University of Sistan and Baluchestan

Public Management Researches

Print ISSN: 2538 - 3418 Online ISSN: 2676 - 7880

Iranian Academy of Management Sciences

Water Diplomacy by Implementing Energy Consumption Reduction Scenarios in the Sistan Region

Fazel Ghobaishavi[1], Ali Sardar Shahraki[2*], Mahdi Safdari [3], Neda AliAhmadi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. (Corresponding Author). E-mail: **a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir.**
3. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
4. Ph.D. Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

Extended Abstract

Abstract

Water scarcity and resource management challenges in the Helmand River watershed necessitate the adoption of a novel approach in water diplomacy for integrated management and effective policymaking to ensure sustainable water security in this region. This study focuses on analyzing the dynamics of sustainable water resource management systems based on the nexus of water, food, and energy using a water diplomacy approach over a 31-year horizon from 2000 to 2031 in the Helmand River watershed. The results of modeling the water-food-energy nexus with a water diplomacy approach in the Helmand River demonstrate that current scenarios face water scarcity. A combined scenario of integrated management is proposed to reduce energy consumption intensity by 50%, decrease water losses by 50% through water-food-energy nexus coherence to preserve resources and ensure sustainable water security in the region. To enhance water and food security in the study area, the utilization of renewable energy sources, the provision of scientific and innovative solutions to reduce evaporation rates considering environmental conditions and water quality in the Sistan region and the international Hamon wetlands, and a strategic approach in water diplomacy are recommended.

Introduction

Water diplomacy has emerged as a vital tool for resolving disputes over shared water resources in recent years. It aims to foster cooperation and coordination among nations to ensure the sustainable management of Tran's boundary water bodies, promoting stability and peace. By analyzing the complex interactions

and feedback loops in water diplomacy affairs, tailored strategies can be developed to address tension and enhance cooperation, taking into account the unique climatic, political, and socio-economic conditions of each basin. Water diplomacy goes beyond mere competition, symbolizing collaboration and convergence between nations and peoples, essential for managing shared resources effectively and peacefully.

This research aims to investigate the issue of the Helmand River's water problem, stemming from a lack of proper understanding of shared interests. It seeks to do so by employing the "Water-Energy-Food nexus under the framework of water diplomacy" and integrating it with dynamic system models. By offering practical recommendations for water resource managers and policymakers, it endeavors to play a significant role in the socio-economic development (human security) of the Sistan region. Furthermore, it aims to shift hydro-political relations between the two countries from conflict to cooperation, defining new relations and fostering collaboration.

Case study

The Helmand watershed is located in the north of Sistan and Baluchistan province and is connected to the Helmand Tran boundary river. In this region, there are three agricultural sectors, seven drinking water sectors (six urban sectors and one rural sector) and environment sector. The area of agricultural lands is 154,000 and the most crops are wheat and barley. The amount of rainfall is 50 mm per year. The average humidity is 35% and it has a dry climate. Figure (1) shows the schematic of Helmand watershed.

Materials and Methods

In this study, based on the system dynamics approach, modeling and simulation of sustainable management of AI resources using Vensim DSS software has been done. Based on the method of dynamic systems, the following steps are performed. 1- Understanding the system 2- Identification and definition of the problem 3- Conceptualization of the system (cause-effect relationships - informational feedbacks) 4- Formulation of the model (decision variables - physical flows of information) In order to build the flow model, the trends of the variables over time are taken into consideration, and based on these trends and based on mathematical laws and regression functions, the relationship between the variables was formulated.

Discussion and Results

The results, modeling the water, food, energy nexus (NEXUS) with several water diplomacy in the Trans Boundary River show that the current scenarios with water are After applying each of the policies separately on the model as well as applying the combined policy, the scenario of reducing energy consumption by 50%, reducing water loss (evaporation) by 50%, from the

solution to improve the security of water, food and energy resources for ten. Next year is simulation.

Conclusion

In this research, using water diplomacy to examine the interrelated subsystems of water, food, and energy, in the 31-year horizon of 1379-1410, a comprehensive model for cleaning the dynamics of systems in the Helmand Trans boundary river has been presented. This model has been calibrated and validated by examining the relationships and feedback between the changes in the subsystems, with storage and flow.

The results, the modeling of the link between water, food, energy and energy with the capacity of water diplomacy in the trans boundary river show that the current scenarios are with water consumption, a combination scenario of integrated management in order to reduce the intensity of energy consumption by 50% and reduce water losses by 50% in the form of interrelated water resources, food and energy are provided in order to preserve resources and sustainable security in the region. To increase water and food security in the study area, use renewable energy, provide scientific and innovative solutions to reduce the rate of evaporation, taking into account the environmental conditions and water quality in the Sistan region and Hamon International Wetland and a strategic view in Water diplomacy is recommended.

Keywords: Water diplomacy, Helmand area, dynamic system, management scenarios.

Article Type: Research Article

Cite this article: Ghobaishavi, F., Sardar Shahraki, A., Safdari, M., & AliAhmadi, N. (2025) Water Diplomacy by Implementing Energy Consumption Reduction Scenarios in the Sistan Region. *Public Management Researches*, 18 (67), 57-86. (In Persian)

CC BY NC

DOI: 10.22111/JMR.2024.47972.6154

Received: 13 Feb. 2024 **Revised in revised form:** 27 July. 2024

Accepted: 28 Sep. 2024 **Published online:** 21 Mar 2025

© The Author(s). **Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

پژوهش‌های مدیریت عمومی
شاپا چاپی: ۳۴۱۸-۲۵۳۸ شاپا الکترونیکی: ۷۸۸۰-۲۶۷۶
دانشگاه سیستان و بلوچستان
انجمن علوم مدیریت ایران

دیپلماسی آب با اعمال سناریوی کاهش مصرف انرژی منطقه سیستان

فاضل غبیشاوی[۱]– علی سردارشهرکی[۲]*–مهدی صفدری[۳]– ندا علی احمدی[۴]

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۲. نویسنده مسئول، دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir
۳. دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۴. دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

چکیده

کمبود آب و چالش‌های مدیریت منابع در حوزه آبخیز رودخانه فرامرزی هیرمند، لزوم اجرای یک رویکرد نوین در دیپلماسی آب را برای مدیریت یکپارچه و سیاستگذاری مؤثر در تضمین امنیت آبی پایدار در این منطقه را ضروری کرده است. از این رو بهره‌گیری از تفکر سیستمی به عنوان نگرشی جامع برای سیستم‌های پیچیده منابع آب مورد توجه محققین قرار گرفته است. هدف از این تحقیق مدلسازی نکسوس بین آب، غذا، و انرژی تحت رویکرد دیپلماسی آب در حوزه آبخیز هیرمند در منطقه سیستان است. به منظور عملیاتی نمودن چنین دیدگاهی، پویایی سیستم (Dynamic System) به عنوان روش متناسب مورد استفاده قرار گرفته است زیرا توانایی تبیین و ارتباط پیچیده متغیرهای گوناگونی با روابط غیر خطی را دارد و به عنوان ابزاری تحلیلی و کارا مطرح است. داده‌های مربوط به مدل پویایی همبست از طریق سازمان‌ها و ذی‌نفعان منطقه جمع آوری شد. مدل شبیه‌سازی به کمک نرم افزار ونسیم (DSS Vensim) ساخته و دوره شبیه‌سازی یک دوره ۳۱ ساله ۱۳۷۹-۱۴۱۰ در نظر گرفته شد. معادلات حاکم در هر زیرسیستم براساس معادلات پایه روش پویایی سیستم‌ها و نمودارهای حلقه علی هر زیر سیستم با استفاده از روابط و بازخوردهای مثبت و منفی ایجاد شد. در این پژوهش براساس تحلیل حساسیت مونت کارلو و بسط مدل تحت عنوان ۴ سناریو صورت گرفته است. نتایج، نشان می‌دهد که سناریوهای فعلی با کمبود آب مواجه هستند، سناریوی ترکیبی مدیریت یکپارچه به منظور کاهش ۵۰ درصد شدت مصرف انرژی، کاهش۵۰ درصد تلفات آب در قالب نکسوس به منظور حفظ منابع و امنیت آبی پایدار در منطقه ارائه شده‌اند. پیشنهاد می‌شود به دلیل وابستگی منطقه سیستان به رودخانه فرامرزی هیرمند، اتخاذ همبست آب، انرژی و غذا با رویکرد دیپلماسی آب می‌تواند مناسبات هیدروپلتیکی دو کشور ایران و افغانستان بر سر مسائل آبی را از مناقشه به سمت مشارکت و همکاری هدایت کند.

واژه‌های کلیدی: دیپلماسی آب، حوزه هیرمند، سیستم پویا، سناریوهای مدیریتی

مقاله مستخرج از رساله دکتری فاضل غبیشاوی است.

استناد: غبیشاوی، فاضل؛ سردارشهرکی، علی؛ صفدری، مهدی؛ علی‌احمدی، ندا (۱۴۰۴). دیپلماسی آب با اعمال سناریوی کاهش مصرف انرژی منطقه سیستان، *پژوهش‌های مدیریت عمومی*. ۱۸(۶۷)، ۸۶-۵۷ .

DOI: 10.22111/JMR.2024. 47972.6154

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ **تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۳/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷ **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۱/۰۱
نوع مقاله: علمی پژوهشی **ناشر:** دانشگاه سیستان و بلوچستان

حق مؤلف © نویسندگان

مقدمه

پس از جنگ جهانی دوم، مرزهای بسیاری از کشورها به نحوی تعیین شدند که دریاها و حوضه‌های آبی از دو یا چند کشور گذر کرده و پدیده "آب‌های فرامرزی" را به میان آوردند (*Ziyaie, Sardar Shahraki & Safdari, 2023*). اکنون، بیش از ۹۰ درصد جمعیت جهان منابع آبی مشترکی با کشورهای همسایه دارند به طوری که حدود ۴۰ درصد از جمعیت جهان در ۳۱۰ حوضه آبریز فرامرزی سکونت دارند (*Mianabadi & Amini, 2019*)، این حوضه‌ها بستری برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و رفاه بشری فراهم کرده است (*Rai, Sharma & Lohani, 2016*). وابستگی به منابع آبی مشترک در صورت عدم هماهنگی مرزهای سیاسی و نقض حقوق اشتراک می‌تواند منجر به بروز مشکلات و تنش‌های جدی شود. هر نوع اختلاف و مداخله نادرستی می‌تواند دستیابی به امنیت آبی پایدار را مختل کند و در نتیجه، مشکلات جدی در زمینه‌های امنیت غذایی و حفاظت از محیط‌زیست در رودخانه‌های مرزی ایجاد کند. از طرفی، محدودیت منابع آبی و توزیع ناهمگون آب در کره‌زمین، باعث شده مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبریز مشترک به عنوان یک ضرورت حیاتی مطرح می‌شود.

در سال‌های اخیر، دیپلماسی آب به عنوان یک راهکار مؤثر در حل اختلافات مربوط به مدیریت منابع آب مشترک مطرح شده است. دیپلماسی آب، توانایی کشورهای ذی‌نفع در مدیریت آب‌های مشترک است تا یک وضعیت پایدار سیاسی به دست آید. یعنی از منابع مرزی و بین‌المللی بدون هیچ گونه تنش یا درگیری بین طرف‌های صاحب حقآبه استفاده پایدار شود (*Cuppari, Schmeier & Demuth, 2017*). عوامل تأثیرگذار در افزایش تنش و همکاری در مناسبات دیپلماسی آب، تعاملات و باز خوردهای غیرخطی و پویا دارند. از این رو، تحلیل مناسبات دیپلماسی آب باید با توجه به شرایط و مشخصه‌های اقلیمی، سیاسی، تاریخی و اقتصادی اجتماعی هر حوضه فرامرزی صورت گیرد و عوامل اثر گذار بر شکل‌گیری تنش و همکاری به طور مجزا و متناسب با ویژگی‌های حوضه مطالعه شوند (*Barjeste, Ghoreishi & Mianabadi, 2020*). بررسی"تعهد مجدد به دیپلماسی آب" در نشست‌ها و محافل مرتبط با سیاست‌های آب، به عنوان ابزاری برای جهان صلح آمیز معرفی شد. به طوری که، سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۳ را به عنوان دیپلماسی آب اعلام کرد، شورای اتحادیه اروپا اهمیت دیپلماسی آب را به عنوان بخشی از تلاش‌های امور خارجه خود از سال ۲۰۱۳ آغاز کرد و به وضوح دستورالعمل"مشارکت دیپلماتیک اتحادیه اروپا آب" را نشان می‌دهد. در هفته جهانی آب،

مؤسسه بین المللی استکهلم سال ۲۰۱۳ نتیجه گرفت که دیپلماسی آب، یک رویکرد مذاکره برای مدیریت یکپارچه آب فردا ضروری است. رویکرد دیپلماسی آب با هدف تضمین مدیریتی، مشارکتی و پایدار حوزه مربوطه می‌باشد. یعنی، در این رویکرد، مدیریت شبکه‌های پیچیده آب شامل فرآیندی از توسعه و مدیریت هماهنگ منابع آب و سایر منابع وابسته است، که شامل رفاه اجتماعی و اقتصادی می‌باشد (*Mapani et al., 2019*). دیپلماسی آب، پیشتر از یک ابزار رقابت و جنگ، نماد همکاری، مشارکت و همگرایی بین دولت‌ها و ملت‌هاست. خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روز افزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، و ضعف مدیریت یکپارچه منابع آب مشترک خود با کشورهای همسایه همواره اختلاف داشته است. مصداق این مسئله در میان منابع آبی مشترک، وابستگی منطقه سیستان به رودخانه فرامرزی هیرمند است.

میانگین بارندگی در سیستان ۵۵ میلی‌متر و میزان تبخیر سالیانه از سطح آب در حدود ۴۱۰۰ میلی‌متر دارای آب و هوای گرم و خشک گزارش شده است(گزارش آب منطقه‌ای استان، ۱۴۰۰). از طرفی وابستگی کامل منطقه سیستان به رودخانه مرزی هیرمند و فعالیت-های کشور افغانستان در مهار آب این رودخانه، سبب بروز بحران شدیدآبی و مسأله مدیریت آب در بخش‌های اقتصادی از جمله بخش کشاورزی در این منطقه را با مشکلات جدی مواجه کرده است(گزارش تلفیق مطالعات منابع آب، ۱۳۹۶). مطابق مطالعات جامع منابع آب، سطح زیر کشت محصولات زراعی از سال ۱۳۷۶-۱۳۷۷ به ۱۱۹,۶۲۴ هکتار کاهش یافته و در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به حدود ۷,۰۰۰ هکتار کاهش یافته است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۰). این کاهش نشان دهنده مشکلات جدی در بخش کشاورزی به علت کمبود آب است. وابستگی به آب رودخانه هیرمند در دشت سیستان تنها محدود به بخش کشاورزی نیست بلکه تالاب هامون به عنوان دریاچه آب شیرین خاورمیانه نیز به شدت به این منبع آب وابسته است. این موقعیت نشان دهنده چالش‌های جدی در بخش‌های مختلف اقتصادی و زیست محیطی منطقه است. به همین دلیل چانه‌زنی بر سر مسائل فنی نمی‌تواند وضعیت تسهیم آب را در شرایط مطلوبی قرار دهد. بلکه نیاز است که دو کشور با برجسته‌سازی وابستگی‌های متقابل اقتصادی و اجتماعی از طریق افزایش همکاری‌ها به یکدیگر بپردازند تا تعاملی بر حسب منافع پایدار برای طرفین ایجاد شود. رویکرد همبست آب، غذا، انرژی به مثابه رویکردی کل گرایانه، رویکردی نوین و مؤثر برای سیاست‌زدایی از مسأله آب‌های فرامرزی است. این رویکرد به جای تمرکز بر

دیدگاه بر هر بخش (آب، غذا، انرژی) بصورت مجزا و در هر کشور ساحلی، می‌تواند بصورت کل‌گرایانه به حکمرانی تعاملات بین بخش‌ها و سیاست‌ها در تمام کشورهای حوضه آبریز مشترک بپردازد و مناسبات جدید هیدروپلتیکی بر سر مسائل آب صورت گیرد.

این پژوهش می‌کوشد که با استفاده از "همبست آب، انرژی، غذا تحت رویکرد دیپلماسی آب"و تلفیق آن با مدل‌های پویایی سیستم، مسئله آب رودخانه فرامرزی هیرمند که ناشی از عدم درک صحیح از منافع مشترک بوده را بررسی نماید تا با ارائه پیشنهادهای عملی برای مدیران و سیاستگذاران منابع آب ، بتواند نقش مهمی در توسعه اجتماعی- اقتصادی (امنیت انسانی) دشت سیستان به ارمغان داشته باشد و مناسبات هیدروپلتیکی دو کشور بر سر مسائل آب را از مناقشه به سمت مشارکت و همکاری سوق داد و مناسبات جدیدی میان یکدیگر تعریف کنند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

آب، غذا، و انرژی به عنوان سه منبع ضروری برای زندگی انسان‌ها شناخته می‌شوند، و امنیت هر سه این سامانه‌ها بدون کاهش منابع طبیعی یک چالش بزرگ در منطقه آسیا محسوب می‌شود. از سال ۲۰۱۵ به بعد، سازمان ملل متحد به منظور تضمین توسعه پایدار در بلندمدت و فراهم کردن آب، غذا و انرژی برای نسل‌های آینده، مجموعه‌ای از اهداف توسعه پایدار مرسوم به (SDGs) را معرفی کرده است (*Chai, Shi, Lu & Hu, 2020*). با توجه به ارتباط نزدیک سامانه‌های آب، غذا، انرژی و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر، مفهوم جدیدی به نام همبست پیشنهاد شده است. همبست آب، انرژی، غذا (WEF) برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ توسط مجمع جهانی اقتصاد مطرح شده است. وجه تمایز این نظریه با دیدگاه‌های قبلی، تأکید بر امنیت منابع است. به عبارتی دیگر، دیدگاه همبست آب، غذا، انرژی در نظر دارد با ارائه چارچوبی شفاف، منطقی و هوشمند، جوانب مختلف ارتباط میان این سه حوزه را بررسی کرده و با انجام تحلیلی جامع، درک بهتری از کنش و واکنش‌های موجود میان محیط زیست و فعالیت‌های انسانی فراهم کند ***(Karabulut, Crenna, Sala & Udias, 2018)***. دستیابی به چنین ادراکی با شناسایی ارتباط میان منابع موجود در این بخش‌ها، منجر به اتخاذ تصمیم-گیری‌های جامع‌تر و مدیریت پایدار منابع محدود را به صورت یکپارچه فراهم می‌آورد ***(Zhang & Vesselinov, 2017)***. با توجه به بیلان منفی آب در ۴۱۰ دشت ایران، کاهش بارندگی‌ها و افزایش دما، ناترازی در بخش انرژی و تأمین امنیت غذایی در ایران را در دهه‌های اخیر تشدید

کرده است. از این رو، نگرش تفکر سیستمی به جای بخشی‌نگری در حکمرانی منابع (بویژه منابع آب شیرین مشترک)، امری ضروری و حیاتی است *(Safavi & Ehteshami, 2022)*. عملیاتی نمودن چنین دیدگاهی، نیازمند روش‌شناسی متناسب با آن را می‌طلبد. از ابزارهای قدرتمند در نگرش یکپارچه که توانایی تبیین و تحلیل ارتباط پیچیده متغیرهای متعدد با روابط غیرخطی را دارد، روشی براساس تفکر سیستم‌های پویا است که به منظور شبیه‌سازی رفتار در زمینه‌های سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی و مناسبات آبی در حوضه‌رودخانه در سطح جهان مورد تأکید محققان است *(Qin, Su, & Khu, 2011)*، *(Liu, Benoit, Liu, Liu, & Guo, 2015)*، *(Chapman & Darby, 2016)*.

پیشینه پژوهش

در ادامه به برخی از مطالعاتی که در داخل و خارج به اهمیت روابط چند جانبه بین منابع آب، غذا، انرژی، پرداخته‌اند اشاره می‌شوند. خسروی و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای شاخص-های کشاورزی پایدار در غرب کشور براساس همبست آب، غذا، انرژی را مورد ارزیابی قرار داده-اند. نتایج نشان داد برای اصلاح الگوی کشت با در نظر گرفتن همبست به عنوان ابزاری مدیریتی که جوانب مصرف آب و انرژی و امنیت غذا را در نظر می‌گیرد، انجام شود. آهنی و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه با استفاده از رویکرد همبست آب، غذا، انرژی ارائه کرده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که الگوهای بهینه کشت پیشنهادی، که بر مبنای مدیریت صحیح منابع آب و انرژی استوار است، منجر به افزایش بهره‌وری اقتصادی محصولات کشاورزی و حفاظت زیست محیطی می‌شود. ضیایی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به اولویت بندی مهمترین معیارهای توسعه همکاری‌های آبی ایران و افغانستان در حوضه آبی هیرمند پرداخته‌اند، نتایج نشان داد که از دید خبرگان ایرانی و افغانستانی، معیار الزامات اقتصادی در اولویت اول و معیار الزامات ثبات منطقه‌ای و سیاسی در اولویت دوم قرار گرفته‌اند. وانگ، دونگ و ساسنیک[1] (۲۰۲۳) یک مدل پویایی سیستم برای شبیه سازی و توسعه سیستم همبست آب، غذا، انرژی (WEF) در استان هونان چین نشان دادند در وضعیت خودکفایی در منابع آبی قرار خواهد گرفت اما از منظر امنیت انرژی وضعیت مناسبی نخواهد داشت. صمدی و همکاران (۲۰۲۲) تحلیل دینامیکی سیاست‌های مدیریت پایدار منابع آب بر همبست منابع آب، غذا،

[1]. Wang, Dong & Sušnik

انرژی با توجه به تغییرات تقاضای ناشی از رشد جمعیت و رشد اقتصادی در افق ۲۰ ساله را با استفاده از پویایی سیستم‌ها بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که شبیه‌سازی و راهکارهای پیشنهادی نشانگر آن است که ترکیبی از سیاست مدیریت تقاضای آب و مدیریت منابع غذا، به عنوان بهترین راهکار برای حفظ پایداری منابع در یک سیستم ایده‌آل معرفی شده است. 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. صمدی فروشانی و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی به مدل‌سازی رویکرد همبست آب، غذا، انرژی پرداخته‌اند و این رویکرد را در چارچوب توسعه پایدار در شهرستان ورامین ارزیابی کرده‌اند. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که مدیریت تلفیقی عرضه و تقاضا برای توسعه همزمان صنعت و کشاورزی، نسبت به بهره‌گیری از روش‌های مجزا، بهترین توانایی را در دستیابی به اهداف توسعه در شرایط پایدارتر از سایر حالات ممکن نشان داده است. لی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از رویکرد همبست منابع آب، غذا، انرژی در حوضه رودخانه فرامرزی گوادیانا بین کشور پرتغال و اسپانیا را به کار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که مدلسازی همبست آب، غذا، انرژی در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند قابل انجام است. ویسکانو و کانگ[1] (۲۰۱۹) مطالعه-ای با موضوع شبیه‌سازی همبست آب، غذا، انرژی در دو کشور کره جنوبی و اندونزی انجام دادند. نتایج مطالعه در دو کشور نشان داد که مدل‌های شبیه‌سازی همبست می‌توانند با قابلیت اطمینان بالا، امنیت منابع آب، غذا و انرژی را در شرایط آینده بررسی کنند.

مروری بر سوابق مطالعات پیشین در حوزه آبخیز هیرمند، نشان می‌دهد در سال‌های اخیر مسائل و مشکلات ناشی از روند خشکسالی به تدریج برای دولت‌های ایران و افغانستان مسئله و بحران تبدیل شده و اختلاف بین دو کشور همسایه را به همراه داشته است. از طرفی دیگر، فقدان برنامه‌ریزی جامع، تصمیم‌گیری‌های بخشی و فرا بخشی و سیاست‌های ناکارآمد آبی بین دو کشور، مشکل کم آبی را در دو دهه گذشته تشدید نموده است. از این رو، می‌بایستی

[1]. Wicaksono & Kang

تمهیدات لازم در قالب نگرش تفکر سیستمی به منظور امنیت منابع آب، غذا، انرژی فراهم شود.

این پژوهش به طور ویژه به دنبال پاسخ به پرسش اصلی زیرمی‌باشد:

- ✓ آیا اتخاذ مدلسازی نکسوس تحت رویکرد نوین دیپلماسی آب با اعمال سناریوهای مدیریتی می‌تواند نیاز آبی در منطقه سیستان را تأمین کند؟

روش‌شناسی پژوهش

مورد مطالعاتی حوزه آبخیز هیرمند

منطقه سیستان به لحاظ تقسیمات کشوری دارای شامل پنج شهرستان (زابل، زهک، نیمروز، هیرمند و هامون) ، هفت شهر، ۱۸ شهرستان و بیش از ۹۸۵ روستا و آبادی با جمعیتی بالغ بر ۳۹۴ هزار نفر است و با داشتن بیش از ۹۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی، واقع در قسمت انتهایی حوضه آبریز هیرمند، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰، مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹). محصولات زراعی منطقه شامل گندم، جو، زیره، صیفی جات، یونجه، ذرت علوفه‌ای، محصولات گلخانه‌ای و محصولات عمده باغی آن شامل انگور، خرما، زیتون، سنجد، عناب، انجیر، توت و پسته می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲). منطقه سیستان از نظر اقلیمی در مناطق خشک و بیابانی قرار دارد. تنها منبع تأمین آب دشت سیستان رودخانه هیرمند است که از ارتفاعات بابا یغما افغانستان سرچشمه می‌گیرد. در شکل (۱) شماتیک حوزه آبخیز هیرمند نشان داده شده است.

شکل شماره۱: موقعیت جغرافیایی منطقه

داده‌ها و اطلاعات آماری

در این پژوهش به تحلیل پویای سیستم‌های مدیریت پایدار منابع آب مبتنی بر همبست بین آب، غذا، و انرژی با استفاده از رویکرد دیپلماسی در یک افق ۳۱ ساله (۱۳۷۹-۱۴۱۰) پرداخته شده است. جمع آوری اطلاعات سری زمانی به استناد نتایج عملکرد و داده‌های سازمان جهاد کشاورزی شهرستان زابل و سازمان محیط زیست شهرستان زابل و سامانه هواشناسی شهرستان زابل و شرکت‌های آبفا و آب منطقه استان سیستان و بلوچستان مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، برای داده‌های جمعیت از سایت مرکز آمار ایران و برای به دست آوردن شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی از تقسیم میزان مصرف نهایی انرژی در بخش کشاورزی بر ارزش افزوده این بخش محاسبه گردید. در جدول(۱)، مقادیر مهم متغیرهای پیوند آب، غذا و انرژی در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

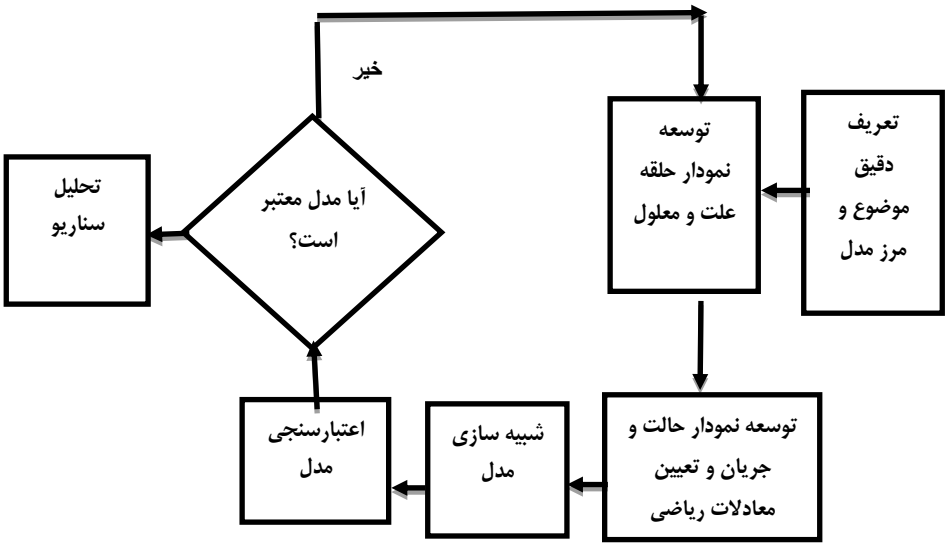
جدول شماره۱: شناسایی مقادیر مهم متغیرهای پیوند آب، غذا و انرژی

متغیرها	مقادیراولیه	واحد	منبع
کل جمعیت	۳۶۰۰۰	نفر	مرکز آمار ایران
سطح زیرکشت	۸۲۷۰۰	هکتار	آمارنامه جهاد کشاورزی
میزان عملکرد عمده محصولات زراعی و باغی	۷۱۵۴۵۰	تن	آمارنامه جهاد کشاورزی
دام سنگین	۱۳۲۳۴۴	رأس	آمارنامه جهاد کشاورزی
دام سبک	۸۹۰۷۸۴	رأس	آمارنامه جهاد کشاورزی
ذخایر چاه نیمه ۱و۲و۳و۴	۳۳۰	میلیون متر مکعب	شرکت آب منطقه‌ای استان
سرانه نیاز آبی دام سنگین در هر روز	۰,۰۹۰	متر مکعب در روز	آمارنامه جهاد کشاورزی
سرانه نیاز آبی دام سبک در هرروز	۰,۰۱	متر مکعب در روز	آمارنامه جهاد کشاورزی
حجم کل آب در دسترس	۸۸۴,۴۹	میلیون متر مکعب	شرکت آب منطقه‌ای استان
سرانه نیاز آب جمعیت روستایی در هر روز	۰,۱۲	متر مکعب در روز	آمارنامه جهاد کشاورزی
شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی	۱,۵۴	بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال	ترازنامه انرژی
میزان تبخیر سالیانه	۴۱۰۰	میلی‌متر	اداره کل هواشناسی

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 *(Forrester, 1961)*. این روش با ارائه یک تصویر پویا و نه

استاتیک از سیستم‌های پیچیده‌ای مانند منابع آب کمک می‌کند تا درک عمیق تری 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 بیش‌تر شده تا این که مدل کامل شود. کاربر در زمان ساخت مدل می‌تواند به طور مکرر مدل را برآورد و تجزیه و تحلیل‌های مختلفی را از سیستم کسب کند *(Song et al., 2018)*. نشانه‌های استفاده شده جهت ترسیم نمودارهای ذخیره جریان نخستین بار توسط فارستر ۱۹۶۱ ارائه شد، روشی تقلیدی برای بازخورد شیء گرا با سابقه‌ی طولانی است ***(Forrester, 1961)***. 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 پویا برای حوضه آبریز رودخانه فرامرزی هیرمند از زیر سیستم‌های امنیت آب، غذا، انرژی به صورت زیر تشکیل شده است.



شکل شماره ۲: فلوچارت روش تحقیق

نمایش ریاضی حالت و جریان

به منظور ساخت مدل، جریان روندهای متغیرها در طول زمان مورد توجه قرار می‌گیرند و با توجه به این روندها و براساس قوانین ریاضی و توابع رگرسیونی ارتباط متغیرها، فرموله شد. متغیر حالت تجمیع، جریان خالص متغیرحالت به نرخ تغییرات از متغیرحالت است. از این رو مطابق معادله انتگرالی زیر داریم:

$$Stok(t) = \int_t^t 0\left[Inflow(s) - Outflow(s)\right]ds + Stok(t_0) \quad (۱)$$

میزان تغییرات حالت در واحد زمان برابر است با نرخ خالص افزایش حالت و یا نرخ ورودی و خروجی:

$$Stok(t) = \int_t^t 0\left[Inflow(s) - Outflow(s)\right]ds + Stok(t_0) \quad (۲)$$

میزان تغییرات حالت در واحد زمان برابر است با نرخ خالص افزایش حالت و یا نرخ ورودی و خروجی:

$$d\left(stok\right)/dt = Inflow(t) - Outflow(t) \quad (۳)$$

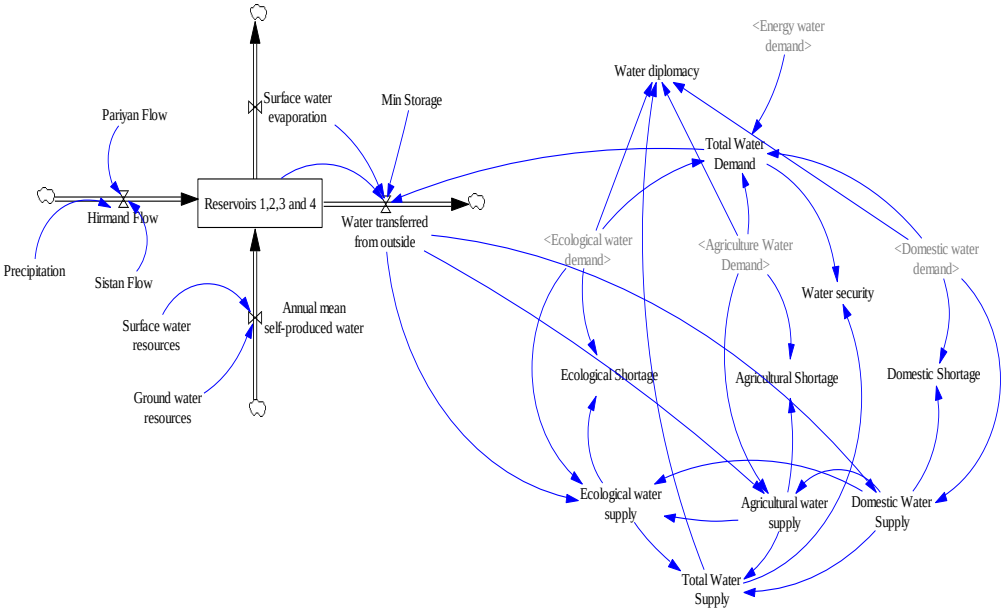
نمودار ذخیره SFD

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. نمودار ذخیره و جریان حوزه آبخیز رودخانه هیرمند از نمودارهای ذخیره و جریان زیرسیستم‌های آب، غذا، انرژی تشکیل شده است که به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. متغیرهای ذخیره سیستم شامل جمعیت، دام سنگین، دام سبک، عملکرد محصول، نرخ خودکفایی و مواد غذایی، سرانه دستمزد خانوار شهری و روستایی و حجم ذخایر مخزن چاه نیمه می باشد. این متغیرها ذخیره با تغییر در نرخ ورودی یا خروجی متغیرها افزایش یا کاهش می‌یابند.

زیر سیستم آب

شکل (۳) حلقه علی و معلولی زیر سیستم عرضه و تقاضا آب، متغیرهای چرخه عرضه و تقاضا آب، تامین آب و اکوسیستم حوضه هیرمند را نشان می‌دهد. متغیرهای ذخیره سیستم شامل جمعیت، آب‌های سطحی، مخازن طبیعی چاه نیمه‌ها، منابع غذایی، کشاورزی و دامی می‌باشد. این متغیرهای ذخیره با تغییر در نرخ ورودی یا خروجی متغیرها افزایش یا کاهش

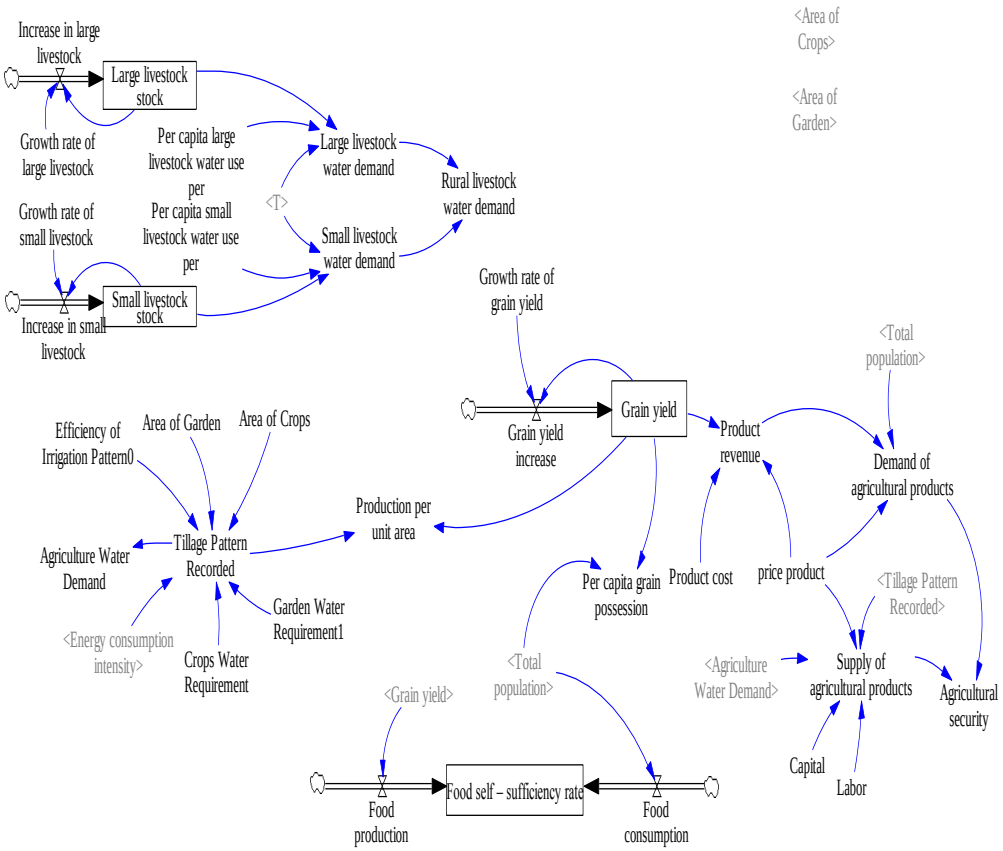
می‌یابند. ویژگی‌های اقلیمی و عرضه و تقاضای آب منطقه از قبیل بارندگی، دما، تبخیر در حوضه آبریز می‌باشند. در نمودار حلقه جریان- ذخیره دینامیک بین اجزا با استفاده از فلش‌های علامت دار روابط علی و معلولی را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۳: نمودار زیر سیستم منابع آب

زیر سیستم غذا

شکل (۴) شکل جریان زیرسیستم منابع غذایی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، تأمین غذا از منابع غذایی کشاورزی، منابع غذایی شیلات و غذای دام وطیور تأمین می‌شود.

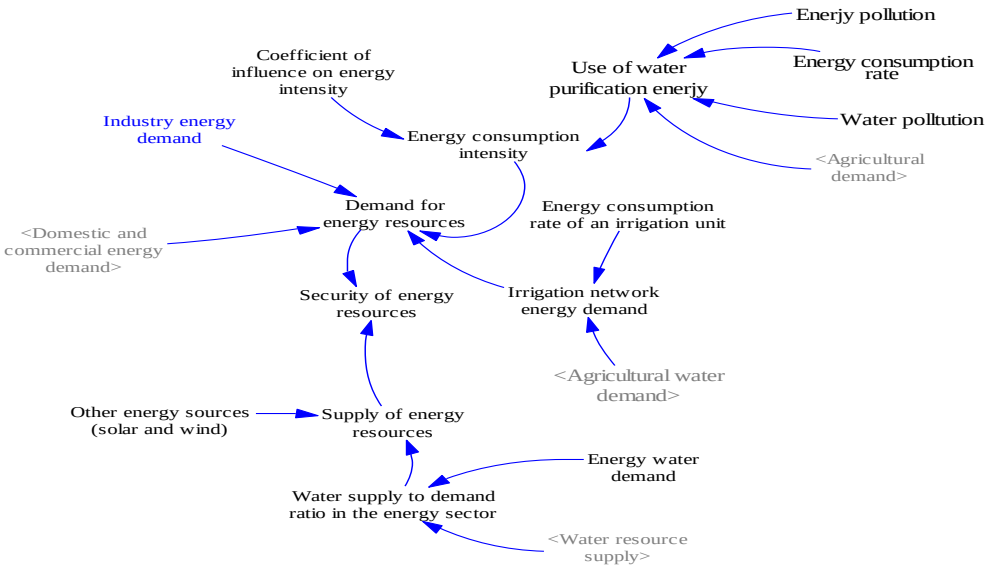


شکل شماره ۴: نمودار زیر سیستم منابع غذا

تأمین غذا از منابع غذایی کشاورزی، منابع غذایی شیلات و غذای دام وطیور می‌باشند. در منطقه سیستان، بیشترین مصرف آب متعلق به بخش کشاورزی است. به طوری که اراضی قابل کشت در منطقه حدود ۱۳۵ هزار هکتار است که بیش از ۷۰ درصد تامین آب در حوضه آبریز به بخش کشاورزی اختصاص دارد. عرضه محصولات کشاورزی شامل یونجه، باغی، گوجه، پیاز، کنجد، هندوانه، آفتابگردان، ذرت، گندم، جو، خربزه، خیار، سورگوم، حبوبات و گیاهان دارویی است.

زیر سیستم انرژی

همانطور که در شکل (۵)، دیده می‌شود تأمین انرژی از طریق شبکه برق ملی و نیروگاه-های برق آبی و دیگر منابع انرژی (خورشیدی و بادی) انجام می‌شود. تقاضای انرژی نیز شامل میزان مصارف برق صنعت، کشاورزی و خدمات می‌باشد. امنیت منابع انرژی تفاوت بین عرضه و تقاضای انرژی در زیر سیستم منابع انرژی در نظر گرفته شده است.



شکل شماره ۵: نمودار زیر سیستم منابع انرژی

یافته‌های پژوهش

پس از طراحی مدل پویایی سیستم همبست آب، غذا، انرژی با رویکرد دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی هیرمند و وارد کردن رابطه‌های ریاضی و مقدارهای مورد نظر برای متغیرها در سه زیر سیستم منابع آب، غذا و انرژی، در آغاز توانایی مدل در شبیه‌سازی رفتار سیستم ارزیابی شد. به عبارت دیگر یکی از آزمون‌های ارزیابی مدل طراحی شده مقایسه داده‌های تاریخی با داده‌های شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی تولید مدل پویا در افق زمانی ۳۱ ساله انجام گرفته است جهت کالیبره‌سازی و کالیبراسیون مدل اطلاعات موجود مابین سال‌های

۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ به دو گروه تقسیم شدند که در این میان اطلاعات مابین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ برای کالیبره‌سازی و مابقی اطلاعات حاضر برای اعتبار سنجی مدل به کار گرفته شدند. متغیرهای انباشت مشتمل بر جمعیت کل، منابع غذایی دامی، منابع غذایی کشاورزیر گرفته‌اند. برای ارزیابی بهتر عملکرد مدل، کل سری زمانی به دو مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده تقسیم می‌گردد. در آزمون روند داده‌های شبیه‌سازی 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.

جدول شماره ۲: آزمون‌های مدل همبست آب، انرژی، غذا

متغیر		کالیبراسیون							اعتبارسنجی					
سال		۷۹	۸۱		۸۵	۸۷	۸۹	R^2	۹۲	۹۴	۹۶	۹۸	۰۰	R^2
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	۰,۹۰
	RMSE	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۲۸	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	۰,۸۴
	RMSE	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۲۷	۰,۲۴	۰,۱۸		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	۰,۸۵
	RMSE	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۹	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	۰,۹۷
	RMSE	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۲۸		۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۶	۰,۲۷	۰,۲۸	
ذخایر چاه نیمه	NSE	۰,۵۷	۰,۹۶	۰,۷۳	۰,۷۹	۰,۸۸	۰,۹۳	۰,۹۵	۰,۴۱	۰,۲۹	۰,۸۰	۰,۸۲	۰,۹۱	۰,۸۳
	RMSE	۰,۲۱	۰,۲۹	۰,۲۵	۰,۲۶	۰,۲۳	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	۰,۸۹
	RMSE	۰,۲۸	۰,۲۶	۰,۲۵	۰,۲۰	۰,۲۸	۰,۲۴		۰,۲۶	۰,۲۵	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۷	

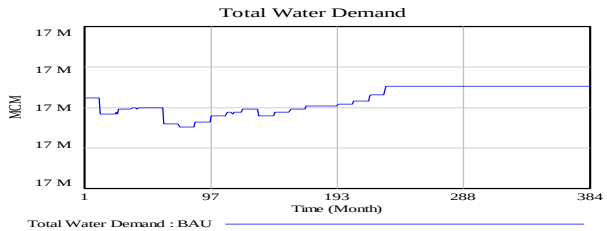
منبع: یافته‌های پژوهش

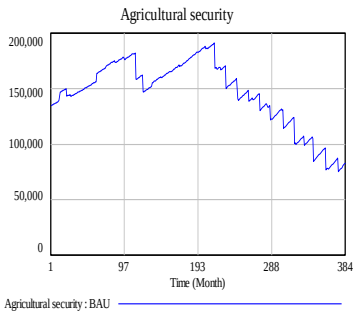
نتایج کالیبراسیون، در جدول ۲ مقادیر ضریب تعیین شده بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده تمامی متغیرهای سطح بالاتر از ۷۰ درصد است و تمامی مقادیر در معیار کنش – ساتکلیف (NSE) مقدار آن بیش تر از ۰,۵ و هم چنین مقدار خطای جذر میانگین مربعات

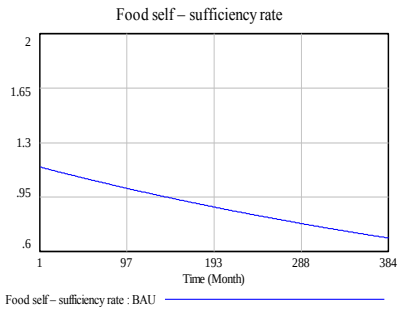
کمتر از ۰,۳ است. که این نتایج مبنای خوبی برای اعتبارسنجی مدل و پیش بینی های ساخته شده با استفاده از مدل ارائه می‌دهد همچنین، نتایج اعتبارسنجی ، اکثر مقادیر مطلوب معیار نش-ساتکلیف بیش تر از ۰,۵ و خطای جذر میانگین مربعات عددی نزدیک به صفر دارد. علاوه بر این، ضریب تعیین بیش از ۰/۸۰ می‌باشد.

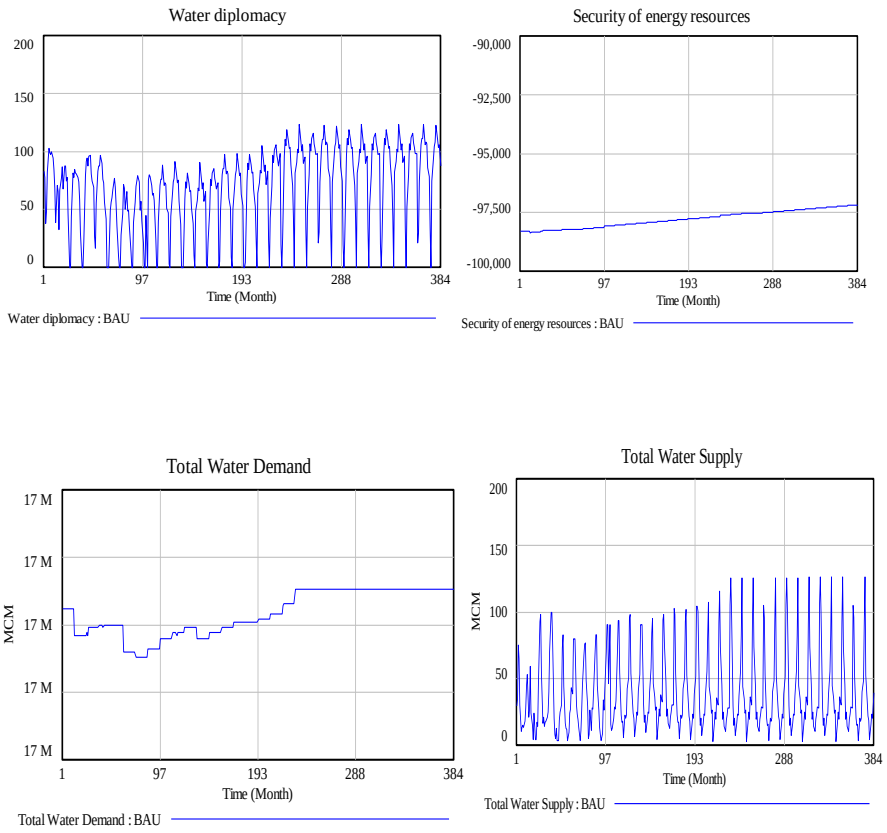
طراحی سناریوهای مدیریت منابع آبی حوزه آبخیز هیرمند

سناریوی مرجع: همان سناریوی پایه (شرایط موجود در حوزه آبخیز هیرمند) می‌باشد که در غیاب هر گونه فعالیت مدیریتی و سیاست توسعه‌ای منابع آب، پس از موفقیت آزمون‌های اعتبار سنجی، در افق ۳۱ ساله شبیه‌سازی اولیه انجام شد. در شکل (۶) تغییرات هر یک از متغیرهای کلیدی نمودار جریان که رفتار آن‌ها برای تعیین وضعیت کلی پردازش و اهمیت دارد ارائه گردیده است.









شکل شماره۶: نمودار رفتار همبست متغیرهای امنیت آب، انرژی، غذا در افق شبیه سازی

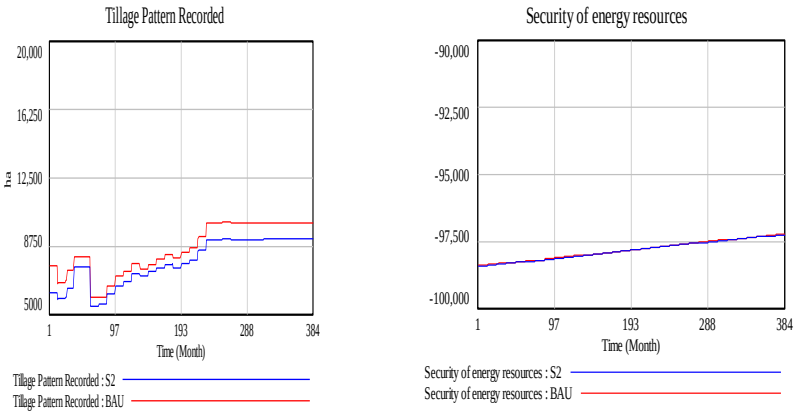
سناریو کاهش۵۰ درصدی شدت مصرف انرژی

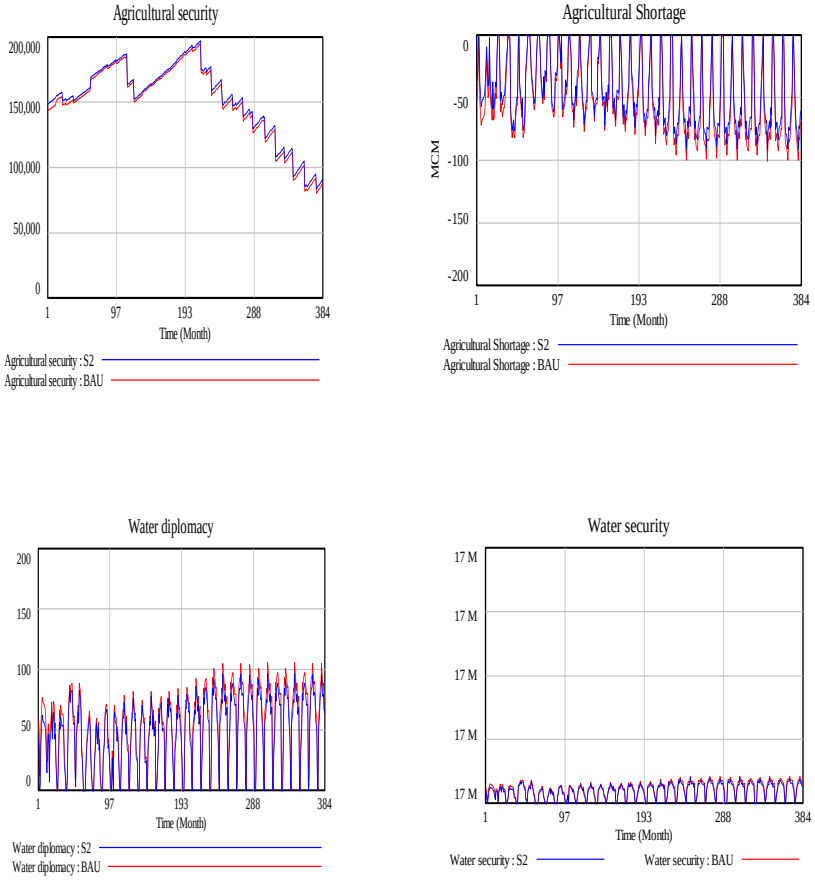
براساس گزارش آژانس بین‌المللی، مقدار مصرف انرژی تا سال ۲۰۳۵ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. با رشد تقاضا، رقابت بر سر منابع نیز افزایش خواهد یافت ***(FAO, 2014)***. همبست آب، غذا، انرژی رویکرد نوینی در جهت پایدار منابع با توجه به توسعه اقتصادی، اجتماعی به شمار می‌رود. همچنین، امنیت انرژی در افغانستان یک مسئله حیاتی است زیرا تنها حدود ۳۰ درصد از مردم افغانستان به برق دسترسی دارند و تنها ۲۲ درصد از مصرف برق افغانستان از تولید داخلی تأمین می‌شود. بیش از ۷۸ درصد از انرژی برق افغانستان از طریق

واردات از کشورهای دیگر تأمین می‌شود. دولت افغانستان برنامه‌ریزی کرده است که با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و به ویژه تولید انرژی برقابی، ۹۵ درصد از نیاز خود را تولید کند. این به طور مستقیم بر کنترل منابع آب فرامرزی این کشور اثر گذار است که می‌تواند تأثیر زیادی بر امنیت آبی کشورهای همجوار همانند ایران را تحت تأثیر قرار دهد.

اگر چه افغانستان نیاز فوری به انرژی دارد و ایران دارای فرصت‌ها و پتانسیل بسیاری برای تأمین انرژی افغانستان دارد، متاسفانه سهم ایران در تأمین انرژی افغانستان بسیار محدود بوده است به طوری که طبق برآوردها انجام شده، مقدار برق صادراتی سالانه ایران به افغانستان حدود ۸۰ مگاوات می‌باشد. انتقال انرژی از ایران به منظور توسعه انرژی‌های تجدید پذیر با توجه به پتانسیل استان سیستان و بلوچستان در مجاورت با افغانستان می‌تواند به عنوان یک استراتژی مناسب برای همبست مسائل آب و انرژی در سیاست‌گذاری‌های روابط دو کشور قرار گیرد.

سناریو سیاست کاهش ۵۰ درصد شدت مصرف انرژی، جهت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی پایداری منابع در بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. شکل ۷ مقایسه بین سیاست‌های اعمالی روی متغیرهای مدل را نشان می-دهد.





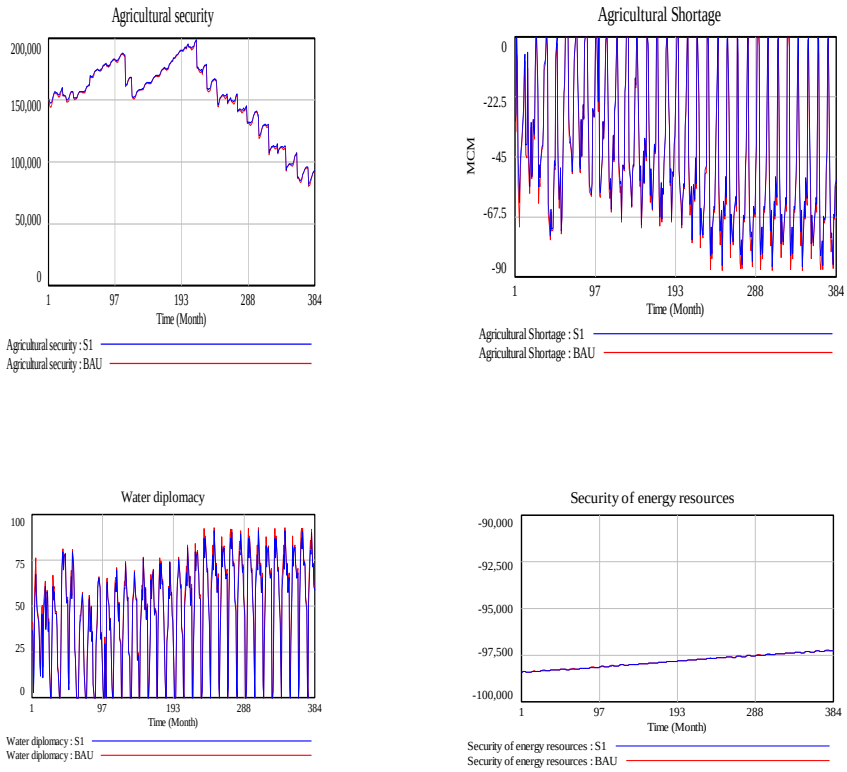
شکل شماره۷: نمودارهای مقایسه سیاست‌های اعمالی روی متغیرهای مدل در افق شبیه سازی ۱۴۱۰

سناریو ۵۰ درصدی کاهش تلفات آب (تبخیر)

از جمله ویژگی‌های مهم اقلیمی منطقه سیستان می‌توان به وزش بادهای تند، بیش از ۲۶۰ روزهای آفتابی سالیانه، تابش زیاد آفتاب، دامنه زیاد تغییرات درجه حرارت در شبانه روز، بارندگی ناچیز۶۰ میلی‌متری با پراکندگی نامناسب، بالا بودن درجه حرارت و تعداد ساعات آفتابی اشاره کرد. مجموعه این عوامل سبب شده که این منطقه بالاترین میزان تبخیر سالانه

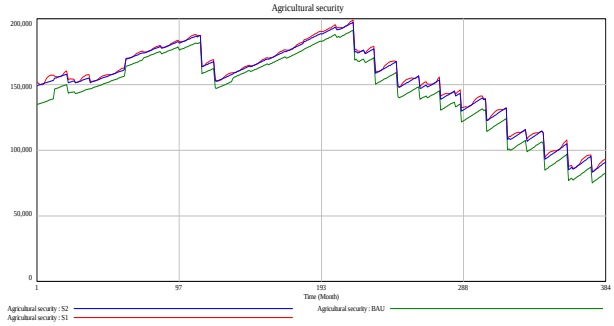
کشور (۵۰۰۰-۴۰۰۰ میلی‌متر در سال) را داشته باشد که نشان از شرایط اقلیمی متمایز سیستان نسبت به دیگر نقاط ایران و شاید جهان داشته باشد. با توجه به اهمیت مسئله تبخیر در منطقه سیستان، به عنوان سناریوی بعدی دراین زمینه، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

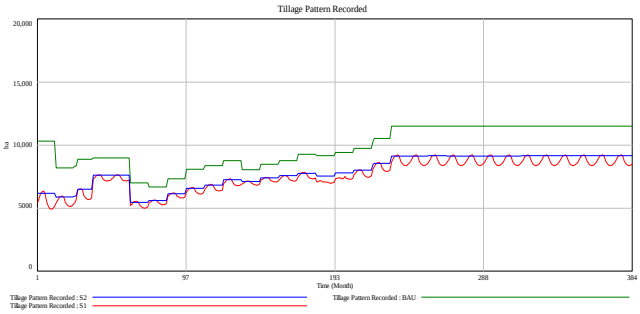
براساس مطالعات انجام شده می‌توان با لایه‌های محافظ الکلی و پلی‌اتیلینی در ابعاد نانو میزان تبخیر را تا ۳۰ درصد، کاهش داد. همچنین، براساس مطالعات انجام گرفته، می‌توان با استفاده از پوشش‌های شناور تا حدود ۵۰ درصد کاهش داد. این سناریو با کاهش ۵۰ درصدی تبخیر از سطح چاه‌نیمه‌های سیستان، می‌تواند سبب جلوگیری از میزان اتلاف آب شده که سبب اثرگذاری بر متغیرهای امنیت آب در بخش کشاورزی و الگوی کشت سبب امنیت غذایی شود. به طوری که در میزان حجم عرضه آب در سال ۱۴۱۰با ۱/۹۳ میلیون مترمکعب نسبت به سال پایه روند افزایشی داشته است از طرفی مقدار کمبود آب در بخش کشاورزی روند نزولی داشته است که با توجه به درجه حرارت بالا در حوزه آبخیز هیرمند می‌بایستی راهکارهایی علمی و مدرن جهت کاهش میزان تبخیر در منطقه سیستان پیشنهاد می‌شود.

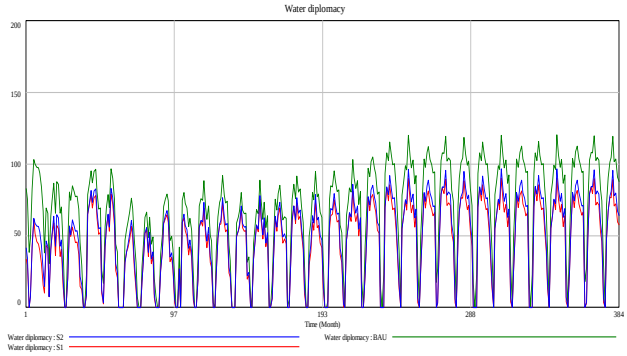


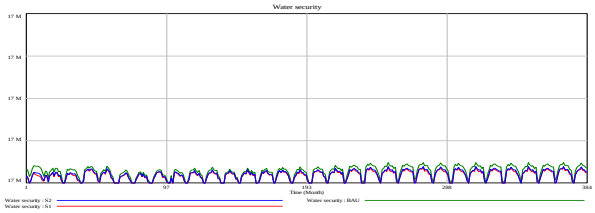
شکل شماره ۸: نمودارهای مقایسه سیاست‌های اعمالی روی متغیرهای مدل در افق شبیه سازی ۱۴۱۰

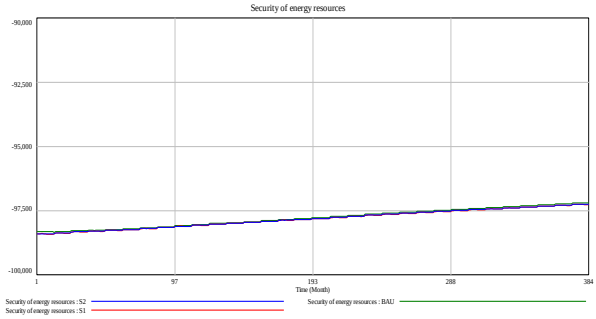
پس از اعمال هر کدام از سیاست‌ها به صور مجزا بر روی مدل و همچنین اعمال سیاست ترکیبی، در این سناریو با اعمال همزمان کاهش شدت مصرف انرژی ۵۰ درصد و کاهش تلفات آب (تبخیر) ۵۰ درصد، برای افق ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شد. اجرای همزمان سناریوی ترکیبی نسبت به سناریو پایه می‌تواند به عنوان راهکاری برای بهبود امنیت منابع آب، غذا، انرژی مطرح شود.


Agricultural security
200,000
150,000
100,000
50,000
0
1
97
193
288
384
Time (Month)
Agricultural security : S2
Agricultural security : S1
Agricultural security : BAU


Tillage Pattern Recorded
20,000
15,000
10,000
5000
0
1
97
193
288
384
Time (Month)
Tillage Pattern Recorded : S2
Tillage Pattern Recorded : S1
Tillage Pattern Recorded : BAU


Water diplomacy
200
150
100
50
0
1
97
193
288
384
Time (Month)
Water diplomacy : S2
Water diplomacy : S1
Water diplomacy : BAU


Water security
Time (Month)
Water security : S2
Water security : S1
Water security : BAU



شکل شماره ۹: نمودارهای مقایسه سیاست‌های ترکیبی مدیریت تقاضای منابع آب در افق شبیه سازی ۱۴۱۰

بحث و نتیجه‌گیری

مسئله آب وتأمین حقآبه رودخانه فرامرزی هیرمند با توجه به تأثیرات آن بر امنیت غذایی، آبی و محیط زیست تالاب هامون، از مهم‌ترین مسائلی است که منشأ برخی تنش‌ها میان دو کشور ایران و افغانستان است. با توجه به چالش‌های موجود در شکل‌گیری وضعیت بحرانی در حوضه آبخیز هیرمند، اتخاذ یک رویکرد نوین در دیپلماسی آب را برای مدیریت یکپارچه و سیاستگذاری مؤثر در مسائل آبی در این منطقه را ضروری کرده است. هدف دیپلماسی آب حل یا کاهش اختلاف و درگیری‌ها بر سر منابع آبی مشترک برای ارتقای همکاری، ثبات منطقه‌ای و صلح است.

در این تحقیق، با استفاده از رویکرد دیپلماسی آب به بررسی همبست زیرسیستم‌های آب، غذا، انرژی، در افق ۳۱ ساله ۱۳۷۹-۱۴۱۰ مدلی جامع براساس پویایی سیستم‌ها در رودخانه فرامرزی هیرمند ارائه شده است. این مدل، با بررسی روابط و بازخورد میان متغیرهای موجود در زیرسیستم-ها، با نمودار ذخیره و جریان، کالیبراسیون و اعتبارسنجی شده است.

نتایج، مدلسازی پیوند آب، غذا، انرژی با رویکرد دیپلماسی آب در رودخانه فرامرزی نشان می-دهد مصرف آب و میزان عرضه آب در منطقه سیستان با کمبود آب مواجه است. این کاهش به دلیل کاهش ورودی منابع آب سطحی و افزایش تبخیر و کاهش بارندگی و عدم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از طریق روش‌های نوین آبیاری و الگوی کشت متناسب است. در این وضعیت مدلسازی مصرف بهینه در بخش‌های مختلف، رعایت مدیریت مصرف و فرهنگ‌سازی مبتنی بر عدم اسراف جزو مسائل کلیدی در مدیریت بحران می‌باشد. افزایش مصرف انرژی نهاده‌های کشاورزی منجر به افزایش انرژی مصرفی در بخش کشاورزی بوده که منبع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای است. با اعمال سناریوی ترکیبی مدیریت یکپارچه به منظور کاهش ۵۰ درصد شدت مصرف انرژی وکاهش۵۰ درصد تلفات آب در قالب مدلسازی نکسوس بین منابع آب، غذا و انرژی به منظور حفظ

منابع و امنیت آبی پایدار در منطقه ارائه شده‌اند. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر با نتیجه مطالعاتی برجسته و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. بر طبق نتایج به کارگیری مدل پیشنهادی نکسوس (WEF) در این مطالعه می‌تواند به سیاستگذاران و برنامه‌ریزان در این حوضه کمک نموده و دشت سیستان را از آسیب‌های جدی ناشی از بحران آبی آینده مصون نگه دارد از این رو، نگرش تفکر سیستمی نکسوس می‌بایستی برای این حوضه در اولویت قرار گیرد.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی سناریوها در راستای رویکرد همبست در دیپلماسی آب، راه‌کارهای عملیاتی مدیریت پایدار منابع آب به شرح زیر پیشنهاد می‌شوند.

۱) استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نو، می‌تواند به عنوان یک استراتژی در دیپلماسی آب در توسعه طرح‌ها و توافقات مشترک بین کشورها برای مدیریت منابع آبی و حفظ محیط زیست نقش مهمی داشته باشد.

۲) ارائه راهکارهای علمی و نوآورانه جهت کاهش نرخ تبخیر با در نظر گرفتن شرایط زیست محیطی و کیفیت آب در منطقه سیستان و تالاب بین‌المللی هامون.

۳) اجرای همبست آب، انرژی و غذا با رویکرد دیپلماسی آب می‌تواند مناسبات هیدروپلتیکی دو کشور ایران و افغانستان بر سر مسائل آبی را از مناقشه به سمت مشارکت و همکاری سوق دهد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از دانشگاه سیستان و بلوچستان که امکانات لازم برای انجام این پژوهش را فراهم کرد کمال تشکر و سپاس را دارند.

منابع فارسی

خسروی، رضوان.، بافکار، علی.، آذری، آرش. (۱۴۰۳). ارزیابی شاخص های کشاورزی پایدار در غرب کشور بر اساس همبست آب، غذا و انرژی. پژوهش آب ایران، ۱۸(۱): ۳۷-۴۷.

ضیایی، ضیالحق.، سردارشهرکی، علی.، صفدری، مهدی. (۱۴۰۲). تدوین راهبردهای توسعه همکاری‌های آبی ایران و افغانستان، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳: ۳۴۶-۳۶۸.

صمدی فروشانی، مرضیه.، کیهان پور، محمدجواد.، موسوی جهرمی، سید حبیب. (۱۴۰۱). تحلیل ساختار حکمرانی آب ایران مبتنی بر همبست آب-غذا-انرژی: کاربردی از رویکرد تحلیل شبکه های اجتماعی (SNA)، آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۳): ۵۶۳-۵۷۹.

برجسته، حمیدرضا، قریشی، سیده زهرا، و میان آبادی، حجت. (۱۳۹۹). تبیین کارکرد رویکرد همبست در هیدروپلیتیک آب های فرامرزی، اکوهیدرولوژی، ۷(۳)، ۷۵۷-۷۷۳.

References

Ahani, E., Ziaee, S., Mohammadi, H., Mardani Najafabadi, M., & Mirzaei, A. (2023). Proposing the Structure of a Multi-Objective Mathematical Programming Model with Water-Food-Energy Nexus Approach for Crop Production. *Journal of Agricultural Economics and Development, 37*(1), 83-102. doi:10.22067/jead.2022.77691.1147

Barjeste, H., Ghoreishi, S. Z., & Mianabadi, H. (2020). Application of Nexus Approach in Hydropolitics of Transboundary Rivers. *Iranian journal of Ecohydrology, 7*(3), 757-773. doi:10.22059/ije.2020.301473.1319. . (In Persion)

Chai, J., Shi, H., Lu, Q., & Hu, Y. (2020). Quantifying and predicting the Water-Energy-Food-Economy-Society-Environment Nexus based on Bayesian networks-a case study of China. *Journal of Cleaner production, 256*, 120266.

Chapman, A., & Darby, S. (2016). 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, 559*, 326-338.

Cuppari, R., Schmeier, S., & Demuth, S. (2017). Preventing conflicts, fostering cooperation–The many roles of water diplomacy.

Forrester, J. (1961). W.(1961). Industrial Dynamics. *Waltham MA, Pegasus Communications*.

Karabulut, A. A., Crenna, E., Sala, S., & Udias, A. (2018). A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. *Journal of Cleaner Production, 172*, 3874-3889. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.092

Khosravi, R., Bafkar., A., Azarim, A. (2024). Evaluation of sustainable agriculture indicators in the west of the country based on the interrelationship of water, food and energy. *Iranian Water Research*, 18(1): 37-47. (In Persion)

Li, P.-C., & Ma, H.-w. (2020). Evaluating the environmental impacts of the water-energy-food nexus with a life-cycle approach. *Resources, Conservation and Recycling, 157*, 104789.

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

Mapani, B., Makurira, H., Magole, L., Meck, M., Mkandawire, T., Mul, M., & Ngongondo, C. (2019). Integrated water resources development and

management: innovative technological advances for water security in Eastern and Southern Africa (Vol. 112, pp. 1-2): Elsevier.

Mianabadi, H., & Amini, a. (2019). Complexity of Water, Politics, and Environment in the Euphrates and Tigris River Basins. *Geopolitics Quarterly*, *15*(54), 54-86.

Qin, H.-P., Su, Q., & Khu, S.-T. (2011). An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment. *Environmental modelling & software*, *26*(12), 1502-1514.

Rai, S. P., Sharma, N., & Lohani, A. (2016). Transboundary water sharing: issues involved. *Envtl. Pol'y & L.*, *46*, 62.

Safavi, A., & Ehteshami, M. (2022). Modeling the correlation approach of water, energy and food and evaluating its social and environmental sustainability (Case study: Varamin city). *Scientific Journal of Hydroelectric Dam and Power Plant*, *8*(28), 101-180.

Samadi Foroushani, M., Keyhanpour, M. J., & Musavi-jahromi, S. H. (2022). Analysis of Iran's Water Governance Structure based on Water-Food-Energy NEXUS: An Application of the Social Network Analysis (SNA). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(3), 563-579. (In Persion)

Song, C., Yan, J., Sha, J., He, G., Lin, X., & Ma, Y. (2018). Dynamic modeling application for simulating optimal policies on water conservation in Zhangjiakou City, China. *Journal of Cleaner Production*, *201*, 111-122.

Wang, X., Dong, Z., & Sušnik, J. (2023). System dynamics modelling to simulate regional water-energy-food nexus combined with the society-economy-environment system in Hunan Province, China. *Science of The Total Environment*, *863*, 160993.

Wicaksono, A., & Kang, D. (2019). Nationwide simulation of water, energy, and food nexus: Case study in South Korea and Indonesia. *Journal of Hydro-Environment Research*, *22*, 70-87.

Zhang, X., & Vesselinov, V. V. (2017). Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. *Advances in Water Resources*, *101*, 1-10.

Ziyaie, Z., Sardar Shahraki, A., & Safdari, M. (2023). Developing Strategies for the Development of Water Cooperation between Iran and Afghanistan. *Irrigation and Water Engineering*, *13*(13), 346-368. doi:10.22125/iwe.2023.393236.1714

Ziaee., Z,A., Sardar Shahraki., A., Safdari, M. (2023). Formulating strategies for developing water cooperation between Iran and Afghanistan, Iran's irrigation and water engineering, 13: 346-368. (In Persion)