ارائه مدلی جهت مدیریت مصارف آبی کشاورزی، صنعتی و خانگی ایران با ترکیب پویایی‌شناسی سیستم‌ها و الگوریتم ژنتیک

مریم موثقی گیلانی[1]، محمد علی افشار کاظمی(نویسنده مسئول)[2*]، محمد علی کرامتی[2]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

۲. دانشیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

ایمیل و تلفن نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳۳۳۶۷۳۱ ایمیل:dr.mafshar@gmail.com [۱]

Presenting a model for managing agricultural, industrial, and household water consumption in Iran by combining system dynamics and genetic algorithm

Movaseghi Gilani, Maryam[1], Afshar Kazemi, Mohamad Ali[2]*, Keramati, Mohamad Ali[2]

Authors:

1. Ph. D. Candidate of Industrial Management, Management Faculty, Islamic Azad University South Tehran Branch, Tehran, Iran.

2. Information Technology and Industrial Management, Management Faculty, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran

زودایند ویرایش نشده

Presenting a model for managing agricultural, industrial, and household water consumption in Iran by combining system dynamics and genetic algorithm

Abstract

Introduction: In this study, the country's water resources management system has been modeled using a system dynamics approach. After simulation, optimal water resources, social power of governance, government financial resources, and the rate of water migration have been determined based on the decision variables of household, agricultural, and industrial water tariffs. The optimal combined results suggest an 11%, 200%, and 200% increase in water tariffs for household, agricultural, and industrial sectors, respectively, over the next 5 years.

Methods: Initially, this study modeled and simulated the variables and feedback loops involved in water resources management using system dynamics tools. For optimization, two methods, genetic algorithm and the Simulation-optimization capability in the Vensim software, were employed. In the genetic algorithm, an initial population of 30 individuals and crossover and mutation probabilities of 83% and 17% were considered. The selection criterion for each chromosome is based on the roulette wheel method.

Results: The results indicate that optimization using the genetic algorithm results in an 89% increase in water resources behind dams compared to the baseline conditions, whereas the Vensim software output shows an 84% improvement. Overall, the genetic algorithm improves the objective function by 2% compared to the Vensim software's optimization output.

Conclusion: The results demonstrate that optimization with the genetic algorithm provides more acceptable outcomes compared to Vensim software. Additionally, after optimization, the best tariff policy for enhancing the objective function is a further increase in agricultural and industrial water tariffs compared to household tariffs.

Keywords: Water resource management; System dynamics; Genetic algorithm

ویرایش نشده

Introduction:
Water scarcity is one of the most pressing issues facing human societies in the 21st century. Population growth, industrial and agricultural activities, rapid urbanization, and severe climate conditions have all had a significant impact on limited water resources and the environment in river basins. Water consumption in Iran can be divided into three main sectors: agriculture, industry, and household use. According to reliable sources, from 2001 to 2017, the share of each sector's consumption was 82%, 14%, and 4%, respectively. Iran has been seriously facing water scarcity for over a decade. Therefore, it is of great importance to first understand the water resource management system and the influential and affected variables, and then conduct scientific studies on solutions to improve the country's water consumption pattern.
Bottom of Form
Materials and Methods:
The system dynamics technique was first developed in the late 1950s by a group of researchers led by Forrester at MIT based on systems thinking. Traditional approaches emphasize linear causality relationships, while the approach used in this study focuses on feedback between system variables. After simulating the model using system dynamics, the genetic algorithm was used to optimize the decision variables of the model. The genetic algorithm uses two concepts of crossover and mutation to identify the optimal point. Also, with the help of Vensim DSS software, the decision variables of the optimized model were compared with output of the genetic algorithm.
Genetic Algorithm and Simulation-optimization capability, were used in Vensim software to optimize the objectives of social power, financial resources, migration from water-scarce areas to regions with high water security, and water consumption based on decision variables such as the increase in agricultural, industrial, and household water tariffs. In the Genetic Algorithm, an initial population of 30 individuals and crossover and mutation probabilities of 83% and 17% respectively were used. The selection criterion for each chromosome is also based on the roulette wheel method. The Simulation-optimization capability in Vensim DSS software, provided by Ventana Systems, utilizes the Kalman-filtering algorithm.
Results:
The results obtained using these two optimization methods show that the Genetic Algorithm improves the objective function by 52% over a 20-year horizon, while Vensim software achieves a 50% improvement. Therefore, the Genetic Algorithm demonstrates higher efficiency in optimization and simulation of dynamic systems. The optimization results using the Genetic Algorithm show that, in order to preserve the objective function at the best level, the optimal policy regarding the increase in agricultural, industrial, and domestic water tariffs is 10%, 200%, and 200% respectively. However, it does not yield satisfactory results in terms of the variables of social power, financial resources, migration from water-scarce areas to regions with high water security, and water consumption.
Conclusion:
The simulation results reveal promising capability of applying system dynamics approach in the policy evaluation studies. After constructing the dynamic model of system dynamics and optimizing it, the results show that the Genetic Algorithm provides more acceptable results compared to the Simulation-optimization capability of Vensim software. Furthermore, after optimization, the best tariff policy for controlling water resources, preserving social power, increasing financial resources, and reducing migration involves further increases in agricultural and industrial water tariffs.

ارائه مدلی جهت مدیریت مصارف آبی کشاورزی، صنعتی و خانگی ایران با ترکیب پویایی‌شناسی سیستم‌ها و الگوریتم ژنتیک

چکیده

مقدمه: در این تحقیق سیستم مدیریت منابع آبی کشور با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها مدلسازی شده و پس از شبیه‌سازی به تعیین میزان بهینه منابع آبی، قدرت اجتماعی حاکمیت، منابع مالی دولت و میزان مهاجرت‌های آبی با توجه به متغیرهای تصمیم تعرفه آب خانگی، کشاورزی و صنعتی پرداخته شده است. نتایج ترکیب بهینه، افزایش تعرفه آب در بخش خانگی، کشاورزی و صنعتی جهت بهینه‌سازی تابع هدف را به ترتیب ۱۱، ۲۰۰ و ۲۰۰ درصد در طی ۵ سال آینده پیشنهاد می‌نماید.

روش: این تحقیق در ابتدا با استفاده از ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها متغیرها و حلقه‌های بازخوری دخیل در مدیریت منابع آبی را مدلسازی و شبیه‌سازی کرده است. به‌منظور بهینه‌سازی از دو روش الگوریتم ژنتیک و قابلیت Simulation-optimization در نرم‌افزار ونسیم استفاده شده است. در الگوریتم ژنتیک جمعیت اولیه ۳۰ عدد و احتمال تقاطع و جهش به ترتیب ۸۳ درصد و ۱۷ درصد جمعیت در نظر گرفته شده است. معیار انتخاب هر کروموزوم با روش roulet wheel می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بهینه‌سازی با الگورتیم ژنتیک نسبت به ادامه شرایط پایه، منابع آبی پشت سدها را ۸۹ درصد افزایش داده در صورتی که خروجی نرم‌افزار ونسیم ۸۴ درصد بهبود می‌دهد و در کل خروجی الگورتیم ژنتیک نسبت به خروجی بهینه‌سازی نرم‌افزار ونسیم، تابع هدف را ۲ درصد بالاتر بهبود می‌دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک در قیاس با نرم‌افزار ونسیم نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. همچنین پس از بهینه‌سازی، بهترین سیاست تعرفه‌ای جهت بهبود تابع هدف افزایش بیشتر در تعرفه آب کشاورزی و صنعتی نسبت به تعرفه خانگی است.

واژه‌های کلیدی:مدیریت منابع آبی، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، الگوریتم ژنتیک

ویرایش نشده

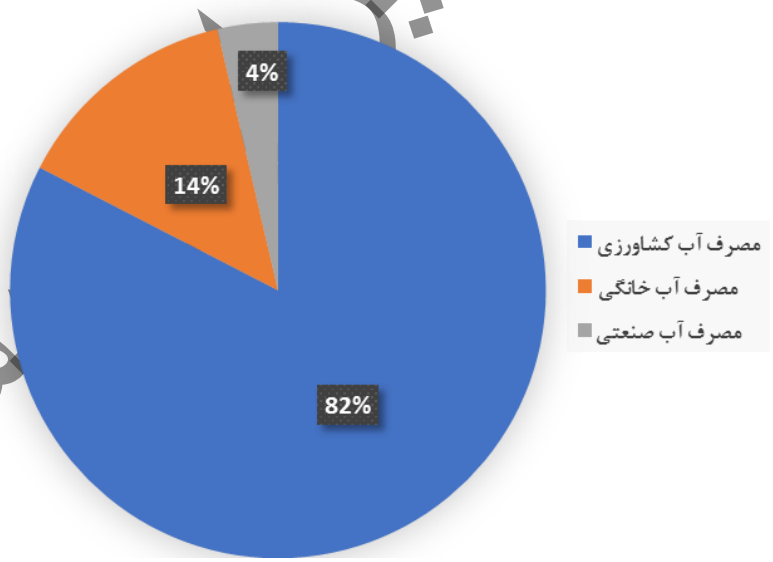
مقدمه

کمبود منابع آب یکی از مهمترین مسأله‌ها در قرن بیست و یکم است که جوامع بشری با آن روبرو هستند. رشد جمعیت، فعالیت‌های تولیدی صنعتی و کشاورزی، توسعه سریع شهرنشینی و تغییرات شدید شرایط آب و هوایی، تاثیر زیادی بر منبع های آب محدود و محیط زیست در حوضه های رودخانه ها به همراه داشته است(۱–۳).

در سال های اخیر کاهش بارش باران، بهره برداری نادرست از منابع آب و توزیع نامناسب صنایع آب بر در کشور و الگوی ناصحیح مصرف منجر به کاهش سطح منبع آبهای جاری و بروز اثرات منفی دیگر شده است. کمبود آب تاثیر قابل توجهی بر روی توسعه پایدار دارد (۴). کشور ما به دلیل کمبود ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن، در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد و در این شرایط به دلیل رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه بخشهای اقتصادی (کشاورزی و صنعت) تقاضا برای آب روز به روز افزایش می‌یابد. نظری به گذشته و تاریخ کهن کشور، نشان می دهد که برای تعدیل مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب ، ابتکارات و ابداعات متنوعی در زمینه بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی، در ابعاد سازه ای و مدیریتی مورد توجه بوده است که احداث قنوات، سدهای مخزنی و انحرافی در بعد سازه ای و نظام‌های حقابه‌بری مدون در بعد مدیریتی آن قابل ذکر است(۵).

هدف از مدیریت منابع آب، ایجاد سیستمی است که ضمن ارتباط دادن متقابل مدیریت منابع آب با محیط زیست و توسعه اجتماعی و اقتصادی، از انعکاس و بازخورد آنها بهره مند گردیده و در نهایت با مشارکت بخش‌های مختلف، تصمیم گیریهای تخصیص و توسعه منابع آب صورت گیرد. نکته مهمی که در مطالعات جامع مدیریت منابع آب باید مورد توجه قرار گیرد، شناخت مولفه‌ها و عدم قطعیت‌های آنها، مشخص و روشن نمودن ارتباطات بین مولفه ها و اثرات مستقیم و غیر مستقیم بین مولفه ها می باشد تا با حل یک مشکل و برنامه‌ریزی یک مولفه قسمت‌های دیگر سیستم تحت الشعاع قرار نگیرد(۶).

مصارف آب کشور را می تواند در سه حوزه اصلی کشاورزی، صنعتی و خانگی تقسیم بندی کرد. بر طبق منابع معتبر در طی سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ سهم مصرف هرکدام از بخشها مطابق نمودار زیر است. لازم به توضیح است که در این آمار تنها مصارف کشاورزی از سدها در نظر گرفته شده است.



شکل(۱): سهم هر کدام از مصارف آب در کشور (۷)

ساختار این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است که، پس از مقدمه، بیان مساله و مرور ادبیات شکاف تحقیقاتی تبیین شده است. در ادامه فرضیه های دینامیکی در قالب مدل علت و معلولی تشریح شده و مدل علت و معلولی کلی ارائه گردیده است. پس از آن با شناسایی متغیرهای جریان و انباشت، نمودار جریان–انباشت ارائه شده و با ورود فرمولها، مدل شبیه سازی شده است. در ادامه اعتبار مدل جریان–انباشت با استفاده از روشهای آزمون حدی، بازسازی رفتار مرجع و آزمون ارزیابی ساختاری بررسی شده و مورد تایید قرار گرفته است. بعد از تایید اعتبار مدل، به تحلیل سناریو پرداخت شده و سناریوهای متصور در قبال قیمت آب کشور شبیه سازی شده است.

مرور ادبیات

تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص مدیریت منابع آبی و ارزیابی سیاستها با استفاده از سیستم داینامیک انجام شده است. جدول زیر این تحقیقات و نکات برجسته آنها را خلاصه کرده است. در این تحقیقات یوسفی و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از پویایی شناسی سیستم ها نشان داده اند که ادامه الگوی کشت کنونی سبب کاهش ۹۳/۳۴ درصدی حجم آبهای زیرزمینی و ۲۰ درصدی موجودی آبهای سطحی تا افق ۱۴۳۰ خواهد شد(۸). دهقانی و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی تحت عنوان بررسی چالش‌های مدیریت پایدار منابع آب ورامین و ارایه سناریوی مدیریتی مناسب جهت مدیریت یکپارچه منابع آب انجام داده‌اند (۹). آنها در این مطالعه نشان دادند که بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به مناطق شمالی و کمترین آن مربوط به مناطق جنوب شرقی است که نشانگر بالا بودن برداشت آب جهت مصارف کشاورزی است. نتایج این تحقیق نشان داده است سناریو تغذیه مصنوعی بهترین راهکار در مناطق مرکزی دشت همراه با بکارگیری شیوه های نوین کشت و آبیاری اراضی جهت کاهش نرخ هدر رفت آب می باشد. زارعی (۲۰۱۸) نشان داد آب یکی از بخشهای زیربنایی و اساسی کشور است که در بخش کشاورزی رابطه معنا داری بین ویژگی های فردی کشاورزان و تمایل به مدیریت پایدار منابع آبی وجود دارد (۱۰). نتایج تحقیق خیابانی و همکاران (۲۰۱۷) نشان میدهد قیمت گذاری موجود آب در ایران به شیوه حسابداری در بلند مدت منجر به اتلاف منابع آبی کشور شده و لذا لازم است این رویکرد برای جلوگیری از هدر رفت آب مورد تجدید نظر قرار گیرد (۱۱). رم و ایرفان (۲۰۲۱) با استفاده از نمودار علت و معلولی مدلی جهت شناخت بحران منابع آبی در کشور هند ارائه داده اند. آنها بیان کرده اند که کشور هند جزو کشورهای با ریسک بالایی است با توجه به رشد نمایی جمعیت، صنعتی شدن و روند رو به رشد شهرنشینی در معرض خشکسالی های طولانی قرار دارد. نمودار علت و معلولی ایشان بخشهای عرضه، تقاضا، حاکمیت و اقتصاد آب و محیط زیست را در نظر گرفته است (۱۲). کیهان پور و همکاران (۲۰۲۱) با ابزار پویایی شناسی سیستم ها به شبیه سازی سیستم یکپارچه مدیریت منابع آبی در خوزستان پرداختند. نتایج شبیه سازی ایشان نشان داد ۱۶ درصد بهبود در الگوی آبیاری کشاورزی، ۱۰ درصد بهبود در الگوی کشت، ۶ درصد کاهش هدر رفت کالاهای کشاورزی و ۵ درصد بهبود سالیانه در عملکرد بخش کشاورزی به عنوان سیاست پایدار مدیریت مصرف آب انتخاب شده است (۱۳). کین و همکاران (۲۰۱۲) متغیری تحت عنوان ظرفیت تحمل منابع آب[1] و میزان مازاد عرضه آب نسبت به تقاضا را به عنوان عامل‌های تاثیرگذار بر روی توسعه پایدار کشورها در نظر گرفته اند و با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم ها به ارزیابی مصرفهای مختلف منابع آبی بر روی متغیر ظرفیت تحمل منابع آب پرداخته اند (۱۴). مدل آنها مشتمل بر پنج بخش کشاورزی، صنعت، الگوی آبیاری، میزان شهرنشینی و بازیافت آب می باشد. نتایج آنها نشان داد سناریوی افزایش متعادل صنعت در کنار توسعه بازیافت هدر رفت آب می تواند اقتصاد را پایدار نگهدارد.

در سایر تحقیقات بهبود الگوی آبیاری، بهبود کارایی مصرف انرژی در توزیع آب و سیستم پمپاژ آب جهت بهینه سازی مصرف انرژی، کاهش تقاضای آب برای نیروگاه برق آبی (کابررا و همکاران، ۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است (۱۵). جدول زیر برخی از تحقیقات پیشین که از پویایی‌شناسی سیستم‌ها جهت مدلسازی منابع آبی استفاده کرده اند را جمع بندی نموده است.

جدول ۱. تحقیقات صورت گرفته در خصوص مدیریت منابع آبی با کمک ابزار پویایی شناسی سیستم ها

موضوع مطالعه	روش تحقیق	نکات تحقیق	منبع	سال	مکان
توسعه قوانین عملیاتی مخزن برای کاهش آسیب سیلاب	شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی مخزن و مناطق بالادست و پایین‌دست در سیل‌های تاریخی بزرگ	سهولت تغییر مدل و تحلیل حساسیت آن، مناسب برای مدلسازی مشارکتی و ایجاد اعتماد به نتایج مدل	(۱۶)	۲۰۰۰	کانادا
ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سامانه حفاظت از سیل شهری	فرآیندهای هیدرولوژیکی و عملکرد محافظت در برابر سیلاب، با استفاده از سناریوهای مختلف اقلیمی، شبیه‌سازی شده است	ساختار قابل تنظیم مدل و سهولت در تحلیل حساسیت آن، مناسب برای آزمایش سیاست‌های مدیریت سیلاب	(۱۷)	۲۰۰۳	کانادا

[1] Water resource carrying capacity (WRCC)

زودباز و ویرایش نشده

افزایش درک عمومی از گزینه‌های مدیریت آب در مناطق در حال رشد سریع	یک مدل SD[1] به صورت استراتژیک در یک جلسه عمومی استفاده شده است تا اثربخشی جایگزین‌های مدیریت موجود و پیشنهادی را نشان دهد	نتایج مدل ضدمنطقی، بحث‌های اطلاعاتی را در میان شرکت‌کنندگان در حرکت قرار داد و استراتژی‌های مدیریتی مؤثر شناسایی شدند	(۱۸)	۲۰۰۳	آمریکا
تأثیرات بلندمدت جابجایی آب میان حوضه‌های آب کم‌آب	تحلیل تعاملات بین عوامل مختلف کمبود آب صورت گرفته و استراتژی‌های مدیریت پایدار پیشنهاد شده است	برای مدیریت منابع آب منطقه‌ای موثر و انتخاب سیاست‌های مناسب، بینش‌های ارائه شده مفید هستند	(۱۹)	۲۰۰۹	ایران
مدیریت منابع آب پس از بحران	شبیه‌سازی تغییرات پس از زلزله در الگوهای مصرف آب، جمعیت و توسعه زیرساخت‌های آب	فراهم کردن بینش برای مانیتورینگ و انتخاب سیاست‌های مدیریت پس از بحران آب برای تأمین نیازهای افزایش یافته به دلیل عملیات کمک‌رسانی و بازسازی	(۲۰)	۲۰۱۰	ایران
پیش‌بینی بار نمکی و حذف آن از جریان بازگشتی	فرآیندهای حاکم بر هیدرولوژی، مصرف آب و کیفیت آب شبیه‌سازی شده است	مدل شبیه‌سازی یکپارچه، بینش‌هایی درباره کمبودهای آب در آینده، و برنامه‌های بازگرداندن آب با کارایی بالا و انرژی‌مصرف کم فراهم می‌کند	(۲۱)	۲۰۱۱	آمریکا
مدیریت پایدار منابع آب در برابر رشد تقاضا	زیرسیستم‌های فیزیکی مختلف و بخش‌های مختلف مصرف آب در سناریوهای مختلف (یعنی اقلیم و مدیریت) شبیه‌سازی شده است	درک رانش‌های اصلی عرضه و تقاضا و ارائه بینش‌هایی برای نقشه راه مدیریت آب منطقه‌ای	۲۲,۲) (۳	۲۰۰۲	چین و آمریکا
رویکرد یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی سیاست در مدل‌های دینامیک سامانه	روش طراحی سیاست برای مدل‌های SD بر اساس شبکه‌های عصبی بازگشتی	روش پیشنهادی بهتر یا مثل سایر روش‌های قابل مقایسه است	(۲۴)	۲۰۱۱	چین
کاربرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها در تحقیقات امنیت منابع آبی	استفاده از مدل SD برای کنترل سیلاب و کاهش اثرات بلایای طبیعی تمرکز دارد	روش SD به درستی تعاملات پیچیده در یک سیستم امنیت آب را حل می‌کند	(۲۵)	۲۰۱۴	چین
ارزیابی امنیت منابع آب شهری تحت گسترش شهری با استفاده از یک مدل دینامیک سامانه. علوم و فناوری آب	یک مدل SD برای شبیه‌سازی امنیت منابع آب ساخته شده است	طرح هماهنگ برای امنیت منابع آب شهری، بهترین گزینه برای توسعه ارومچی[2] است	(۲۶)	۲۰۱۵	چین

[1] System Dynamics
[2] Urumqi

زودآیند ویرایش نشده

مدل‌سازی دینامیک سامانه از تغییرات سطح آب در دریاچه ایسیک-کول، قرقیزستان	برای مدل سازی پویای سیستم، بر اساس روش (پویایی‌شناسی سیستم‌ها) استفاده شده است	تغییرات در اجزای چرخه آب مانند تبخیر و تبخیرات، واردات رودخانه به دریاچه، پارامترهای ضروری برای پویایی سطح آب دریاچه هستند	(۲۷)	۲۰۱۷	قرقیز ستان
یک مدل پویا برای بررسی سناریوهای مدیریت منابع آب در مناطق خشک داخلی	یک مدل سیستم عرضه و تقاضا ساخته شده است	سه عامل اصلی مسئول مشکلات آب در شانشان شناسایی شدند: کارایی کم مصرفی آب، بازیافت آب کم و افزایش تقاضای آب صنعتی	(۲۸)	۲۰۱۷	چین
استفاده از مدل دینامیک سامانه برای بهبود برنامه‌ریزی یکپارچه منابع	یک سامانه پشتیبانی تصمیم گیری منابع آب (WRDSS) با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم‌ها (SD) آب ساخته شده است	پیشنهاد نمودار تأمین آب توسط مدل SD، با نیازهای پیش‌بینی شده برای کاهش طولانی‌مدت و ارائه بهترین قابلیت اطمینان در عرضه آب با تأمین آب با کیفیت خوب به مشتریان EVMWD همخوانی دارد	(۲۹)	۲۰۱۸	دانمار ک
آیا تأمین آب برای شهرهای بزرگ باید به منابع بیرونی وابسته باشد؟ شبیه‌سازی مونت کارلو دینامیک سامانه برای شیراز، ایران	یک مدل پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای ارزیابی سناریوهای مختلف عرضه آب ساخته شده است	برای رفع کمبود آب شیراز، تصفیه آب موثرتر از انتقال آب است	(۳۰)	۲۰۱۹	ایران
یک مدل دینامیک سامانه از حکومت هوشمند آب زیرزمینی	استفاده از رویکرد SD برای توسعه حکمرانی هوشمند آب زیرزمینی	بهترین راهبرد برای مدیریت منابع آب زیرزمینی به صورت هوشمند، شامل افزایش نرخ نفوذ و کاهش نرخ استخراج است	(۳۱)	۲۰۱۹	ایران
رویکرد دینامیک سامانه به مدل‌سازی ذخیره آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی در مقیاس حوضه	یک سیستم مقیاس حوضه‌ای. تکنیک‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها	پیش‌بینی رفتار برای اهداف برنامه‌ریزی مدیریت آب زیرزمینی	(۳۲)	۲۰۱۹	سوئی س
تحلیل راهبردهای مدیریت مالی پایدار شبکه توزیع آب شهری تحت ساختار قیمت بلوک افزاینده: رویکرد دینامیک سامانه	توسعه یک مدل SD برای تحلیل سیاست مدیریت آب شهری	استراتژی‌های مالی مختلف با استفاده از شاخص‌های مالی، محیطی و اجتماعی مقایسه شده‌اند.	(۳۳)	۲۰۲۰	ایران
یک مدل دینامیک سامانه برای ارزیابی تأثیرات تدابیر بازسازی بر نوکس آب-انرژی-غذا در حوضه دریاچه ارومیه، ایران. علوم محیطی کل	یک مدل SD توسعه داده شده است تا نکسوس آب-انرژی-غذا در دریاچه ارومیه را شبیه‌سازی کند	سطح دریاچه ارومیه حساس به سناریوهای تغییرات اقلیمی است	(۳۴)	۲۰۲۰	ایران
بررسی انتقادی کاربردهای مدل‌سازی دینامیک سامانه در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب	بررسی سیستماتیک کاربردهای SD در مدیریت منابع آب	۱۶۹ کاربرد SD در مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار گرفته است	(۳۵)	۲۰۲۱	

زودایند ویرایش نشده

تحلیل مسأله طراحی شبکه/موقعیت ایستگاه‌های پالایش فاضلاب با استفاده از دینامیک سامانه: مورد آنتالیا، ترکیه	روش SD برای بررسی ساختار پویا و غیرخطی فاضلاب شهری پیشنهاد شده است	چندین سناریو برای کمک به صنعت تصمیم‌گیر در توسعه سیاست‌های پایدار و کارآمد هزینه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند	(۳۶)	۲۰۲۲	ترکیه
توسعه چارچوب دینامیک سامانه برای مدل‌سازی نگرش آب-زمین-جامعه در سیستم‌های سوسیو-هیدرولوژیکی شهری	رانش، فشار، وضعیت، تأثیر، پاسخ (DPSIR) و الگوهای سیستم به همراه مدل SD متصل شده‌اند	رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها به طور قابل توجهی تمام الزامات لازم برای ساخت سیاست‌های هماهنگ را در نظر میگیرد.	(۳۷)	۲۰۲۲	ایران
ارزیابی چرخه حیات پویا برای پیامدهای پالایش آب	اصول ارزیابی چرخه حیات (LCA) و مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها	جایگزین کردن آب تصفیه شده با اقدامات صرفه‌جویی در مصرف آب، تأثیر را به میزان ۱۳.۷٪ کاهش می‌دهد	(۳۸)	۲۰۲۳	تایوان
توسعه یک مدل مفهومی امنیت آب با ترکیب رویکرد سامانه‌های انسانی-محیطی (HES) و دینامیک سامانه	چارچوب برای تعاملات سیستم بشر - محیط زیست (HES) و پویایی‌شناسی سیستم‌ها (SD)	درک سطوح سلسله مراتبی از آگاهی زیست محیطی و در نهایت یادگیری و تمرین بر اساس اجزای کلیدی و تعاملات شناسایی شده توسط چارچوب HES، تجزیه و تحلیل پیچیدگی سیستم را آسان می‌کند.	(۳۹)	۲۰۲۳	ایران

از آنجا که در مدیریت منابع آبی کشور متغیرها و بازخوردهای فراوانی وجود دارد، جهت تحلیل آن می‌بایست از ابزاری استفاده شود که ضمن نگاه جامع به تمامی متغیرها بتواند روابط علت و معلولی بین آنها را به خوبی مدل‌سازی نماید. نتایج تحقیقات ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها، کارایی خود را در حل مسائل مرتبط با آب مثل مدیریت بلایای طبیعی، مدیریت منابع آب منطقه‌ای و شهری، مدیریت بحران آب، برنامه‌های بازگردانی و بازیافت آب، تامین امنیت منابع آب، چرخه آب، مدیریت عرضه و تقاضای آب به تفکیک صنعتی، کشاورزی و خانگی، مدیریت منابع آب زیرزمینی، مدیریت آب شهری، تعیین استراتژی‌های مالی و مسائل مربوط به سطح دریاچه ها به خوبی نشان داده و در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در خصوص این نوع مسائل در دنیا و ایران به کار گرفته شده است.

از آنجا که در مدیریت منابع آبی کشور متغیرها و بازخوردهای فراوانی وجود دارد، جهت تحلیل آن می‌بایست از ابزاری استفاده شود که ضمن نگاه جامع به تمامی متغیرها، بتواند روابط علت و معلولی بین آنها را به خوبی مدل‌سازی نماید. با توجه به مرور ادبیات تحقیق و کارایی روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها در تحلیل انواع مسائل اقتصادی و اجتماعی، از این ابزار به منظور تحلیل سیستم مدیریت منابع آبی کشور استفاده شده است. لازم به ذکر است تحقیقات با ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها که در گذشته در ایران مورد استفاده قرار گرفته، تنها بخش نسبتا کوچکی از سیستم مدیریت منابع آبی را مدلسازی کرده‌اند، در صورتی که در تحقیق پیشرو ضمن بکارگیری نتایج این تحقیقات تلاش شده مدل جامع‌تری در حوزه مدیریت منابع آبی ارائه دهد. از دیگر نوآوری‌های تحقیق مربوط به تعیین استراتژی‌های بهینه تغییر تعرفه آب صنعتی، کشاورزی و خانگی است که تاکنون در کشور انجام نشده است.

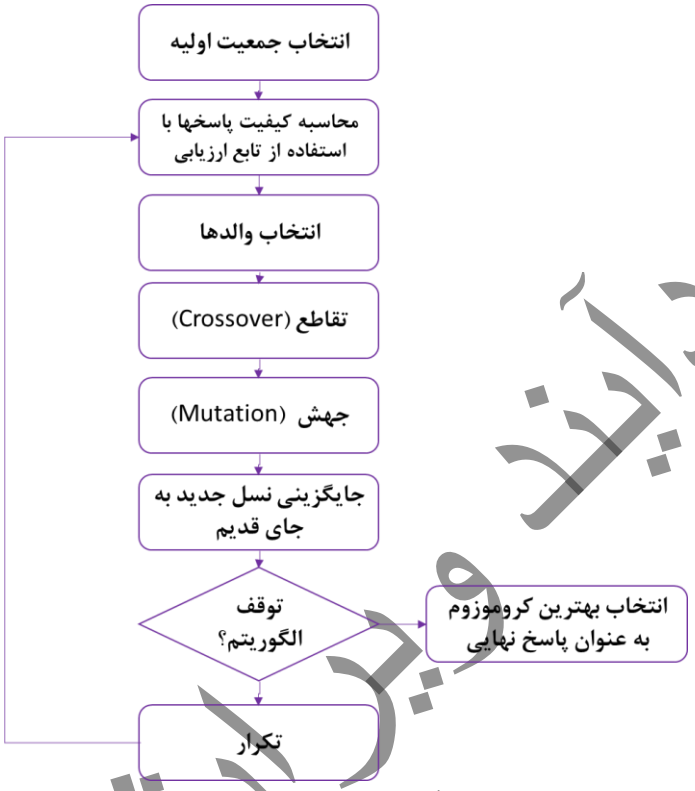
همچنین موضوع دیگری که نتایج این تحقیق را با سایر تحقیقات پیشین متمایز کرده مربوط به استفاده از الگوریتم ژنتیک در دستیابی به بهترین انتخاب میزان تغییر تعرفه های آب در بخشهای خانگی، صنعتی و کشاورزی است.

روش اجرای تحقیق

تفکر سیستمی نوعی نگرش به جهان هستی و پدیده‌های آن است. این شیوه تفکر، روش‌شناسی مؤثری را برای دستگاه‌های اجتماعی فرهنگی در محیط آکنده از آشفتگی و پیچیدگی ارائه می‌دهد. در تفکر سیستمی، افزون بر توجه به اجزاء و جزئیات یک سیستم، چگونگی تعامل بین اجزاء و نیز برهمکنش اجزاء و محیط بررسی می‌شود(۴۰). تکنیک پویایی سیستم برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ توسط یک گروه از محققین به رهبری Forrester در دانشگاه MIT توسعه داده‌شده است(۴۱). ابزار مورداستفاده در این پژوهش نیز پویایی‌شناسی

سیستم‌هاست که اساس خود را بر تفکر سیستم بنا نهاده و بر اساس معادلات ریاضی ورودی به مدل شبیه‌سازی می‌شود. در رویکردهای سنتی بر روابط علت و معلولی خطی تأکید می‌شود درحالی‌که در رویکرد مورداستفاده در این پژوهش بر روی بازخورد بین متغیرهای سیستم تمرکز می‌شود.

پس از مدلسازی و شبیه سازی مدل پویایی شناسی سیستم ها با الهام از دو تحقیق بدخشان و همکاران (2020) (۴۲) و البرزی (۲۰۰۸) (۴۳) با کمک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک نسبت به بهینه سازی پارامترهای Alfa1 تا alfa4 پرداخته شده است. شکل زیر شماتیک نحوه به کارگیری الگوریتم ژنتیک در شبیه سازی را نمایش می دهد.



شکل ۲. نحوه بکارگیری الگوریتم ژنتیک در انتخاب بهینه پارامترهای مدل

بحث و بررسی

نمودار جریان انباشت تحقیق مطابق با شکل (۳) می‌باشد. در این نمودار متغیرهای جمعیت، منابع آبی پشت سدها، منابع آبی زیرزمینی، نارضایتی عمومی، قدرت اجتماعی نظام،موجودی منابع مالی، مصرف تجمعی آب صنعتی، کشاورزی و خانگی به صورت انباشت در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است جمعیت در این مدل به سه قسمت جمعیت شهری با امنیت آبی بالا، جمعیت شهری استانهای کم آب و جمعیت روستایی دسته بندی شده است و الگوهای مصرف متفاوتی برای این سه جمعیت در نظر گرفته شده است.

در مدل توسعه داده‌شده مصرف آب کشاورزی، مطابق با فرمول زیر محاسبه می شود. (معادله ۱)

$$(\text{Area under cultivation} * \text{Consumption pattern in agriculture})/1e+006 \quad (۱)$$

رابطه بین سطح زیر کشت و قوانین حکومتی نیز به صورت زیر است. (معادله ۲) در این رابطه سطح زیر کشت با جمعیت کشور رابطه مستقیم دارد و با وضع قوانین محدودسازی سطح کشت، این متغیر کاهش پیدا خواهد کرد.

$$\text{population}/(1+\text{Government Rules}) \quad (۲)$$

همچنین الگوی مصرف آب کشاورزی و آب صنعتی مطابق با دو رابطه زیر است. الگوی مصرف آب کشاورزی با سطح دما رابطه مستقیم و با قوانین دولتی رابطه عکس دارد و بهبود میابد. مصرف آب صنعتی نیست متناسب با سطح استفاده از تکنولوژی های نوین کاهش می یابد.

زودآیند ویرایش نشده

$$\text{Average temp} * 8.79367e + 007/(50627.4 + \text{Government Rules}) \quad (۳)$$

$$1/\text{level of used tec} \quad (۴)$$

در بخش خانگی ایجاد نگرانی فردی در خصوص منابع آبی متاثر از سه متغیر تاثیر فعالیتهای فرهنگی بر روی ایجاد نگرانی، بودجه سرانه فرهنگسازی مصرف آب، نگرانی جامعه و تلاش برای صرفه جویی منابع آبی است.

$$\text{effect ofcultural activities on Creating concern} * \text{per capita budget of cultural activities} * \text{society concerns and efforts to conserve water} \quad (۵)$$

قوانین حکومتی جهت مدیریت منابع آبی نیز متاثر از سرانه منابع آبی است و هرچه سرانه منابع آبی کمتر شود، قوانین حکومتی مطابق با رابطه زیر افزایش خواهد یافت.

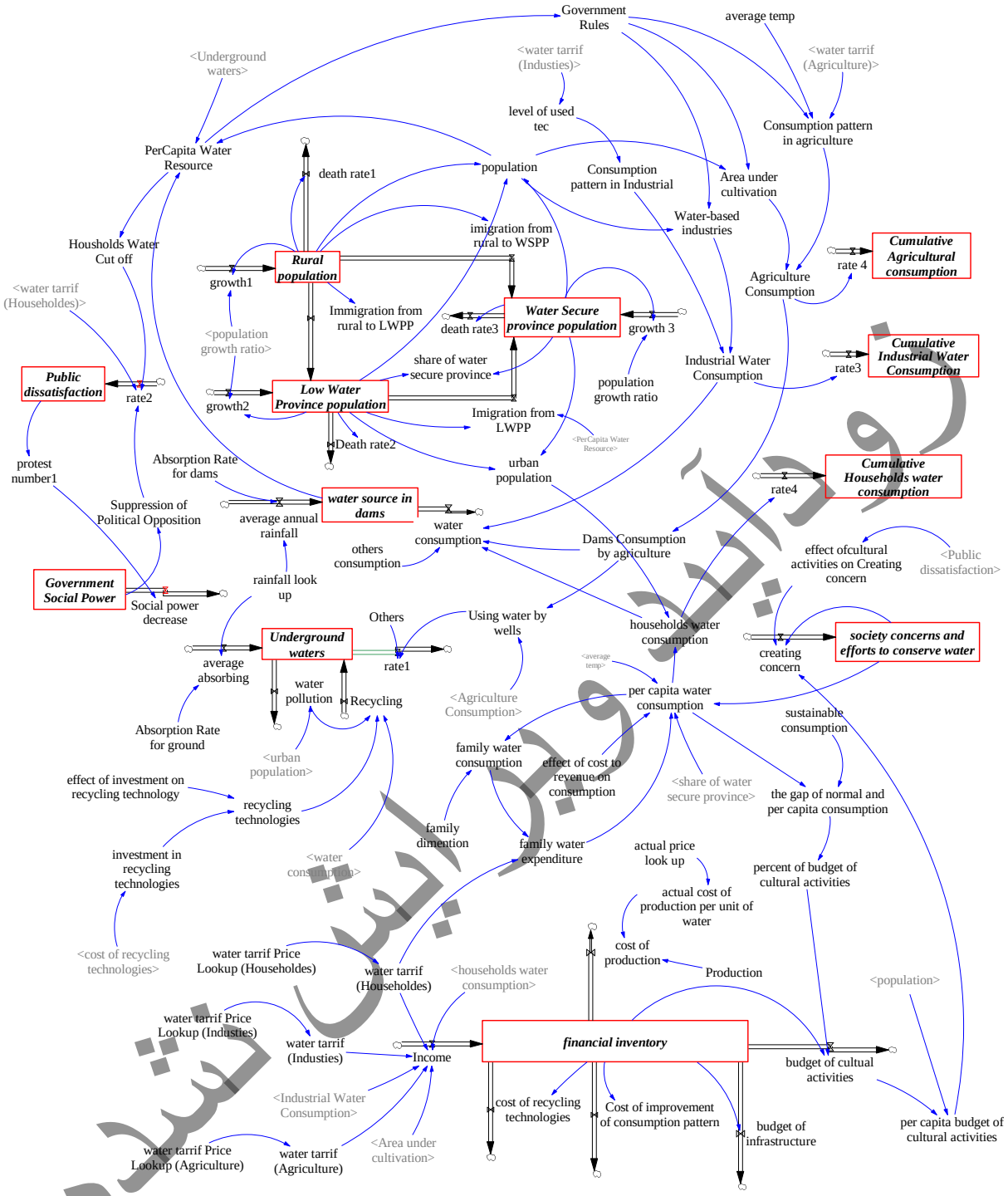
$$1/\text{PerCapita Water Resource} \quad (۶)$$

لازم به ذکر است زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۸۰ و گام‌های زمانی شبیه‌سازی ۰.۰۶۲۵ در نظر گرفته‌شده است. پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی که مقادیر آنها از آمارنامه های معتبر موجود تهیه شده است مطابق با جدول زیر است.

جدول ۲: پارامترهای لحاظ شده در شبیه‌سازی

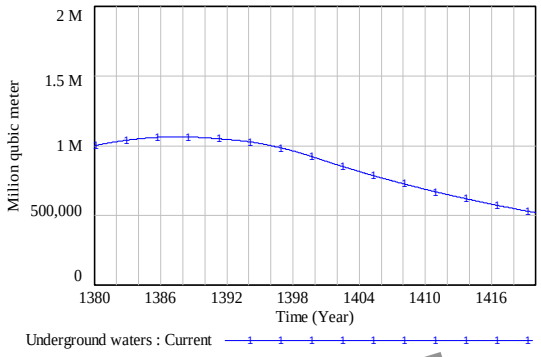
Parameter	Value	Unit
Initial value of water source in dams	300000	MCM
Initial value of Underground waters	1000000	MCM
Initial value of Population	6.6e+007	person
Absorbtion rate in dams	0.076	1/year
Absorption Rate for ground	0.2	1/year
Average temperature	20	Centigrade
rainfall look up	[(1380,0)-(1400,500000)], (1380,406000),(1385,406000),(1400,306000)	MCM/Year
Family Dimention	4	person
Death rate	0.004	1/year
Migration rate from rural	0.015	1/year

ویرایش نشده

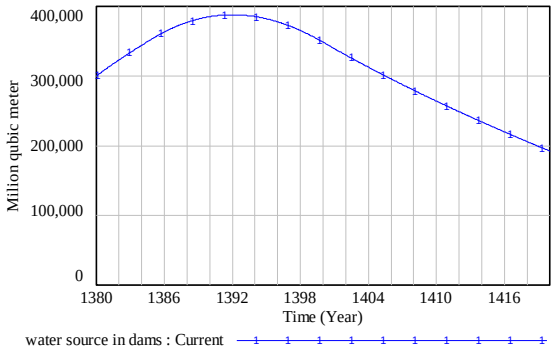


شکل ۳. مدل جریان-انباشت تحقیق

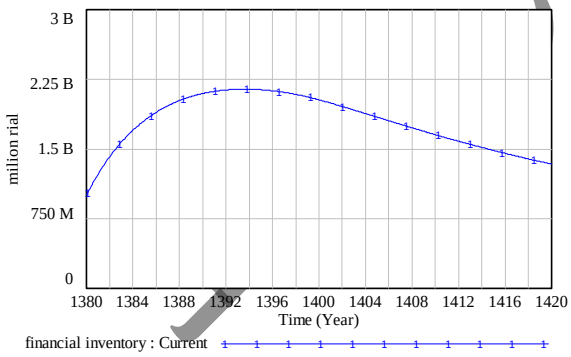
در حالت پایه و با فرض ثبات در پارامترهای جدول ۲، نتایج شبیه سازی مدل به صورت شکلهای زیر خواهد بود. در شکل ۴ و ۵ منابع آب زیرزمینی و منابع آب پشت سدها از سال ۱۴۰۰ به بعد کاهش پیدا می کند. منابع مالی دولت در شکل ۶ نیز در سناریوی پایه با ثابت ماندن درآمد و افزایش هزینه کاهش پیدا خواهد کرد. جمعیت مناطق با منابع آبی پایین نیز رفته رفته کاهش پیدا می کند.



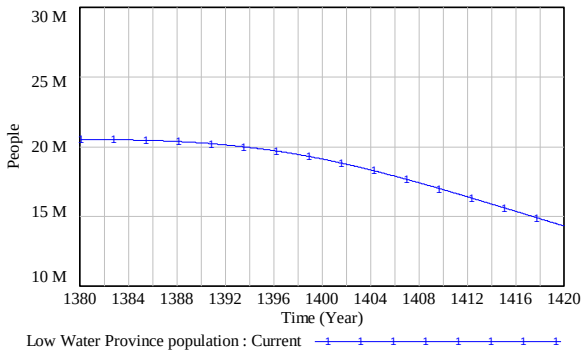
شکل ۴. رفتار متغیر منابع آب زیرزمینی در سناریوی پایه



شکل ۵. رفتار متغیر منابع آب پشت سدها در سناریوی پایه



شکل ۶. رفتار متغیر منابع مالی دولت در سناریوی پایه



شکل ۷. رفتار متغیر جمعیت مناطق دارای منابع آبی پایین در سناریوی پایه

یکی از ابزارهای کنترل مصرف آب، تعیین سیاستهای تعرفه‌ای است و تعیین میزان تغییر تعرفه به تفکیک هر بخش عمده مصرف کننده آب اهمیت ویژه‌ای دارد (۴۴). به منظور تعیین بهینه‌ترین میزان تغییر در تعرفه آب کشاورزی، صنعتی و خانگی و همچنین تعیین ضریب اختصاص درآمد به فعالیتهای فرهنگی در حوزه کنترل مصرف آب، از الگوریتم ژنتیک استفاده شد تا تابع هدف Goal در معادله ۷ بهینه سازی شود. جهت استفاده از الگوریتم ژنتیک، هدف با توجه به مقیاس متغیرهای قدرت اجتماعی حکومت، میزان منابع مالی، مهاجرت به استانهای دارای امنیت آبی و میزان مصرف آب به صورت زیر تعیین شده است و با کمک پارامترهای a1 تا a4 بی مقیاس شده است.

$$goal = \frac{\frac{Government\ Social\ Power}{a1} + \frac{financial\ inventory}{a2}}{\frac{Imigration\ from\ LWPP}{a3} + \frac{water\ consumption}{a4}} \qquad (۷)$$

و مقدار تجمعی تابع Goal از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۲۰ به عنوان Fitness Function در نظر گرفته شده است. در تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه ۳۰ عدد در نظر گرفته شده است و احتمال تقاطع و جهش به ترتیب ۸۳ درصد و ۱۷ درصد جمعیت در نظر گرفته شده است. معیار انتخاب هر کروموزوم نیز بر اساس روش roulet wheel می باشد

Population size: 30
Cross over probability: 83% (25 of 30)
Mutation probability: 17% (5 of 30)
Selection/replacement scheme: Roulette Wheel

جدول زیر نحوه تشکیل جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد.

جدول ۳. نحوه تشکیل جمعیت اولیه در بهینه سازی تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک

alfa1	alfa2	alfa3	alfa4	Chromozom
11101010	11111000	10011000	11010110	11101010111110001001100011010110
10110000	11010000	10000000	11011110	10110000110100001000000011011110

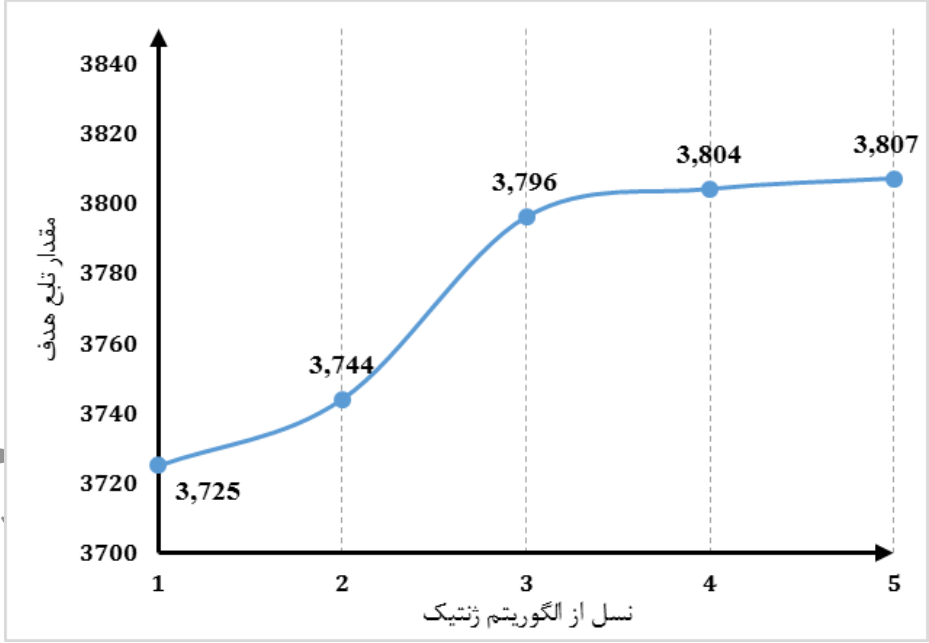
11000100	11100000	11010111	11010000	11000100111000001101011111010000
11100010	11100111	11101000	10000000	11100010111001111110100010000000
00000000	10101110	11100000	10101100	00000000101011101110000010101100
10100010	10100110	10101000	11001100	10100010101001101010100011001100
11110010	10011100	10110100	10001100	11110010100111001011010010001100
…	…	…	…	…

پس از پنج نسل استفاده از الگوریتم ژنتیک، نتایج زیر در خصوص مقدار تجمعی تابع هدف در سال ۱۴۲۰ در هر نسل حاصل شده است. لازم به ذکر است از نسل ۵ به بعد بهترین مقادیر حاصله برای تابع هدف ثابت ماند به همین دلیل نسلهای بعدی ادامه نیافت.

جدول ۴. مقدار تابع هدف در نسلهای مختلف الگوریتم ژنتیک

مقدار هدف	نسل اول	نسل دوم	نسل سوم	نسل چهارم	نسل پنجم
رتبه ۱	3725	3744	3796	3804	3807
رتبه ۲	3706	3728	3786	3799	3798
رتبه ۳	3682	3726	3739	3798	3798
رتبه ۴	3664	3725	3729	3797	3798
رتبه ۵	3658	3703	3729	3797	3798

بهترین مقدار حاصل شده برای هدف با توجه به هر نسل از الگوریتم ژنتیک در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد روند بهبود تابع هدف با شیب تندی طی سه نسل اول افزایش می یابد و از نسل سوم به بعد شیب کاهش پیدا می کند و در نهایت در نسل ۵ ام به ثبات می رسد.



شکل ۸. روند بهبود تابع هدف در هر نسل از الگوریتم ژنتیک

در حالت بهینه مقدار شیب افزایش قیمت و درصد تخصیص یافته به فعالیتهای فرهنگی در جدول زیر ارائه شده است.

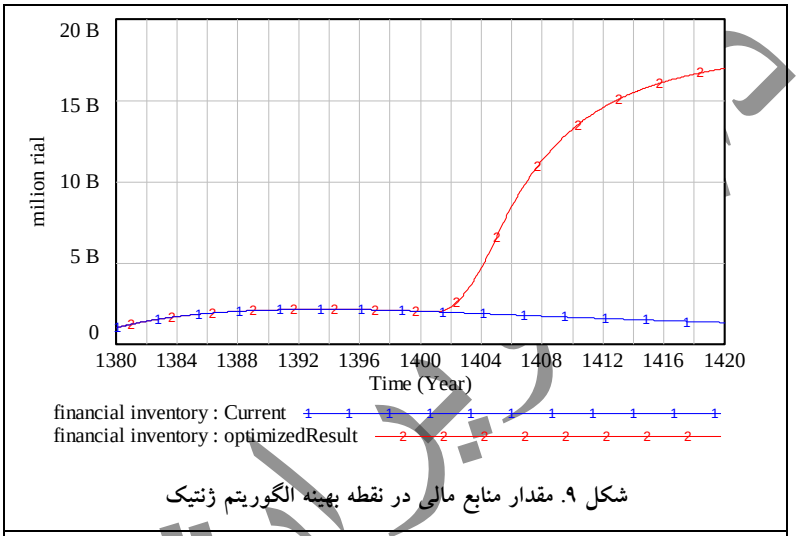
جدول ۵. نتایج حالت بهینه در الگوریتم ژنتیک

پارامتر	تعریف	مقدار بهینه با کمک الگوریتم ژنتیک
ALFA1	مقدار شیب افزایش قیمت آب خانگی	0.1084

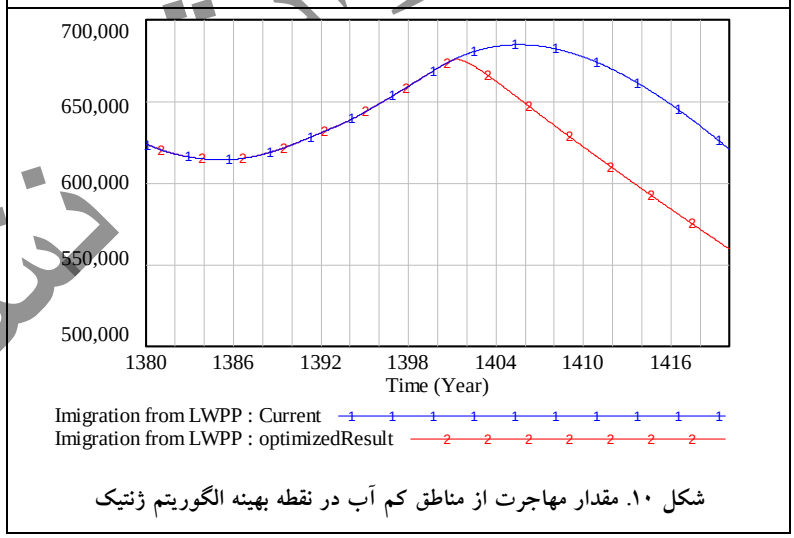
ALFA2	مقدار شیب افزایش قیمت آب صنعتی	1.9908
ALFA3	مقدار شیب افزایش قیمت آب کشاورزی	1.9986
ALFA4	ضریب تخصیص درآمد به فرهنگسازی	2.8E-07

نتیجه حالت بهینه نشان داد، بهترین سناریو جهت افزایش قدرت اجتماعی حکومت، افزایش میزان منابع مالی، کاهش مهاجرت به استانهای دارای امنیت آبی و کاهش میزان مصرف آب در شرایطی ایجاد می شود که میزان افزایش قیمت آب صنعتی و کشاورزی بالا باشد، افزایش قیمت خانگی سالیانه حدود ۱۰ درصد باشد و سالیانه درصدی از درآمد به کارهای فرهنگ سازی اختصاص یابد. رفتار سه متغیر اصلی در این سناریو به صورت شکلهای زیر خواهد بود.

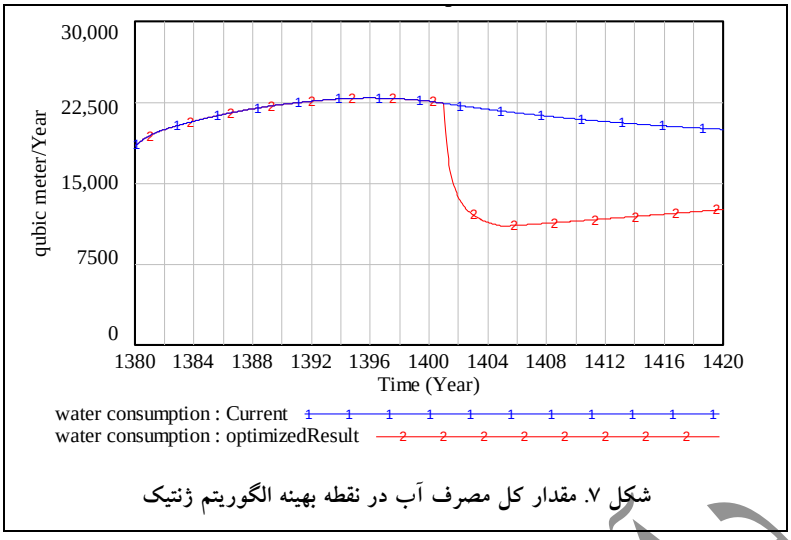
در شکل ۹ میزان منابع مالی دولت همزمان با افزایش تعرفه مطابق با جدول ۵ شروع به افزایش می نهد. از طرفی به دلیل کنترل مصارف آب و بهبود در وضعیت منابع آبی میزان مهاجرت از مناطق کم آب به مناطق با امنیت آبی بالا مطابق با شکل ۱۰ کاهش پیدا می کند. مقدار کل مصرف آب نیز به دلیل افزایش کارایی استفاده از آب در بخش صنعت و کشاورزی بهبود یافته و مصرف کل آب نیز مطابق با شکل ۱۱ کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۹. مقدار منابع مالی در نقطه بهینه الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۰. مقدار مهاجرت از مناطق کم آب در نقطه بهینه الگوریتم ژنتیک



شکل ۷. مقدار کل مصرف آب در نقطه بهینه الگوریتم ژنتیک

نرم افزار Vensim DSS که از آن برای شبیه‌سازی مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده می‌شود، قابلیت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را ارائه می‌دهد و در نسخه مورد استفاده در این تحقیق از روش مونت کارلو[1] به بهینه‌سازی می‌پردازد. به منظور بهینه سازی تابع هدف Goal علاوه بر الگوریتم ژنتیک از قابلیت بهینه‌سازی–شبیه‌سازی[2] در نرم‌افزار ونسیم نیز استفاده گردید تا نتایج آن با الگوریتم ژنتیک مقایسه شود. خروجی بهینه‌سازی با الگورتیم ژنتیک نسبت به ادامه شرایط پایه منابع آبی پشت سدها را ۸۹ درصد افزایش داده در صورتی که خروجی نرم‌افزار ونسیم ۸۴ درصد بهبود می‌دهد. نتایج بهبودها با دو روش فوق‌الذکر در خصوص سایر متغیرها در جدول زیر ارائه شده است و در کل، خروجی الگورتیم ژنتیک نسبت به خروجی بهینه‌سازی نرم‌افزار ونسیم، تابع هدف را ۲ درصد بالاتر بهبود می‌دهد. بنابراین الگورتیم ژنتیک نسبت به قابلیت بهینه سازی نرم افزار ونسیم کارایی بالاتری دارد.

جدول ۶. خلاصه نتایج سناریوها در سال ۱۴۲۰

متغیر	واحد	شرایط جاری	نتایج بهینه‌سازی مربوط به تغییر تعرفه	
			بهینه سازی با نرم افزار ونسیم	بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک
منابع آبی پشت سدها	Milion qubic meter	192354	352924 (**84**%↑)	362522 (**89**%↑)
منابع آبی زیرزمینی	Milion qubic meter	519367	1009000 (**94**%)	1074000 (**107**%↑)
نارضایتی عمومی	Dmnl	577	583 (**1**%↑)	587 (**2**%↑)
منابع مالی حاکمیت	Million rial	1.34E+09	1.34E+09 (**0**%)	1.696 E+09 (**27**%↑)
$Goal_{1420}$	Dmnl	2503	3764 (**50**%)	3806 (**52**%↑)

نتیجه‌گیری

در شرایطی که جمعیت کشور روز به روز فزونی یافته، صنعت توسعه می‌یابد، نیاز به کالای کشاورزی بیشتر شده، بارش ها کاهش یافته و منابع آبی روز به روز تحلیل می رود، شناخت ساختار زنجیره‌ای که عرضه و مصارف آب را رقم می‌زند، در مدیریت منابع آبی اهمیت وافری

[1] Monte Carlo
[2] Simulation-Optimization

روداب غیرقابل انتشار

دارد. در این مقاله به‌منظور ایجاد مدل ذهنی مشترک و ترسیم تأثیر و اثرات مابین متغیرهای دخیل در سیستم عرضه و تقاضای آب کشور ایران از ترکیب ابزار پویایی شناسی سیستم ها و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

در فرآیند تحقیق ابتدا مقالات بین المللی و داخلی مرور و سپس روش تحقیق حاضر ارائه گردیده است. سپس با ارائه یک مدل جامع پویایی‌شناسی سیستم‌ها به شبیه سازی رفتار متغیرهای دخیل در سیستم مدیریت منابع آبی ایران پرداخته شد. نتایج شبیه سازی با فرض ثبات پارامترهای سیاستی با توجه به شرایط جاری نشان داد، به مرور زمان منابع آبی زیرزمینی و پشت سدها در افق ۲۰ ساله کاهش پیدا خواهد کرد، مهاجرت از مناطق با منابع آبی پایین به مناطق با امنیت آبی بالا افزایش خواهد یافت و ضمن این که منابع مالی دولت در حوزه آب نیز کاهش خواهد یافت. از آنجا که یکی از سیاستهای کنترل مصرف، تغییرات تعرفه آب می باشد، در این مقاله به تعیین مقدار بهینه افزایش تعرفه آب با توجه به تابع هدف وابسته به مصرف آب، مهاجرت به واسطه کمبود آب، قدرت اجتماعی حاکمیت و منابع مالی دولت پرداخته شد.

بدین منظور با استفاده از قابلیت Simulation-Optimization نرم افزار ونسیم و الگورتیم ژنتیک بهترین مقادیر شیب افزایش قیمت آب خانگی، مقدار شیب افزایش قیمت آب صنعتی، مقدار شیب افزایش قیمت آب کشاورزی و ضریب تخصیص درآمد به فرهنگسازی برای حالتی که قدرت اجتماعی حکومت، میزان منابع مالی، مهاجرت به استانهای دارای امنیت آبی و میزان مصرف آب در بهینه ترین حالت باشند محاسبه گردید. نتایج نشان داد الگوریتم ژنتیک تابع هدف بهتری را در بهینه سازی نسبت به قابلیت simulation-optimization نرم افزار ونسیم به دست می دهد و الگوی بهینه هر دو حالت در شرایطی رقم می خورد که نرخ افزایش قیمت آب صنعتی و کشاورزی در بالاترین حالت باشد و نرخ افزایش قیمت خانگی سالیانه ۱۰ درصد باشد. نتایج مدل نشان می دهد با شبیه‌سازی شرایط بهینه، منابع آبی پشت سدها و منابع آبی زیرزمینی در طی ۲۰ سال نسبت به ادامه شرایط جاری به ترتیب ۸۹ درصد و ۱۰۷ درصد بهبود می یابد. نارضایتی عموم در شرایط بهینه تغییر چندانی ندارد و منابع مالی حاکمیت ۲۷ درصد افزایش خواهد یافت.

یکی از محدودیت‌های تحقیق که در عموم تحقیقات با ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها وجود دارد، مربوط به تاثیرگذاری متغیرها و پارامترهایی است که سازوکار داخلی آنها با توجه به مرز سیستم تعیین شده قابل مدلسازی نیست یا مدل را بسیار گسترده می‌کند. در این تحقیق نیز نظر به وسیع بودن متغیرهای تاثیر گذار و تاثیر پذیر از سیستم مدیریت منابع آبی برخی از متغیرها به صورت برونزا فرض شده‌اند. از طرفی عدم وجود آمار و ارقام دقیق در خصوص برخی از متغیرها نیز یکی دیگر از محدودیت های پژوهش بود.

به عنوان ارائه پیشنهادها در خصوص تحقیقات آتی، از آنجا که در شرایط فعلی کشور صنایع آب‌بر مثل صنایع فولاد یا کاشی و سرامیک رشد قابل توجهی یافته‌اند و در این تحقیق نیز فرض شده است این روند ادامه یابد، بررسی تاثیر رشد شرکت‌های کم آبخواه مثل شرکت‌های دانش‌بنیان و یا صنعت نساجی بر روی منابع آبی کشور حائز اهمیت است و به عنوان پیشنهاد مطرح می‌گردد.

منابع و مراجع

1. Dalin C, Qiu H, Hanasaki N, Mauzerall DL, Rodriguez-Iturbe I. Balancing water resource conservation and food security in China. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015 Apr 14;112(15):4588–93.
2. Grizzetti B, Pistocchi A, Liquete C, Udias A, Bouraoui F, van de Bund W. Human pressures and ecological status of European rivers. Sci Rep. 2017 Mar 16;7(1):205.
3. Haddeland I, Heinke J, Biemans H, Eisner S, Flörke M, Hanasaki N, et al. Global water resources affected by human interventions and climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014 Mar 4;111(9):3251–6.
4. Liu X, Pan Y, Zhang W, Ying L, Huang W. Achieve Sustainable development of rivers with water resource management - economic model of river chief system in China. Science of The Total Environment. 2020 Mar;708:134657.
5. Keshavarz A, Sadeghzadeh K. Water Consumption Management in the Agricultural Sector, Forecasting Demand for the Future. Ministry of Agricultural Jihad Agricultural Research, Education & Extension Organization (in-Persian). 2000;

زودایند ویرایش نشده

6. Shafaghati M. Studying the country's comprehensive water cycle management system and structure. Deputy of Forests, Range and Watershed Management Organization (in-Persian). 2008;
7. Statistical Center of Iran. Iran statistical year book 2018. 2018.
8. Yousefi S, Mirdamadi SM, Hosseini SJ f arajoallah, Lashgarara F. Designing Scenario for Changing the Cultivation Pattern for the Sustainability of Water Resources in West Azerbaijan Province using a Dynamic System. Water Resources Engineering [Internet]. 2023;16(57):75–90. Available from: https://wej.marvdasht.iau.ir/article_5827.html
9. Dehghani B, Farahani M, Aminnejad B. Investigating sustainable water resources management challenges in Varamin Plain and proposing managerial scenarios for integrated water resources management. In: on the New Horizons in the Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment. 2019.
10. Zarei b. An investigation of factors influencing the sustainable development of water resources management in agriculture (case study: Sarvestan). [Arsanjan]: Islamic Azad University; 2018.
11. Khiabani N, Bagheri S, Bashiripour A. Economic requirements of water resources management. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian). 2017;28(1):42–56.
12. Ram SA, Irfan ZB. Application of System Thinking Causal Loop Modelling in understanding water Crisis in India: A case for sustainable Integrated Water resources management across sectors. HydroResearch. 2021;4:1–10.
13. Keyhanpour MJ, Musavi Jahromi SH, Ebrahimi H. System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach. Ain Shams Engineering Journal. 2021 Jun;12(2):1267–81.
14. Qin H, Cha-tien Sun A, Liu J, Zheng C. System dynamics analysis of water supply and demand in the North China Plain. Water Policy. 2012 Apr 1;14(2):214–31.
15. Cabrera E, Pardo MA, Cobacho R, Cabrera E. Energy Audit of Water Networks. J Water Resour Plan Manag. 2010 Nov;136(6):669–77.
16. Ahmad S, Simonovic SP. System Dynamics Modeling of Reservoir Operations for Flood Management. Journal of Computing in Civil Engineering. 2000 Jul;14(3):190–8.
17. Simonovic SP, Li L. Methodology for Assessment of Climate Change Impacts on Large-Scale Flood Protection System. J Water Resour Plan Manag. 2003 Sep;129(5):361–71.
18. Stave KA. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. J Environ Manage. 2003 Apr;67(4):303–13.
19. Madani K, Mariño MA. System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-rud river basin. Water Resources Management. 2009;23(11):2163–87.
20. Bagheri A, Darijani M, Asgary A, Morid S. Crisis in Urban Water Systems during the Reconstruction Period: A System Dynamics Analysis of Alternative Policies after the 2003 Earthquake in Bam-Iran. Water Resources Management. 2010 Sep 30;24(11):2567–96.
21. Venkatesan AK, Ahmad S, Johnson W, Batista JR. Salinity reduction and energy conservation in direct and indirect potable water reuse. Desalination. 2011 May;272(1–3):120–7.
22. Xu ZX, Takeuchi K, Ishidaira H, Zhang XW. Sustainability Analysis for Yellow River Water Resources Using the System Dynamics Approach. Water Resources Management. 2002;16(3):239–61.
23. Qaiser K, Ahmad S, Johnson W, Batista J. Evaluating the impact of water conservation on fate of outdoor water use: A study in an arid region. J Environ Manage. 2011 Aug;92(8):2061–8.

24. Chen YT, Tu YM, Jeng B. A Machine Learning Approach to Policy Optimization in System Dynamics Models. Syst Res Behav Sci. 2011 Jul;28(4):369–90.
25. Chen Z, Wei S. Application of System Dynamics to Water Security Research. Water Resources Management. 2014 Jan 29;28(2):287–300.
26. Chang YT, Liu HL, Bao AM, Chen X, Wang L. Evaluation of urban water resource security under urban expansion using a system dynamics model. Water Supply. 2015 Dec 1;15(6):1259–74.
27. Alifujiang Y, Abuduwaili J, Ma L, Samat A, Groll M. System Dynamics Modeling of Water Level Variations of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan. Water (Basel). 2017 Dec 19;9(12):989.
28. Chen C, Ahmad S, Kalra A, Xu Z xia. A dynamic model for exploring water-resource management scenarios in an inland arid area: Shanshan County, Northwestern China. J Mt Sci. 2017 Jun 18;14(6):1039–57.
29. Gastelum JR, Krishnamurthy G, Ochoa N, Sibbett S, Armstrong M, Kalaria P. The Use of System Dynamics Model to Enhance Integrated Resources Planning Implementation. Water Resources Management. 2018 May 23;32(7):2247–60.
30. Ahmadi MH, Zarghami M. Should water supply for megacities depend on outside resources? A Monte-Carlo system dynamics simulation for Shiraz, Iran. Sustain Cities Soc. 2019 Jan;44:163–70.
31. Barati AA, Azadi H, Scheffran J. A system dynamics model of smart groundwater governance. Agric Water Manag. 2019 Jul;221:502–18.
32. Bates, Beruvides, Fedler. System Dynamics Approach to Groundwater Storage Modeling for Basin-Scale Planning. Water (Basel). 2019 Sep 12;11(9):1907.
33. Babamiri AS, Pishvaee MS, Mirzamohammadi S. The analysis of financially sustainable management strategies of urban water distribution network under increasing block tariff structure: A system dynamics approach. Sustain Cities Soc. 2020 Sep;60:102193.
34. Bakhshianlamouki E, Masia S, Karimi P, van der Zaag P, Sušnik J. A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. Science of The Total Environment. 2020 Mar;708:134874.
35. Phan TD, Bertone E, Stewart RA. Critical review of system dynamics modelling applications for water resources planning and management. Cleaner Environmental Systems. 2021 Jun;2:100031.
36. Demirel DF, Gönül-Sezer ED, Pehlivan SA. Analyzing the wastewater treatment facility location/network design problem via system dynamics: Antalya, Turkey case. J Environ Manage. 2022 Oct;320:115814.
37. Gohari A, Savari P, Eslamian S, Etemadi N, Keilmann-Gondhalekar D. Developing a system dynamic plus framework for water-land-society nexus modeling within urban socio-hydrologic systems. Technol Forecast Soc Change. 2022 Dec;185:122092.
38. Shiu HY, Lee M, Lin ZE, Chiueh PT. Dynamic life cycle assessment for water treatment implications. Science of The Total Environment. 2023 Feb;860:160224.
39. Yazdanparast M, Ghorbani M, Salajegheh A, Kerachian R. Development of a Water Security Conceptual Model by Combining Human-Environmental System (HES) and System Dynamic Approach. Water Resources Management. 2023 Mar 1;37(4):1695–709.
40. Senge PM. The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization. Currency; 1994.
41. Coyle RG. System Dynamics Modelling: A Practical Approach. Journal of the Operational Research Society. 1997 May 20;48(5):544–544.

42. Badakhshan E, Humphreys P, Maguire L, McIvor R. Using simulation-based system dynamics and genetic algorithms to reduce the cash flow bullwhip in the supply chain. Int J Prod Res. 2020 Sep 1;58(17):5253–79.
43. Alborzi M. Augmenting system dynamics with genetic algorithm and TOPSIS multivariate ranking module for multi-criteria optimization. Islamic Azad University, Sience and Research Branch, Atisaz, Evin, Tehran, Iran. 2008;1–11.
44. Martínez-Espiñeira * R, Nauges C. Is all domestic water consumption sensitive to price control? Appl Econ. 2004 Sep;36(15):1697–703.

-

زودآیند ویرایش نشده