Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.12, Issue 36, June 2023

Modeling of groundwater resources in Sirjan Basin using the dynamics systems method

Mohsen Pourkhosravani[1*], Fatemeh Jamshidi Gohari[2], Nasrin sayari[3], Saeedeh.Abedzadeh[4]

1. *Corresponding Author*, Associate Professor Department of Geography Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. MA student of natural hazard, Department of Geography Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3. Assistant Pprofessor Department of Water engineering. Faculty of Agriculture. Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
4. Master scientist of Water Resources Engineering, graduated from Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 10 April 2022
Revised: 12 October 2022
Accepted: 28 October 2022

Keywords:
System Dynamics, Sustainable Development, Modeling, Water Resources Management, Sirjan Basin.

ABSTRACT

Due to the scarcity of surface water resources, groundwater plays an important role in human life, especially in arid and semi-arid regions. Since more than 60% of Iran is arid and semi-arid regions, the water supply in these areas, and especially the study area, depends on groundwater resources, so over-extraction of these valuable resources causes many crises. Therefore, modeling of these sources was considered by many researchers as well as the present study. This study tries to evaluate the stability of the aquifer in the future. Also, investigate the factors affecting the instability of groundwater resources in the study area. For this purpose, the study area was modeled using the dynamics method of systems, resources, and water consumption. Then, the results of model validation were presented using limit condition tests and sensitivity analysis. After determining the degree of reliability of the model, the scenarios were explained and the model was implemented to predict the groundwater level in the coming years. In the end, the sustainability index was calculated in each scenario, to examine the status of water sustainability in the coming years. The results of limit condition tests and sensitivity analysis showed that the model was in good agreement with reality. Also, after applying the scenarios, the results showed that the aquifer will become more unstable as the current situation continues. Agricultural consumption is one of the variables affecting the resource and consumption model, so by reducing this variable, the amount of sustainability will improve.

Cite this article: Pourkhosravani, M., Jamshidi Gohari, F., Sayari, N., & Abedzadeh, S. (2023). Modeling of groundwater resources in Sirjan Basin using the dynamics systems method. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(36), 99-114. DOI: 10.22111/jneh.2022.42067.1893

© Mohsen Pourkhosravani. Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2022.42067.1893

* Corresponding Author Email: pourkhosravani@uk.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۶، تیر ۱۴۰۲

ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز سیرجان با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها

محسن پورخسروانی[1*]، فاطمه جمشیدی گوهری[2]، نسرین سیاری[3]، سعیده عابدزاده[4]

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات طبیعی گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۴. کارشناس ارشد رشته مدیریت منابع آب، دانشکده ابوریحان، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۰۸/۰۶

واژه‌های کلیدی:
پویایی سیستم، توسعه پایدار، حوضه سیرجان، مدلسازی، ونسیم.

چکیده

آب‌های زیرزمینی با توجه به کمبود منابع آب سطحی نقش مهمی را در زندگی بشر امروز ایفا می‌نمایند و از آن‌جایی‌که بیش از ۶۰ درصد ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، تأمین آب در این مناطق و به‌خصوص منطقه مورد مطالعه بستگی مستقیم به منابع آب زیرزمینی داشته است. بدیهی است در صورت عدم مدیریت صحیح، برداشت مداوم از این منابع ارزشمند موجب بحران‌های جدی می‌شود. بنابراین مدلسازی این منابع مورد توجه پژوهشگران بسیاری و نیز این پژوهش قرار گرفت. این پژوهش سعی دارد به ارزیابی وضعیت پایداری آبخوان در آینده و عوامل مؤثر بر ناپایداری منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بپردازد. برای این منظور، با استفاده از روش پویایی سیستم (SD) و نرم‌افزار ونسیم به مدلسازی منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی سیرجان پرداخته شد. درادامه، پس از مشخص‌شدن درجه اطمینان از مدل، به تبیین سناریوها و اجرای مدل برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در سال‌های آتی پرداخته شد. در پایان، شاخص پایداری در هر سناریو محاسبه شد تا وضعیت پایداری آب در سال‌های آتی بررسی شود. پس از اعمال سناریوها، نتایج نشان داد که با ادامه وضعیت موجود وضعیت آبخوان ناپایدارتر خواهد شد و ازجمله متغیرهای برون‌زای مؤثر، مصارف کشاورزی می‌باشد.

استناد: پورخسروانی، محسن، جمشیدی گوهری، فاطمه، سیاری، نسرین، عابدزاده، سعیده. (۱۴۰۲). ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز سیرجان با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۶)، ۱۱۴-۹۹.

DOI: 10.22111/jneh.2022.42067.1893

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© محسن پورخسروانی*، فاطمه جمشیدی گوهری، نسرین سیاری، سعیده عابدزاده.

*- محسن پورخسروانی (نویسنده مسئول)

Email: pourkhosravani@uk.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مسئله آب به‌عنوان یک موضوع مهم در مباحث مذاکرات بین‌المللی قرار گرفته است. به‌تدریج با مشاهده پدیده‌های ناشی از نحوه بهره‌برداری، بحث مدیریت منابع آب به بالاترین رده‌های تصمیم‌گیری در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی رسیده است (عزیزی و همکاران،۱۳۹۴). اختلاف بین مقدار تأمین و تقاضای آب و رقابت رو به رشد بین بخش‌های مختلف اقتصادی بحران آفرین است. هنگامی که این عدم تعادل با سناریوهای مدیریتی قابل مهار نباشند، پیامدهای عدیده‌ای را می‌تواند ایجاد نماید که ساختار توسعه انسانی، محیطی، منطقه‌ای و جهانی را تحت‌الشعاع قرار دهد (گرلاک و مختاروف،۲۰۱۵). با توجه به این که بخش عمده‌ای عدم تعادل در منابع آب ناشی از چرخه‌ی آب‌شناسی و محدودیت‌های طبیعی و فیزیکی آن است، بخش دیگر عواقب ناشی از فعالیت‌ها و اقدامات بشری با بهره‌گیری بی‌رویه، غیراصولی و نامناسب از فناوری‌ها در عرصه‌ی استحصال منابع آب و عدم حضور نگرش سیستمی، پیامدهای منفی و مخربی را بر منابع محدود آبی تحمیل نموده است (مارستون و کای[1]،۲۰۱۶). با توجه مسائل بالا، جامعه منابع آب بر اهمیت مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی تاکید کرده است. بنابراین یافتن راه‌حل‌هایی برای تحقق پایداری آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های چندگانه بسیار مهم است (استوکستاد[2]،۲۰۲۰). روش پویایی سیستم در مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه، یکپارچه دیدن سیستم و درنظرگرفتن روابط و اندرکنش‌های میان اجزای مختلف آن می‌باشد. این روش یک ابزار مدیریتی است که علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده‌ی منابع آب براساس واقعیت، امکان دخالت کاربر در توسعه مدل را نیز فراهم می‌کند. همچنین، نگرش پویایی سیستم بهترین راه جهت برنامه‌ریزی پایدار در سطح حوضه آبریز با درنظرگرفتن اصول و مبانی آن است (میثاقی،۱۳۸۹). در حوضه آبریز سیرجان با توجه به افت شدید سطح آب آبخوان طی سال‌های اخیر و بحران آبی شکل‌گرفته، اگر تدبیری اندیشیده نشود فاجعه عمیق اتفاق خواهد افتاد. بنابراین نیاز شدید به یک مدل پویا از منابع آب در این حوضه آبریز احساس می‌شود. طی سال‌های گذشته، پژوهشگرانی در زمینه‌های متنوع مرتبط با آب، از این روش پویایی سیستم در مطالعاتشان استفاده نموده‌اند. پژوهشی از مدل ونسیم با توجه به پویایی بالای سیستم‌های مدیریت منابع آب برای مدل‌سازی سیستم منابع آب پایین‌دست سد کرخه استفاد کرد. پس از اعتبارسنجی مدل، شاخص‌های پایداری آب-های سطحی تحت سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شده و بسته‌های مختلف سیاست‌گذاری مورد بررسی قرار گرفت. درپایان، بسته‌های سیاست مربوط به هر سناریو براساس فرایند سلسه‌مراتب تحلیلی رتبه‌بندی شدند (عبادی و همکارانش،۲۰۱۵). در پژوهش دیگری در چین، با استفاده از شاخص کمبود آب به بررسی مدیریت پایدار آینده آب در این منطقه و مدل‌سازی کمی و تجزیه‌وتحلیل توسعه آب پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل‌سازی مدیریت آب بر اساس تئوری پویایی سیستم، بهره‌برداری پایدار از منابع آب را به‌دنبال خواهد داشت (هوان‌هوان و همکاران[3]،۲۰۱۶). در پژوهشی سه سناریوی گسترش کشت گندم، توسعه زیرساخت‌ها، مدیریت منابع آب و توسعه کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه ولتا با بهره‌گیری از روش پویایی سیستم‌ها مطالعه گردیدند. نتایج این مطالعه نشان داد که سناریوی توسعه زیرساخت‌ها گام مهمی در جهت بهبود کشاورزی منطقه و همچنین حفظ منابع آب

1-Marston and Cai
2-Stokstad
3-Huanhuan et al

می‌باشد (کوتیر و همکاران[1]،۲۰۱۶). در پژوهشی، ضمن مدل‌سازی سیستم سد مخزنی یا مچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره‌برداری، از مدل پویایی سیستم‌ها در محیط نرم‌افزار ونسیم استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که اعمال سیاست الگوی کشت بهینه پیشنهادی، سبب کاهش مصرف آب بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌گردد (فوتوکیان و همکاران[2]،۲۰۱۷). گروه دیگری ضمن بررسی بهره‌برداری از منابع آب در چین، شرایط عرضه و تقاضای آب را از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۰ با رویکرد پویایی سیستم شبیه‌سازی نموده‌اند. آن‌ها دریافتند راه اساسی برای پر کردن شکاف بین عرضه و تقاضای منابع آبی، بهبود شرایط تأمین آب است که بیشتر از کنترل تقاضای آن حائز اهمیت می‌باشد (سان و همکاران[3]،۲۰۱۷). در مطالعه دیگری، جهت شبیه‌سازی و ارزیابی شاخص تکاپوی آب سد مخزنی شهید یعقوبی، با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم نشان داد که با توجه به آب-دهی رودخانه و مقدار تقاضا برخی از ماه‌ها قادر به پاسخگویی مقدار نیاز کشاورزی پایین‌دست نمی‌باشد؛ اما در سایر مواقع علاوه بر تأمین نیاز کشاورزی پایین‌دست قادر به کمک در تأمین بخشی از نیاز کشاورزی دشت جنگل نیز می-باشد (صباغی و همکاران،۱۳۹۶). همچنین گروهی به مدل‌سازی پویایی نظام آب‌های زیرزمینی در آبخوان همدان-بهار پرداختند. نتایج نشان داد که با کنترل تقاضا و اتخاذ شیوه‌هایی چون افزایش تغذیه مصنوعی آبخوان و رشد تصفیه‌ی پساب‌های شهری و صنعتی تعادل آبخوان را می‌توان احیاء نمود (اسدآبادی و همکاران،۲۰۲۰). پژوهشگرانی در آفریقای جنوبی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به ارزیابی چهار سناریو تقاضای آب پرداختند و از شاخص عملکرد پایداری بهینه برای اولویت‌بندی سناریوها استفاده گردید (آمو و همکاران[4]،۲۰۲۰). کاربرد دیگر ونسیم در زمینه آب، ارزیابی ریسک طرح‌های توسعه منابع با شبیه‌سازی منابع و مصارف سواحل مکران و بندرعباس می‌باشد. در این پژوهش، پژوهشگران با استفاده از نتایج خروجی ونسیم و رویکرد نوین تحلیل درخت خطا به ارزیابی ریسک طرح‌های توسعه منابع آب در چارچوب توسعه پایدار پرداختند (عابدزاده و همکاران،۲۰۲۰). همچنین در پژوهشی ضمن شبیه‌سازی تخصیص آب‌های سطحی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم و شناسایی الگوهای رفتاری حوضه آبریز قروه دهگلان با توجه به بازخوردهای موجود در مدل و طبیعی نمودن تمام دبی‌ها و آمار کشاورزی، مقدار و محل حداکثر و حداقل برداشت را مشخص کردند (پایمزد،۱۴۰۰).گروهی به منظور مدلسازی سیستم‌های یکپارچه منابع آب حوضه بزرگ کارون ایران با رویکرد دینامیک سیستم از ونسیم استفاده کردند که تعاملات بین اجزای مختلف سیستم ازجمله پروژه‌های انتقال آب، سدها، شهری، صنعت، کشاورزی و پرورش ماهی و تقاضاهای زیست‌محیطی را در بر داشته است. شاخص‌های عملکرد مانند تنش آب کمی و کیفی، درآمد، هزینه و بهره‌وری در اینجا برای نشان‌دادن جنبه‌های مختلف اهداف پایداری استفاده شده‌اند (دهکردی و همکاران،۲۰۲۱). در مطالعه دیگری با توجه به کمبود منابع آب در حوضه کرخه، یک مدل دینامیک سیستم برای ظرفیت حمل منابع آب توسعه داده و تعادل بین عرضه و تقاضای آب را تحلیل می‌کند. نتایج نشان داد که ظرفیت حمل منابع آبی در حوزه هراز نمی‌تواند پاسخگوی تقاضای توسعه اجتماعی- اقتصادی در سال‌های آینده باشد (خلیلی و همکاران،۲۰۲۱). گروهی به منظور ارزیابی تأثیر مخزن بر سفره آب زیرزمینی از مدل شبیه‌سازی ونسیم استفاده کردند. در این مطالعه سناریوها بر مبنای شرایط تغییر اقلیم

1-Kotir et al
2-Fotookian et al
3-Sun et al
4-Amoo et al

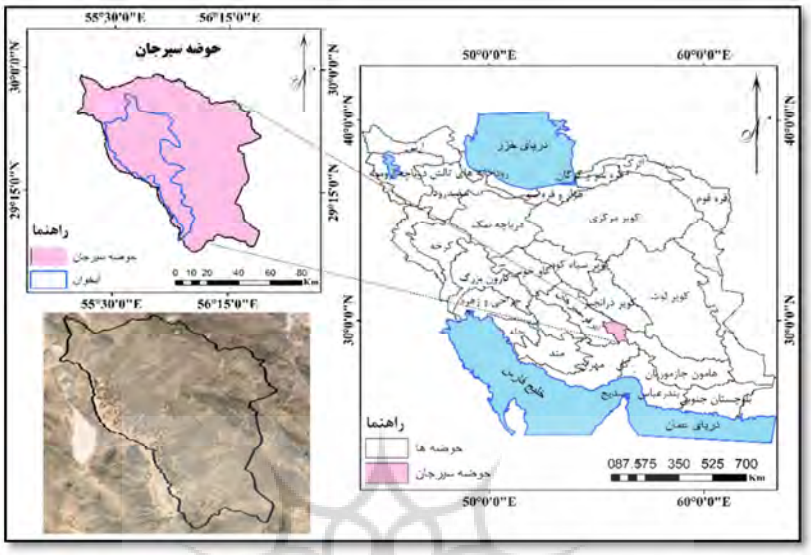
اتخاذ گردید (سردو و جلال‌کمالی،۲۰۲۲). گروه مطالعاتی به منظور داشتن چشم‌اندازی جامع برای تأمین نیازهای آبی، ابتدا به تجزیه‌وتحلیل اثرات اقلیم، سپس پیش‌بینی رواناب با شبکه عصبی مصنوعی و در نهایت به شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برای ارزیابی تعادل آب با استفاده از ونسیم پرداختند (باغنام و همکاران،۲۰۲۲).

جمع‌بندی پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که تاکنون در هیچ مطالعه‌ای، مدل‌سازی منابع و مصارف در سه زیرسیستم منابع سطحی، منابع زیرزمینی و مصارف و استفاده از شاخص پایداری "نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر واقعی" به‌طور هم‌زمان صورت نگرفته است. بنابراین این پژوهش قصد دارد با درنظرگرفتن فاکتورهای بالا به‌صورت توامان به پیش‌بینی پایداری منابع زیرزمینی و ارزیابی سناریوهای مدیریتی بپردازد.

داده‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سیرجان واقع در استان کرمان با مساحت حدود ۷۹۴۲/۹ کیلومتر مربع در بین ۵۵ درجه ۱۵ دقیقه تا ۵۶ درجه ۲۷ دقیقه طول شرقی و همچنین بین ۲۸ درجه ۵۲ دقیقه تا ۲۹ درجه ۵۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است که دارای ۴ ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. در بالادست محدوده مطالعاتی سیرجان، هیچ محدوده مطالعاتی واقع نشده است. بنابراین هیچ جریانی وارد منطقه مورد مطالعه نمی‌شود؛ اما با توجه به مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب در محدوده مطالعاتی از سال آبی۴۶-۱۳۴۵ تا ۹۰-۱۳۸۹ متوسط سالانه خروجی از حوضه آبریز سیرجان معادل ۱۵/۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. جریان‌های سطحی خروجی از محدوده مطالعاتی سیرجان وارد محدوده مطالعاتی کویر سیرجان می‌شوند. سدهای تنگوئه و شمس‌آباد ازجمله سدهای موجود در محدوده مطالعاتی مورد مطالعه می باشند که متوسط سالانه برداشت از این سدها جهت مصارف مختلف معادل ۲۸/۸۳ میلیون مترمکعب می‌باشد (گزارشات بیلان منابع آب،۱۳۹۰). محدوده مطالعاتی سیرجان با کد ۴۴۱۹ که دارای وسعت ۷۹۴۲/۹ کیلومترمربع می‌باشد، دارای آبخوانی آبرفتی آزاد با وسعت ۲۰۰۹ کیلومترمربع و ضریب ذخیره ۷٪ می‌باشد. اولین دوره آماربرداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی سیرجان مربوط به سال ۱۳۴۷ می‌باشد. براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از گزارشات بیلان منابع آب، مقدار حجم آب ورودی و خروجی به آبخوان سیرجان از حوضه‌های مجاور به ترتیب ۲۱/۲ و ۲/۰۱ میلیون مترمکعب می‌باشد (گزارشات بیلان منابع آب،۱۳۹۰).



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه. *منبع: نگارندگان ۱۴۰۰*

هدف کلی در پژوهش پیش رو، پیش‌بینی پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز سیرجان و اولویت‌بندی سیاست-های مدیریتی با استفاده از روش پویایی سیستم در محیط نرم‌افزاری ونسیم می باشد. این پژوهش مبتنی بر روش-های توصیفی و تحلیلی است. در این پژوهش کلیه داده‌ها مورد نیاز از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان اخذ شد و جهت تحلیل داده‌ها از روش پویایی سیستم‌ها و نرم‌افزار ونسیم استفاده شد.

براساس روش‌های پویایی سیستم، مدل‌سازی به‌صورت گام به گام انجام می‌گیرد. پس از طی‌کردن گام‌های پژوهش با استفاده از خروجی مدل و شاخص پایداری، اولویت‌بندی سناریوها و تعیین پارامتر مؤثر بر ناپایدرای صورت می‌گیرد. گام‌های پژوهش عبارتند از:

الف- تعریف مسئله: مدل پویایی سیستم، درصدد تحلیل مسئله به‌صورت پویا می‌باشد. به عبارتی دیگر مسئله به صورت یک الگوی رفتاری طی زمان درنظر گرفته می‌شود. این الگو بیانگر چگونگی به‌وجودآمدن مسئله و نحوه بروز آن در آینده می‌باشد. بنابراین، بایستی الگویی به‌عنوان الگوی مرجع تعیین نمود و آنقدر سیستم را تغییر داد تا نتایج با الگوی مرجع تطابق یابد. در این مطالعه الگوی مرجع افت‌وخیز تراز آب زیرزمینی می‌باشد.

ب- محدوده زمانی: محدوده زمانی برای نشان دادن چگونگی طرح مسئله و توصیف نشانه‌های آن، بایستی به اندازه کافی در تاریخ بسط داده شود. دوره زمانی مورد استفاده در این مطالعه به منظور آموزش سیستم پویا از سال آبی۸۱-۱۳۸۰ شروع شده و تا سال آبی۹۷-۱۳۹۶ ادامه دارد. سال ۱۳۹۷ و سال ۱۴۱۴ به‌ترتیب به‌عنوان سال مبنا و افق طرح برای اجرای سناریوهای مدیریتی انتخاب شده‌اند.

ج- مدلسازی زیرسیستم منابع آب سطحی: این زیرسیستم شامل متغیرهای ورودی و خروجی به منابع سطحی می‌باشد.

- متغیر تبخیر از سدها

- متغیر حجم خروجی از سدها
- متغیر میزان خروجی آب سطحی به حوضه مجاور
- متغیر میزان ورودی آب سطحی از حوضه مجاور

- متغیر حجم رواناب: با داشتن مساحت حوضه آبریز و با ضرب آن در متوسط بارش سالیانه، میزان حجم بارش (Vp) محاسبه می‌شود. بنابراین، برای محاسبه میزان حجم رواناب حوضه (VR) بایستی از ضریب رواناب (CR) و رابطه ذیل استفاده گردد.

$$V_R = V_P \times C_R \quad (۱)$$

د- مدلسازی زیرسیستم منابع آب زیرزمینی: به منظور مدلسازی منابع آب زیرزمینی بایستی از معادله کلی بیلان آب آبخوان مطابق ذیل عمل کرد (گزارش بیلان آب مهندسین مشاور آبخوان،۱۳۹۲).

$$\Delta V = Qpi+Qsi+Qus+Qr-ET-Quo-Qd-Qdr \quad (۲)$$ (تغییرات حجم ذخیره آبخوان)

ضریب نفوذ بارش× حجم بارش=Qpi (حجم نفوذ عمقی به آبخوان)

Qsi = (حجم نفوذ از رواناب به آبخوان) = (حجم رواناب خروجی- حجم بهره‌برداری از رواناب- حجم کل رواناب) × ضریب رواناب

Qus (حجم جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان)

Qr (حجم آب برگشتی) = ضریب کاهنده آب برگشتی × (حجم آب مصرفی- حجم آب بهره‌برداری)

Quo (حجم جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان)

ET (تبخیر) ~ عمق سطح آب، درجه حرارت، شرایط خاک = هنگامی که سطح آب زیرزمینی کمتر از ۵ متر باشد صرف‌نظر می‌شود.

Qd (حجم بهره‌برداری از آبخوان)

Qdr (حجم زهکشی آبخوان) = هنگامی که ناچیز باشد یا زهکشی به رودخانه‌ها وجود نداشته باشد صرف‌نظر می‌شود.

ه- مدلسازی زیرسیستم مصارف: این زیرسیستم از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت تشکیل می‌شود که محاسبه هریک از مصارف در ادامه به تفکیک شرح داده می‌شود.

- مصارف کشاورزی: مصارف کشاورزی از حاصل‌ضرب نیاز خالص آبی دشت در سطح زیرکشت کل به‌دست می‌آید که به الگوی کشت بستگی دارد. همچنین با ضرب نیاز خالص آبی الگوی کشت در ضریب بازدهی کشاورزی مقدار ناخالص آب مصرفی کشاورزی به‌دست می‌آید.

- مصارف شرب: برای مدلسازی این بخش از دو زیرسیستم جمعیت و مصرف سرانه آب در روز استفاده می‌گردد که به‌صورت ذیل شرح داده خواهند شد.

- جمعیت: با اعمال نرخ متوسط رشد سالانه در جمعیت حوضه آبریز و در سال پایه، مقدار رشد خالص جمعیت و به تبع آن جمعیت به ازای سال‌های مختلف به‌دست خواهد آمد.

- متوسط مصرف سرانه آب: با اعمال نرخ رشد متوسط مصرف سرانه در متغیر مصرف سرانه آب در روز در سال پایه، رشد متوسط مصرف سرانه به‌دست خواهد آمد و به‌دنبال آن مصرف سرانه آب در روز در سال‌های آتی به‌دست می-آید. با داشتن مصرف سرانه آب در روز می‌توان مصرف سرانه آب در سال را نیز محاسبه کرد. ولی برای به‌دست‌آوردن مصرف خالص شرب بایستی از ضریبی به نام ضریب مصرف خالص استفاده کرد.

- مصارف صنعت: میزان بهره‌برداری‌شده در بخش صنعت به ازای سال‌های مختلف در آب منطقه‌ای موجود است. با داشتن اطلاعات مصرفی صنعت و اعمال فاکتور مصرف خالص، مقدار مصرف صنعت به‌دست می‌آید و در مدل لحاظ می‌گردد.

و- آزمون مدل: به مقایسه رفتار شبیه‌سازی‌شده با رفتار واقعی سیستمی، آزمون مدل می‌گویند. بدین منظور روش-های مختلفی وجود دارند که به کمک آنها به ارزیابی عدم قطعیت فرضیه‌ها، هم‌پارامتری و هم‌ساختاری مدل پرداخته می‌شود. ازجمله این روش‌ها، می‌توان به آزمون شرایط حدی و آنالیز حساسیت اشاره کرد.

- آزمون شرایط حدی: هدف در این روش، کنترل مقادیر خروجی یا متغیر مرجع تحت شرایط حدی می باشد. برای مثال، هنگامی که مقدار تغذیه به آبخوان به صفر تقلیل یابد بایستی مقدار تراز آبخوان در صورت ثابت‌بودن سایر پارامترها کاهش یابد.

- آنالیز حساسیت: در این روش می‌توان اثر هر متغیر که دارای عدم قطعیت می‌باشد را بر تغییرات متغیرهای مرجع بررسی و اثرات بازخوردی آن‌ها را مشاهده کرد.

ز- سناریوها و سیاست‌ها: سناریوهای مدیریتی مبتنی بر پارامترهای برون‌زای مدل که قابل‌تغییر توسط سیاست-گذار در منطقه می‌باشد، تولید می‌گردد. یکی از پارامترهای برون‌زا در مدل بالا مصارف کشاورزی می‌باشد که با رویکرد نیل به توسعه پایدار منابع آب، اثرات خود را بر مدل وارد می‌نمایند. بنابراین در این پژوهش با فرض ثابت-بودن شرایط معمول بارش و سایر مصارف شرب و صنعت و همچنین اتخاذ سیاست‌های مختلف مدیریتی به بررسی ۴ سناریو پرداخته شده است.

- سناریوی اول: ادامه وضع موجود

- سناریوی دوم: کاهش ۱۰ درصدی مصارف کشاورزی

- سناریوی سوم: کاهش ۲۰ درصدی مصارف کشاورزی

- سناریوی چهارم: کاهش ۷۰ درصدی مصارف کشاورزی

ح- شاخص توسعه پایدار: گفتنی است که جهت نیل به هدف توسعه پایدار از یکی از شاخص‌های سنجش پایداری منابع آب با نام نسبت "آب مصرفی به آب تجدیدپذیر واقعی" در هر سناریو بهره خواهیم برد. به مقدار آبی که حوضه طی چرخه آبی سالانه توانایی بازیابی آن را داشته باشد، آب تجدیدپذیر می‌گویند. گفتنی است تمامی این مقادیر آب تجدیدپذیر قابلیت دسترسی ندارند. بنابراین متغیری به نام منابع آب قابل بهره‌برداری وجود دارد که به فاکتورهایی مثل امکان اقتصادی و فیزیکی ذخیره سیلاب، امکان استخراج آب زیرزمینی، امکان جذب آب جاری قبل از خروج آن از حوضه و یا آزادسازی حداقل جریان لازم برای پایین‌دست (حقابه) بستگی دارد (میثاقی و همکاران،۱۳۹۳).

$$Rw = (R+I)+(R_I+G_i)-(Ro+Go) \quad (۳)$$

که:

Rw : آب تجدیدپذیر واقعی (میلیون متر مکعب)

R : میزان رواناب حاصل از بارش در حوضه آبریز (میلیون متر مکعب)

I : میزان نفوذ حاصل از بارش در حوضه آبریز (میلیون متر مکعب)

Ri : رواناب ورودی از حوضه‌های مجاور (میلیون متر مکعب)

Gi : آب زیرزمینی ورودی از حوضه‌های مجاور (میلیون متر مکعب)

R_o : رواناب خروجی به حوضه‌های مجاور (میلیون متر مکعب)

G_o : آب زیرزمینی خروجی به حوضه‌های مجاور (میلیون متر مکعب)

یافته‌های پژوهش

الف- وضعیت آب‌وهوایی و اقلیمی

با استفاده از آمار و اطلاعات سالانه پردازش‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی کشور و ایستگاه‌های تبخیرسنجی وزارت نیرو، مقدار متوسط بارش در محدوده مطالعاتی و تبخیر از سدهای محدوده مطالعاتی به ترتیب ۱۴۳۰ و ۲/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.

ب- مدلسازی زیرسیستم منابع آب سطحی:

براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از گزارشات بیلان آب، مقدار آب سطحی خروجی از حوضه، حجم خروجی از سدها و تبخیر از سدها به ترتیب ۱۵/۱، ۲۸/۸۳ و ۲/۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که این مقدار در طول دوره زمانی کالیبراسیون مدل و پیش‌بینی مدل به‌دلیل عدم وجود اطلاعات کافی ثابت درنظر گرفته شده است. همچنین به‌دلیل عدم وجود حوضه در بالادست، جریانی وارد حوضه نمی‌شود، پس متغیر ورودی آب سطحی از حوضه مجاور در مدلسازی درنظر گرفته نشده است. همچنین براساس اطلاعات گرفته‌شده از گزارشات بیلان، مساحت حوضه آبریز سیرجان ۷۹۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد و ضریب رواناب (نسبت مقدار حجم رواناب تولیدی به کل بارش) با توجه به اطلاعات گزارشات بیلان آب برابر ۰/۰۵۳ درنظر گرفته شد. براساس این اطلاعات و رابطه ۱ متوسط رواناب سالانه حوضه برابر ۷۴/۰۴ میلیون مترمکعب می‌باشد.

ج- مدلسازی زیرسیستم منابع آب زیرزمینی:

همان‌طورکه در بخش‌های قبلی بیان شد مدلسازی زیرسیستم منابع آب زیرزمینی براساس معادله بیلان کلی آب آبخوان (رابطه۲) انجام می‌گردد. در ادامه مقادیر مورد نیاز برای محاسبه پارامترهای معادله بیلان براساس گزارشات بیلان منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

برای محاسبه متغیرهای تغذیه آب زیرزمینی، پارامترهایی چون مقدار آب زیرزمینی ورودی به حوضه (Qus)، مقدار ضریب نفوذ عمقی (نسبت مقدار نفوذ بارش به کل حجم بارش) و مقدار ضریب نفوذ رواناب به آب زیرزمینی (نسبت

مقدار نفوذ رواناب به کل رواناب) مورد نیاز است که براساس اطلاعات بیلان آب و معادلات ارائه‌شده در بخش مواد و روش‌ها، این مقادیر به ترتیب معادل۲۱/۲ میلیون مترمکعب، ۰/۰۰۳۷ و ۰/۳۹ برآورد گردیده‌اند. لازم به یادآوری است که متغیر Qus در طول دوره زمانی کالیبراسیون مدل و پیش‌بینی مدل به‌دلیل عدم وجود اطلاعات کافی ثابت درنظر گرفته شده است. همچنین برای محاسبه متغیر میزان آب برگشتی به آبخوان (Qr)، به منظور دستیابی به ضریب کاهنده از روش مهندسی معکوس رابطه ۴ استفاده شده است. به‌عبارتی‌دیگر با داشتن مقدار آب برگشتی، مقدار کل آب مصرفی و مقدار کل آب بهره‌برداری‌شده در سال پایه دوره شبیه‌سازی (سال۱۳۹۷)، مقدار ضریب کاهنده آب برگشتی معادل ۱/۲۵ به‌دست آمد. با داشتن مقدار ضریب کاهنده، پس از محاسبه مقدار آب خالص مصرفی و آب بهره‌برداری‌شده در مدل ونسیم به ازای سال‌های مختلف، مقدار آب برگشتی در هرسال برآورد شد.

براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از گزارشات بیلان آب، مقدار آب زیرزمینی خروجی از حوضه معادل ۲/۰۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که این مقدار در طول دوره زمانی کالیبراسیون مدل و پیش‌بینی مدل به‌دلیل عدم وجود اطلاعات کافی ثابت درنظر گرفته شده است. همچنین نحوه محاسبه متغیر بهره‌برداری سالانه (برداشت چاه و چشمه و قنات) در مدل منابع و مصارف آب به‌گونه‌ای است که ابتدا نیازها از منابع سطحی تأمین گردیده و سپس از منابع زیرزمینی تأمین می‌گردند. گفتنی است مقادیر بهره‌برداری از منابع سطحی در این مطالعه ثابت فرض شده‌اند. از دیگر متغیرهای تخلیه آب زیرزمینی می‌توان به تبخیر و تعرق و حجم زهکشی آبخوان اشاره کرد که در این مطالعه به ترتیب به‌دلیل پایین بودن سطح آب و ناچیز بودن در محاسبه بیلان لحاظ نگردیدند.

د- زیرسیستم مصارف مختلف

مقدار بازدهی کشاورزی، نیاز ناخالص کشاورزی و میزان بهره‌برداری صنعت طبق گزارشات بیلان به ترتیب معادل ۶۶٪ ، ۳۵۴/۹۷ و ۱۱/۱۴ میلیون مترمکعب می‌باشد که این مقادیر در طول دوره زمانی کالیبراسیون مدل و پیش-بینی مدل به‌دلیل عدم وجود اطلاعات کافی ثابت درنظر گرفته شده است.

همان‌طورکه در بخش قبلی شرح گردید، برای مدلسازی مصارف شرب از دو زیرسیستم جمعیت و مصرف سرانه آب در روز استفاده گردید. برای اجرای زیرسیستم جمعیت مقدار نرخ رشد متوسط معادل ۰/۰۱ و جمعیت در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ به ترتیب معادل ۱۹۳۶۷۵ و ۳۲۴۱۰۳ نفر به‌دست آمد. همچنین اطلاعات پایه زیرسیستم مصرف سرانه آب در روز برای متغیر نرخ رشد متوسط مصرف سرانه و مقدار سرانه مصرف روزانه آب شهری در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۰/۰۰۵، ۱۴۵ و ۱۷۰ می‌باشد. با داشتن مصرف سرانه آب در روز، مصرف سرانه آب در سال محاسبه شد. همچنین برای به‌دست آوردن مصرف خالص شرب از ضریبی به نام ضریب مصرف خالص استفاده شد. مقدار این ضریب از روش سعی و خطا معادل ۰/۱۸ به‌دست آمد.

ه- متغیرهای مدل به همراه فرض‌های لحاظ‌شده

متغیرهای حالت و ثابت در ونسیم به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده‌اند و فرض‌های مدل عبارتند از:

- از برداشت‌های احتمالی غیرمجاز در مدلسازی چشم‌پوشی شده است و کاهش منابع آب زیرزمینی براساس میزان تقاضا درنظر گرفته شده است.

- از متغیرهای کیفی جهت ساده‌سازی و فعالیت‌های اقتصادی به‌دلیل عدم وجود سیاست‌های اقتصادی در مدل منابع و مصارف صرف‌نظر شده است.

- مقدار آب‌های زیرزمینی و سطحی ورودی و خروجی از حوضه در طول دوره زمانی ثابت فرض شده است.

- مساحت آبخوان ثابت فرض شده است، به‌عبارتی دیگر اثر کاهش سطح آبخوان به‌علت پایین آمدن سطح آب زیرزمینی در مدل لحاظ نشده است.

- در تدوین سناریوها مصارف شرب و صنعت به‌دلیل ساده‌سازی و کاهش تعداد زیاد سناریوها ناشی از حالت‌های مختلف قابل بررسی، ثابت فرض شده است.

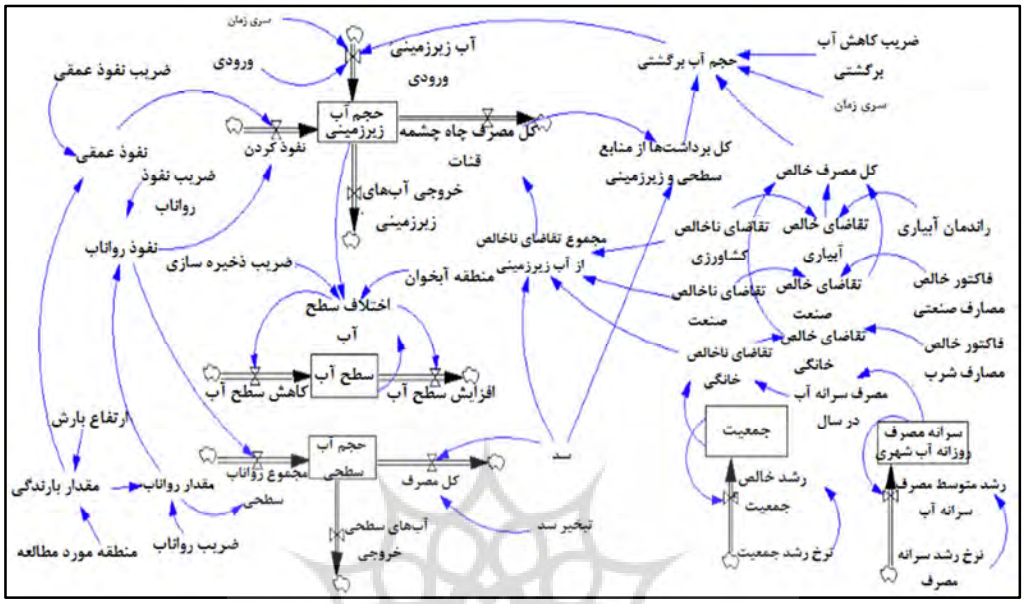
جدول ۱: مقادیر اولیه متغیرهای حالت در مدل منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی سیرجان

متغیر حالت	معادل انگلیسی در مدل ونسیم	سال ۱۳۸۱	سال۱۳۹۷	مأخذ
حجم آب سطحی	surface water	۴/۴۳	۴/۴۳	گزارش بیلان
سرانه مصرف روزانه آب شهری	water per capita consumption	۱۴۵	۱۷۰	آب و فاضلاب کرمان
حجم آب زیرزمینی	GW volume	۲۴۱۴۶۷	۲۳۹۴۶۲	گزارش بیلان
جمعیت	Population	۱۹۳۶۷۵	۳۲۴۱۰۳	سالنامه
تراز آب زیرزمینی	Gw level	۱۷۱۷/۰۳۵	۱۷۰۴/۹۱۴	گزارش بیلان

جدول۲: مقادیر ثابت در مدل منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی سیرجان

متغیر ثابت	معادل انگلیسی در مدل ونسیم	مقدار	مأخذ
ضریب رواناب	runoff coefficient	۰/۰۵۳	گزارش بیلان آب
ضریب نفوذ رواناب	runoff infiltrate C	۰/۳۹	گزارش بیلان آب
ضریب نفوذ عمقی	deep infiltrate C	۰/۰۰۳۷	گزارش بیلان آب
ضریب کاهشی آب برگشتی	decreasing coefficient for return water	۱/۲۵	آزمون سعی و خطا
فاکتور خالص مصارف صنعتی	industry uses pure factor(ind)	۰/۳	آزمون سعی و خطا
نرخ رشد سرانه مصرف	water per capita consumption rate	۰/۰۰۵	آزمون سعی و خطا
فاکتور خالص مصارف شرب	domestic uses pure factor	۰/۱۸	آزمون سعی و خطا
راندمان آبیاری	irrigation efficiency	۰/۶۶	گزارش بیلان آب

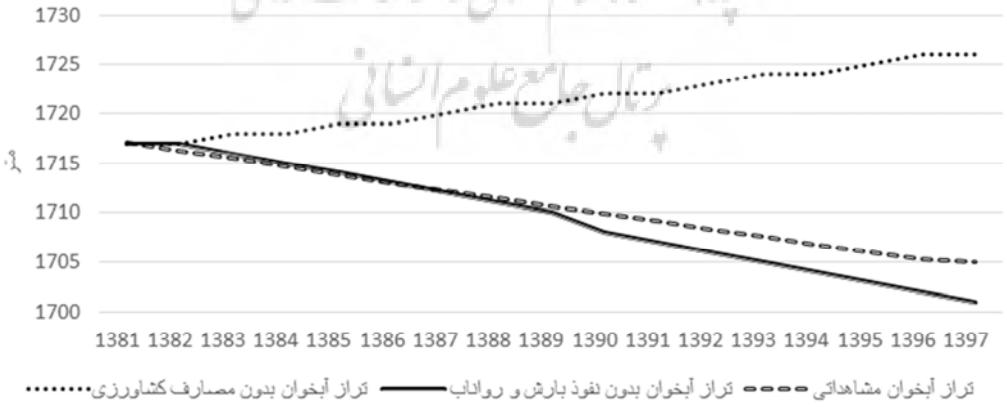
پس از مدلسازی زیرسیستم‌ها، مدل منابع و مصارف آب سیرجان نهایی شد و شکل ۲ شمایی از مدل منابع و مصارف آب حوضه آبریز سیرجان را نشان می‌دهد.



شکل ۲: شمایی از مدل منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی سیرجان. *منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰*

و- نتایج آزمون مدل

نتایج صحت‌سنجی مدل منابع و مصارف حوضه سیرجان، تحت دو آزمون شرایط حدی و آنالیز حساسیت در شکل ۳ و جدول۳ قابل مشاهده می‌باشد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از روند تغییرات تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه-سازی، مقدار RMSE[1] بین تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده برابر ۰/۵۶ برآورد گردید (شکل ۴).

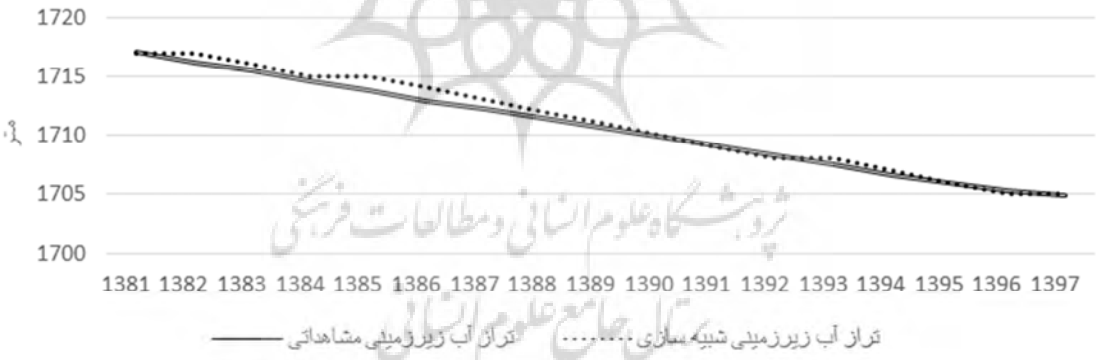


شکل ۳: روند تراز آبخوان مشاهداتی و تراز آبخوان در سناریوهای مختلف آزمون شرایط حدی

[1] Root-Mean-Square Error=جذر میانگین مربعات خطا

جدول۳: نتایج آزمون‌های آماری آنالیز حساسیت مدل نسبت به متغیرهای ثابت

متغیر ثابت	معادل انگلیسی در مدل ونسیم	پارامتر			
ضریب نفوذ رواناب	runoff infiltrate C	مقدارمتغیر	۰/۳۸۰	۰/۳۹۰	۰/۴۰۰
		RMSE	۰/۵۷۸	۰/۵۶۱	۰/۵۷۸
ضریب نفوذ عمقی	deep infiltrate C	مقدارمتغیر	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
		RMSE	۰/۶۰۳	۰/۵۶۱	۰/۵۷۸
ضریب رواناب	runoff coefficient	مقدارمتغیر	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۴
		RMSE	۰/۶۰۳	۰/۵۶۱	۰/۵۷۸
ضریب کاهنده آب برگشتی	decreasing C for return water	مقدارمتغیر	۱/۲۰۰	۱/۲۵۰	۱/۳۰۰
		RMSE	۰/۶۲۰	۰/۵۷۸	۰/۸۰۲
فاکتور خالص مصارف شرب	domestic uses pure factor	مقدارمتغیر	۰/۱۵۰	۰/۱۸۰	۰/۲۵۰
		RMSE	۰/۵۷۸	۰/۵۶۱	۰/۶۰۳
فاکتور خالص مصارف صنعتی	industry uses pure factor	مقدارمتغیر	۰/۲۰۰	۰/۳۰۰	۰/۴۰۰
		RMSE	۰/۵۷۸	۰/۵۶۱	۰/۶۰۳
راندمان آبیاری	irrigation efficiency	مقدارمتغیر	۰/۶۴۰	۰/۶۶۰	۰/۷۰۰
		RMSE	۰/۹۵۶	۰/۵۶۱	۱/۰۹۳
نرخ رشد سرانه مصرف	water per capita uses rate	مقدارمتغیر	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰
		RMSE	۰/۵۶۱	۰/۵۶۱	۰/۵۶۱



شکل۴: تراز آبخوان مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره زمانی۱۳۸۱-۱۳۹۷

ز- نتایج سناریوها و سیاست ها

پس از کالیبره کردن مدل و تعیین اعتبار مدل، سیاست‌ها تحت سناریوهای مختلف برای دوره زمانی۱۷ ساله از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۴ اعمال شد و نتایج تراز آبخوان به ازای هر سناریو در شکل ۵ ارائه گردیده است.

شکل ۵: تراز آبخوان شبیه سازی شده تحت سناریوهای مختلف

ح- نتایج شاخص توسعه پایدار

در بخش‌های قبلی چگونگی محاسبه شاخص پایداری به کلی شرح داده شد، نتایج بدست آمده در هر سناریو در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول۴. شاخص سنجش پایداری تحت سناریوهای مختلف و شرایط موجود

شاخص پایداری	کل برداشت‌ها	کل آب تجدید شونده	آب سطحی تجدید شونده	آب تجدید شونده زیر زمینی	زمان
۱/۳۱	۳۹۵/۸	۳۰۲/۱۵	۲۳/۴	۲۷۸/۷۵	۱۳۹۷در سال مبنا
۱/۳۷	۴۱۴/۹	۳۰۲/۱۵	۲۳/۴	۲۷۸/۷۵	سال۱۴۱۴در سناریوی۱
۱/۳۶	۴۱۱/۲	۳۰۲/۱۵	۲۳/۴	۲۷۸/۷۵	سال۱۴۱۴در سناریوی۲
۱/۳۱	۳۹۶/۸	۳۰۲/۱۵	۲۳/۴	۲۷۸/۷۵	سال۱۴۱۴در سناریوی۳
۰/۵۳	۱۵۹/۶	۳۰۲/۱۵	۲۳/۴	۲۷۸/۷۵	سال۱۴۱۴در سناریوی۴

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

نتایج و بحث

اعتبارسنجی یکی از مهم‌ترین گام‌ها پس از مدلسازی می‌باشد. بنابراین در این مطالعه در بخش آزمون شرایط حدی بر روی متغیرهای نفوذ (متغیر تغذیه به آبخوان) و مصارف کشاورزی انجام شد و رفتار متغیر افت و خیز سطح آبخوان مورد بررسی قرارگرفت. به‌گونه‌ای که مقدار افت‌وخیز سطح آبخوان را به ازای صفر شدن مقادیر نفوذ به آبخوان (سناریوی اول) و صفر شدن مصارف کشاورزی (سناریوی دوم) به‌دست آمد. انتظار می‌رود نتایج به‌گونه‌ای باشد که با صفر شدن مقدار نفوذ و مصارف کشاورزی به ترتیب مقدار تراز آبخوان کاهش و افزایش یابد که با توجه به شکل ۳ این انتظار برآورده شده است. به‌عبارتی دیگر، درسناریوی فرض صفر بودن مقادیر نفوذی به آبخوان، تراز آبخوان از ۱۷۱۷ متر در ابتدای دوره به ۱۷۰۱ متر در انتهای دوره رسید (کاهش) و با فرض صفر بودن مصارف کشاورزی، تراز آبخوان از ۱۷۱۷ به ۱۷۲۶ افزایش یافته است.

همچنین در آزمون آنالیز حساسیت مدل، مقدار متغیر ضریب کاهنده آب برگشتی، ضریب مصرف خالص آب شرب، ضریب مصرف خالص صنعت، راندمان آبیاری، نرخ رشد جمعیت، نرخ رشد سرانه مصرف روزانه شرب، ضریب رواناب، ضریب نفوذ رواناب و ضریب نفوذ عمقی بنابر تخمین خبره و سعی و خطا و انجام آزمون‌های آماری بین مقادیر

مختلف و با تطبیق با واقعیت تعیین گردید. به‌صورتی‌که مدل تحت ضرایب مختلف اجرا شده و در نهایت بهترین ضریب که تطابق خوبی با واقعیت داشت، در مدل اتخاذ گردید. نتایج آنالیز حساسیت مدل در جدول۳ آمده است و مقدار وسط در تمامی متغیرها به‌عنوان بهترین ضریب با کمترین RMSE مشخص گردید. برای مثال، مقدار ضریب نفوذ رواناب براساس گزارشات ۰/۳۹ گزارش شده است که به منظور تحلیل حساسیت، به مقدار ۰/۱ افزایش و کاهش داده شد و خطای شبیه‌سازی در هر دو حالت تقریبا به مقدار ۰/۲ افزایش یافت (۰/۵۶ به ۰/۵۸). بنابراین همان مقدار ۰/۳۹ گزارشات منابع آب در مدل لحاظ گردید. به همین ترتیب برای سایر ضرایب، متغیری که کمترین خطا را نشان دهد به‌عنوان متغیر ثابت مدل اتخاذ گردید.

با توجه به نتایج دو روش آزمون مدل بالا و شکل ۴ که RMSE (میانگین مربعات خطا بین تراز آبخوان مشاهداتی و شبیه‌سازی) برابر ۰/۵۶ را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل قابل‌استفاده برای ارزیابی سناریوهای مختلف می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل به ازای سناریوهای مختلف (شکل ۵)، بیانگر آن است که سناریوی اول (حفظ شرایط موجود) با ۱۳ متر افت (۱۷۰۵ متر به ۱۶۹۲ متر) در طول دوره شبیه‌سازی بیشترین افت را به خود اختصاص داده‌اند؛ اما تراز آب زیرزمینی در سناریوی چهارم که کاهش ۷۰٪ مصارف کشاورزی بوده است به مقدار۳ متر (۱۷۰۵ به ۱۷۰۸) افزایش یافته است. به‌عبارتی دیگر سناریوی چهارم سبب بهبود وضعیت آبخوان و فراهم‌سازی آمادگی‌های لازم برای شرایط بحرانی شده است؛ درحالی‌که سناریوی اول (حفظ شرایط موجود) بدترین نتیجه و بیشترین افت را در آبخوان نشان می‌دهد. سناریوی دوم و سوم به ترتیب ۱۲ و ۱۱ متر افت تراز را در طول دوره زمانی شبیه‌سازی به خود اختصاص داده‌اند و تفاوت چندانی با سناریوی حفظ شرایط موجود نداشته‌اند. براساس نتایج به‌دست‌آمده بهترین و بدترین سناریو به ترتیب سناریوی چهارم و سناریوی اول می‌باشد.

جدول۴، شاخص پایداری تحت سناریوهای مختلف و شرایط موجود را نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در سال مبنا (۱۳۹۷) مقدار شاخص پایداری ۱/۳۱ می‌باشد (مقدار استاندارد شاخص پایداری آبخوان ۰/۵ می‌باشد) که نشان از ناپایداری منابع آبی در منطقه است. با اعمال سناریوی اول (حفظ شرایط موجود) و افزایش نیازها در سال ۱۴۱۴ این شاخص به ۱/۳۷ رسیده و وضعیت آبخوان را ناپایدارتر می‌کند؛ درحالی‌که با کاهش مصارف کشاورزی در سناریوهای دوم و سوم و چهارم، شاخص پایداری بهبود یافته و به ترتیب به مقدار ۱/۳۶، ۱/۳۱ و ۰/۵۳ در سال ۱۴۱۴ رسیده‌اند. به‌طورکلی، سناریوی اول و سناریوی چهارم به ترتیب بدترین و بهترین شاخص پایداری آبخوان را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

در کشور ایران به‌دلیل پراکنده بودن و نابرابر بودن بارش در فصول مختلف سال، منابع آب زیرزمینی به‌دلیل دسترسی در تمامی فصول از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین پایداری این منبع با ارزش بایستی همیشه مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مطالعه به‌دلیل ناپایداری آبخوان سیرجان، وضعیت پایداری ادامه شرایط موجود و سناریوهای مدیریتی طی ۱۶ سال آتی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور مدل پویای منابع و مصارف آب طراحی شد. پس از اعمال سناریوها، نتایج نشان داد که با ادامه وضعیت موجود به‌دلیل افزایش جمعیت و به‌دنبال آن افزایش تقاضای آب، وضعیت آبخوان ناپایدارتر خواهد شد. بنابراین مدیران زیربط بایستی اقداماتی در خصوص پایدارسازی

منابع آب زیرزمینی مبذول فرمایند. ازجمله متغیرهای برون‌زای مؤثر بر مدل منابع و مصارف منطقه مورد مطالعه مصارف کشاورزی می‌باشد. به‌عبارتی دیگر با کاهش ۷۰٪ مصارف کشاورزی تراز آب زیرزمینی افزایش می‌یابد، پس با کاهش این متغیر مقدار پایداری بهبود خواهد یافت. بدین منظور مصارف کشاورزی کاهش داده شد تا شاخص پایداری آبخوان منطقه مورد مطالعه به مقدار استاندارد پایداری (۰/۵) رسید. پیشنهاد می‌گردد مدیران با اقداماتی چون تغییر کاربری اراضی، تغییر الگوی کشت، تغییر روش آبیاری سنتی به مدرن، تبدیل اراضی کشاورزی به گلخانه-های هیدروپونیک و توسعه صنعت گردشگری و صنایع دستی در منطقه مورد مطالعه به کاهش مصارف آب در بخش کشاورزی بپردازند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مطالعه از سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان به جهت همکاری در جمع‌آوری داده تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

پایمزد، شهلا (۱۴۰۰)؛ شبیه‌سازی تخصیص آب‌های سطحی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم و شناسایی الگوهای رفتاری (منطقه‌ی مطالعاتی: حوضه‌ی آبریز قروه دهگلان)، نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، جلد ۱۰، شماره۳۱، صص: ۱۴۱-۱۲۳.

صباغی، میلاد؛ شاه‌نظری، علی؛ ضیاعی، علی‌نقی (۱۳۹۶)؛ شبیه‌سازی و ارزیابی شاخص تکاپوی آب سد مخزنی شهید یعقوبی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، جلد۸، شماره۱۶، صص: ۱۹۹-۱۸۸.

عزیزی، قاسم، نظیف، سارا، عباسی، فائزه (۱۳۹۵)؛ ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از سدهای حوضه آبریز ارومیه با رویکرد پویایی سیستم‌ها، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، جلد۷، شماره۲۵، صص: ۶۳-۴۸.

میثاقی، علی (۱۳۸۹)؛ مدلسازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور)، پایان-نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، مشهد، اساتید راهنما: کامران داوری - سید مجید هاشمی نیا، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی.

میثاقی، علی؛ داوری، کامران؛ قهرمان، بیژن؛ هاشمی نیا، سید مجید (۱۳۹۳)؛ مدلسازی منابع آب با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور)، مجله علمی کشاورزی، جلد ۳۷، شماره‌ی ۳، صص: ۹۴-۸۳..

Abadi, L., Sadeghi, Kh., Shamsai, A., Goharnejad, H. (2015); An analysis of the sustainability of basin water resources using Vensim model, KSCE Journal of civil engineering, 19(6), 1941-1949.

Abdi-Dehkordi, M., Bozorg-Haddad, O., Salavitabar, A., Goharian, E. (2021); Developing a sustainability assessment framework for integrated management of water resources systems using distributed zoning and system dynamics approaches Environ Dev Sustain 23, 16246–16282.

Abedzadeh, S., Roozbahani, A., Heidari, A. (2020); Risk assessment of water resources development plans using fuzzy fault tree analysis, Water Resources Management, Vol. 34, 2549-2569.

Amoo, O. T., Nakin, M. D. V., Abayomi, A., Ojoubele, H. O., Salami, A.W. (2020); System Dynamics Approach for Evaluating Existing and Future Water Allocation Planning Among Conflicting Users, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 4, No. 3, pp 44-51.

Asadabadi, E., Asadi, A., Kalantari, K. (2020); Dynamic Modeling of the Groundwater System in Hamedan–Bahar Aquifer, Iranian Journal of Soil and Water Research, Vol. 50, No. 9, 2323-2340.

Fotookian, M. R., Safari, N., Zarghami, M. (2017); Using System Dynamics Modeling to Develop the Operation Policy for Yamchi Reservoir (Iran) by Applying Optimum Cropping Pattern, Iran - Water Resources Research, Vol. 13, No. 3, pp 1-16.

Gerlak, A. K. and Mukhtarov, F. (2015); 'Ways of knowing' water: Integrated water resources management and water security as complementary discourses, Int. Environ. Agreements: Politics Law Econ, Vol. 15, No. 3, pp 257-272.

Hosseini Baghanam, A., Seifi, A. J., Sheikhbabaei, A., Hassanzadeh, Y., Besharat, M., Asadi, E. (2022); Policy-Making toward Integrated Water Resources Management of Zarrine River Basin via System Dynamics Approach under Climate Change Impact. Sustainability, 14(6), 3376.

Huanhuan, Q., Baoxiang, Z., Fanhai, M. (2016); System Dynamics Modeling for Sustainable Water Management of a Coastal Area in Shandong Province, China, Journal of Earth Science and Engineering, Vol. 4, pp 226-234.

Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H., Zali, A. (2021); Evaluation of water supply and demand in Haraz basin with system dynamics model approach (Vensim), Journal of Environmental Science Studies, 6(2), 3518-3524.

Kotir, J. H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N., Johnstone, R. (2016); A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana, Science of the Total Environment, Vol. 573, pp 444-457.

Marston, L., and Cai, X. (2016); An overview of water reallocation and the barriers to its implementation, WIREs Water, Vol. 3, No. 5, pp 658-677.

Sardo, M. S., and Jalalkamali, N. (2022); A system dynamic approach for a reservoir impact assessment on groundwater aquifer considering climate change scenario. Groundwater for Sustainable Development, 17, 100754.

Stokstad, E. (2020); Deep deficit. Science, 368(6488), pp 230–233.

Sun, Y., Liu, N., Shang, J., Zhang, J. (2017); Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model, Journal of Cleaner Production, Vol. 142, No.2, pp 613-625.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Azizi, Qa., Nazif, S., Abbasi, F. (2016); Assessment of performance of Urmia basin dams using system dynamic approach. Arid Regions Geographic Studies, Vol. 7, No. 25, pp 48-63 [In Persian].

Misaghi, A. (2010); Water resources in Basin modeling by using system dynamic (Case Study: Neyshabur basin), Master Thesis in Irrigation and Drainage Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, p 96 [In Persian].

Misaghi, A., Davari, K., Ghahraman, B., Hashemi Nia, S. M. (2014); Modeling Water Resources in Using the dynamic system method Case study: Nishabur watershed, Scientific Journal of Agriculture, Vol. 37, No. 3, pp 83-94 [In Persian].

Paimozd, Sh. (2021); Simulating Surface Water Allocation and Identifying Systemic Archetype Using Vensim Software: A Case Study of Qorveh Dehgolan's Basin, Journal of Desert Ecosystem Engineering, Vol. 10, No. 31, pp 123-141 [In Persian].

Sabbaghi, M., Shahnazary, A., Ziaei, A. N. (2017); Simulation and Operation Evaluation of Shahid Yaghoobi Dam by using System Dynamic (Case study: Dam Shahid Yaghoobi), Journal of Watershed Management Research, Vol. 8, No.16, pp 188-199 [In Persian].

References (in English)

Abadi, L., Sadeghi, Kh., Shamsai, A., Goharnejad, H. (2015); An analysis of the sustainability of basin water resources using Vensim model, KSCE Journal of civil engineering, 19(6), 1941-1949.

Abdi-Dehkordi, M., Bozorg-Haddad, O., Salavitabar, A., Goharian, E. (2021); Developing a sustainability assessment framework for integrated management of water resources systems using distributed zoning and system dynamics approaches Environ Dev Sustain 23, 16246–16282.

Abedzadeh, S., Roozbahani, A., Heidari, A. (2020); Risk assessment of water resources development plans using fuzzy fault tree analysis, Water Resources Management, Vol. 34, 2549-2569.

Amoo, O. T., Nakin, M. D. V., Abayomi, A., Ojoubele, H. O., Salami, A.W. (2020); System Dynamics Approach for Evaluating Existing and Future Water Allocation Planning Among Conflicting Users, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 4, No. 3, pp 44-51.

Asadabadi, E., Asadi, A., Kalantari, K. (2020); Dynamic Modeling of the Groundwater System in Hamedan–Bahar Aquifer, Iranian Journal of Soil and Water Research, Vol. 50, No. 9, 2323-2340.

Fotookian, M. R., Safari, N., Zarghami, M. (2017); Using System Dynamics Modeling to Develop the Operation Policy for Yamchi Reservoir (Iran) by Applying Optimum Cropping Pattern, Iran - Water Resources Research, Vol. 13, No. 3, pp 1-16.

Gerlak, A. K. and Mukhtarov, F. (2015); 'Ways of knowing' water: Integrated water resources management and water security as complementary discourses, Int. Environ. Agreements: Politics Law Econ, Vol. 15, No. 3, pp 257-272.

Hosseini Baghanam, A., Seifi, A. J., Sheikhbabaei, A., Hassanzadeh, Y., Besharat, M., Asadi, E. (2022); Policy-Making toward Integrated Water Resources Management of Zarrine River Basin via System Dynamics Approach under Climate Change Impact. Sustainability, 14(6), 3376.

Huanhuan, Q., Baoxiang, Z., Fanhai, M. (2016); System Dynamics Modeling for Sustainable Water Management of a Coastal Area in Shandong Province, China, Journal of Earth Science and Engineering, Vol. 4, pp 226-234.

Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H., Zali, A. (2021); Evaluation of water supply and demand in Haraz basin with system dynamics model approach (Vensim), Journal of Environmental Science Studies, 6(2), 3518-3524.

Kotir, J. H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N., Johnstone, R. (2016); A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana, Science of the Total Environment, Vol. 573, pp 444-457.

Marston, L., and Cai, X. (2016); An overview of water reallocation and the barriers to its implementation, WIREs Water, Vol. 3, No. 5, pp 658-677.

Sardo, M. S., and Jalalkamali, N. (2022); A system dynamic approach for a reservoir impact assessment on groundwater aquifer considering climate change scenario. Groundwater for Sustainable Development, 17, 100754.

Stokstad, E. (2020); Deep deficit. Science, 368(6488), pp 230–233.

Sun, Y., Liu, N., Shang, J., Zhang, J. (2017); Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model, Journal of Cleaner Production, Vol. 142, No.2, pp 613-625.