

Research Paper

Dynamic Modeling of Water, Food and Energy Nexus in Helmand Transboundary River with Water Diplomacy Approach

Fazel Ghobaishavi¹, Mahdi Safdari² , Ali Sardar Shahraki^{3*} , Neda Ali Ahmadi⁴

1. Ph.D. Student, Department of Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

3. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

4. Ph.D. Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Received: 2024/01/02

Accepted: 2024/08/21

PP:18-33

Use your device to scan and read
the article online



DOI:

10.30495/jae.2024.32929.2414

Keywords:

Water Diplomacy, Simulation
Nexus, Helmand
Transboundary River

Abstract

Introduction: The third security of drinking water, agriculture, the environment of the Sistan region is related to the Hirmand Transboundary River. Issues related to Hirmand's water rights are one of the basic challenges and concerns for the environment and political relations between the two countries of Iran and Afghanistan. Despite many efforts made in the past, this issue has not yet been resolved due to the expression of one-dimensional views, and the conflicts between the two countries of Iran and Afghanistan are still ongoing. In this research, Dinky modeling of systems is used for simulation and dynamics of water resource management scenarios of Hirmand Transboundary River with water diplomacy.

Materials and Methods: This study utilizes dynamic system communication and feedback to analyze the relationship between changes in storage and flow. The model has been validated and calibrated using statistical tests and data from the years 2000-2021.

Findings: Based on the simulation results, it shows that the proposed solution, a combination of water resources management policy, has been selected as the best policy. So that in the sub-system of agriculture, the area under cultivation and the supply of water agricultural products increased by 11.700% in 2031 compared to 2000. Increasing the irrigation efficiency by 32% and the production pattern of agricultural products are selected scenarios for the sustainable management of water resources.

Conclusion: To enhance water and food security in the study area, it is advised to prioritize the improvement of the irrigation and drainage network of agricultural lands. This will increase irrigation efficiency and promote water conservation. Furthermore, modifying the crop cultivation pattern to reduce water consumption and boost productivity is recommended. It is crucial to prioritize water policies that benefit both Iran and Afghanistan in order to achieve these goals.

Citation: Ghobaishavi F., Safdari M., Sardar Shahraki A., Ali Ahmadi N.(2025). Dynamic Modeling of Water, Food and Energy Nexus in Helmand Transboundary River with Water Diplomacy Approach. Journal of Agricultural Economics Research.17(1):18-33

*Corresponding author: Ali Sardar Shahraki

Address: Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Tell: 0098 51 3113 6872

Email: a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water, as a vital resource, is depleting, and with increasing population and climate changes, the demand for water, energy, and food is projected to rise significantly by 2050. Water diplomacy has emerged as a novel approach to managing shared water resources, emphasizing dialogue and collaboration among nations. In the context of the Helmand River Basin, disputes over water usage have become strategic issues. An approach focusing on the interconnections of water, energy, and food can contribute to conflict resolution and foster sustainable relationships between countries. This perspective aligns with Iran's development agenda, highlighting the need for dynamic system methods to model the complexities of water resources. In a review of relevant background studies, some internal and external research efforts are mentioned. Ghannian (2022) demonstrated in the water, food, and energy nexus in the large Karun basin that most stakeholders in various sectors are interested in establishing intra-organizational communications and show little inclination for interorganizational connections (1). Kiyampour and colleagues (2021) conducted research analyzing the dynamic management of sustainable water resources based on the nexus of water, food, and energy in Khuzestan province. The simulation results propose that a combination of water demand management policies and food resource management is introduced as the optimal solution for maintaining resource sustainability in this region (2).

In summary, a review of the background related to water, energy, and food interdependence with economic, social, and environmental issues in the Transboundary Rivers, and the lack of success in the strategic management of the sector, indicates that these factors can create various opportunities and challenges for countries sharing a common watershed. Therefore, adopting a comprehensive and dynamic approach to sustainable management of shared resources is essential. Water diplomacy, as a novel approach, plays a crucial role in resolving conflicts and expanding cooperation in transboundary water resources. This approach, emphasizing dialogue and collaboration among interested countries, can contribute to creating a stable political environment and enhancing interdependence between water, energy, and food. This diplomatic approach is considered a missing link in previous research, which primarily focused on technical and legal issues of transboundary water resource management. However, water diplomacy, with its emphasis on political, social, and economic aspects, can aid in conflict resolution and collaboration expansion in transboundary water resources. Various methods are available to operationalize this perspective, and system

dynamics is employed as a scientific method for modeling and simulating complex systems. In this context, Iran has the potential, through adopting a collaborative approach alongside dynamic and sustainable diplomacy with Afghanistan, to leverage the potential for securing water resources in its eastern regions heavily reliant on transboundary waters. Therefore, the main objective of this research is to use system dynamics modeling to examine the water, food, and energy interdependence with a water diplomacy approach in the Helmand River transboundary region.

Materials and Methods

The System Dynamics (SD) method, depicting the real world through nonlinear feedback loops and interactions, facilitates understanding complex system behaviors over time. It provides a dynamic rather than static view of complex systems like water resources, aiding in a deeper understanding and serving as a suitable tool for visualizing, dissecting, and analyzing the evolution of complex system behavior over time. Model development progresses from the whole to the parts, gradually refining functions and interconnected components until the model becomes comprehensive. Users can iteratively estimate and evaluate the model during construction, gaining various insights into the system. The symbols used for drawing flow diagrams were first presented by Forrester in 1961, originating from hydraulic concepts. Subsystem models are developed based on their causal loop diagrams to better describe accumulation and depletion, determining the material flow in the system.

Finally, the conceptual model of the current research focuses on the Frat River basin, generally consisting of water, food, and energy security subsystems. Data for each subsystem's variables were collected from 1379 to 1400 and simulated using Vensim DSS software for the period 2000–2031.

Findings

This study suggests integrated policies for water resource management through model validation and expert opinions. In agriculture, shifting to modern irrigation systems can increase efficiency from 35% to 65%. Modifying the cropping pattern in Sistan and prioritizing efficient crops enhance water productivity and food security. These policies aim to address water scarcity and food security challenges in the Iran-Afghanistan border region. The study utilizes dynamic system modeling to analyze comprehensive water, food, and energy interdependencies. Calibration and validation of the model demonstrate good alignment with real observations. Afghanistan's water, food, and energy security challenges directly

impact neighboring countries, including Iran. Diplomacy emphasizing collaboration in the water, food, and energy sectors is proposed to resolve water disputes between Iran and Afghanistan. Previous research primarily focused on technical and legal aspects of transboundary water management. Diplomacy, emphasizing political, social, and economic aspects, can complement technical approaches for effective water resource management.

Discussion and Conclusion

The comprehensive interdependent approach, instead of focusing on individual sectors, is an innovative and effective strategy for the issues of transboundary water and water disputes. In this study, a comprehensive model based on the dynamics of system interactions was developed using a water diplomacy approach in the Helmand River. The relationships and feedback among the subsystems of water, food, and energy were explored through storage and flow diagrams. The model was calibrated and validated using iterative behavior testing, demonstrating acceptable results and behavior alignment with real observations. The eastern border regions are heavily dependent on transboundary waters, and given the significance of

the agricultural sector in supplying the country's food needs, proper measures are crucial for ensuring sustainable water and food security. Additionally, Afghanistan faces serious challenges in water, food, and energy security, directly impacting the water security of neighboring countries, including Iran (Sistan region). Adopting a water, food, and energy interdependence approach through dynamic and sustainable diplomacy is highly suitable for addressing challenges and conflicts related to Iran and Afghanistan's transboundary waters. The examined scenarios, including 65% irrigation efficiency in agriculture and appropriate crop patterns, suggest practical operational strategies for sustainable water resource management.

Operational suggestions based on the results of scenario simulations in line with the interdependence approach in water diplomacy include:

Developing irrigation networks and drainage systems for agricultural lands to increase irrigation efficiency from 33% to 65%. Modifying crop cultivation patterns with the aim of reducing water consumption and increasing crop yield.

مقاله پژوهشی

توسعه سناریوهای همبست منابع آبی رودخانه فرامرزی هیرمند با رویکرد دیپلماسی

فاضل غیشاوی^۱، مهدی صفدری^۲، علی سردار شهرکی^۳، ندا علی احمدی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

۳. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

۴. دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

چکیده

مقدمه و هدف: تأمین امنیت آب شرب، کشاورزی، محیط زیست منطقه سیستان، به شدت وابسته به رودخانه فرامرزی هیرمند است. مسئله تأمین حق آبه هیرمند یکی از چالش‌ها و دغدغه‌های اساسی برای مسئولان محیط زیستی و مناسبات سیاسی بین دو کشور ایران و افغانستان است. با وجود تلاش‌های بسیاری که در گذشته صورت گرفته، این مسئله هنوز به دلیل تمرکز بر دیدگاه‌های تک‌بعدی، حل نشده است و مناقشات بین دو کشور ایران و افغانستان همچنان ادامه دارد. در این پژوهش، از مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌ها برای شبیه‌سازی و پویایی سناریوهای مدیریت منابع آبی رودخانه فرامرزی هیرمند با رویکرد دیپلماسی آب استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، با استفاده از رویکرد سیستم پویا روابط و بازخورد میان متغیرهای موجود در زیرسیستم‌ها با نمودار ذخیره و جریان بیان شده است. سپس، صحت سنجی و کالیبراسیون مدل با آزمون‌های آماری و داده‌های سال‌های ۱۳۷۹-۱۴۰۰ صورت گرفته است.

یافته‌ها: در نظر گرفتن نگرش همبست و دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی سبب بهبود وضعیت منابع آبی می‌شود، طبق نتایج شبیه‌سازی راه حل پیشنهادی، ترکیبی از سیاست مدیریت منابع تقاضا آب و غذا به عنوان بهترین سیاست انتخاب شده است. به طوری که در زیر سیستم بخش کشاورزی سطح زیر کشت و عرضه محصولات کشاورزی در سال‌های ۱۴۱۰ نسبت به سال ۱۳۷۹ افزایش ۱۱/۷۰۰ درصدی داشته است. افزایش راندمان آبیاری ۳۲ درصدی و الگوی کشت متناسب محصولات کشاورزی به عنوان سناریوهای منتخب برای مدیریت پایدار امنیت آبی و غذایی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: برای افزایش امنیت آبی و غذایی در منطقه مورد مطالعه، توصیه می‌شود که بهبود شبکه آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی با هدف افزایش راندمان آبیاری، اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی جهت کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری در تولید محصولات مورد استفاده در ایران و افغانستان باید در اولویت سیاست‌های آبی قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

شماره صفحات: ۱۹-۳۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/jae.2024.32929.2414

واژه‌های کلیدی:

دیپلماسی آب، شبیه‌سازی، همبست، رودخانه فرامرزی هیرمند

* نویسنده مسئول: علی سردار شهرکی

نشانی: دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

تلفن: ۰۵۴۳۱۱۳۶۸۷۲

پست الکترونیکی: a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir

مقدمه

آب یک منبع حیاتی و محدود است که برای زندگی، رشد اقتصادی و توسعه اجتماعی ضروری است (۳). با افزایش سریع جمعیت، شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، نیاز به آب، انرژی و غذا در سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۵۵، ۸۰ و ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت (۴). با افزایش نیازهای آبی و کاهش منابع آب‌های شیرین، بدون شک، دیپلماسی آب به عنوان یک مسئله جدی در امنیت ملی کشورها، به ویژه در مناطق متأثر از رودخانه‌های فرامرزی، اهمیت چندانی پیدا می‌کند. دیپلماسی آب، رویکردی نوین برای مدیریت منابع آب مشترک است که بر گفتگو و همکاری بین کشورهای ذی‌نفع تأکید دارد. این رویکرد، می‌تواند به حل مناقشات آبی بین کشورها، استفاده کارآمدتر از منابع آب و ایجاد روابط توسعه پایدار بین کشورها در زمینه آب کمک کند. مذاکره درمورد منابع آبی استراتژیک، اساساً به مذاکره درباره سرنوشت نسل فعلی و آینده ملت‌ها می‌پردازد. حوزه آبریز فرامرزی هیرمند، در شرق ایران، به عنوان یک رودخانه بین‌المللی برای دو کشور ایران و افغانستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در صدر مسائل دو جانبه قرار دارد. اختلافات زیادی بر سر چگونگی بهره‌برداری از آب رودخانه هیرمند وجود داشته که با وجود تلاش‌های بی‌شماری که در سال‌های گذشته انجام شده، مساله هنوز حل نشده است. در حال حاضر، این موضوع به یک امر حساس و استراتژیک در روابط دو کشور تبدیل شده و گاهی اوقات منجر به نزاع و مناقشه می‌شود. بررسی تاریخی تعاملات آبی رودخانه فرامرزی هیرمند دو کشور نشان می‌دهد همکاری‌های فنی و راه‌حل‌های فنی به تنهایی قادر به بهبود وضعیت تسهیم در آب رودخانه‌های مشترک در شرایط مطلوب نیستند. بلکه نیاز است دو کشور با برجسته‌سازی وابستگی متقابلی که به یکدیگر دارند به بازتعریف تعاملات حال حاضر بپردازند. نگرش به همبست امنیت منابع آب، غذا و انرژی از پتانسیل ویژه‌ای برای مدیریت مسائل و مناقشات آب در تمام کشورها و حوضه‌های آبریز فرامرزی مشترک متمرکز شود. همبستگی بین آب، انرژی و غذا نشان می‌دهد که چگونه این سه بخش با یکدیگر در ارتباط و وابستگی متقابل قرار دارند. به عبارتی دیگر، استفاده از رویکرد همبست نه تنها در مدیریت مناقشات بین برخی از کشورهای کرانه حوضه‌های آبریز فرامرزی نقش دارد، بلکه سطح روابط آن‌ها را از مناقشه به همکاری تبدیل کرده است. موضوع مدیریت منابع آبی در برنامه هفتم توسعه جمهوری اسلامی ایران، به عنوان یکی از اولویت‌های اصلی، در بند ۷ و اسناد بالادستی کشور، از جمله سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق سال ۱۴۰۴، در بندهای ۳۷ و ۴۰، و سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف در

بند ۸ و سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی، توجه سیاست‌گذاری کشور را در دستیابی به اهداف و برنامه‌های مدیریتی به خوبی نشان می‌دهد. برای عملیاتی کردن این دیدگاه، اگر چه در سال‌های اخیر از روش‌های مختلفی به بررسی بسیاری از مدل‌های یکپارچه، با در نظر گرفتن چرخه هیدرولوژی حوضه، برای مدیریت منابع آب استفاده کرده‌اند (۵)، (۶)، ولی این بررسی‌ها فرآیندهای بازخوردی و رفتاری پیچیده بودن سیستم منابع آبی، یکی از بهترین ابزارهای که بتوان با آن ارتباط بین همه اجزای درون یک سیستم پیچیده را بررسی کرد روش سیستم پویایی است (۷). این روش برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی رفتار مسائل پیچیده و ارزیابی پیامد سیاست‌گذاری‌ها به کار می‌رود. در بررسی پیشینه مرتبط با پژوهش، برخی از مطالعات داخلی و خارجی صورت گرفته اشاره می‌شود.

غنیان (۲۰۲۲) در شبکه همبست آب، غذا، انرژی در حوضه کارون بزرگ نشان داد که اکثر بازیگران دستگاه‌های مختلف علاقه دارند تا ارتباطات درون سازمانی برقرار کنند و تمایلی به برقراری ارتباطات میان سازمانی ندارند (۸).

کیهان پور و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به تحلیل دینامیکی مدیریت پایدار منابع آبی مبتنی بر همبست منابع آب، غذا، انرژی در استان خوزستان پرداخته‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی راهکارها پیشنهادی نشان می‌دهند که ترکیبی از سیاست مدیریت تقاضای آب و مدیریت منابع غذا، به عنوان بهترین راهکار برای حفظ پایداری منابع در این منطقه معرفی شده‌اند (۹).

برجسته و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای به تبیین کارکرد رویکرد همبست در هیدروپلیتیک آب‌های فرامرزی پرداخته‌اند، نتایج مطالعات نشان داد که وجود وابستگی متقابل و به تبع آن، به کارگیری همبست، فرصتی برای بازتعریف مناقشات آب‌های فرامرزی فراهم می‌آورد. اتخاذ این رویکرد و تدوین استراتژی براساس آن، می‌تواند به منافع مشترک بین کشورهای ساحلی بپردازد و فضایی گسترده تر برای چانه زنی پیرامون منابع ایجاد کند (۹).

صادقی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی، به بهینه‌سازی خطی همبست آب، انرژی و غذا برای حوضه آبخیز شازند، استان مرکزی، ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بر مبنای بهینه‌سازی خطی همبست آب، انرژی و غذا پتانسیل ۱۴-۱۶ درصد صرفه‌جویی آب، ۵۳-۱۰ درصد صرفه‌جویی انرژی و ۵۷-۴۰ درصد تغییرات در زمین مورد استفاده وجود دارد (۱۰).

سانگ و همکاران (۲۰۱۸) از مدلسازی پویا در پژوهشی در مورد حفاظت از آب در شهر برای شبیه‌سازی سیاست‌های بهینه در زمینه حفاظت از آب استفاده کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان

می‌دهد که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵، اهداف حفاظت از آب، از جمله حفظ آب و کنترل محیط آب، با نرخ کاهش سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای اکسیژن به میزان ۱۲/۶ درصد و نرخ سالانه ناخالص ثابت سالانه ۴/۳ درصد، بهبود می‌یابد (۱۱).

در مطالعه‌ای کویت‌ر و همکاران (۲۰۱۶)، شبیه‌سازی دینامیکی سیستم یکپارچه با استفاده از یک روش مدل‌سازی دینامیکی سیستم برای بررسی فرآیندهای بازخورد تعامل بین جمعیت، منابع آب و بخش تولید کشاورزی حوضه رودخانه ولت در غرب آفریقا، پرداخته‌اند یافته‌های تحقیق نشان داده‌اند که در سناریوهای مورد بررسی (سناریو توسعه زیرساخت‌های تأمین آب، سناریو توسعه سطح زمین‌های کشاورزی و سناریو سوم)، سناریو اولی حداکثر سود را برای افرادی که در حوضه زندگی می‌کنند فراهم می‌کند (۱۲).

مهرآذر (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی یکپارچه سیستم‌های منابع آب، کشاورزی و اقتصادی، اجتماعی دشت هشترو با استفاده از رویکرد دینامیکی سیستم‌ها پرداخته‌اند. مدل به خوبی واسنجی شده و این نشان دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب در دشت هشترو تحت سیاست‌های مختلف در دوره‌های آتی است (۱۳).

در مجموع، مروری بر سوابق پیشینه مرتبط بودن همبست آب، انرژی و غذا با مسائل اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی در رودخانه‌های فرامرزی و عدم موفقیت در مدیریت استراتژیک بخش محور، نشان می‌دهد که این عوامل، می‌توانند فرصت‌ها و چالش‌های مختلفی را برای کشورهایی که در یک حوزه آبخیز مشترک قرار دارند، ایجاد کنند. بنابراین، اتخاذ یک رویکرد جامع و پویا برای مدیریت پایدار منابع مشترک، امری ضروری است. ابزار دیپلماسی آب، به عنوان یک رویکرد نوین، نقش مهمی در حل مناقشات و گسترش همکاری در زمینه منابع آب فرامرزی ایفا می‌کند. این رویکرد، با تأکید بر گفتگو و همکاری بین کشورهای ذینفع، می‌تواند به ایجاد یک محیط سیاسی پایدار و غنی‌تر شدن همبست بین آب، انرژی و غذا کمک کند. این رویکرد به عنوان حلقه مفقوده در تحقیقات قبلی محسوب می‌شود. تحقیقات قبلی، عمدتاً بر مسائل فنی و حقوقی مدیریت منابع آب فرامرزی تمرکز داشته‌اند. اما دیپلماسی آب، با تأکید بر مسائل سیاسی و اجتماعی، اقتصادی می‌تواند به حل مناقشات و گسترش همکاری در زمینه منابع آب فرامرزی کمک کند. برای عملیاتی کردن این دیدگاه، روش‌های مختلفی وجود دارند که با آن مطابقت داشته باشند. پویایی‌شناسی سیستم‌ها به عنوان یک روش علمی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴). روش پویایی سیستم، در زمینه درک روابط بین متغیرهای مختلف در یک سیستم ابزار بسیار

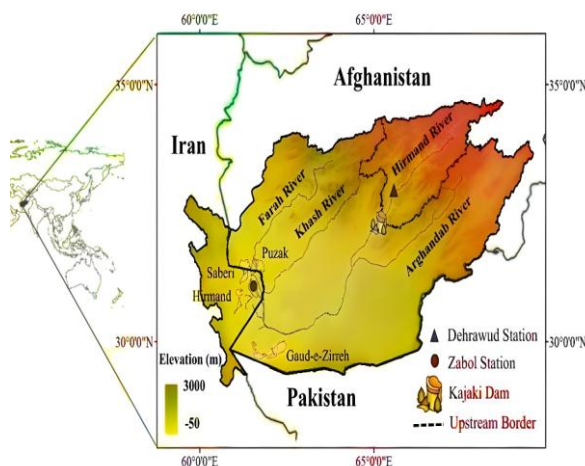
قدرتمندی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مناسب است (۱۵)، (۱۶) که در سال‌های اخیر از روش تحلیل سیستم پویا به منظور شبیه‌سازی رفتار و مدیریت منابع آب در حوضه رودخانه جهان استفاده نمودند (۱۷)، (۱۸)، (۱۹) در این راستا، کشور ایران برای مسئله تأمین امنیت منابع آبی مناطق شرقی خود که به شدت به منابع آب‌های فرامرزی وابسته است اتخاذ دیدگاه تفکر سیستمی همبست و مکانیزم دیپلماسی آبی دارای پتانسیل‌هایی است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش، استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها به منظور بررسی همبست آب، غذا، انرژی با رویکرد دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی هیرمند است.

روش تحقیق

مطالعه موردی آب حوضه آبریز رودخانه هیرمند

منطقه سیستم با مساحتی حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در شرق ایران و شمال استان سیستان و بلوچستان، با جمعیتی بالغ بر ۴۰۵ هزار نفر واقع گردیده است. منطقه سیستان با داشتن بیش از ۱۰۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی، از مناطق مهم و استراتژیک کشور از نظر اقتصادی، تجاری، و امنیتی است که می‌تواند در توسعه پایدار کشور نقش مهمی ایفا کند (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۱). این منطقه در قسمت انتهایی حوضه آبریز هیرمند مشترک با کشور افغانستان قرار دارد و تمامی منابع آب‌های سطحی ورودی به ایران از ارتفاعات واقع در کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز هیرمند یک حوضه آبریز بسته است که بخش‌های بزرگی از جنوب و غرب افغانستان و بخش‌های کوچکی از جنوب شرقی ایران را در برمی‌گیرد. این حوضه شامل تعدادی رود است که از ارتفاعات افغانستان سرچشمه می‌گیرند و به سمت دریاچه‌ها و تالاب‌های آب شیرین هامون و گودزره در افغانستان می‌ریزد. بخشی از آب رودخانه هیرمند در خاک ایران، درچاه‌نیمه‌های یک تا چهار برای مصارف کشاورزی و شرب در طول سال ذخیره می‌شود. تالاب‌های بین‌المللی هامون در دشت سیستان، منابع غنی و ارزشمندی دارند که در زمان پرآبی، امرار معاش گروه‌های مختلفی از مردم منطقه به طور مستقیم به آن وابسته است. این تالاب‌ها، باعث پویایی و خودکفایی اقتصادی مردم منطقه سیستان است. دامداری، صیادی، حبسربافی و کشاورزی از جمله فعالیت‌های اقتصادی در این منطقه است. بنابراین، منابع آب شرب و کشاورزی دشت سیستان و همچنین حقابه‌های تالاب‌های هامون کاملاً وابسته به میزان آب ورودی به ایران است. افغانستان تاکنون سدهای متعددی در حوضه آبریز هیرمند احداث کرده که مهمترین آنها سدهای کجکی، ارغنداب و کمال خان است. بر اساس معاهده‌ی سال ۱۳۵۱، حقابه ایران ۲۲ مترمکعب آب در ثانیه

به طور متوسط درسال نرمال آبی معادل ۸۲۰ میلیون مترمکعب درسال است.



شکل ۱- موقعیت رودخانه هیرمند

توسعه مدل پویایی سیستم

پویایی سیستم (SD) توانایی نمایش دنیای واقعی را با ترسیم حلقه‌های بازخورد غیرخطی و تعامل بین اجزا برای کشف و درک رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طی زمان، برای مدل‌سازی پویا از پیوند اجزاء همبست فراهم می‌کند (۷). این روش با ارائه یک تصویر پویا و نه استاتیک از سیستم‌های پیچیده‌ای مانند منابع آب کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری ایجاد شود و به عنوان ابزار مناسبی برای تجسم، تجزیه و تحلیل چگونگی تکامل رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان بررسی می‌شود. توسعه مدل از کل به جز انجام می‌شود، به صورتی که به طور تدریجی توابع و اجزاء اتصال شده بیش-تر شده تا این که مدل کامل شود (۲۱). از طرفی کاربر در زمان ساخت مدل می‌تواند به طور مکرر مدل را برآورد و ارزیابی قرار دهد و تجزیه و تحلیل‌های مختلفی را از سیستم کسب کند (۲۰).

نشانه‌های استفاده شده جهت ترسیم نمودارهای ذخیره جریان نخستین بار توسط فارستر ۱۹۶۱ ارائه شد و از مباحث هیدرولیکی گرفته شده است (۷). همچنین، زیر سیستم‌های مدل براساس نمودارهای حلقه‌های علی و معلولی آن‌ها توسعه یافته‌اند تا سبب توصیف بهتر تجمع و نقصان شده و روند جریان مواد در سیستم را تعیین نمایند.

در نهایت، مدل مفهومی پژوهش کنونی، حوضه آبریز رودخانه فرامرزی به طور کلی از زیر سیستم‌های امنیت آب، غذا، انرژی به صورت زیر تشکیل شده است. که داده‌های مربوط به متغیرهای هریک از زیرسیستم‌ها در بازه‌ی زمانی ۱۳۷۹ تا

۱۴۰۰ جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، سپس با استفاده از نرم افزار VENSIM برای دوره زمانی ۱۴۱۰-۱۳۷۹ شبیه-سازی صورت گرفته است.

زیر سیستم امنیت آب

عرضه منابع آبی از طریق دو انباشت منابع آب سطحی و منابع زیر زمینی تأمین می‌گردد. در زیر سیستم منابع آب، مخازن طبیعی چاه نیمه با کل ظرفیت مخازن ۶۶۰ میلیون مترمکعب، به منظور استفاده از ذخیره بخشی، آب مازاد رودخانه هیرمند در فصول کم آبی و خشک تخمین زده شده است. در صورتی که به طور ثقلی آب از آن خارج شود ظرفیت مفید و قابل بهره برداری حدود ۳۴۰ میلیون مترمکعب است. همچنین، حوزه آبریز هیرمند با بارندگی حدود ۵۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه خشک کشور محسوب می‌گردد. ۷۰ درصد از کل عرضه آب در این منطقه توسط بخش کشاورزی مصرف می‌شود. بنابراین، استفاده و مدیریت صحیح این منابع به منظور برطرف کردن نیازهای آب کشاورزی، زیست محیطی و تضمین شرایط مناسب برای آینده لازم است. در پژوهش حاضر، جهت بررسی مدیریت پایدار منابع آب، حجم آب چاه‌نیمه‌ها یک، دو و سوم (متغیرحالت) به منظور تقاضای آب در حوزه آبریز هیرمند در مدل تعریف شده است. آب از طریق کانال ورودی رودخانه هیرمند وارد مخازن چاه‌نیمه می‌شود. مقدار آب رها سازی شده با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$outFlow = Is + inf\ low - E \quad (1)$$

در رابطه (۳) out flow مقدار آب رها سازی شده، Is مقدار حجم اولیه مخزن، E تبخیر از سطح مخزن و out flow جریان ورودی به مخزن چاه نیمه است.

برای برآورد زیر سیستم تقاضای آب بخش شرب، جمعیت به دلیل تأثیر چشمگیری که بر منابع آبی دارد از رابطه (۲) استفاده شد.

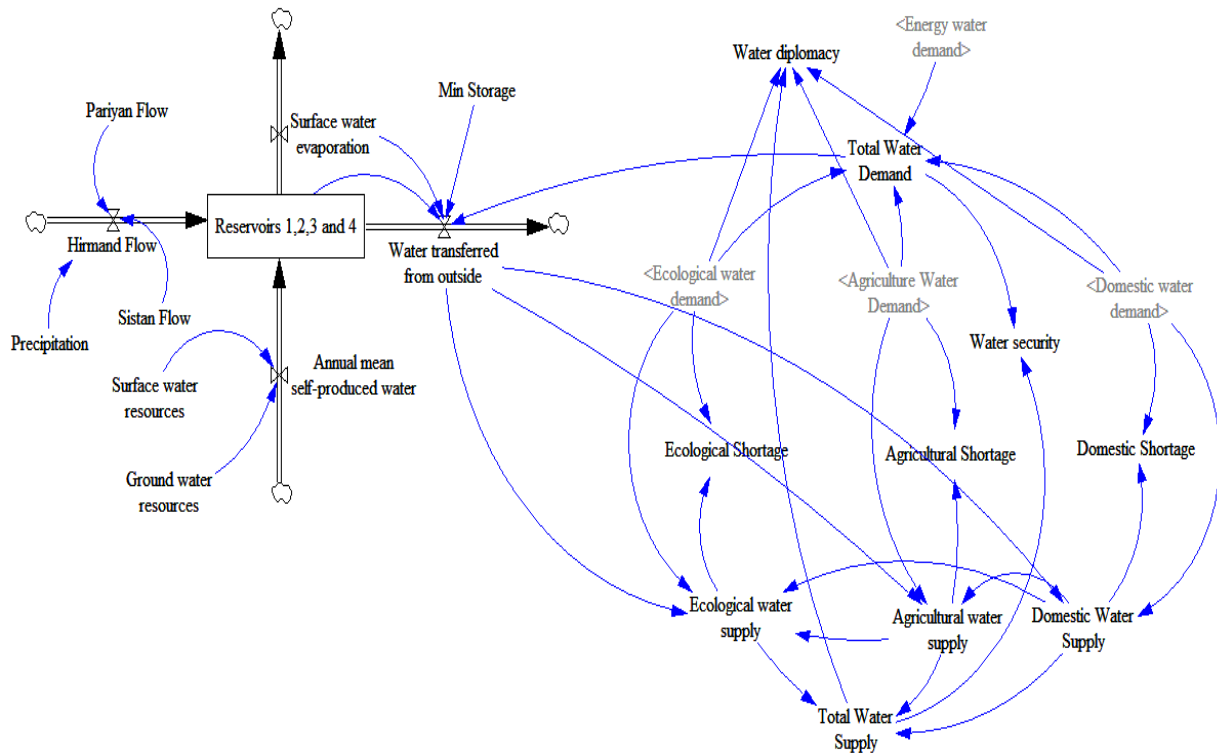
$$p_t = p_0(1+r)^n \quad (2)$$

در این رابطه، p_0 جمعیت در سال پایه، p_t جمعیت در سال t ، r نرخ رشد جمعیت و n فاصله‌ی بین سال‌های شبیه سازی شده است.

در رابطه (۳)، WD تقاضای آب شرب بر حسب میلیون مترمکعب و WCPC سرانه مصرف آب بر حسب متر مکعب در سال است.

$$WD = p_t \times wpc \quad (4)$$

تقاضای کل آب ناشی از تقاضای کل آب شرب که به سطح جمعیت و سرانه مصرف آب مرتبط است و نیز ناشی از تقاضای کل آب بخش انرژی و تقاضای آب صنعت به جز صنایع بخش انرژی و نیز تقاضای کل آب غذا می‌باشد. در نهایت، امنیت منابع آبی از اختلاف بین عرضه و تقاضای آب در نظر گرفته شده است.

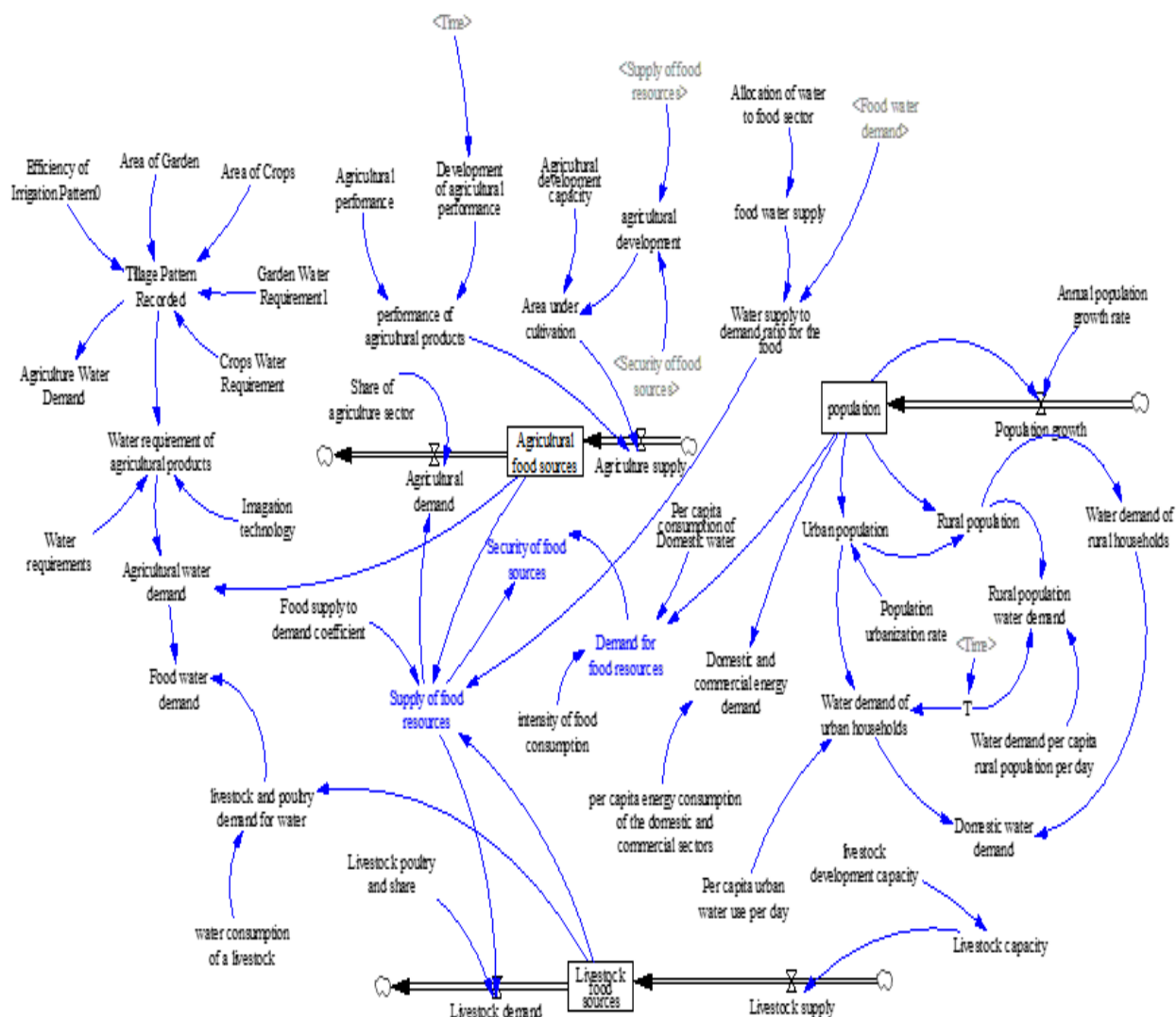


نمودار ۱- زیر سیستم امنیت آبی

زیر سیستم امنیت غذا

کشاورزی و نیاز آبی محصولات و شدت مصرف آب در بخش کشاورزی است. شدت مصرف آب در کشاورزی، ناشی از سه عامل الگوی کشت، راندمان آبیاری و نیاز آبی در این بخش در نظر گرفته شده است. عرضه غذا از منابع غذا بخش کشاورزی، بخش شیلات و دام و طیور، تأمین می‌گردد. از سوی دیگر، تقاضای کل آب غذا از مجموع تقاضای آب هر سه بخش کشاورزی به عنوان عمده‌ترین تقاضای آب می‌باشد.

حوضه آبریز هیرمند دارای الگوی کشت متنوعی از انواع گوناگون محصولات آبی است. عرضه محصولات کشاورزی شامل یونجه، باغی، گوجه، پیاز، کنجد، هندوانه، آفتابگردان، ذرت، گندم، جو، خربزه، خیار، سورگوم، حبوبات و گیاهان دارویی که به دو دسته زراعی و باغی طبقه بندی شده است. بخش کشاورزی، به عنوان عمده‌ترین تقاضای آب می‌باشد و تقاضای آب در این بخش ناشی از میزان تولید منابع غذایی بخش

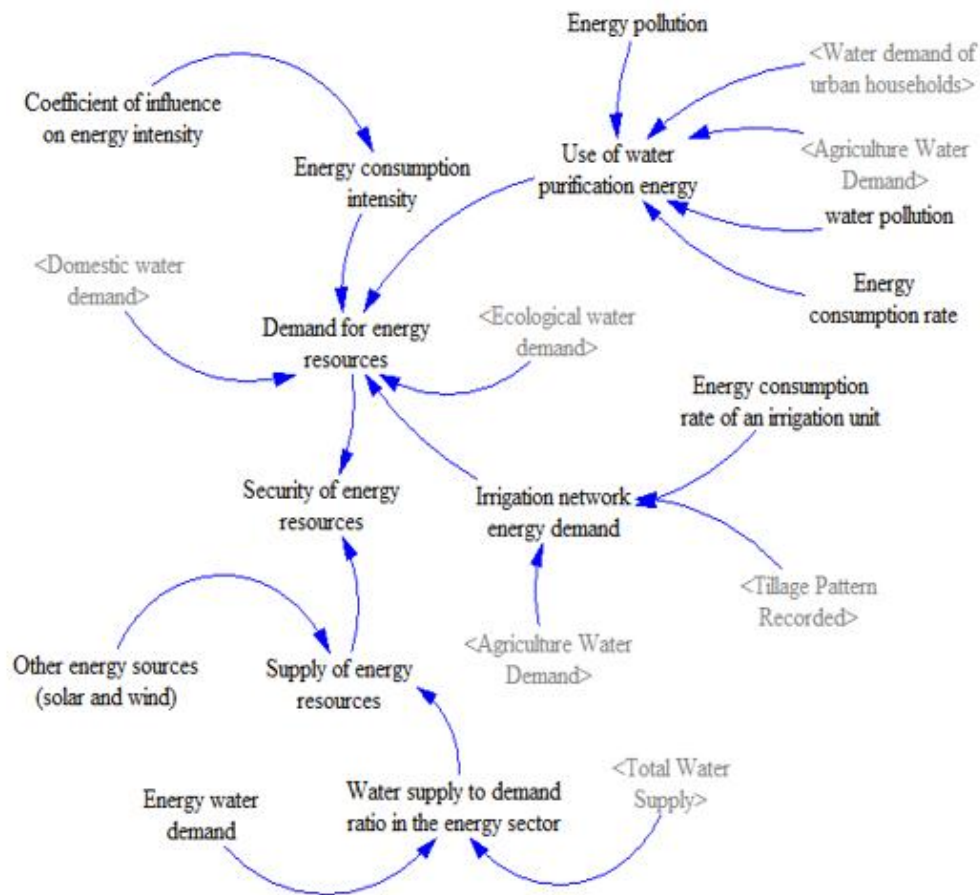


نمودار ۲- زیر سیستم غذا

زیر سیستم امنیت انرژی

تحت اثر توسعه اقتصادی است. امنیت منابع انرژی تفاوت بین عرضه و تقاضای انرژی در زیر سیستم منابع انرژی در نظر گرفته شده است.

عرضه انرژی از طریق شبکه برق ملی، نیروگاه‌های برق آبی، منابع انرژی (خورشیدی و بادی) و سایر انجام می‌شود. تقاضای انرژی متناسب با میزان تقاضای مصارف برق صنعت، کشاورزی و خدمات بوده که ناشی از جمعیت و شدت مصرف انرژی که



نمودار ۳- زیر سیستم انرژی

جدول ۱- شناسایی مقادیر مهم متغیرهای همبست آب، غذا و انرژی

منبع	واحد	مقادیر اولیه	متغیرها
مرکز آمار ایران	نفر	۳۶۰۰۰	جمعیت
آمار نامه جهاد کشاورزی	هکتار	۸۱۶۴۲	سطح زیر کشت محصولات زراعی
آمارنامه جهاد کشاورزی	هکتار	۱۰۵۸	سطح زیر کشت محصولات باغی
آمارنامه جهاد کشاورزی	تن	۷۱۵۴۵۰	میزان عملکرد
آمارنامه جهاد کشاورزی	رأس	۱۳۲۳۴۴	دام سنگین
آمارنامه جهاد کشاورزی	رأس	۸۹۰۷۸۴	دام سبک
شرکت آب منطقه سیستان	میلیون متر مکعب	۳۳۰	ذخایر چاه نیمه ۱ و ۲ و ۴
آمارنامه جهاد کشاورزی	متر مکعب در روز	۰/۰۹۰	سرانه نیاز آبی دام سنگین
آمارنامه جهاد کشاورزی	متر مکعب در روز	۰/۰۱	سرانه نیاز آبی دام سبک
آمارنامه جهاد کشاورزی	میلیون متر مکعب	۸۸۴,۴۹	حجم کل آب در دسترس
آمارنامه جهاد کشاورزی	میلیمتر	۵۵	میانگین بارندگی
آمارنامه جهاد کشاورزی	میلیون متر مکعب	۴۳۳,۵۶۲	عرضه آب
آمارنامه جهاد کشاورزی	میلیون متر مکعب	۱۳۵۰,۰۱	تقاضای آب
اداره کل هواشناسی	میلی متر	۴۱۰۰	تبخیر
آمارنامه جهاد کشاورزی	متر مکعب در روز	۰/۱۲	سرانه نیاز آب جمعیت شهری
آمارنامه جهاد کشاورزی	متر مکعب در روز	۰/۱۲	سرانه نیاز آب جمعیت روستایی
آمارنامه جهاد کشاورزی	میلیون متر مکعب	۵۹/۹۹	کمبود زیست محیطی
ترازنامه انرژی	بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال	۱/۵۴	شدت مصرف انرژی
آمارنامه جهاد کشاورزی	درصد	۱۳/۶	نرخ خودکفایی مواد غذایی

نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا با بررسی همبست زیرسیستم‌های آب، غذا، انرژی با رویکرد دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی هیرمند، مدلی جامع براساس پویایی سیستم‌ها گسترش داده شد. سپس روابط و بازخورد میان متغیرهای موجود در زیرسیستم‌ها با نمودار ذخیره و جریان ترسیم شده است. علاوه بر این معادلات حاکم بر متغیرها وارد مدل گردیده شد و مدل با استفاده از آزمون تکرار رفتار کالیراسیون و صحت‌سنجی شد. در آخر اعمال سناریوهایی چون توسعه شبکه آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی به منظور افزایش درصدی ۳۲ راندمان آبیاری در منطقه، الگوی کشت محصولات کشاورزی آب‌بر و ترکیبی از این سناریوها انجام شد. شبهه سازی تولید مدل پویا در افق زمانی ۲۰ ساله انجام گرفته است. سال مینا در مدل ۱۳۹۰ است و برای ارزیابی بهتر عملکرد مدل، کل سری زمانی به دو مجموعه داده تقسیم می‌گردد. بخش اول، که شامل ۱۳۹۰-۱۳۷۹ که برای مدل کالیبره سازی استفاده می‌شود و یک

مجموعه داده دیگر که ۱۳۹۱-۱۴۰۰ برای اعتبارسنجی مدل استفاده می‌شود. شش متغیر ذخیره برای انجام کالیراسیون و اعتبار سنجی، شامل جمعیت، منابع غذایی دامی، منابع غذایی کشاورزی، منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی و منابع آب سدها مورد استفاده می‌شود. در این مطالعه مدل از طریق مقایسه داده‌های شبه‌سازی شده از مدل با داده‌های مشاهده شده انجام می‌شود. در آزمون روند داده‌های شبه‌سازی شده با مدل با داده‌های مشاهده شده مطابقت داده می‌شود. به علت اینکه هر یک از ابزارهای آماری در راستای مقایسه داده‌های تاریخی و تولیدشده دارای محاسن و معایبی در بررسی‌های آماری است، در این آزمون ابتدا داده‌های تاریخی و داده‌های تولیدشده ترسیم شده، سپس تست خطا با استفاده از ضریب تعیین، R^2 معیار نش- ساتکلیف و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای ارزیابی عملکرد بیشتر مدل انجام می‌شود (۲۱).

جدول ۲- آزمون‌های مدل همبست آب، انرژی، غذا

سال	متغیر	کالیراسیون						اعتبارسنجی					
		۷۹	۸۱	۸۳	۸۵	۸۷	۸۹	R^2	۹۲	۹۴	۹۶	۹۸	۰۰
جمعیت	NSE	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸
	RMSE	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۹
دام سنگین	NSE	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۵۹	۰/۳۸	۰/۸۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۹
	RMSE	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸
دام سبک	NSE	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۵۳	۰/۸۶	۰/۹۶
	RMSE	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۸
میزان محصول	NSE	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۹۱
	RMSE	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۸
ذخایر چاه نیمه	NSE	۰/۵۷	۰/۹۶	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۹۳	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۹۱
	RMSE	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۸
غذای کشاورزی	NSE	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۴۹	۰/۹۹	۰/۷۰	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۹۹
	RMSE	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۷

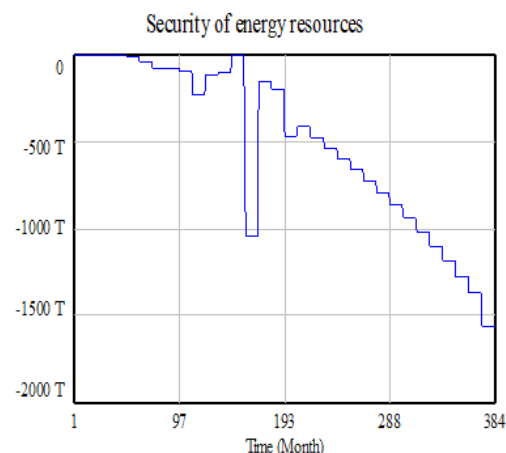
مأخذ: یافته‌های تحقیق

آزمون نشان داد که مدل شبه‌سازی شده، نتایج و رفتار قابل-قبول با مشاهدات واقعی داده است.

نتایج اعتبارسنجی: اکثر مقادیر مطلوب معیار معیار نش-ساتکلیف (NSE) بیش از ۰/۵ و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) عددی نزدیک به صفر دارد (جدول ۲). علاوه بر این، ضریب تعیین (R^2) بیش از ۰/۸۰ می‌باشد. در جدول ۲ مقادیر ضریب تعیین بین داده‌های شبه‌سازی شده و مشاهده شده تمامی متغیرهای سطح بالاتر از ۷۰ درصد است و تمامی مقادیر در معیار نش-ساتکلیف (NSE) مقدار آن بیش‌تر از ۰/۵ و هم‌چنین مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) کم‌تر از

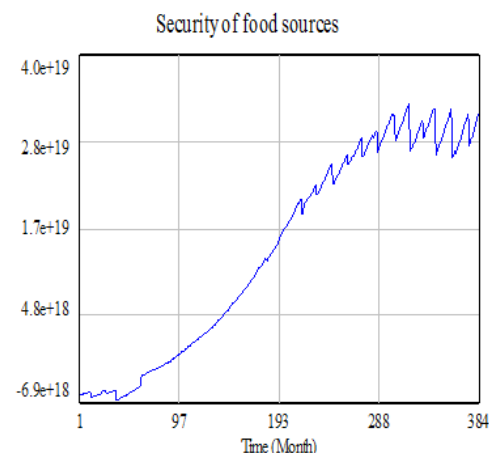
نتایج کالیراسیون: در جدول ۲ مقادیر ضریب تعیین بین داده‌های شبه‌سازی شده و مشاهده شده تمامی متغیرهای سطح بالاتر از ۷۰ درصد است و تمامی مقادیر در معیار نش-ساتکلیف (NSE) مقدار آن بیش‌تر از ۰/۵ و هم‌چنین مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) کم‌تر از ۰/۳ است که این نتایج مبنای خوبی برای اعتبارسنجی مدل و پیش‌بینی‌های ساخته شده با استفاده از مدل ارائه می‌دهد. نمودار ذخیره و جریان بیان گردیده شد. مدل حاضر با استفاده از آزمون تکرار رفتار کالیراسیون و صحت‌سنجی شد. نتایج به‌دست آمده از

سازی اولیه در افق ۲۰ ساله انجام شد. در شکل (۲) تغییرات هر یک از متغیرهای کلیدی نمودار جریان که رفتار آنها برای تعیین وضعیت کلی پردازش و اهمیت دارد، ارائه گردیده است.

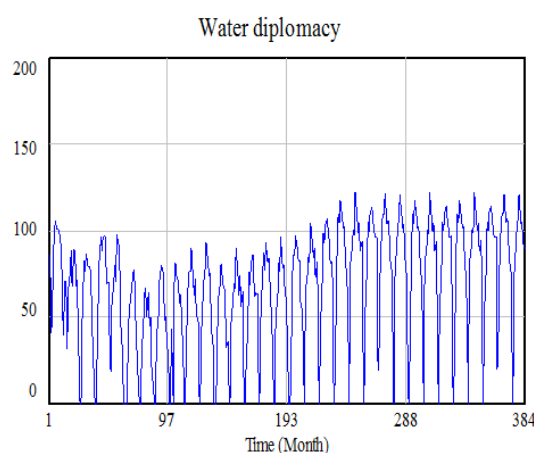


Security of energyresources : B A U

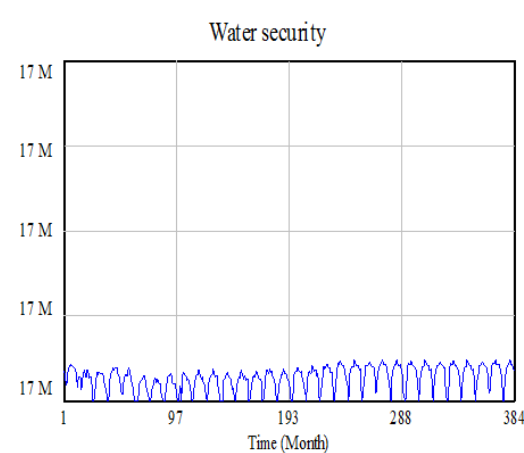
۰/۳ است که این نتایج مبنای خوبی برای اعتبار سنجی مدل و پیش‌بینی‌های ساخته شده با استفاده از مدل ارائه می‌دهد. پس از اینکه آزمون‌های اعتبارسنجی با موفقیت انجام شد، شبیه-



Security of food sources : B A U



Water diplomacy:BAU



Water security:BAU

شکل ۲- رفتار همبست متغیرهای امنیت آب، انرژی، غذا در افق شبیه سازی

راهکارهای متمرکز بر افزایش راندمان آبیاری به وسیله تکنولوژی سیستم آبیاری و زهکشی در هر مترمکعب زمین لازم و ضروری است. روش آبیاری سطحی غالب و روش آبیاری تحت فشار غالب برای محصولات زراعی و باغی حدود ۳۳ درصد اختلاف راندمان آبیاری گزارش شده است. همچنین، در منطقه سیستان می‌توان راندمان آبیاری را براساس آبیاری مدرن حدود ۷۰ درصد در بخش کشاورزی بهبود داد (وزارت نیرو، ۱۳۹۷). بنابراین حداقل افزایش راندمان آبیاری ۳۲ درصدی در سایر اراضی نیز تحت فشار توسعه یابند از کل نیاز آبیاری بخش کشاورزی کاسته خواهد شد. افزایش بهره‌وری مصرف با استفاده از اعمال سیاست‌های تشویقی و حمایتی از طرح‌های بهینه مصرف آب می‌تواند افزایش راندمان تأثیر گذار واقع گردد.

سناریو الگوی کشت کشاورزی

در ایران به ویژه در منطقه سیستان به دلیل کمبود بارندگی و

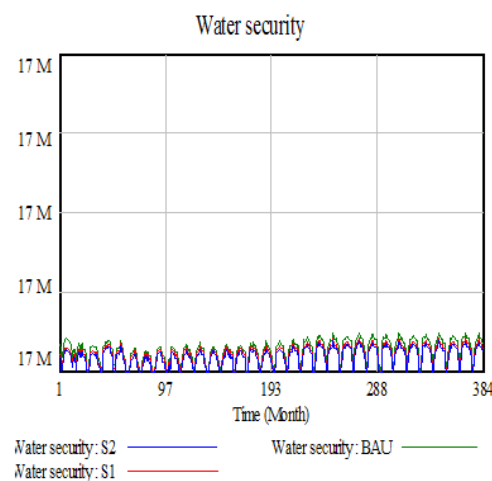
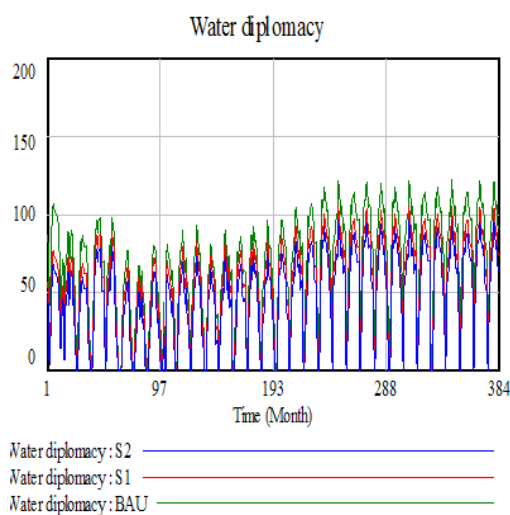
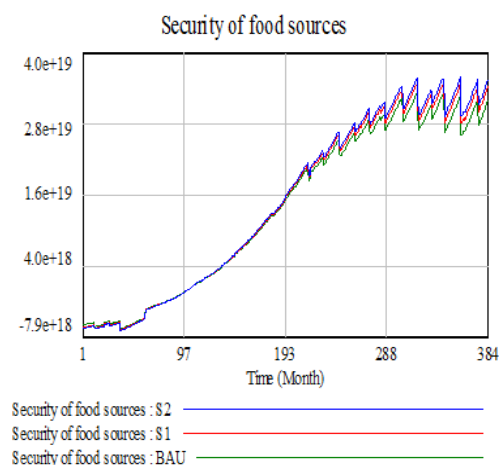
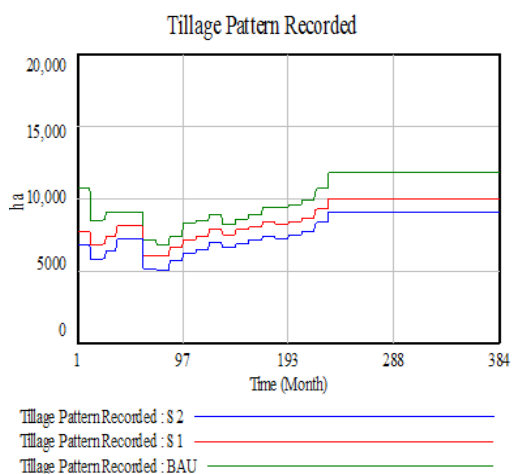
با توجه به نتایج اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل و نیز به استناد راهکارهای مدیریت بحران منابع آبی، سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب با استفاده از نظر خبرگان راهکارهایی تحت عنوان سیاست مدیریت عرضه و تقاضای منابع غذا در این مطالعه ارائه شده است. پس از آن با اعمال هر یک از سیاست‌ها در مدل، نتایج بر روی متغیرهای هدف شامل امنیت آب، امنیت غذا، امنیت انرژی برآورد شده است. در ادامه به تشریح سیاست‌ها پرداخته می‌شود.

سناریو راندمان آبیاری در بخش کشاورزی

بزرگترین متقاضی آب منطقه مورد مطالعه، بخش کشاورزی است. منابع آب منطقه سیستان وابسته به جریان‌ات رودخانه هیرمند است و دارای محدودیت منابع آبی می‌باشد. به عبارتی، از آنجایی که در شرایط کنونی، بخش کوچکی از اراضی منطقه سیستان به سیستم‌های آبیاری مدرن آبیاری می‌گردد،

این سناریو براساس مدل پویا، در زیر سیستم بخش کشاورزی سطح زیر کشت و عرضه محصولات کشاورزی در سال‌های ۱۴۱۰ نسبت به سال پایه افزایش ۱۱/۷۰۰ درصدی داشته است. عملکرد محصول افزایشی معادل درصدی نسبت به سال ۱۳۷۹ داشته است. اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی لازم و ضروری است. البته عدم به کارگیری الگوی کشت متناسب در افغانستان نیز به شدت مشاهده می‌شود. بنابراین، تغییر الگوی کشت هم در ایران و هم در افغانستان باید در اولویت سیاست‌های آبی قرار گیرد. روند هر کدام از متغیرها در صورت اعمال سناریو در افق شبیه‌سازی ۱۴۱۰ و نمودارهای سیاست‌های ترکیبی به ترتیب در شکل (۳) و (۴) نشان داده شده است.

محدودیت منابع آب و نیز سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، لزوم بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای مصرف بهینه آب بسیار ضروری است. بررسی سالنامه‌های آماری کشاورزی و بررسی‌های میدانی حاکی است که تداوم الگوی کشت موجود در دشت سیستان به کمبود بیشتر منابع و خشکسالی در این منطقه دامن می‌زند. با در نظر گرفتن اصلاح الگوی کشت که بیشترین بازدهی را با توجه به محدودیت منابع آب را داشته‌اند به تفکیک محصولات زراعی و باغی در برخی محصولات نظیر انگور، یاقوتی، گندم، جو، پیاز، خربزه، سورگوم با توجه به شرایط منطقه و با توجه به امنیت غذایی کشور، بیشترین بازده با توجه به مقدار منابع آب موجود بوده‌اند باعث بهره‌مندی امنیت غذایی می‌شود. طبق نتایج به دست آمده در

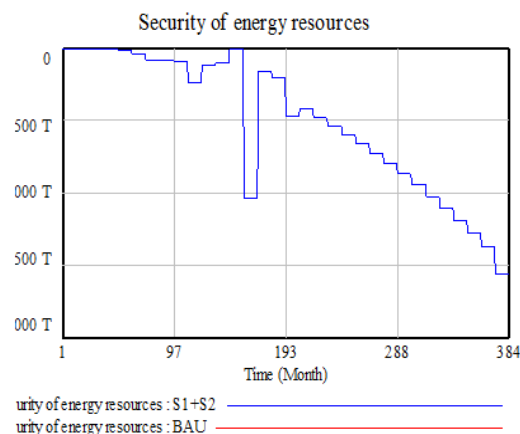
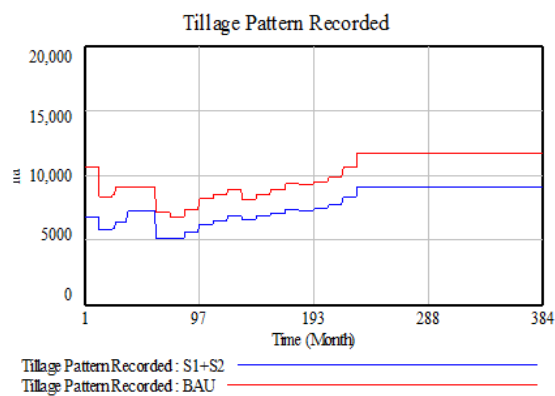


شکل ۳- نمودارهای مقایسه سیاست‌های اعمالی روی متغیرهای مدل در افق شبیه‌سازی ۱۴۱۰

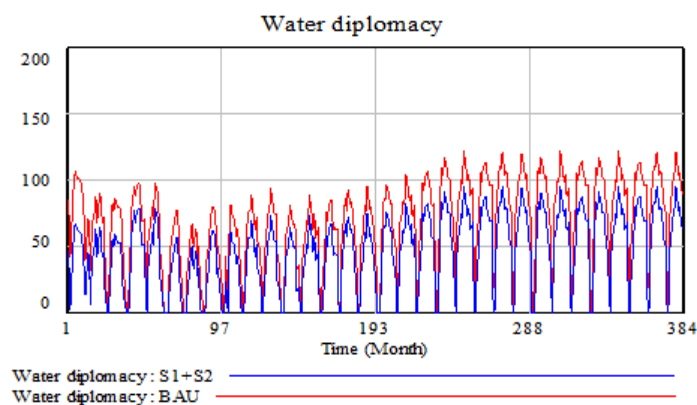
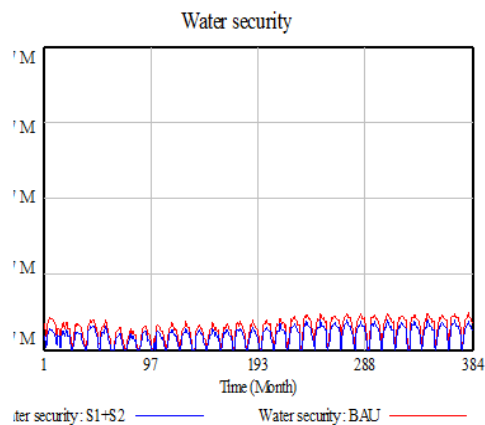
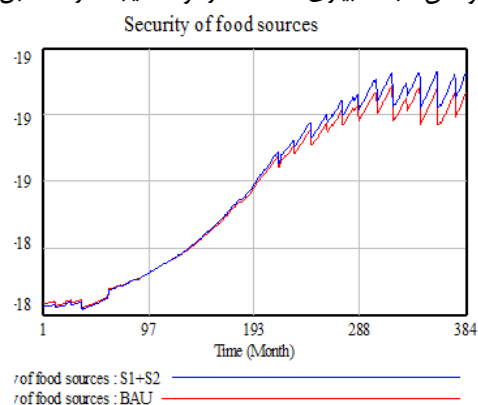
می‌دهد که سیاست بهبود افزایش راندمان آبیاری در منطقه سیستان سبب افزایش رشد سطح زیرکشت شده و صرفه‌جویی در مصرف ذخایر چاه نیمه که موجب کاهش کمبود کلی آب از جمله بخش کشاورزی که بیش‌ترین سهم مصرف را به خود

پس از اعمال هر کدام از سیاست‌ها به صورت مجزا بر روی مدل و همچنین اعمال سیاست ترکیبی، بین مدیریت تقاضای آب شامل راندمان آبیاری ۳۲ درصد و مدیریت منابع غذا شامل الگوی کشت بهینه پرداخته شد. به طوری که بررسی‌ها نشان

از کل نیاز آبیاری بخش کشاورزی کاسته خواهد شد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن اصلاحات الگوی کشت در برخی محصولات نظیر خربزه، یونجه و هندوانه با توجه به شرایط منطقه و با توجه به امنیت غذایی کشور، میزان آب مورد نیاز بخش کشاورزی تا درصد قابل توجهی بهره‌ور می‌گردد.



اختصاص داده و اتخاذ سناریوی اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی بهترین راهکار برای بهبود امنیت منابع آب، غذا و انرژی برای ده سال آینده شبیه‌سازی می‌باشد. با توجه به اینکه درصد کمی از اراضی منطقه سیستان تحت شبکه آبیاری تحت فشار هستند چنانچه سایر اراضی نیز تحت پوشش شبکه آبیاری تحت فشار توسعه یابند درصد قابل توجهی



شکل ۴- نمودارهای مقایسه سیاست‌های ترکیبی مدیریت تقاضای منابع آب در افق شبیه‌سازی ۱۴۱۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در رودخانه فرامرزی هیرمند، مدلی جامع براساس پویایی سیستم‌ها گسترش داده شد. در این رویکرد، روابط و بازخورد میان متغیرهای موجود در زیرسیستم‌ها با نمودار ذخیره و جریان بیان گردیده شد. مدل حاضر با استفاده از آزمون تکرار رفتار

رویکرد کل گرایانه همبست، به جای تمرکز بر هر بخش به صورت مجزا رویکردی نوین و مؤثری جهت مساله آب‌های فرامرزی و مناقشات آبی است. در این پژوهش با بررسی همبست زیرسیستم‌های آب، غذا، انرژی با رویکرد دیپلماسی آب

✓ توسعه شبکه آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی به منظور افزایش ۳۲ درصد راندمان آبیاری

✓ در منطقه اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی با هدف کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد محصول

✓ نگرش همبست و دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی هیرمند

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی

هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تأمین شد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: فاضل غیث‌شاهی، مهدی صفدری، علی سردارشرکی، ندا علی احمدی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: فاضل غیث‌شاهی، مهدی صفدری، علی سردارشرکی، ندا علی احمدی؛ نظارت: مهدی صفدری، علی سردارشرکی و نگارش نهایی: فاضل غیث‌شاهی.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Ghanian M. Exploring the food, energy, and water governance in South- West Iran. Regional Science Policy & Practice. 2024;16(2):12578.
2. Keyhanpour MJ, Jahromi SHM, Ebrahimi H. System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach. Ain Shams Engineering Journal. 2021;12(2):1267-81.
3. Stave K. Participatory system dynamics modeling for sustainable environmental management: Observations from four cases. Sustainability. 2010;2(9):2762-84.
4. Keating BA, Herrero M, Carberry PS, Gardner J, Cole MB. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050. Global Food Security. 2014;3(3-4):125-32.
5. Bharati L, Rodgers C, Erdenberger T, Plotnikova M, Shumilov S, Vlek P, et al. Integration of economic and hydrologic models: exploring conjunctive irrigation water use strategies in the Volta Basin. Agricultural water management. 2008;95(8):925-36.
6. Amisigo BA, McCluskey A, Swanson R. Modeling impact of climate change on water resources and agriculture demand in the Volta

کالیبراسیون و صحت‌سنجی شد. نتایج به‌دست آمده از آزمون نشان داد که مدل شبیه‌سازی شده، نتایج و رفتار قابل‌قبول با مشاهدات واقعی داده است. مناطق مرزی شرقی از جمله سیستان به شدت وابسته به منابع آب‌های فرامرزی (رودخانه هیرمند) است، از آنجایی که بخش کشاورزی بواسطه تأمین مواد غذایی کشور به صورت مستقیم به منابع آب وابسته است و مصرف کننده آب و برق می‌باشد. جهت تأمین امنیت آبی پایدار بایستی اقدامات صحیح صورت گیرد. از طرفی دیگر، افغانستان نیز، با امنیت غذایی و امنیت انرژی با چالش‌های جدی مواجه است و رسیدگی به این بخش‌ها رابطه مستقیمی بر امنیت آبی کشور های همسایه از جمله ایران (منطقه سیستان) اثرگذار خواهد بود. اتخاذ همبست آب، غذا، انرژی برای پاسخ چالش‌ها و برای مواجهه با اختلافات آب‌های فرامرزی ایران و افغانستان لزوم مدل‌سازی پویا همبست آب، غذا، انرژی از طریق تقویت دیپلماسی آبی ضروری است. بر این اساس در این مطالعه به مدل‌سازی مدیریت پایدار منابع آب پرداخته شده است و رفتار سیستم را در طول زمان ۱۳۷۹-۱۴۱۰ ساله شبیه‌سازی کرده است.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی سناریوها در راستای رویکرد همبست در دیپلماسی آب راه‌کارهای عملیاتی مدیریت پایدار منابع آب پیشنهاد می‌شود.

- Basin and other basin systems in Ghana. Sustainability. 2015;7(6):6957-75.
7. Forrester J. W.(1961). Industrial Dynamics. Waltham MA, Pegasus Communications. 1961.
8. Ghanian M. Exploring the food, energy, and water governance in South- West Iran. Regional Science Policy & Practice. 2022.
9. Barjeste H, Ghoreishi SZ, Mianabadi H. Application of Nexus Approach in Hydropolitics of Transboundary Rivers. Iranian journal of Ecohydrology. 2020;7(3):757-73.
10. Sadeghi SH, Moghadam ES, Delavar M, Zarghami M. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. Agricultural Water Management. 2020;233:106071.
11. Zhang Y, Shao Q. Uncertainty and its propagation estimation for an integrated water system model: An experiment from water quantity to quality simulations. Journal of Hydrology. 2018;565:623-35.
12. Kotir JH, Smith C, Brown G, Marshall N, Johnstone R. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin,

Ghana. Science of the Total Environment. 2016;573:444-57.

13. Mehrazar A, Massah Bavani A, Mashal M, Rahimikhoob H. Integrated modeling of water resources systems, agricultural and socio-economic in Hashtgerd Plain, using system dynamics approach. Water and Irrigation Management. 2016;6(2):263-80.

14. Zarghami M, Akbariyeh S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. Resources, Conservation and Recycling. 2012;60:99-106.

15. Hjorth P, Bagheri A. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. Futures. 2006;38(1):74-92.

16. Simonovic SP. Managing water resources: methods and tools for a systems approach: Routledge; 2012.

17. Qin H-P, Su Q, Khu S-T. An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment. Environmental modelling & software. 2011;26(12):1502-14.

18. Liu H, Benoit G, Liu T, Liu Y, Guo H. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. Journal of environmental management. 2015;155:11-23.

19. Chapman A, Darby S. Evaluating sustainable adaptation strategies for vulnerable mega-deltas using system dynamics modelling: Rice agriculture in the Mekong Delta's An Giang Province, Vietnam. Science of the Total Environment. 2016;559:326-38.

20. Song C, Yan J, Sha J, He G, Lin X, Ma Y. Dynamic modeling application for simulating optimal policies on water conservation in Zhangjiakou City, China. Journal of Cleaner Production. 2018;201:111-22.

21. Chen H, Guo J, Zhang Z, Xu C-Y. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. Theoretical and applied climatology. 2013;113:363-75.