربر، از جمله برتری‌های شبیه‌سازی با روش پویایی سیستم نسبت به دیگر روش‌های شبیه‌سازی است (ناصری و همکاران ۲۰۱۳). مدل‌های پویایی‌های سیستم و تجزیه و تحلیل‌های پویا در مقایسه با مدل‌های استاتیک توانایی مدل‌سازی واقع‌گرایانه بهتری دارند زیرا می‌توانند اثرات واقع‌بینانه سیاست‌های آبی را بر بخش‌های مختلف یک حوزه آبی در طول زمان مشاهده کنند (سماجگل و همکاران ۲۰۱۶). اگرچه منابع آب در معرض تغییرات شدید در زمان و مکان قرار دارند، اما اکثر مدل‌های ارائه شده از نظر مکانی و زمانی تقسیم نمی‌شوند (مبری و ویتوریو ۲۰۱۸). تحلیل سیستم‌ها جایگاه مهمی در زمینه مدیریت منابع آب دارد و شبیه‌سازی یک ابزار ضروری تصمیم‌گیری در فرایند مدیریت آبخوان می‌باشد. ارتباط مؤثر با نتایج مدل،

(نیکولا و همکاران ۲۰۱۵). برآورد می‌شود در دهه‌های آینده، در ایران که در کمربند خشک زمین واقع شده و حدود ۷۰ درصد از مساحت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، آب به عنوان یکی از منابع ویژه در این مناطق تبدیل شود (گرجیان و قبادیان ۲۰۱۵) و استان یزد نیز که در ناحیه مرکزی ایران قرار گرفته، از این مهم مستثنی نیست. امروزه افزایش جمعیت و بالارفتن سطح زندگی و رفاه اجتماعی در بسیاری از شهرها موجب افزایش تقاضای آب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری شده است و آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم آب مورد توجه هستند (اسلامی و همکاران ۲۰۱۷). دشت ابرکوه به عنوان یکی از مهم‌ترین دشت‌های این استان بخشی از حوضه آبریز ابرکوه-سیرجان می‌باشد که در جنوب غرب استان یزد واقع شده است. در این محدوده ۶۶۶ حلقه چاه، ۲۰ دهنه چشمه و ۳۰ رشته قنات فعال موجود می‌باشد (نظری و همکاران ۲۰۱۲). برداشت از منابع زیرزمینی دشت ابرکوه از سال ۱۳۶۱ ممنوع و به عنوان دومین دشت استان از لحاظ بحران منابع آبی اعلام شد. تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی این شهرستان هیچ‌گاه متکی به بارندگی‌های آن نبوده و از حوضه‌های مجاور (آباده، اقلید، بوانات از توابع استان فارس) تأمین می‌شود (مرتضوی‌زاده و همکاران ۲۰۱۳). در مناطق خشک و نیمه خشک، آب‌های زیرزمینی سهم بسیار قابل توجهی در تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی دارند. بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی از یک طرف و آلوده شدن این آب‌ها به سبب تغییرات محیطی ناشی از جنس بافت خاک سفره‌های آبی و همچنین فعالیت‌های گوناگون کشاورزی و صنعتی از طرف دیگر موجب ایجاد یک چالش در مدیریت منابع آب شده است (اسلامی و همکاران ۲۰۱۷). مدیریت بهینه بهره‌برداری منابع آب همچون فرهنگ‌سازی مصرف آب، یک مسئله پیچیده و ظریف در

بدست آمده، مسئولین مربوطه بتوانند بهترین و بهینه‌ترین شیوه را در زمینه بهره‌برداری آبخوان دشت ابرکوه اتخاذ نمایند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان ابرکوه در فاصله ۱۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر یزد واقع شده و در طبقه‌بندی اقلیمی، آب و هوای آن از نوع بیابانی یا خشک است. منابع آب این شهرستان به آب‌های زیرزمینی محدود می‌شود و از نظر آب‌های سطحی به مسیل‌ها و رواناب‌ها محدود می‌شود. حوضه ابرکوه با مختصات جغرافیایی طول شرقی ۱۰- 52° تا 26° و عرض شمالی 20° تا 30° - 31° یکی از زیر حوضه‌های اصلی حوضه آبریز ابرکوه-سیرجان می‌باشد که خود جزئی از حوضه آبریز ایران مرکزی که یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور یعنی دریای خزر، خلیج فارس، دریاچه ارومیه، مرکزی، هامون و سرخس است، می‌باشد. به دلیل کویری و خشک بودن بخش اعظم حوضه، رودخانه دائمی در آن وجود ندارد و تمامی رودخانه‌ها در اصل به صورت مسیل بوده و به نسبت میزان بارندگی‌ها سیل در آن‌ها جریان می‌یابد. حداقل ارتفاع در این حوضه ۱۴۵۰ متر و حداکثر ۲۹۳۰ متر می‌باشد. همان‌گونه که ذکر شد حوضه آبریز ابرکوه جزئی از حوضه کویر ابرکوه است که شامل زیر حوضه‌های هرات-خوانسار، پشتکوه-نیریز، مروست-بوانات، نیر-دهشیر، ابرکوه و کفه طاقستان می‌باشد (بی‌نام ۲۰۱۳). موقعیت شهرستان ابرکوه در شکل ۱ نشان داده شده است.

محدوده دشت اصلی ابرکوه که در غرب کفه ابرکوه واقع شده، دارای آبرفت مناسب بوده و سفره آب قابل ملاحظه‌ای در آن تشکیل شده است. این دشت با وسعت $3714/43$ کیلومتر مربع جزئی از حوضه آبریز ابرکوه-سیرجان است. این منطقه از شمال به زیر حوضه طاقستان، از شرق به زیر حوضه نیر-دهشیر، از سمت

سهولت ایجاد تغییرات در مدل و قابلیت حساسیت این روش مدل‌سازی را از بقیه روش‌های رایج مدل‌سازی منابع آب جذاب‌تر می‌کند.

پویایی‌های سیستم در مدیریت منابع آب در شاخه‌های متعددی از قبیل تقویت زیرساخت‌های تصفیه آب (لی ۲۰۱۴)، افزایش بهره‌وری آبیاری (جابینز و همکاران ۲۰۱۵)، بهبود بهره‌وری انرژی در سیستم‌های آبرسانی و برنامه‌ریزی سیستم‌های پمپاژ برای مصرف انرژی کارآمد (خیاردین و همکاران ۲۰۱۸)، تقاضای آب برای تولید برق و سوخت‌های زیستی (پاستی و همکاران ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران ۲۰۱۷) و استفاده از پمپ‌های خورشیدی (آلیو و همکاران ۲۰۱۸) مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، برخی از تحقیقات بر ارزیابی و تخمین میزان مصرف انرژی در مراحل مختلف تأمین آب متمرکز شده‌اند (ویلانوا و بالستیری ۲۰۱۵). مدل‌های پویایی‌های سیستم قادرند به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری، در راستای دستیابی به مدیریت پایدار آن به ما کمک کنند. پایداری منابع آب از جمله آبخوان دشت ابرکوه تحت تأثیر چگونگی بهره‌برداری از منابع قرار می‌گیرد که با توجه به بحران آب، لزوم بهره‌برداری بهینه مسجل می‌باشد. در مدل‌های پویا درک مسائل تغییرات به صورت حلقه‌ای و بازخورد است و با توجه به این‌که میان میزان آب در دسترس و مصرف آن و دیگر بخش‌های مهم مانند رشد جمعیت، توسعه اقتصاد، صنعت و کشاورزی، اکتشاف و بهره‌برداری از منابع، آلودگی و مدیریت منابع آب بازخورد پویا وجود دارد، لذا روشی است که قادر به پیشگویی الگوی رفتاری تغییرات در سیستم‌های منابع آب می‌باشد. این موضوع، نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود؛ زیرا تا جایی که توسط محققان این مقاله بررسی شده است مدلی با در نظر گرفتن ابعاد مختلف تأثیرگذار بر منابع آبی یک منطقه به منظور بررسی الگوهای مصرف و ارائه راهکار مدیریت بهینه آن منبع انجام نشده است. هدف از این تحقیق نیز ارائه یک مدل پویاست که بر اساس آن و سناریوهای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان ابرکوه.

روش کار

با توجه به این که پژوهش حاضر در صدد یافتن عوامل مؤثر و مشخص کردن ارتباط بین این عوامل در تغذیه و برداشت آبخوان دشت ابرکوه می باشد، بر اساس هدف، کاربردی است و از حیث گردآوری داده های مورد نیاز از نوع توصیفی و از شاخه پیمایشی می باشد. در گردآوری اطلاعات مورد نیاز از هر دو روش میدانی و کتابخانه ای استفاده شده است. پس از مطالعه ادبیات تحقیق، مؤلفه های مختلف تأثیرگذار بر بهره برداری آبخوان شناسایی و سپس از طریق مصاحبه با خبرگان و صاحب نظران، صحت و کیفیت شاخص ها مورد بحث قرار گرفته و تغییرات مورد نظر آن ها در این شاخص ها اعمال شده تا بهترین و مهم ترین آن ها جهت دستیابی به هدف پژوهش انتخاب شوند. سپس متغیرها و مفاهیم کلیدی، دوره زمانی مدل و تعریف دینامیکی مسئله مشخص شدند و مدل مفهومی دشت آبخوان ابرکوه تهیه شد. پس از تعمیم ارتباط میان متغیرها، نمودار علت و معلولی بین متغیرها برای نشان دادن همبستگی بین آن ها و فرایندهای بازخوردی ترسیم شد. پس از ترسیم نمودار علی معلولی مدل و تأیید آن توسط افراد خبره، باید نمودار جریان را رسم کرد. این نمودارها همراه با

جنوب و جنوب شرق به زیر حوضه مروست و از غرب به حوضه آباد-اقلید از استان فارس محدود می شود. برای این منطقه متوسط بارندگی سالیانه از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ برابر با ۷۲/۲ میلی متر و میزان تبخیر سالیانه آن ۳۱۷۱/۱ میلی متر با متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۶/۷ سانتی گراد گزارش شده است. آبخوان ابرکوه از نوع آزاد و به وسعت ۱۲۵۰ کیلومترمربع در بخشی از گستره دشت شکل گرفته و از شمال تقریباً به رودخانه شور، از شمال غرب، غرب، جنوب غرب و جنوب به دامنه شرقی مجموعه ارتفاعات جداکننده محدوده های ابرکوه و آباد-اقلید و از شرق به حواشی کفه ابرکوه محدود می شود. بر اساس آمار برداری منابع آب ۸۹-۱۳۸۸، در سفره آبرفتی ابرکوه ۷۳۰ حلقه چاه حفر شده است، همچنین در این محدوده ۵۰ رشته قنات آمار برداری شده که ۲۰ رشته از غیردائمی می باشند. تعداد ۲۰ دهنه چشمه در این دشت وجود دارند که از این میان ۱۹ دهنه در سازند سخت قرار داشته که از ارتفاعات تخلیه می شوند، همچنین یک دهنه چشمه نیز در آبرفت واقع شده و در دشت تخلیه می شود. آب های سطحی محدوده را تعدادی مسیل تشکیل می دهد که از ارتفاعات شمال و غرب حوضه سرچشمه می گیرند. بزرگترین آن ها مسیلی است که از ارتفاعات محدوده آباد-اقلید سرچشمه گرفته و از طریق تنگه سورمق آب مازاد را وارد این دشت می کند. در محدوده آبخوان ابرکوه ۱۱ بند خاکی جهت تغذیه مصنوعی بر روی مسیل و جریان های سطحی موجود در محدوده احداث شده است.

وی را در طول فرایند مدل‌سازی فراهم کند (نوذری و محسنی ۲۰۱۶). ساختار تحلیل‌های پویا مبتنی بر نمودارهای علی معلولی، جریان و معادلات ریاضی است. ارزیابی به هم پیوسته سیستم منابع آب در مقیاس حوضه آبریز مستلزم توسعه مدل یکپارچه منابع آب حوضه می‌باشد.

مدل‌سازی عوامل مؤثر بر بهره‌برداری آبخوان دشت

ابركوه

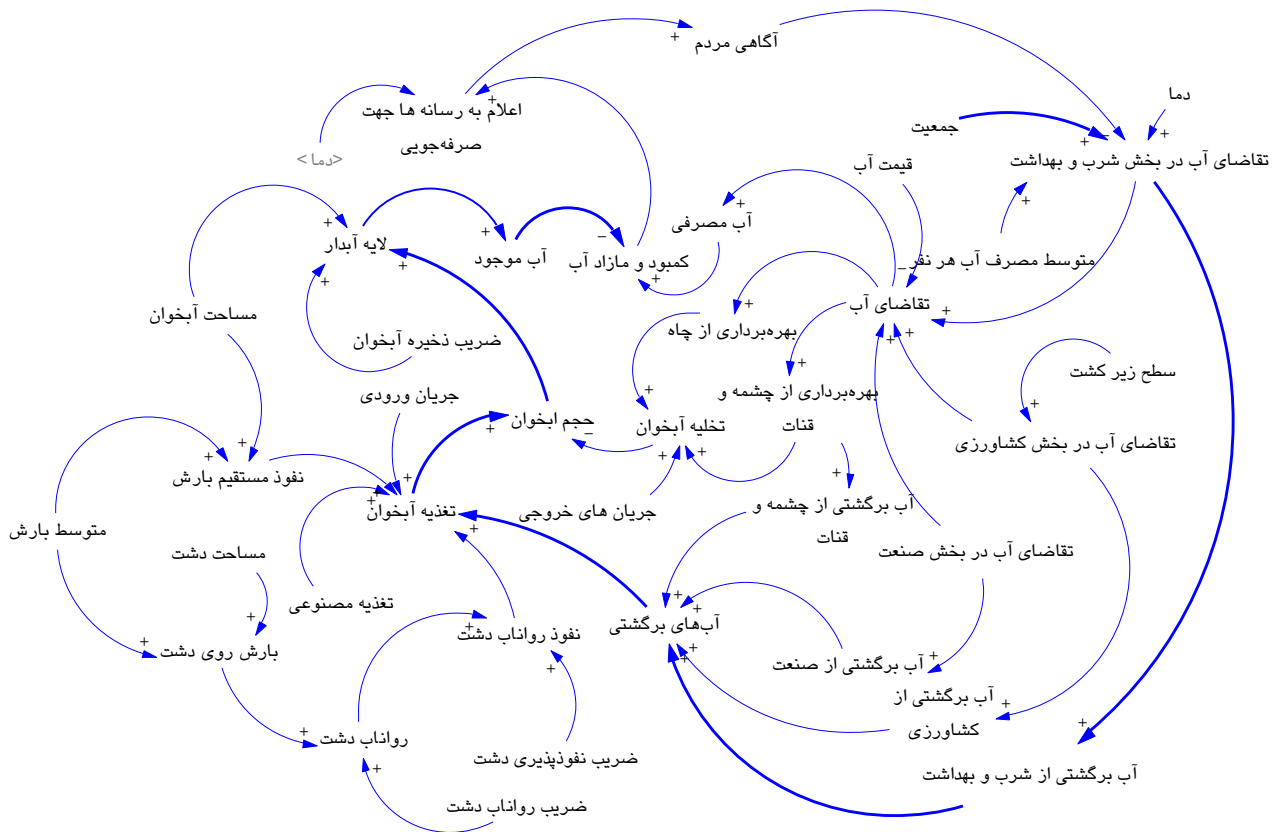
مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع می‌باشد و از آن‌جا که علم پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش بوده و قادر است شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب را برای پشتیبانی تصمیم‌گیری انجام دهد، در این پژوهش از این رویکرد جهت تجزیه و تحلیل و طراحی مدل بهره‌برداری از آبخوان دشت ابرکوه استفاده شده است و نمودار علی-معلولی آن مطابق شکل ۲ می‌باشد.

بازخورد دو مفهوم اساسی تئوری تحلیل پویایی‌های سیستم می‌باشند تا بتوان اثر سیاست‌های بهره‌برداری و مدیریتی مختلف را بر نحوه تخصیص آب در دشت ابرکوه مشاهده کرد. اطلاعات موردنیاز برای فرموله کردن مدل جریان از طریق مصاحبه و بررسی آمارها و اعداد و ارقام موجود در این حوزه گردآوری شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار ونسیم^۱ ارتباط تمامی مؤلفه‌ها با یکدیگر در محیط نرم‌افزار کدنویسی شده است و در نهایت نیز رفتار متغیرها شبیه‌سازی و سیاست‌های مختلف برای بهبود تراز آبخوان پیشنهاد و بر روی مدل آزمون شده‌اند.

رویکرد پویایی‌های سیستم

مدل‌سازی پویایی‌های سیستم یک روش مبتنی بر کامپیوتر است که بر پایه تئوری کنترل بازخورد و نظریه مدرن دینامیک غیرخطی استوار می‌باشد (یانگ و همکاران ۲۰۱۵) و همچنین رویکردی جهت درک رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طول زمان با استفاده از جریان، حلقه‌های بازخورد داخلی و تأخیر زمان است (وی و همکاران ۲۰۱۶). ساختارهای بازخوردی تغییرات حاصل را در طول زمان نشان می‌دهند و تأثیرات قبل و بعد متغیرها را به صورت بازخوردی معین می‌کنند. این ساختارها شامل بازخورد مثبت و بازخورد منفی می‌شوند (یوسفوند و همکاران ۲۰۱۷). روش پویایی‌های سیستم روش شبیه‌سازی شیء‌گرا و بر پایه بازخورد است که می‌تواند علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده، امکان دخالت مؤثر کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان

¹ Vensim

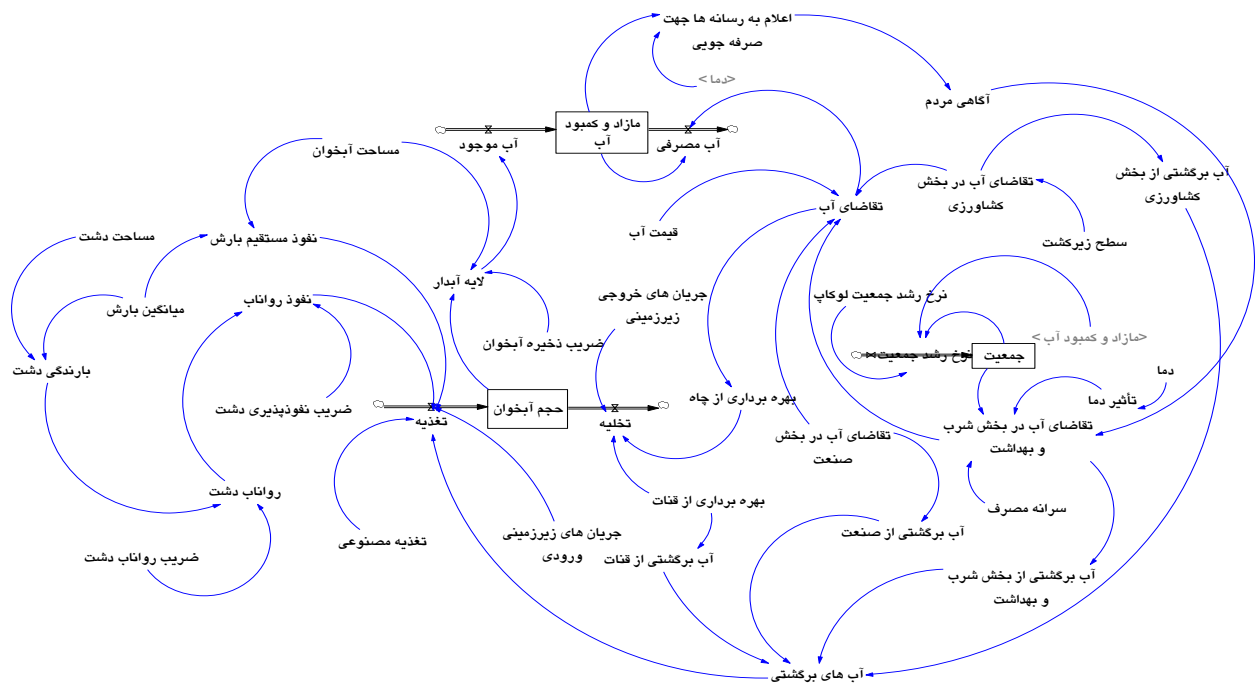


شکل ۲- نمودار علی- معلولی مسئله تحقیق.

آب در بخش شرب و بهداشت تحت تأثیر جمعیت، آگاهی مردم، دما و سرانه مصرف قرار دارد. هرچه جمعیت افزایش یابد، میزان تقاضا در این بخش بیشتر می‌شود، تأثیر دما نیز همانند جمعیت به صورت مستقیم خواهد بود. هر چه آگاهی مردم بر اساس اعلام رسانه‌ها، در مورد وضعیت آب موجود و درست مصرف کردن آن افزایش یابد، تقاضای آب را تحت الشعاع خود قرار خواهد داد. سرانه مصرف آب نیز همانند جمعیت و دما بر میزان تقاضای آب در بخش شرب و بهداشت اثرگذار است. تقاضای آب در بخش کشاورزی با سطح زیرکشت رابطه مستقیم دارد و قیمت نیز بر میزان تقاضا تأثیر خواهد گذاشت.

نمودار جریان مسئله به کمک نمودار علی- معلولی تعیین شده و بر اساس مطالعات انجام شده و اجماع نظر خبرگان امر مطابق شکل ۳ تهیه شده است.

بر اساس نمودار علی-معلولی، روابط بین برخی از متغیرهای مدل بدین شرح می‌باشد: بهره‌برداری از آبخوان دشت ابرکوه تحت تأثیر دو عامل تغذیه و تخلیه (برداشت) آبخوان قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر مدیریت بهره‌برداری از آبخوان زمانی بهینه خواهد شد که برداشت از سفره، با توجه به حجم آبخوان که خود تحت تأثیر دو عامل تغذیه و تخلیه قرار می‌گیرد، صورت پذیرد. عوامل تغذیه آبخوان عبارتند از: نفوذ مستقیم بارش، جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان، تغذیه مصنوعی، آب‌های برگشتی و نفوذ رواناب‌ها؛ تخلیه آبخوان تحت تأثیر میزان بهره‌برداری از چاه‌ها، قنات و جریان‌های خروجی زیرزمینی قرار دارند. یکی دیگر از متغیرهای این مدل، میزان تقاضای آب در شهرستان ابرکوه است. سه بخش شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت مصرف‌کنندگان آب در این منطقه هستند. تقاضای



شکل ۳- نمودار جریان مسئله تحقیق.

آزمون حالت تعادل استفاده شده است. پس از تصحیح پارامترها، روابط مدل واسنجی شده است. این مدل به عنوان نمایشگر واقعی در طبیعت در نظر گرفته شده است. با توجه به آزمون‌های انجام گرفته روی مدل می‌توان این‌گونه بیان نمود که پایایی و اعتبار مدل مورد تأیید است و مدیران می‌توانند به نتایج حاصل از آن اتکا کنند. زمانی، یک مدل پویا نظیر مدل ارائه شده در این پژوهش را می‌توان برای شبیه‌سازی به کار گرفت که پایایی و اعتبار آن اثبات شده باشد. در صورت موفقیت مدل در آزمون‌های مختلف، این روش همانند سایر روش‌های مدل‌سازی، ابزاری توانمند برای مدل‌سازی مسائل دنیای واقعی می‌باشد.

نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی مدل بهره‌برداری آبخوان دشت ابرکوه، از داده‌های سال ۱۳۸۵ به عنوان سال پایه در نظر گرفته شده و شبیه‌سازی برای مدت ۲۰ سال تا سال ۱۴۰۵ صورت گرفته است. در مواردی که احتیاج به تخمین معادلات و داده‌های آماری سری زمانی متغیرها

ارزیابی رویی و پایایی

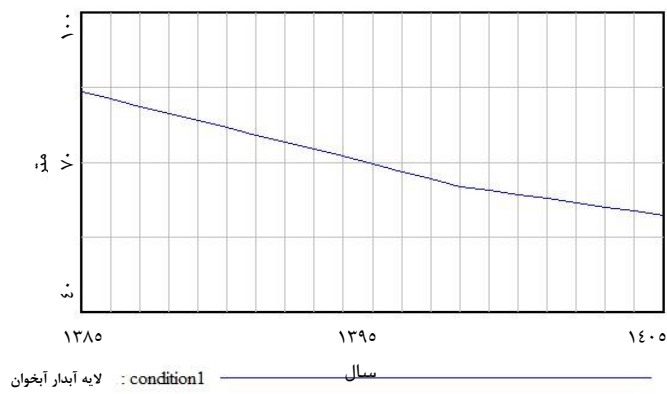
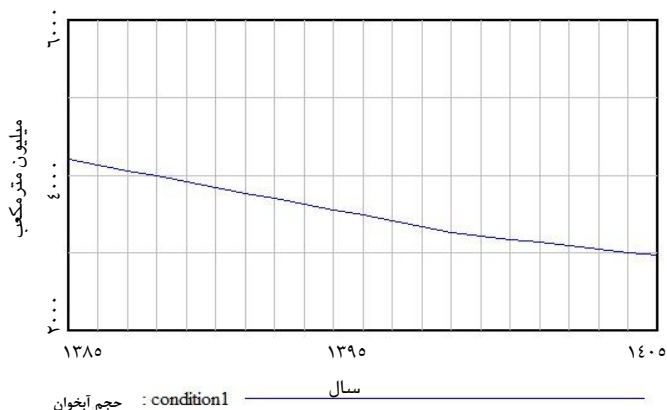
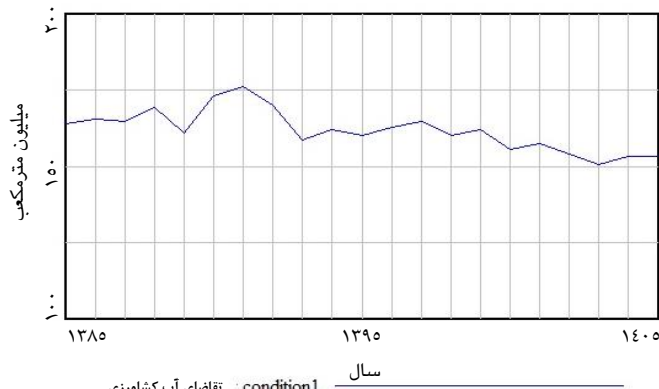
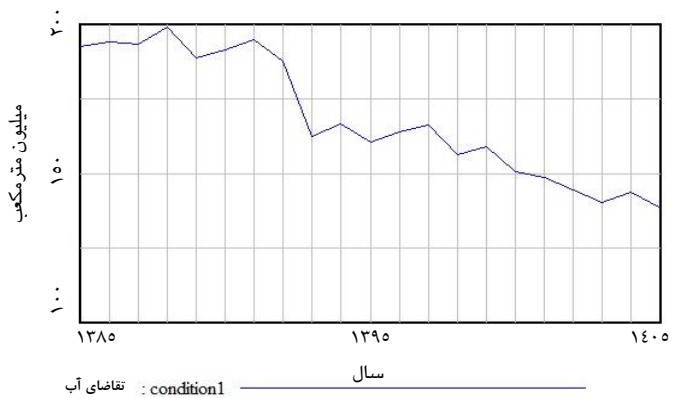
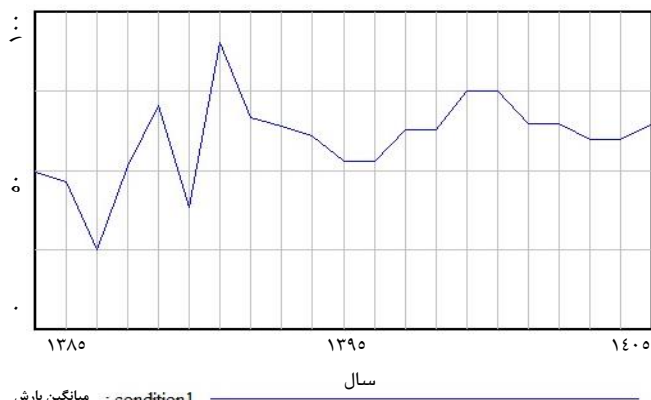
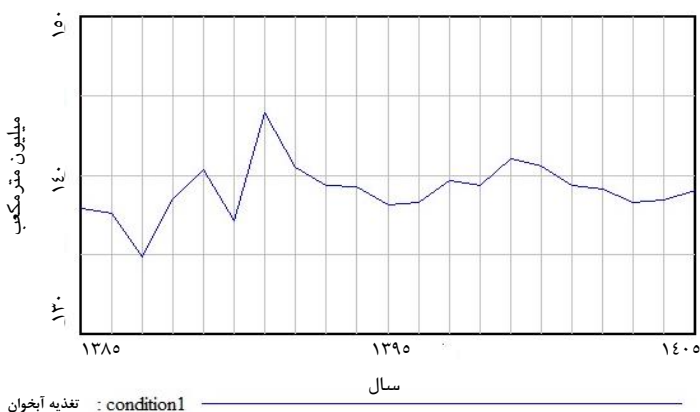
اعتبارسنجی مدل یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت یک مدل دینامیکی است. مدل‌ها باید مورد آزمون قرار گیرند تا بتوان رفتار شبیه‌سازی شده آن‌ها را با رفتارشان در دنیای واقعی مقایسه کرد (ادهمی ۲۰۱۵). در رویی محتوایی، مدل طراحی شده قبل از جمع‌آوری داده‌ها و اجرای مدل (شبیه‌سازی) در معرض نظر خبرگان قرار می‌گیرد و از حیث متغیرهای به کار گرفته شده در مدل و روابط بین آن‌ها، مورد قضاوت قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، این فرآیند در یک مسیر چرخه‌ای باعث جرح و تعدیل مدل جریان شد و در نهایت مدل مورد تأیید خبرگان مبنای جمع‌آوری داده‌ها و شبیه‌سازی قرار گرفت. برای ارزیابی تطابق عملکرد سیستم، سری‌های زمانی استفاده شده در مدل، روند تاریخی و نوسانات متغیرها بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ با مقادیر شبیه‌سازی شده، مقایسه و مدل بر این اساس کالیبره، صحت‌سنجی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی اعتبار مدل از آزمون‌های حد نهایی، آزمون سازگاری توابع عددی، آزمون بخشی اجزای مدل و

بوده، از داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، با توجه به اطلاعات ارائه شده از سوی شرکت‌های آب منطقه‌ای، آب و فاضلاب شهری و روستایی استان، اداره کل هواشناسی، جهاد کشاورزی شهرستان ابرکوه و همچنین سالنامه آماری استان یزد در سال‌های مختلف و همچنین مصاحبه با کارشناسان و خبرگان امر به دست آمده است. برخی از ضرایب و متغیرها نیز از مطالعات انجام گرفته مشابه در این زمینه استخراج شده است. رفتار برخی از متغیرهای کلیدی مدل بعد از شبیه‌سازی مطابق شکل ۴ می‌باشد. وضعیت ۱، رفتار متغیر را در حالت فعلی و کنونی مدل نشان می‌دهد. لازم به ذکر است نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان از تطبیق مناسب با داده‌های واقعی می‌باشد. تغییر در میزان تغذیه آبخوان به عوامل مختلفی از قبیل: تغذیه مصنوعی، نفوذ رواناب و بارش مستقیم بستگی دارد. تمام موارد فوق به میزان بارندگی که خود تحت تأثیر دمای منطقه قرار می‌گیرد، وابسته هستند و روند تغییرات در میانگین بارش، تغذیه آبخوان را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. بخش عمده تقاضای آب در این منطقه که از آبخوان دشت ابرکوه تأمین می‌شود، مربوط به بخش کشاورزی است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، از سال ۱۳۹۴ روند نزولی کاهش میزان تغذیه آبخوان ابرکوه آغاز شده است و این میزان در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به کمترین مقدار خود رسیده است. لیکن مشاهده می‌شود که در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ تغذیه آبخوان بهبود یابد. هرچند روند کلی میزان تغذیه آبخوان در افق ۱۴۰۵ نزولی خواهد بود. با توجه به داده‌های سازمان هواشناسی و میانگین بارش

طی سال‌های گذشته و پیش‌بینی صورت گرفته توسط مدل، بارش‌ها در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ افزایش یافته‌اند. همان‌طور که در وضعیت فعلی مشاهده می‌شود میزان تقاضا برای آب در افق ۱۴۰۵ کاهش خواهد یافت. علت این امر، کاهش جمعیت در منطقه مورد بررسی به علت مهاجرت اهالی و همچنین اصلاح الگوی مصرف شهروندان می‌باشد. با توجه به کاهش جمعیت منطقه، کشاورزی و مساحت زمین‌های زیر کشت نیز روند نزولی خواهند داشت و تأثیر این روند را می‌توان در کاهش تقاضای آب کشاورزی طی سال‌های آتی مشاهده کرد. در صورت کاهش متمادی تقاضای آب، میزان بهره‌برداری از چاه‌ها کمتر شده و برداشت از آبخوان نیز کم می‌شود. از سویی دیگر، همزمان با کاهش میزان تقاضا در این بخش، از مقدار آب برگشتی به عنوان یکی از عوامل مؤثر در تغذیه آبخوان کاسته می‌شود. با این روند، حجم آبخوان نیز دست خوش این تغییر قرار گرفته و با کاهش حجم، لایه آبدار نیز کم می‌شود. رابطه مستقیم آب موجود با لایه آبدار باعث کاهش مقدار آب موجود شده که این امر کمبود آب را تشدید خواهد کرد. در صورت ادامه یافتن روند فعلی و عدم سیاست‌گذاری مناسب، حجم آبخوان و لایه آبدار با سرعت زیادی روند

داشته است. از طرفی با تلاش سازمان‌های ذیربط، کشاورزان سیستم کاشت و برداشت خود را به تجهیزات با تکنولوژی جدید مجهز نموده‌اند و از سویی آموزش‌های لازم جهت اصلاح روش‌های آبیاری در دستور کار قرار گرفته است. لازم بذکر است از رفتار تقاضای آب در بخش کشاورزی در وضعیت ۱ مشخص

نزولی خود را طی خواهند کرد و در سال ۱۴۰۵ مقدار هر یک در حدود ۵۰ درصد آن در سال ۱۳۸۵ خواهد بود. با توجه به بررسی‌های انجام شده، حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی غالب تقاضای آب در این منطقه هست. مهاجرت کشاورزان و همچنین نامرغوب شدن خاک منطقه، میزان کاهش سطح زیر کشت را به دنبال



شکل ۴- رفتار متغیرهای کلیدی مدل در وضعیت کنونی.

منابع آب شهرستان ابرکوه به آب‌های زیرزمینی و از نظر آب‌های سطحی به مسیل‌ها و رواناب‌ها محدود می‌شود. از آنجا که حوضه آبریز کویر ابرکوه با ۶۸/۹ درصد بیشترین حجم رواناب را در سطح استان دارد (بی‌نام ۲۰۱۳)، افزایش میزان تغذیه مصنوعی به عنوان اولین سناریو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

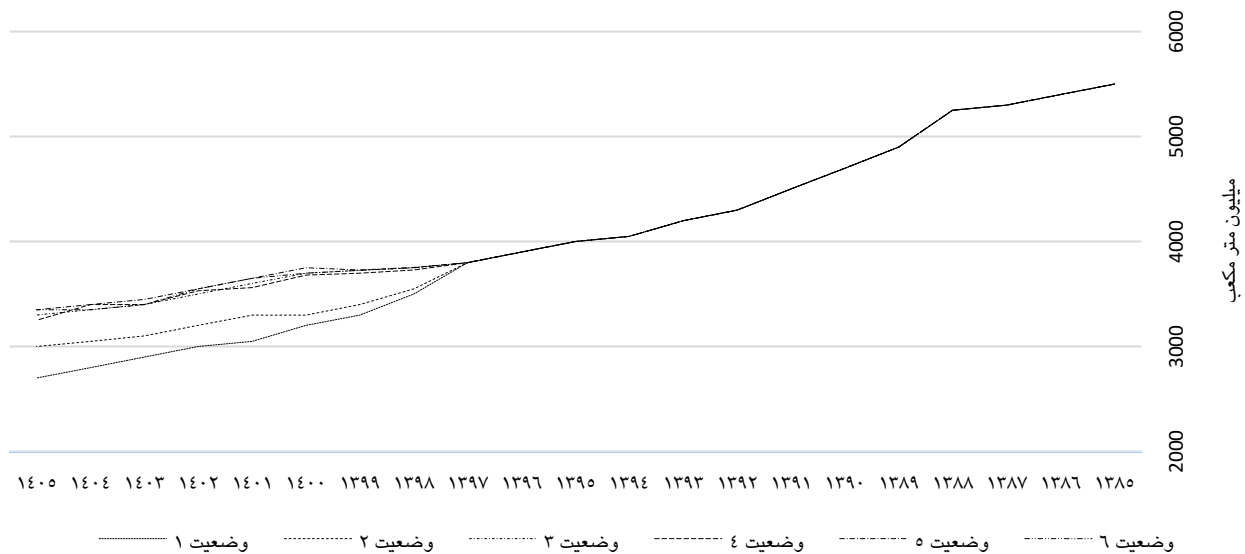
در وضعیت ۲ نشان داده شده در شکل ۵، تأثیر افزایش ۳۰ درصدی تغذیه مصنوعی بر رفتار تغذیه و حجم آبخوان ترسیم شده است. طبق نتایج مدل، افزایش تغذیه مصنوعی بر تغییر تغذیه آبخوان اثر مستقیم دارد و این موضوع بر حجم آبخوان نیز تأثیرگذار است؛ هر چند چندان محسوس نیست.

در سند چشم‌انداز توسعه شهرستان ابرکوه سال ۱۳۹۲ مشکل کمبود آب به عنوان اولین مسئله و استراتژی تأمین آب در اولویت برنامه‌های راهبردی در جهت توسعه این شهرستان شناسایی شده است. در همین جهت و به منظور مدیریت بهینه منابع آب منطقه، انتقال آب از رودخانه ماربر به عنوان یک راهکار پیشنهادی تعریف شده است؛ لذا در وضعیت ۳ به بررسی اثر افزایش ۲۰ درصدی مقدار جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان دشت ابرکوه بر تغذیه، حجم آبخوان و لایه آبدار بر روی مدل آزمون شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، این سیاست به طور قابل ملاحظه‌ای بر روند تغذیه آبخوان تأثیر مثبت می‌گذارد. همچنین سبب می‌شود حجم آبخوان نیز با شیب کمتری کاهش یابد. روند تغییر لایه آبدار نیز حکایت از کاهش سطح آب زیرزمینی با شیب کمتری نسبت به وضعیت اولیه را دارد.

می‌شود که با گذشت زمان، مشکل کمبود آب فعالیت کشاورزان را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد و به همین دلیل است که مدل، برای تقاضا در ۶ سال آینده چنین روندی را پیش‌بینی کرده است.

مطابق مدل در ۶ سال آینده روند تغییرات حجم آبخوان رو به کاهش خواهد بود و این در حالی است که در سند چشم‌انداز توسعه این شهرستان نیز به این مهم اشاره شده که ابرکوه، به شدت تحت تأثیر محدودیت منابع آبی بوده و دشت‌ها و حوضه‌های آبریز آن در وضعیت بحرانی به سر می‌برند و می‌بایست کانون توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان باشد. با توجه به وضعیت تغذیه و تقاضای آب از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۵ و در نظر گرفتن فرض عدم کاهش مصرف، نباید انتظار داشت حجم آبخوان روند دیگری غیر از این روند را به دنبال داشته باشد. شکل ۴ تغییرات لایه آبدار (نشان‌دهنده تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه) را نشان می‌دهد که همانند حجم آبخوان روند نزولی را در ۶ سال آینده خواهد داشت. سطح پایین آب زیرزمینی از آن دسته مشکلاتی است که طبق سند چشم‌انداز توسعه شهرستان، بخش کشاورزی ابرکوه را با تهدید مواجه کرده و به عنوان یکی از نقاط ضعف تأثیرگذار در محیط داخلی شهرستان شناسایی شده است. تغییرات سطح آب زیرزمینی به حجم آبخوان، ضریب ذخیره و مساحت آن بستگی دارد و از آنجا که متغیر مساحت مقدار ثابتی دارد، لذا لایه آبدار تحت تأثیر مستقیم حجم آبخوان خواهد بود.

بررسی سیاست‌های مختلف



شکل ۵- رفتار متغیر مازاد و کمبود آب در وضعیت‌های مختلف.

که افزایش میزان بارندگی به میزان ۱۰٪ تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رفتار متغیرهای کلیدی نفوذ مستقیم بارش، رواناب دشت و تغذیه آبخوان دارد. در سناریو دیگری اثر افزایش سرانه مصرف به میزان ۱۰ درصد بر رفتار متغیرهای مدل بررسی شده است. با توجه به برگشت ۷۰ درصدی آب مصرفی در بخش شرب و بهداشت به چرخه آب، افزایش سرانه مصرف، در میزان این عامل نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر در تغذیه آبخوان این دشت تأثیر نخواهد داشت. در وضعیت ۶ افزایش ۱۰ درصدی قیمت در این سناریو بررسی و مشاهده می‌شود که اثر قابل توجهی بر کاهش تقاضای کل آب خواهد گذاشت و این امر به بهبود روند حجم آبخوان و همچنین وضعیت آب در منطقه منجر خواهد گذاشت. بر اساس شکل ۵ نتیجه‌گیری می‌شود که سیاست افزایش قیمت آب و میانگین بارش به میزان ۱۰ درصد و همچنین کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت، در بهبود رفتار وضعیت آب در ۶ سال آینده اثر بهتری نسبت به افزایش ۲۰ درصدی جریان ورودی و ۳۰ درصدی تغذیه مصنوعی دارند. بعد از سیاست افزایش قیمت آب و میزان بارندگی و کاهش سطح زیر کشت، سناریوی افزایش جریان ورودی به

وضعیت ۴ با توجه به این موضوع مطرح شده است که شهرستان ابرکوه از نظر بهره‌برداری تولید گلخانه‌ای رتبه پنجم را در بین شهرستان‌های استان به خود اختصاص داده است (بی‌نام ۲۰۱۳) و ترویج کشت‌های گلخانه‌ای و سوق دادن کشاورزان و کشاورزی به کشت گلخانه بر اساس سند چشم‌انداز توسعه این شهرستان به عنوان یک راهکار پیشنهادی جهت مدیریت بهینه منابع آب منطقه ارائه شده است، بنابراین در وضعیت ۴ اثر کاهش سطح زیرکشت به مقدار ۲۰ درصد بر روی متغیرهای کلیدی مدل بررسی شده است. این سیاست، میزان تقاضای آب در بخش کشاورزی، تقاضای کل آب در منطقه را کم می‌کند و در چنین وضعیتی، حجم آبخوان با شیب کمتری کاهش می‌یابد و این در حالی است که افزایش سطح زیر کشت نتایج معکوسی را در مدل ایجاد می‌کند. در وضعیت ۵، با توجه به این‌که تغییرات میانگین بارش اثرات غیرقابل انکاری بر میزان تغذیه آبخوان، رواناب، نفوذ مستقیم بارش و ... دارد؛ اثر افزایش میانگین بارش به میزان ۱۰ درصد بر رفتار برخی از متغیرهای کلیدی مدل مورد بررسی قرار گرفته است. در این سناریو مشاهده می‌شود

در منطقه (برگرفته از سناریوی تغییر سطح زیرکشت) پیشنهاد می‌شود کشاورزان به کشت گلخانه‌ای و کشت گیاهان کم آب‌خواه تشویق شوند و زیرساخت‌های لازم جهت تحقق این امر توسط مسئولین مهیا شود. به منظور استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی به عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در شهرستان ابرکوه، اجرای طرح سیستم‌های آبیاری تحت فشار (آبیاری قطره‌ای، بارانی و ...) و همچنین به کارگیری روش‌های علمی و دانش‌بنیان در مراحل مختلف کشاورزی اعم از کاشت، داشت و برداشت محصولات می‌تواند مثر ثمر واقع شود. با توجه به نتایج حاصل از سناریوی اثرات کاهش سطح زیرکشت که کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی را به دنبال خواهد داشت، توصیه می‌شود محلی جهت آموزش کشاورزان و برگزاری سمینارهای علمی و آموزشی در شهرستان ابرکوه احداث شود تا بدین ترتیب سطح آگاهی کشاورزان افزایش یابد که این امر می‌تواند در مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی مفید واقع شود. همچنین تأسیس ایستگاه تحقیقات کشاورزی با هدف تمرکز و توسعه فعالیت‌های تحقیقاتی در بخش کشاورزی در شهرستان ابرکوه ضروری به نظر می‌رسد و پیشنهاد می‌شود مسئولین احداث این مرکز را در اولویت برنامه‌های خود قرار دهند. بر طبق سناریوی افزایش میانگین بارش و نتایج آن بر روند رفتار تغذیه آبخوان، مطالعه و بررسی استفاده از تکنولوژی پیشرفته باروری ابرها توسط صاحب‌نظران توصیه می‌شود.

مقدار ۲۰ درصد، سیاست پیشنهادی در راستای بهبود وضعیت آب در منطقه می‌باشد و افزایش دادن مقدار تغذیه مصنوعی به عنوان آخرین گزینه می‌تواند در بهبود روند وضعیت آب مؤثر واقع شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به مدل پویای بهره‌برداری از آبخوان دشت ابرکوه و رفتار حجم آبخوان در طی ۲۰ سال که بیانگر بیلان منفی آن می‌باشد، باید در راستای بهره‌برداری از این آبخوان تمهیدات لازم اندیشیده شود و برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران این مهم را مد نظر قرار دهند. از سویی دیگر با توجه به این که به منظور ارائه راهکار جهت مدیریت بهره‌برداری بهینه آبخوان دشت ابرکوه، از یک مدل شبیه‌سازی استفاده شده، می‌توان بدون هیچ هزینه‌ای، متغیرهای مختلف مدل را در حالت‌های مختلف امکان‌پذیر، تغییر داد و رفتارهای ناشی از تغییر سیاست‌ها را مشاهده کرد و به انتخاب بهترین سیاست پرداخت. در این پژوهش، ۵ سیاست مختلف بر روی مدل آزمون و نتایج زیر از سناریوها بدست آمد:

بر اساس نتایج خروجی از اعمال سیاست افزایش جریان‌های ورودی به آبخوان، توصیه می‌شود مطالعات تأمین آب از منابع غنی آبی همجوار حوضه آبریز ابرکوه در اولویت برنامه‌های سازمان آب منطقه‌ای شهرستان قرارگیرد. همچنین با توجه به تأثیر چشمگیر و قابل توجه کاهش سطح زیرکشت بر تقاضای آب در بخش کشاورزی و در نتیجه آن بهبود روند وضعیت آب

منابع مورد استفاده

- Adhami H, 2015. Analyzing factors influencing innovation in organizations with SD approach (case study: selected offices in Kerman province). MSc. Thesis, Science and Art University. (In Persian with English abstract)
- Al-Saidi M and Elagib NA, 2017. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment* 574: 1131–1139.
- Aliyu M, Hassan G, Said SA, Siddiqui MU, Alawami AT and Elamin IM, 2018. A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable Sustainable Energy Reviews* 87: 61–76.
- Anonymous, 2013. Development prospect document of Abarkuh city. Deputy of Planning of Yazd Governorate, Abarkuh Governorate. (In Persian with English abstract)
- Azizi Gh, Nazif S and Abbasi F, 2016. Evaluation of operation performance of dams of Urmia Basin with system dynamics approach. *Geographic Study of Arid Areas* 7(25): 48-63.

- Dai S, Li L, Xu H, Pan X and Li X, 2013. A system dynamics approach for water resources policy analysis in arid land: a model for Manas River Basin. *Arid Land* 5(1): 118-131.
- Gorjian S and Ghobadian B, 2015. Solar desalination: a sustainable solution to water crisis in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48: 571-584. (In Persian with English abstract)
- Islami H, Almodaresi A, Khosravi R, Fallahzadeh R, Peyravi R and Taghavi M, 2017. Evaluation of groundwater quality of Yazd-Ardakan plain for agricultural purposes using GIS geographic information system. *Journal of Health* 8(5): 586-575. (In Persian with English abstract)
- Jobbins G, Kalpakian J, Chriyaa A, Legrouri A and El Mzouri EH, 2015. To what end? Drip irrigation and the water-energy-food nexus in Morocco. *International Journal of Water Resources Development*. 31 (3): 393-406.
- Khiareddine A, Salah CB, Rekioua D and Mimouni MF, 2018. Sizing methodology for hybrid photovoltaic/wind/hydrogen/battery integrated to energy management strategy for pumping system. *Energy* 153: 743-762.
- Li X, 2014. Understanding the water-energy nexus: a case study of Ningxia. Master Thesis. Uppsala University, Sweden.
- Mabrey D and Vittorio M, 2018. Moving from theory to practice in the water-energy-food nexus: an evaluation of existing models and frameworks. *Water-Energy Nexus* 1: 17-25.
- Mortazavizadeh F, Fatahi A and Shamsniya A, 2013. Decreasing the underground water level and subsidence in Abarkouh plain. The 2nd National Conference on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Areas. Islamic Azad University, Abarkuh branch, Abarkuh. (In Persian with English abstract)
- Naseri HR, Adinehvand R and Salavitabar A, 2013. Using system dynamics to predict behavior and determine the permitted exploitation of Tabriz plain aquifer. *Journal of Science Kharazmi University* 4(13): 937-950. (In Persian with English abstract)
- Nazari R, Adinehvand R and Mashayekhi T, 2012. Designing a network for quantitative and qualitative monitoring of groundwater resources case study: Abarkuh Plain. 31th Symposium of Geosciences, Tehran. (In Persian with English abstract)
- Nikolaou I, Evangelinos K and Leal Filho W, 2015. A system dynamic approach for exploring the effects of climate change risks on firms' economic performance. *Cleaner Production* 103: 499-506.
- Nozari H and Mohseni V, 2016. Application of the system dynamics method in simulation and optimization of irrigation and drainage network irrigation and drainage network right in Isfahan Cascade. *Journal of Soil and Water* 3(3): 3-10. (In Persian with English abstract)
- Pacetti T, Lombardi L and Federici G, 2015. Water-energy Nexus: a case of biogas production from energy crops evaluated by water footprint and life cycle assessment (LCA) methods. *Cleaner Production* 101: 278-291.
- Ravar Z, Zahraei B, Sharifinejad A, Gozini H and Jafari S, 2020. System dynamics modeling for assessment of water-food-energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Ecological Indicators* 108: 1-18. (In Persian with English abstract)
- Smajgl A, Ward J and Pluschke L, 2016. The water-food-energy Nexus-Realizing a new paradigm. *Journal of Hydrology* 533: 533-540.
- Vilanova MN and Balestieri JP, 2015. Exploring the water-energy nexus in Brazil: the electricity use for water supply. *Journal of Energy* 85: 415-432.
- Wang S, Cao T and Chen B, 2017. Water-energy nexus in China's electric power system. *Energy Procedia* 105: 3972-3977.
- Wei T, Lou I, Yang Z and Li Y, 2016. A system dynamics urban water management model for Macau, China. *Journal of Environmental Sciences* 50: 117-126.
- Xi X and Poh K, 2013. Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore. *Procedia Computer Science* 16: 157-166.
- Yang J, Lei K, Khu S and Meng W, 2015. Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model: a case study of Tieling City, China. *Journal of Water Resources Management* 29: 885-899.
- Yousofvand A, Golrizghashti F and Hoseini H, 2017. Dynamic model for assessing the performance of express post supply chain with the aim of enhancing customers' satisfaction. 13th International Industrial Engineering Conference, Mazandaran University, Mazandaran. (In Persian with English abstract)