چکیده

راهبردهای انطباقی پایدار در حوضه آبریز بختگان: به سوی کشاورزی اقلیم-هوشمند

به کوشش
درنا جهانگیرپورآردکپان

خشکسالی‌های پیاپی در سال‌های اخیر، عدم تأمین حقابه دریاچه‌ها، تالاب‌ها و رودخانه‌ها و برداشت بیش از حد آب از منابع آب زیرزمینی و سطحی در کنار مسائل مرتبط با آلودگی منابع آب و خاک، چالش‌های جدی در حوضه آبریز بختگان به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی کشور ایجاد کرده است. علاوه براین، پدیده تغییر اقلیم به ویژه در زمینه تخصیص آب، مشکلات بیشتری را دامن خواهد زد و بر زیرسیستم‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی حوضه آبریز تأثیر منفی داشته و به ایجاد شرایط ناپایدار در کل سیستم منجر خواهد شد. در این راستا، کشاورزی اقلیم-هوشمند (CSA) به عنوان یک پاسخ کلیدی به این مجموعه چالش مطرح می‌شود که به دنبال افزایش بهره‌وری کشاورزی، ترویج سازگاری، بهبود ظرفیت انطباقی و کاهش گازهای گلخانه‌ای است. CSA رویکردی یکپارچه برای مقابله با چالش‌های مرتبط با امنیت غذایی، تأثیر تغییر اقلیم و پایداری اکولوژیکی است. بنابراین، این رویکرد چند رشته‌ای نوآورانه که تمام دانش‌ها را از حوزه‌های مختلف ترکیب می‌کند، ابزاری ایده‌آل برای ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی خواهد بود. با توجه به این موضوع، مطالعه حاضر یک چارچوب اقتصادی-هیدرولوژیکی-زیست‌محیطی-رفتاری را برای ارزیابی راهبردهای انطباقی CSA در حوضه مورد مطالعه ارائه می‌دهد. این چارچوب، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه اقتصادی را با مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) و مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) ترکیب می‌کند تا اثر راهبردهای انطباقی مختلف را بر شاخص‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی شبیه‌سازی کند. علاوه بر این، با ادغام یک مدل عامل-بنیان در چارچوب پیشنهادی، رفتار مشارکتی کشاورزان در اتخاذ راهبردهای انطباقی CSA مورد بررسی قرار می‌گیرد. به همین منظور، مطالعه حاضر در هفت بخش سازماندهی شده است. بخش اول وضعیت کنونی منابع آب در منطقه مورد مطالعه و چالش‌های سیستم کشاورزی مرتبط را تحلیل می‌کند. در بخش دوم، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های SWAT و WEAP با تغییر پارامترهای ورودی حساس انجام شده است. با حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه با الگوریتم ژنتیک، الگوهای تخصیص آب و زمین برای مناطق مختلف شبکه آبیاری درودزن در بخش سوم به دست آمده است. در بخش چهارم، تأثیر سناریوی تغییر اقلیم RCP8.5 بر شرایط هیدرولوژیکی، محیط‌زیستی و اقتصادی شبکه آبیاری درودزن بررسی شده است. بخش پنجم به شبیه‌سازی اثر راهبردهای انطباقی اقلیم-هوشمند بر عملکرد محصولات کشاورزی، نیازهای آبی، آب در دسترس و الگوی کشت بهینه می‌پردازد. بخش ششم عملکرد راهبردهای شبیه‌سازی شده را بر اساس مفهوم قابلیت انطباق‌پذیری که می‌تواند راهبردهای مناسب‌تر را در راستای رسیدن به کشاورزی اقلیم-هوشمند مشخص کند، ارزیابی می‌کند. در نهایت، در

بخش هفتم، یک مدل عامل-بنیان برای شبیه‌سازی رفتار مشارکتی زارعین در راهبردهای انطباقی منتخب استفاده شده است. بر اساس نتایج، فرآیند کنونی مدیریت سیستم کشاورزی در حوضه بختگان بسیار ناپایدار بوده و اغلب بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی پیگیری می‌شود که به برداشت بیش از حد مجاز آب زیرزمینی و عدم تأمین حقابه دریاچه بختگان منجر شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که برای دستیابی به کشاورزی پایدار بایستی اهداف محیط‌زیستی و اجتماعی درکنار اهداف اقتصادی مدنظر قرار گیرند. به عنوان یک راه حل، ضرورت دارد که مصرف آب کشاورزی به طور قابل توجهی (>۴۰٪) کاهش یابد. اما پیامدهای کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب، همراه با تغییرات احتمالی اقلیم به طور جدی معیشت پایدار، تاب‌آوری و امنیت غذایی را به مخاطره می‌اندازد. با این حال، با اتخاذ راهبردهای انطباقی CSA، از جمله سیستم‌های آبیاری مدرن، کم‌آبیاری، آبخوان‌داری، مدیریت ضایعات، بهینه‌سازی تاریخ کاشت، مدیریت کوددهی و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، امکان تعدیل پیامدهای منفی اقتصادی و امنیت غذایی وجود دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که با اجرای ترکیبی از راهبردهای CSA در الگوی کشت پایدار، پتانسیل افزایش ۱۰ درصدی سود نسبت به الگوی پایه وجود دارد. همچنین، این راهبرد ترکیبی به کاهش ۴۲ درصدی مصرف آب، کاهش ۲۷ درصدی انتشار CO_2 و کاهش قابل توجه ۴۲ درصدی آبشویی نیترات منجر می‌شود اما کاهش ۴۵ درصدی شاخص امنیت غذایی نسبت به سال پایه را نیز در پی دارد. ارزیابی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که تقاضای آب تامین نشده در شبکه آبیاری درودزن در سال ۲۰۱۷ برابر با ۲۳۳ میلیون متر مکعب بوده است، که براساس سناریو تغییر اقلیم RCP8.5، انتظار می‌رود این تقاضای تامین نشده تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۸۴۰ میلیون مترمکعب افزایش یابد. اما با اجرای راهبردهای CSA، امکان کاهش تقاضای تامین نشده تا حدود ۵۸ درصد وجود دارد. نهایتا اینکه نتایج مدل عامل-بنیان به وضوح عدم همکاری کشاورزان در اتخاذ الگوی کشت پایدار را نشان داد. البته، این موضوع نیز ثابت شد که به‌کارگیری راهبردهای CSA تأثیر مفیدی در ارتقای همکاری کشاورزان در اجرای الگوی کشت پایدار دارند. اگرچه راهبردهای اقلیم-هوشمند اثر مثبت شایان توجه بر برآیند سود زارعین در هر ناحیه دارد، لیکن این اثرگذاری در سطح مزرعه، به شرایط انفرادی و امکانات آن مزرعه بستگی دارد. لذا نیاز به ایجاد یک چارچوب جامع برای توسعه کشاورزی نهاد-هوشمند وجود دارد. بنابراین، برای دستیابی به کشاورزی اقلیم-هوشمند و پایدار و اجرای راهبردهای انطباقی پیشنهادی، به یک تحول نهادی هوشمند نیاز است. این تحول شامل تعریف و عملیاتی کردن مالکیت آب، تحویل حجمی آب، نصب کنتورهای هوشمند و حسابداری آب است. علاوه بر این، ایجاد بانک آب و بازار آب، می‌تواند به عنوان راهکاری برای افزایش انعطاف پذیری نهادی در حکمرانی آب و حمایت از زارعینی که اتخاذ الگوی کشت پایدار برای آن‌ها دیگر اقتصادی نیست، مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی چندهدفه، حوضه آبریز بختگان، راهبردهای انطباقی، کشاورزی اقلیم-هوشمند، مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، مدل عامل-بنیان

Abstract

Sustainable Adaptation Strategies in Bakhtegan Basin:Toward Climate-Smart Agriculture

By
Dorna Jahangirpour Ardkapan

The consecutive droughts in recent years, noncompliance with the water rights of the lakes, wetlands and rivers, and excessive water extraction from ground and surface water resources along with water and soil pollution problems have created severe challenges in Bakhtegan Basin, as a major agricultural hub of the country. In addition, the phenomenon of climate change will be more challenging, especially in terms of water allocation, and will negatively affect the hydrological, economic, social and environmental subsystems, resulting in unstable conditions in the entire system. In this regard, Climate-Smart Agriculture (CSA) is highlighted as key response to these challenges, seeking to enhance agricultural productivity, promote adaptation and enable GHG emission reductions. CSA is an integrated approach to address the related challenges of food security, the impact of climate change, and environmental sustainability. Therefore, this innovative multidisciplinary approach that combines all the knowledge from different fields will be an ideal tool for assessing the resilience of agricultural systems. In line with this, current study presents an economic–hydrological – environmental – behavioral model to evaluate climate-smart adaptation strategies in studied basin. It combines an economic multi-objective optimization model with the Water Evaluation and Planning System (WEAP) and the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model to simulate the effects of various adaptation strategies on hydrological, economic, social and environmental indicators. Additionally, by integrating an agent-based model within the proposed framework, the cooperative behavior of farmers in adoption of CSA adaptation strategies can be examined. To this end, current study was organized into seven sections. The first section analyzes the current water resources situation in the study area and associated agricultural system challenges. In the second section, the calibration and validation of SWAT and WEAP models were performed by modifying the most sensitive input parameters. By solving the multi-objective optimization model using genetic algorithm, water and land allocation patterns for different subareas of Doroodzan Irrigation Network (DIN) were obtained in the third section. In the fourth section, the effects of a climate change scenario RCP8.5 on hydrological, environmental and economic conditions of DIN were investigated using the integrated model. The fifth section deals with the simulation of climate-smart adaptation strategies impacts on crop yields, water requirements, water availability, and optimal cropping pattern. The sixth section evaluates the performance of the simulated strategies based on the concept of adaptability which can identify the most promising strategies toward climate-smart agriculture in Bakhtehan Basin. Finally, in the seventh section, an agent-based model was applied to simulate the cooperative behavior of the farmers in selected adaptation strategies. Based on the results, the current management process

of the agricultural system in the Bakhtegan Basin is considered as highly unsustainable and is pursued mostly without regarding environmental considerations, leading to over-extraction of groundwater and unmet flow requirement to Bakhtegan Lake. The findings indicated that environmental and social objectives should be considered, along with economic ones in order to achieve sustainable agriculture. As a solution, a substantial reduction in agricultural water use (> 40%) is needed to satisfy the sustainability goal. The consequence of a 40% reduction in agricultural water consumption, along with possible climate changes in the future endanger sustainable livelihoods, farmers' resilience, and food security seriously. However, economic and food security losses can be mitigated by adopting appropriate CSA adaptation strategies, including modern irrigation systems, deficit irrigation, rainwater harvesting, waste management, plant date optimization, fertilizer application management, and drought-tolerant crops. The findings also show that there is a potential for a 10 percent increase in profit compared to the baseline pattern by implementing a combination of climate-smart strategies within the sustainable cropping pattern. Furthermore, this combined strategy has resulted in remarkable improvements, including a 42 percent reduction in water consumption, a significant 27 percent decrease in CO2 emissions, and a substantial 42 percent reduction in nitrate leaching. However, it is important to note that these impressive achievements come at the cost of a 45 percent reduction in food security compared to the baseline year. Hydrological assessment indicates that the unmet water demand in the DIN was 233 million cubic meters in 2017. However, under the RCP8.5 climate change scenario, this unmet demand is expected to rise to around 840 million cubic meters by 2050. By implementing combined climate-smart strategies, it is possible to reduce the unmet water demand by approximately 58%. Finally, the results of the agent-based modeling clearly illustrate the noncooperation of farmers in adoption of sustainable cropping pattern. However, it is also proven that climate-smart strategies have a beneficial effect in promoting farmers' cooperation in implementing the sustainable cropping pattern. But it is important to note that the effectiveness of these strategies at the farm level is contingent upon the unique conditions and resources of each individual farm. This highlights the need for the establishment of a comprehensive framework for the development of an institution-smart agriculture. Hence, achieving a climate-smart and sustainable agriculture and implementing the proposed adaptation strategies requires a smart institutional shift and evolution that includes defining and operationalizing water ownership, volumetric delivery of water, installing smart meters, and water accounting. Moreover, establishing water bank and water market can be a solution to increase institutional flexibility in water governance and support farmers for whom adopting a sustainable cropping pattern is no longer regarded as efficient.
Keywords: Adaptation Strategies, Agent-Based Model, Bakhtegan Basin, Climate-Smart Agriculture, Hydrological Simulation Model, Multi-Objective Optimization