

Research Article

Enhancing Farmers' Resilience in Participatory Water Resources Management under Water Scarcity Conditions in the Lake Urmia Basin Using Agent-Based Modeling

Somayeh Emami¹✉, Hossein Dehghanisani², Hojjat Emami³

1. PhD in Hydraulic Structures, Department of Water Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Alborz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of Bonab, Bonab, Iran.

(✉ Corresponding Author: somayehemami70@gmail.com)

ARTICLE INFO

Received: 25 May 2025

Revised: 1 June 2025

Accepted: 17 July 2025

Available Online: 28 September 2025

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Emami, S., & Dehghanisani, H., & Emami, H., (2025). Enhancing Farmers Resilience in Participatory Water Resources Management under Water Scarcity Conditions in the Lake Urmia Basin Using Agent-Based Modeling. (In Persian with English abstract). *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. V.26, No.99. P: 55-74
<https://doi.org/10.22092/idser.2025.369484.1619>

Introduction

In arid and semi-arid regions, pressures from climate change, including increasing temperatures, decreasing precipitation, and severe seasonal fluctuations, along with institutional constraints and weaknesses in resource management, have created fundamental challenges for farmers and hindered the realization of sustainable agriculture. The Lake Urmia basin, one of the most sensitive aquatic ecosystems in the country, provides a prime example of such critical conditions due to the significant decrease in water levels, increased salinity, and decline in the quality of water resources, which have resulted in widespread economic, social, and environmental consequences for local communities. Water scarcity not only reflects physical resource limitations but also generates complex interactions among economic, social, institutional, and environmental factors, directly influencing farmers' decision-making, irrigation technology choices, and the effectiveness of water resource management policies. In this context, socio-institutional resilience is a multidimensional and decisive factor, encompassing household economic capacities, flexibility and adaptability of agricultural technologies, active and stable social networks, and organizational and institutional skills, all of which can enhance the sustainability of agricultural systems in the face of environmental pressures and economic instabilities. However, previous studies have mostly analyzed economic, individual, or social indicators separately and have not comprehensively examined the complex interactions among individual, social, technological, and environmental factors. As a result, the ability to predict the agricultural system's response to various policies and climate shocks has been limited. Moreover, an integrated framework for optimal water resource management and for enhancing farmers' resilience has not yet been provided.

Methodology

This study was conducted using a mixed qualitative and quantitative approach combined with agent-based modeling (ABM) to accurately represent the complex interactions between farmers, social-institutional networks, and environmental pressures in the Miandoab Plain, south of Lake Urmia. The study population included 50 farmers, 10 agricultural Jihad experts, and 10 representatives of the

regional water organization. Data were collected through structured questionnaires, semi-structured interviews, and secondary sources. Six key indicators were defined in the model: economic resilience (ERI), technological flexibility (FTI), knowledge network strength (KNRI), innovation motivation in practice (MPI), environmental pressure (EPI), and irrigation technology level (IL). Farmers, as the main agents, interacted continuously with local knowledge networks and product markets, and their decision-making rules were shaped by individual motivations, environmental pressures, and the observed behavior of others. To examine the system's response under different conditions, four simulation scenarios were designed: fluctuations in agricultural product prices, introduction of new irrigation technologies at varying adoption rates, changes in the density of knowledge networks, and the occurrence of climate shocks and successive droughts. Quantitative data were analyzed using SPSS, and qualitative data were processed using open and axial coding in MAXQDA. Model validation was conducted by comparing outputs with historical data, consulting local experts, and performing sensitivity analyses to ensure the model accurately represents farmers' behavior and socio-institutional dynamics under various environmental pressures.

Results and Discussion

Simulation results showed that farmers' adoption of new technologies and changes in irrigation patterns are influenced by a combination of economic, individual, technological, social, and environmental factors. Farmers with higher economic resilience and denser social networks adopted new technologies faster, resulting in increased water productivity. Environmental pressures, particularly drought and water scarcity, were strong drivers for adoption, but their effects were sustainable only when combined with strong individual motivation and active knowledge networks. The technological flexibility index and innovation motivation were decisive in determining the speed and extent of technology adoption. Social networks and knowledge network strength enhanced collective learning and experience sharing, thereby creating synergistic effects with other indicators. The combination of low economic capacity and high environmental pressure highlighted the need for targeted support and guidance to help farmers adapt to new technologies. Analysis also showed that one-dimensional policies, such as simply providing subsidies or unsupervised training, have limited effectiveness and may even be counterproductive. In contrast, multidimensional policy packages, including targeted and continuous education, performance-based subsidies, strengthening local networks, and transparency in water allocation, create synergistic and sustainable impacts. International experiences indicate that farm schools, participatory local networks, and subsidy reforms can significantly increase farmer engagement and water productivity. Agent-based modeling also allows predicting farmers' responses to policies, testing different scenarios, and optimizing resource allocation before implementation.

Conclusions

The adoption of new irrigation technologies and sustainable water management results from complex interactions among economic, social, institutional, and environmental factors. Successful participatory policies require maintaining a minimum level of water resource sustainability, implementing multidimensional policy packages, strengthening social and institutional networks, and using agent-based modeling tools to assess policy effectiveness. This study demonstrated that the combination of economic indicators, innovation motivation, social networks, and environmental pressures can significantly determine the success or failure of policies. The proposed framework provides a practical and scientific roadmap for sustainable water management in areas affected by water crises.

Keywords: Water Resources Management, Participatory Modeling, Social Network, Agent-Based Modeling



نوع مقاله: پژوهشی

بهبود تاب‌آوری کشاورزان در مدیریت مشارکتی منابع آب تحت شرایط کم‌آبی در حوضه^۱ دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌سازی عامل‌محور

سمیه امامی^۱ , حسین دهقانی‌سانج^۲ , حجت امامی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به افزایش فشارهای اقلیمی و نهادی بر منابع آب، گذار از مدیریت فنی به رویکردهای اجتماعی-نهادی ضروری است. در این راستا، در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی کیفی-کمی و مدل‌سازی عامل‌محور (ABM)، به بررسی رفتار کشاورزان در مدیریت مشارکتی منابع آب در دشت میاندوآب، یکی از کانون‌های بحرانی حوضه^۱ دریاچه ارومیه، پرداخته شده است. داده‌ها از طریق پرسشنامه، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و منابع ثانویه جمع‌آوری شد. در مدل ABM طراحی شده، کشاورزان به عنوان عاملان اصلی و شبکه‌های محلی و بازار محصولات به عنوان بازیگران مکمل در نظر گرفته و تصمیمات آبیاری بر اساس چهار شاخص کلیدی اقتصادی (ERI)، فناورانه (FTI, IL)، اجتماعی (KNRI)، فردی (MPI) و زیست‌محیطی (EPI) شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که تاب‌آوری اقتصادی، انعطاف‌پذیری فناوری، استحکام شبکه‌های اجتماعی و انگیزه نوآوری کشاورزان به طور هم‌افزا، سرعت پذیرش فناوری‌های نوین و بهره‌وری آب را افزایش می‌دهند. فشارهای محیطی شدید، در صورت همراهی با انگیزه نوآوری بالا، محرکی قوی برای تغییر رفتار آبیاری و پذیرش فناوری‌های نوین می‌باشند. در حالی که کشاورزان با تاب‌آوری اقتصادی پایین و شبکه‌های اجتماعی ضعیف، بیشترین آسیب‌پذیری را داشتند. یافته‌ها تأکید می‌کند که سیاست‌های مدیریت منابع آب باید فراتر از اقدامات فنی، شامل بسته‌های حمایتی چندبعدی اقتصادی، آموزشی و تقویت شبکه‌های اجتماعی طراحی شوند. همچنین کاربرد مدل‌های عامل‌محور بومی شده امکان پیش‌بینی اثر سیاست‌ها، بهینه‌سازی تخصیص منابع و بهبود مشارکت کشاورزان را فراهم می‌کند. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان راهنمای عملیاتی برای بالا بردن تاب‌آوری، بهره‌وری آب و مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی در مناطق بحرانی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، مدل‌سازی مشارکتی، شبکه اجتماعی، مدل‌سازی عامل‌محور

مقدمه

محدود دارند، حادث‌تر بوده و منجر به چالش‌های اساسی در

در چند دهه اخیر، بحران‌های آب و تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب شده است (Wada et al., 2016; Lee et al., 2023). بحران‌های آب تنها محدودیت‌های فیزیکی منابع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فشار قابل توجهی بر سیستم‌های کشاورزی وارد کرده‌اند. این فشارها به‌ویژه در حوضه‌های آبریز داخلی که وابستگی زیادی به منابع آب مؤلفه‌های اجتماعی، نهادی و زیست‌محیطی را نیز شامل

^۱ دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. (نویسنده مسئول: [Email: somayehemami70@gmail.com](mailto:somayehemami70@gmail.com))^۲ استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران.^۳ دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران.

می‌شوند. این تعاملات شامل فرایندهای تصمیم‌گیری کشاورزان، سیاست‌های دولتی، ظرفیت نهادی برای تنظیم و پاسخ‌های اکوسیستم به فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی است. تاب‌آوری اجتماعی- نهادی که به‌عنوان ظرفیت برای تحمل و سازگاری با تغییر تعریف می‌شود، برای عملکرد پایدار سیستم‌های منابع آب بسیار حیاتی بوده و می‌تواند تفاوت میان موفقیت و شکست سیاست‌های مدیریت منابع آب را ایجاد کند (Pahl-Wostl, 2007). توانایی جوامع و نهادها در سازگاری با تغییرات محیطی و مقابله با بحران‌ها، نقش کلیدی در پایداری مدیریت منابع آب دارد. این مفهوم فراتر از ظرفیت فنی یا اقتصادی است و شامل مهارت‌های سازمانی، شبکه‌های اجتماعی فعال، اعتماد میان ذینفعان و انعطاف‌پذیری نهادی می‌شود (Pahl-Wostl, 2007). Salajegheh و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای نشان دادند که در مناطقی که ساختارهای نهادی ضعیف و شبکه‌های اجتماعی ناکارآمد دارند، سیاست‌های مدیریت منابع آب با محدودیت‌های جدی مواجه شده و اجرای راهبردهای پایدار با شکست روبه‌رو می‌شود. Tingley-Holyoak and Pisaniello (۲۰۱۷) تأکید کردند موفقیت سیاست‌های پایدار منابع آب تنها در صورتی ممکن است که تعامل میان رفتار کشاورزان، ساختارهای نهادی و فشارهای محیطی به‌صورت همزمان مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر، تاب‌آوری اجتماعی- نهادی نه تنها یک ظرفیت پیشگیرانه است، بلکه یک عامل تعیین‌کننده برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش انعطاف سیستم‌های کشاورزی در برابر تغییرات اقلیمی عمل می‌کند. سیاست‌های صرفاً فنی یا اقتصادی بدون درک و تقویت ابعاد نهادی و اجتماعی، نمی‌توانند پاسخگوی پیچیدگی‌های واقعی مدیریت منابع آب در شرایط بحران باشند. Ahmadi و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند موانع اجتماعی مانند فقدان اعتماد به نهادهای دولتی و ضعف مشارکت مردمی، اجرای پروژه‌های سازگاری با

کم‌آبی را با چالش مواجه می‌کند و بر اهمیت تقویت نهادهای محلی و مشارکت اجتماعی تأکید دارد. این درک از پیچیدگی‌های اجتماعی و نهادی بحران‌های آب، اهمیت توجه به بستر محلی و شرایط خاص هر حوضه آبریز را روشن می‌کند. کاهش سطح آب، افزایش شوری و افت کیفیت منابع آبی در حوضه دریاچه ارومیه، در نتیجه ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی شامل تغییرات اقلیمی، برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی است. این شرایط به‌ویژه در دشت میاندوآب باعث کاهش چشمگیر تولیدات کشاورزی و تهدید معیشت کشاورزان شده است، به‌گونه‌ای که بسیاری از خانوارها با کاهش درآمد و کاهش امنیت غذایی مواجه‌اند. دولت برای کاهش این مشکلات اقداماتی مانند پرداخت یارانه، ارائه آموزش‌های کشاورزی و اعمال نظارت‌های محدود انجام داده است (Emami et al., 2024). با این حال، اثرهای این برنامه‌ها عمدتاً کوتاه‌مدت بوده و در بلندمدت، به دلیل عدم توجه کافی به ابعاد اجتماعی و نهادی، نتایج پایداری ایجاد نکرده‌اند. به عبارت دیگر، بدون در نظر گرفتن تعاملات پیچیده میان رفتار کشاورزان، ساختارهای نهادی و تغییرات محیطی، سیاست‌ها نمی‌توانند به هدف‌های پایداری دست یابند (Tingley-Holyoak and Pisaniello, 2017). این تجربه ملی نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب نمی‌تواند تنها به اقدامات فنی محدود شود و نیازمند رویکردی یکپارچه و چندبعدی است که ابعاد اجتماعی- نهادی و محیطی را همزمان در نظر گیرد. در این راستا، مدل‌سازی عامل محور (ABM)، به‌عنوان رویکردی نوین توجه پژوهشگران متعددی را به خود جلب کرده است، این مدل‌ها شبیه‌سازی تعاملات پیچیده میان عوامل انسانی، محیطی، بازنمایی رفتارهای ناهمگون کشاورزان، یادگیری اجتماعی و اثرهای شبکه‌ای تصمیمات را فراهم می‌آورند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیب ABM با مدل‌های هیدرولوژیکی

دانش، انگیزه نوآوری در عمل، فشار محیطی و سطح فناوری آبیاری تعریف شد.

کشاورزان در مدل به‌صورت اپراتورهای اصلی آموزش دیده و تصمیمات آن‌ها در طول مدل به طور مداوم در تعامل با شبکه‌های محلی تبادل دانش و بازار محصولات شکل می‌گیرد، به طوری که انگیزه‌های فردی، فشارهای زیست‌محیطی و مشاهدات اجتماعی همزمان رفتار آن‌ها را تشکیل می‌دهند. برای ارزیابی پایداری سیستم، چهار سناریوی محوری در محیط NetLogo طراحی و شبیه‌سازی و نتایج شبیه‌سازی شامل میزان پذیرش فناوری‌های نوین، تغییر در الگوی مصرف آب، نوسانات درآمدی و سطح کلی تاب‌آوری سیستم استخراج و مقایسه گردید. برای اعتبارسنجی مدل، ابتدا خروجی‌های شبیه‌سازی با داده‌های واقعی سیستم مقایسه شدند، سپس ارزیابی توسط کارشناسان محلی و متخصصان حوزه مدیریت منابع آب انجام گرفت و در نهایت تحلیل حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای کلیدی صورت گرفت. این چارچوب امکان ارائه درکی جامع و چندبعدی از تعاملات و پایداری سیستم‌های کشاورزی را فراهم کرده و پایه‌ای برای ارائه توصیه‌های سیاستی مبتنی بر شواهد جهت مدیریت منابع آب و تقویت شبکه‌های اجتماعی کشاورزان ایجاد می‌کند.

مواد و روش‌ها

دشت میاندوآب

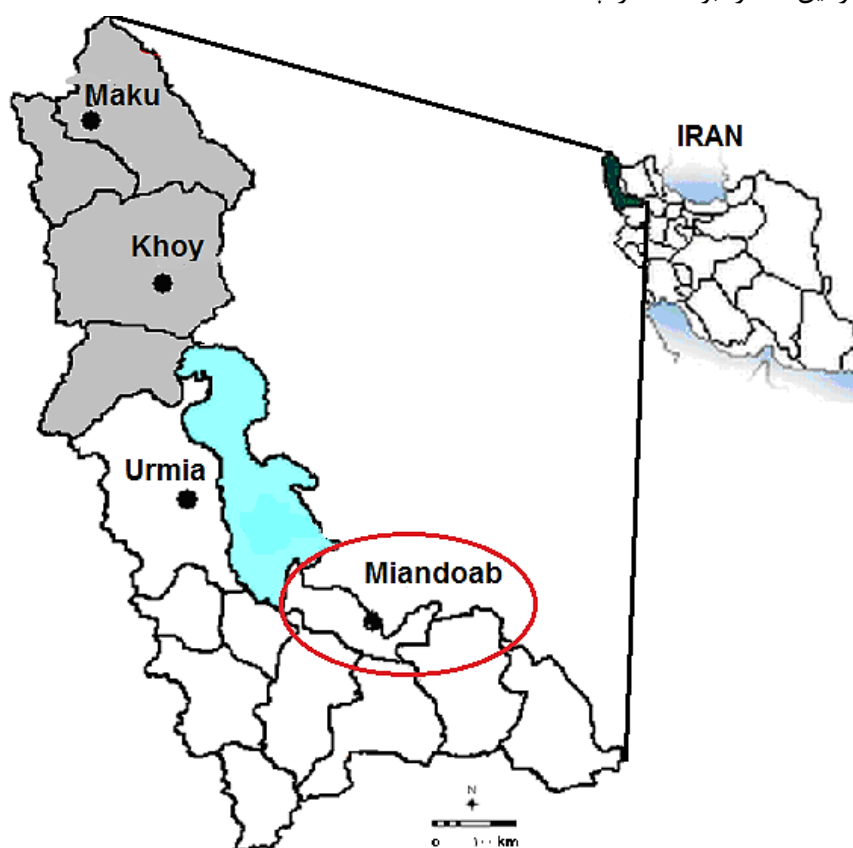
دشت میاندوآب در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه و در استان آذربایجان غربی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی دشت مابین مدار ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی است (West Azerbaijan Regional Water Company, 2022). دشت میاندوآب از لحاظ توپوگرافی به صورت یکنواخت و هموار است و تنها تعدادی

می‌تواند تعاملات میان مصرف‌کنندگان آب و منابع زیرزمینی را دقیق‌تر شبیه‌سازی کرده و سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب را در شرایط عدم قطعیت بررسی کند (Cai and Xiong, 2017; Thissen et al., 2017). مطالعه‌ای در هند نشان داد که کشاورزان بر اساس درک ریسک‌های اقلیمی و ویژگی‌های اجتماعی خود، واکنش‌های متفاوتی به سیاست‌های مدیریت منابع آب نشان می‌دهند (Kumar et al., 2025).

با توجه به اهمیت درک رفتار کشاورزان، یکی دیگر از محورهای مهم، بررسی نحوه درک ریسک اقلیمی و تأثیر آن بر تصمیم‌گیری‌های کشاورزی است. مطالعات اخیر نشانگر آن است که دسترسی به اطلاعات، سطح تحصیلات و شبکه‌های اجتماعی، نقش تعیین‌کننده‌ای در درک ریسک و پذیرش فناوری‌های نوین دارند. مطالعه‌ای در نواحی نیمه‌خشک برزیل نشان داد که کشاورزان با سطح تحصیلات و شبکه‌های اجتماعی قوی‌تر، تمایل بیشتری به پذیرش اقدامات سازگار با تغییرات اقلیمی دارند (Silva et al., 2021). سیاست‌های حمایتی مانند یارانه، آموزش و نظارت، گرچه در کوتاه‌مدت تأثیرات مثبتی دارند، اما بدون توجه به ابعاد اجتماعی و نهادی، اثرهای بلندمدت پایداری ایجاد نمی‌کنند (Mousavian et al., 2020). با وجود این یافته‌ها، پژوهش‌های گذشته هنوز به صورت جامع تعاملات پیچیده میان رفتار کشاورزان، شبکه‌های اجتماعی- نهادی و فشارهای محیطی را تحلیل نکرده و قادر به پیش‌بینی پاسخ سیستم به سیاست‌ها و شوک‌های اقلیمی در سطح محلی نبوده‌اند. این شکاف مطالعاتی نشان می‌دهد که برای طراحی سیاست‌های مؤثر و پایدار، نیاز به مدلی یکپارچه و کمی‌سازی شده است که بتواند ابعاد اجتماعی- نهادی و محیطی را همزمان در نظر گیرد. برای پاسخ به این نیاز، در این پژوهش، مدل عامل‌محور شامل، شش شاخص کلیدی تاب‌آوری اقتصادی، انعطاف‌پذیری فناوری، استحکام شبکه

تپه کوچک در قسمت مرکزی آن قرار گرفته است. در شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب روی نقشه نشان داده شده است. متوسط ارتفاع دشت از سطح دریای آزاد ۱۲۹۲ متر است (West Azerbaijan Regional Water Company, 2022). میزان بارندگی در منطقه از دشت به سمت ارتفاعات افزایش می‌یابد. بر اساس آمار ۳۰ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۶)، میانگین بارندگی سالانه در محدوده مطالعاتی دشت میاندوآب حدود ۲۸۴ میلی‌متر است. همچنین، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر از تشتک به ترتیب برابر با ۷۴۲ و ۱۶۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است (Ministry of Energy of Iran, 2022). بر اساس آخرین آماربرداری‌ها و بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت میاندوآب، میزان تغذیه سالانه آبخوان حدود ۳۴۳/۲۷ میلیون مترمکعب و میزان تخلیه آن ۳۴۴/۰۷ میلیون مترمکعب است که از این مقدار، برداشت از چاه‌ها ۲۸۰/۷۹

میلیون مترمکعب است (Iran Water Resources Management Company, 2023). بنابراین، آبخوان سالانه با کاهش ذخیره‌ای حدود ۰/۸ میلیون مترمکعب مواجه است. مجموع مصرف آب در محدوده مطالعاتی دشت میاندوآب حدود ۹۹۹/۷۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده که تقریباً ۹۶/۳۷ درصد آن برای مصارف کشاورزی، ۲/۰۲ درصد برای شرب و بقیه برای مصارف صنعتی استفاده می‌شود. حجم آب برگشتی از مصرف‌ها حدود ۲۷۹/۹۲ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود که بخشی از آن به تغذیه آبخوان آبرفتی کمک می‌کند و بقیه به صورت زهاب به جریان‌های سطحی وارد می‌شود. در نهایت، حجم کل مصرف خالص آب در این محدوده برابر با ۷۱۹/۸ میلیون مترمکعب در سال است (Ministry of Energy of Iran, 2022).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب

Fig. 1- Geographical location of the Miandoab Plain

چارچوب مفهومی

برای سنجش پایایی ابزار از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد که مقدار آن ۰/۸۲ به دست آمد و نشان‌دهنده انسجام درونی و قابلیت اعتماد بالای پرسشنامه بود. داده‌های کیفی به‌وسیله مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته گردآوری شدند. جامعه هدف این بخش شامل ۲۰ نفر از کشاورزان، کارشناسان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای بود. پرسش‌ها به گونه‌ای طراحی شدند که امکان واکاوی عمیق‌تر ابعاد اجتماعی و نهادی مدیریت منابع آب را فراهم کنند. محورهای اصلی این مصاحبه‌ها شامل، نقش شبکه‌های محلی در فرآیند تصمیم‌گیری آبیاری، تجربه افراد از دوره‌های خشکسالی و چگونگی مواجهه با آن و سطح اعتماد و تعامل بهره‌برداران با نهادهای رسمی و سیاست‌گذاران است. داده‌های حاصل با روش کدگذاری باز و محوری تحلیل و از نرم‌افزار MAXQDA برای سازمان‌دهی و ایجاد شبکه مفهومی استفاده شد. برای تکمیل داده‌های میدانی، اطلاعات ثانویه از منابع معتبر رسمی گردآوری شد. آمار مربوط به قیمت محصولات کشاورزی طی یک دوره ده‌ساله از سازمان جهاد کشاورزی استان دریافت گردید. داده‌های اقلیمی شامل میانگین بارش سالانه و تغییرات دما از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. اطلاعات مربوط به سطح ایستابی و میزان برداشت از سفره‌های آبی از شرکت آب منطقه‌ای اخذ و برای سنجش فشارهای محیطی و تعریف شاخص‌های مرتبط با پایداری منابع آب مورد استفاده قرار گرفت. جامعه آماری این پژوهش به گونه‌ای انتخاب شد که تنوع بازیگران اصلی در فرآیند مدیریت منابع آب را بازتاب دهد. در مجموع، داده‌ها از ۵۰ کشاورز فعال در منطقه مورد مطالعه، ۱۰ کارشناس جهاد کشاورزی با تجربه مستقیم در آموزش و ترویج فناوری‌های نوین و ۱۰ نماینده سازمان آب منطقه‌ای گردآوری شد. انتخاب مشارکت‌کنندگان با روش

پژوهش حاضر با رویکرد ترکیبی کیفی- کمی و مبتنی بر مدل‌سازی عامل‌محور انجام شد. دلیل اصلی انتخاب این رویکرد، پیچیدگی‌های چندبعدی مدیریت منابع آب در سطح محلی بود. رفتار کشاورزان از یک‌سو به ویژگی‌های فردی و اقتصادی آنان وابسته است و از سوی دیگر تحت تأثیر تعاملات اجتماعی، فشارهای محیطی و نوسانات بازار قرار می‌گیرد. استفاده از ABM امکان بازنمایی تعاملات پویای میان این عوامل و شبیه‌سازی شرایط مختلف در بستر عدم قطعیت‌های اقلیمی و اقتصادی را فراهم ساخت. در مدل حاضر، کشاورزان به‌عنوان عامل اصلی در کنار شبکه‌های محلی تبادل دانش و بازار محصولات تعریف و قواعد تصمیم‌گیری آنان بر اساس ترکیب انگیزه‌های فردی، فشارهای زیست‌محیطی و مشاهده رفتار هم‌تایان ایجاد شد.

گردآوری داده‌ها

به‌منظور افزایش دقت و اعتبار یافته‌ها از ترکیب داده‌های کمی، کیفی و ثانویه استفاده گردید. ابتدا، داده‌های کمی از طریق یک پرسشنامه ساختاریافته گردآوری شد. این ابزار شامل ۴۵ پرسش بسته و نیمه‌باز بود که چهار حوزه اصلی را شامل شد:

- ویژگی‌های اقتصادی کشاورزان مانند سطح درآمد سالانه
- هزینه‌های تولید و نوع محصول غالب
- وضعیت فناوریانه شامل نوع سیستم آبیاری موجود و تجربه تغییر فناوری
- انگیزه‌ها و گرایش‌های فردی از جمله میزان ریسک‌پذیری و نگرش نسبت به سیاست‌های حمایتی دولت و رفتار مدیریتی در شرایط کم‌آبی
- نحوه مشارکت در طرح‌های دولتی یا تعاونی.

نمونه‌گیری هدفمند صورت گرفت تا افرادی وارد مطالعه طیفی از سامانه‌های متداول تا نوین مورد استفاده قرار شوند که از نظر مکانی، نوع محصول کشت‌شده و میزان می‌گیرند. این طبقه‌بندی مبنای تعریف شاخص سطح مواجهه با بحران کم‌آبی نماینده طیف وسیعی از شرایط فناوری آبیاری در مدل عامل‌محور قرار گرفت. در جدول (۱)، وضعیت سامانه‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه ارائه شده باشند.

به‌منظور درک وضعیت واقعی فناوری‌های آبیاری در منطقه، داده‌های گردآوری‌شده از کشاورزان نشان داد که است.

جدول ۱- وضعیت سامانه‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه
Table 1- Status of irrigation systems in the study area

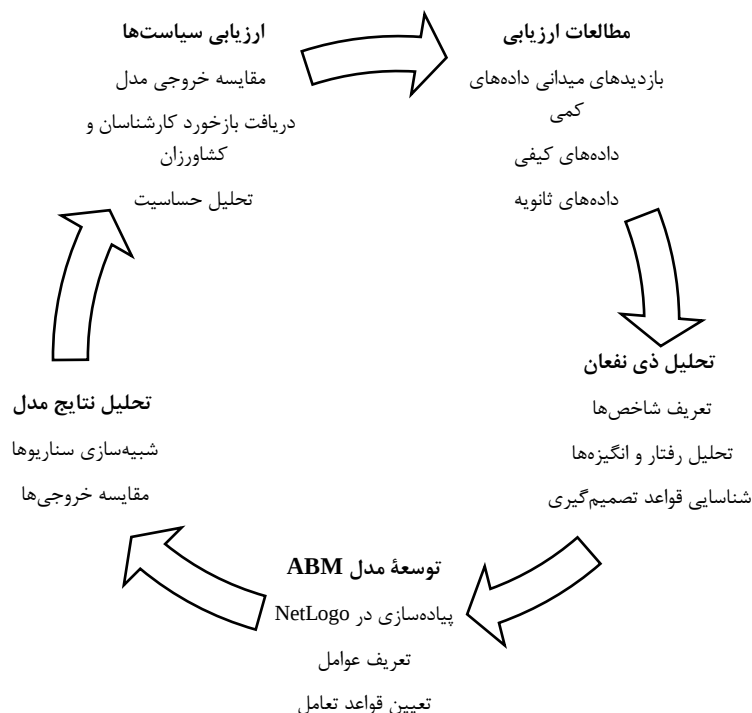
روش آبیاری	مقدار شاخص (irrstatus)
نواری / غرقابی	۱
جویچه‌ای	۲
بارانی	۳
قطره‌ای سطحی	۴
قطره‌ای سطحی (همراه با مدیریت زمان آبیاری)	۵
قطره‌ای زیرسطحی	۶

شاخص‌های مدل

بازتاب‌دهنده قدرت، تراکم و پایداری روابط میان کشاورزان، کارشناسان و سایر بازیگران محلی در تبادل اطلاعات و تجربه است. شاخص انگیزه نوآوری در عمل (MPI) انگیزه‌های فردی بهره‌برداران در جهت تغییر الگوی آبیاری، بهبود بهره‌وری آب و اتخاذ رفتارهای سازگارانه را ارزیابی می‌کند. شاخص فشار محیطی (EPI) شدت اثرهای خشکسالی، کاهش منابع آب زیرزمینی و محدودیت‌های اقلیمی و شاخص سطح فناوری آبیاری (IL) بیانگر مسیر تغییر فناوری و بهبود بهره‌وری سامانه‌های آبیاری است. ساختار مدل عامل‌محور و اجرای شبیه‌سازی، در شکل (۲) ارائه شده است.

بر اساس داده‌های کمی و کیفی گردآوری‌شده، شش شاخص کلیدی به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل عامل‌محور تعریف شدند. شاخص تاب‌آوری اقتصادی (ERI) توانایی کشاورزان را در مواجهه با نوسانات درآمدی ناشی از تغییرات قیمت محصول، هزینه‌های تولید و کاهش عملکرد زراعی اندازه‌گیری می‌کند. شاخص انعطاف‌پذیری فناوری کشاورزی (FTI) میزان قابلیت تغییر، جایگزینی یا ترکیب فناوری‌های مختلف آبیاری در مزرعه را نشان می‌دهد و به‌عنوان محرکی کلیدی برای پذیرش نوآوری‌ها عمل می‌کند. شاخص استحکام شبکه دانش (KNRI)

بهبود تاب‌آوری کشاورزان در مدیریت مشارکتی منابع آب تحت شرایط کم‌آبی در حوضه دریاچه ارومیه...



شکل ۲- فلوجارت تحقیق توسعه مدل ABM

Fig. 2- Research Flowchart: Development Process of the ABM

به‌منظور تعریف ساختار مدل عامل‌محور، شاخص‌ها و پارامترهای کلیدی شبیه‌سازی در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

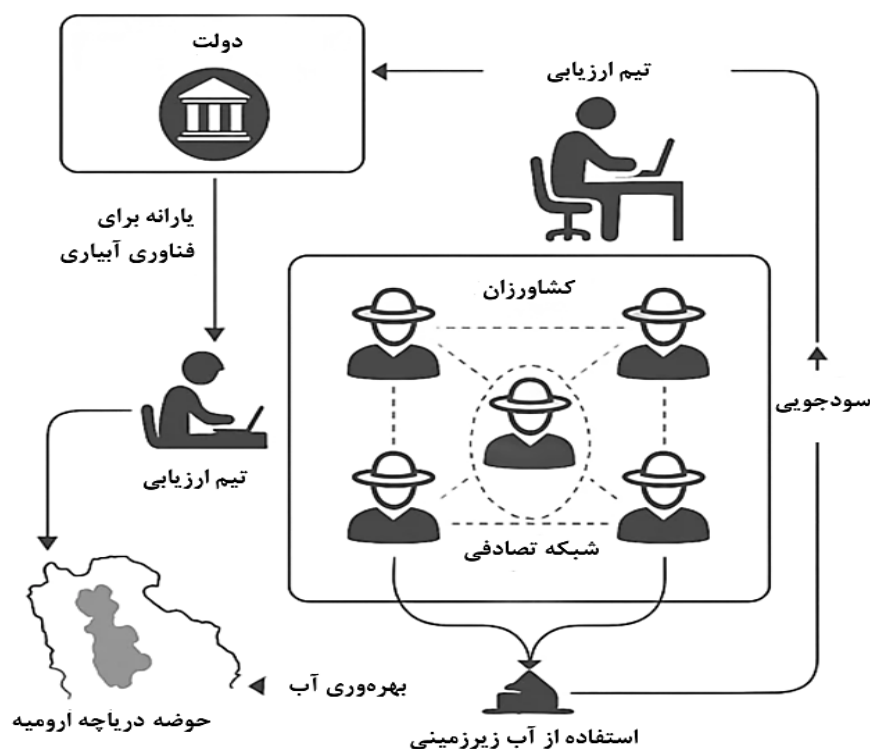
جدول ۲- پارامترهای مدل عامل‌محور
Table 2- Agent-based model parameters

پارامتر	توصیف	بازه	نقش در مدل
ERI	ترکیب درآمد سالانه، هزینه تولید و نوسانات قیمت محصول	متغیر پیوسته (بر اساس داده‌های پرسشنامه و آمار ثانویه)	ارزیابی توانایی کشاورزان در مواجهه با نوسانات درآمدی ناشی از تغییرات قیمت، هزینه تولید و کاهش عملکرد زراعی
FTI	انعطاف‌پذیری فناوری کشاورزی به‌عنوان محرک پذیرش نوآوری	0-1	ارزیابی قابلیت تغییر، جایگزینی یا ترکیب فناوری‌های مختلف آبیاری
KNRI	میزان استحکام شبکه دانش میان کشاورزان، کارشناسان و سایر بازیگران محلی	0-1	بیانگر قدرت، تراکم و پایداری روابط اجتماعی و نهادی در تبادل اطلاعات
MPI	نگرش فردی نسبت به نوآوری، سیاست‌های حمایتی و ریسک‌پذیری	0-1	ارزیابی انگیزه‌های فردی برای تغییر الگوی آبیاری و پذیرش نوآوری
EPI	شدت اثرهای خشکسالی، کاهش منابع آب زیرزمینی و محدودیت‌های اقلیمی	(کمبود شدید $<3000 \text{ m}^3/\text{year}$) متوسط $2000-3000 \text{ m}^3/\text{year}$ مطلوب $>2000 \text{ m}^3/\text{year}$	نشان‌دهنده فشارهای اقلیمی و محیطی بر بهره‌برداران
IL	میزان نوآوری در سامانه‌های آبیاری (سنتی تا پیشرفته)	1-6	بیانگر مسیر تغییر فناوری و بهبود بهره‌وری آب

ساختار مدل ABM

کمبود منابع آبی و تداوم خشکسالی بروز می‌کند و مشاهدات اجتماعی که شامل تأثیرپذیری از رفتار و تجربیات سایر کشاورزان است. تعاملات میان این عوامل عمدتاً از طریق دو سازوکار تبادل و انتشار دانش در شبکه‌های اجتماعی غیررسمی و اثرگذاری شرایط بازار بر سطح درآمد و به تبع آن بر تمایل به تغییر الگوی مدیریتی، نشان داده شدند شکل (۳).

در مدل طراحی شده، کشاورزان به عنوان عوامل اصلی در نظر گرفته شدند که تصمیمات آنها در تعامل مستمر با دو بازیگر مکمل یعنی شبکه‌های محلی تبادل دانش و بازار محصولات شکل می‌گیرد. قواعد تصمیم‌گیری مبتنی بر سه بعد اصلی، انگیزه‌های فردی که بر تمایل به پذیرش یا اجتناب از نوآوری اثر می‌گذارد، فشارهای محیطی که به صورت



شکل ۳- شماتیک مدل عامل محور برای مدیریت آبیاری در حوضه دریاچه ارومیه

Fig. 3- An Agent-based Model for Irrigation Management in the Lake Urmia basin

به منظور بررسی پایداری سیستم و ارزیابی واکنش کشاورزان به شرایط متغیر، چهار گروه سناریو طراحی و در محیط NetLogo شبیه‌سازی شدند. سناریوی اول بر نوسانات قیمت محصولات کشاورزی تمرکز داشت که در بازه $\pm 30\%$ درصد اعمال گردید تا اثرپذیری تصمیمات اقتصادی از بازار مشخص شود. سناریوی دوم به معرفی فناوری‌های نوین آبیاری با مقدارهای متفاوت انتشار پرداخته و چگونگی سرعت پذیرش و گسترش فناوری را بررسی می‌کند. سناریوی سوم تغییر در تراکم شبکه دانش را در دو حالت

متراکم و پراکنده شبیه‌سازی می‌کند تا اثر قدرت یا ضعف ارتباطات اجتماعی بر پایداری رفتارها بررسی شود. سناریوی چهارم وقوع شوک‌های اقلیمی، به ویژه خشکسالی‌های متوالی را شبیه‌سازی می‌کند تا سازوکارهای سازگاری در شرایط بحرانی تحلیل شود. تحلیل داده‌ها با رویکردی ترکیبی انجام گرفت. در بخش کمی، داده‌های پرسشنامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد پردازش قرار گرفته و روابط میان شاخص‌های اصلی از طریق آزمون‌های آماری توصیفی و استنباطی تحلیل شدند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل

شبهه‌سازی شده با واقعیت‌های آماری سال‌های اخیر انطباق بالایی دارد. این انطباق اطمینان بیشتری نسبت به قابلیت اتکای مدل در پاسخ رفتار واقعی کشاورزان ایجاد می‌کند. نتایج شبهه‌سازی مدل عامل‌محور بومی‌سازی شده برای حوضه بحرانی دریاچه ارومیه نشان داد که سناریوی نوسانات قیمت محصولات کشاورزی با دامنه $\pm 30\%$ تأثیر قابل توجهی بر رفتار کشاورزان دارد. کشاورزانی که شاخص تاب‌آوری اقتصادی بالایی دارند، کمتر تحت تأثیر کاهش درآمد قرار گرفته و سریع‌تر توانستند الگوی آبیاری خود را با شرایط جدید تطبیق دهند. هم‌چنین کشاورزان با منابع مالی مناسب، دسترسی بهتر به اطلاعات و شبکه‌های اجتماعی قوی‌تر، قادر بودند به سرعت به تغییرات بازار واکنش نشان داده و فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های آبیاری نوین را در مزرعه خود پیاده کنند که منجر به افزایش بهره‌وری آب شد. در مقابل، کشاورزان با ERI پایین، به دلیل محدودیت‌های مالی و اطلاعاتی و شبکه‌های اجتماعی ضعیف، در مواجهه با کاهش قیمت محصول، به‌طور موقت روش‌های سنتی را استفاده کردند که منجر به کاهش و بهره‌وری آب شد شکل (۴).

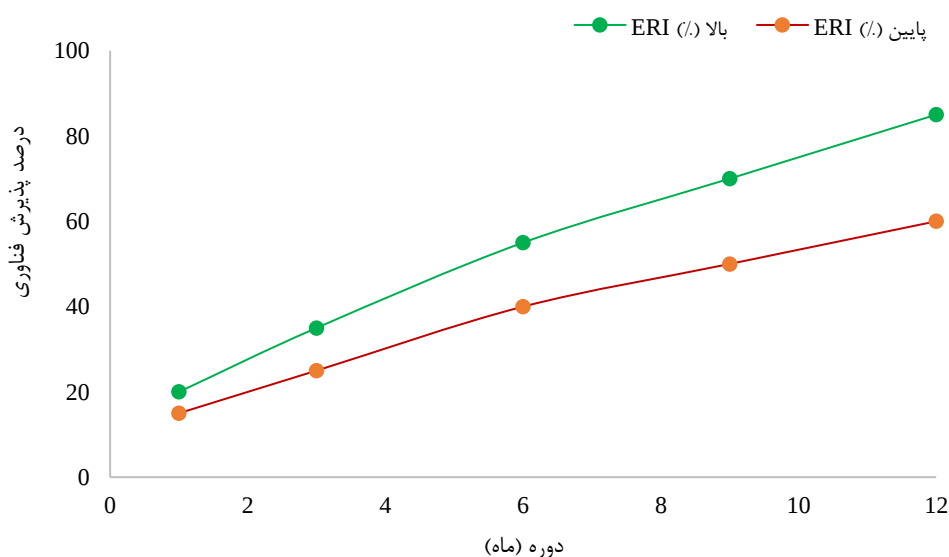
عامل‌محور شامل میزان پذیرش فناوری‌های نوین، تغییر در الگوی مصرف آب، نوسانات درآمدی و سطح کلی تاب‌آوری سیستم بود که در شرایط سناریویی مختلف استخراج و مقایسه شدند.

برای افزایش دقت و اطمینان از اعتبار نتایج، فرآیند اعتبارسنجی مدل در سه مرحله انجام شد. ابتدا، خروجی‌های شبهه‌سازی با داده‌های واقعی تاریخی مربوط به مصرف آب و تغییرات قیمت محصولات مقایسه گردید تا میزان انطباق مدل با واقعیت سنجیده شود. سپس، مدل توسط گروهی از خبرگان دانشگاهی و کارشناسان محلی در حوزه آب و کشاورزی ارزیابی و بازخورد آنها در بهبود ساختار مدل لحاظ شد. در نهایت، تحلیل حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای کلیدی به‌ویژه شاخص فشار محیطی و استحکام شبکه دانش صورت گرفت تا پایداری نتایج و حساسیت سیستم به تغییر مقادیر ورودی بررسی شود.

نتایج و بحث

اثر سناریوهای اقتصادی بر پذیرش فناوری‌های نوین

مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های تاریخی مصرف آب و تغییرات قیمت محصولات نشان داد که روندهای



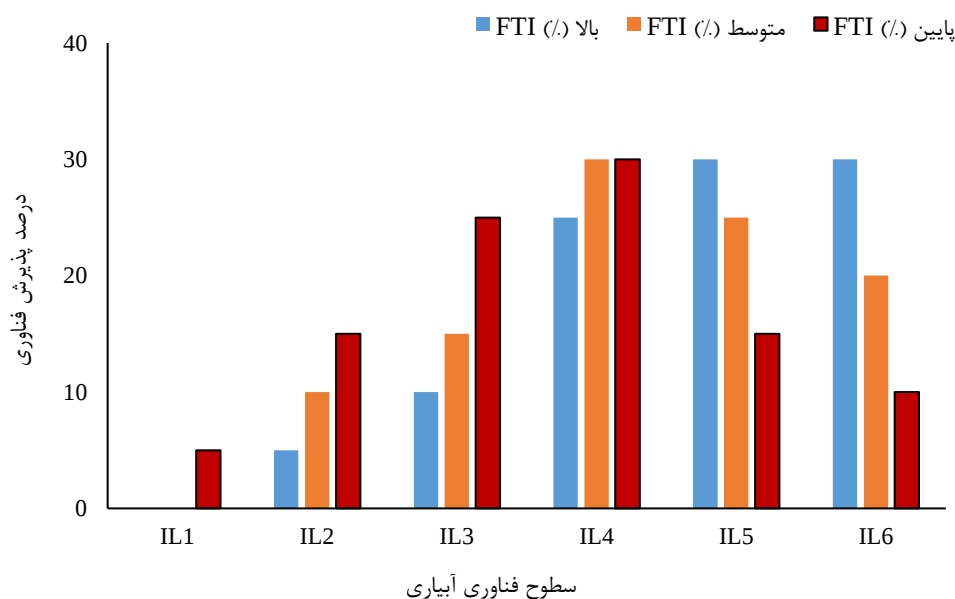
شکل ۴- اثر شاخص تاب‌آوری اقتصادی بر پذیرش فناوری‌های نوین

Fig. 4- The effect of the economic resilience index on the adoption of novel technologies

اثر نوآوری بر پذیرش فناوری‌های نوین

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که شاخص انعطاف‌پذیری فناوری یکی از مهم‌ترین محرک‌های پذیرش فناوری‌های نوین در بین کشاورزان عمل می‌کند. کشاورزانی که FTI بالایی دارند، توانایی بیشتری در تغییر یا جایگزینی فناوری‌های آبیاری خود با سیستم‌های نوین (سطوح IL4 تا IL6) داشته و در نتیجه بهره‌وری آب آن‌ها به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. کشاورزان با FTI متوسط، به مرور زمان سیستم‌های نوین را پذیرفته و بهره‌وری آب را افزایش دادند، اما سرعت و میزان پذیرش فناوری در آن‌ها کمتر از گروه FTI بالا بود. در مقابل، کشاورزان با FTI پایین به دلیل محدودیت‌های فنی و مهارتی در به‌کارگیری فناوری‌های نوین، به استفاده از روش‌های آبیاری سنتی ادامه دادند، از این رو، بهره‌وری آب در این گروه افزایش نیافت (شکل ۵). مطالعه‌ای در هند نشان داد که انعطاف‌پذیری فناوری و مهارت‌های فنی کشاورزان به طور مستقیم بر سرعت پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری و بهبود بهره‌وری آب اثرگذار است. (Thakur and Uphoff, 2017).

مطالعه‌ای در چین نشان داد کشاورزانی که از فناوری‌های هوشمند در کشاورزی استفاده می‌کنند، تاب‌آوری اقتصادی بالاتری دارند و می‌توانند بهتر با نوسانات بازار و تغییرات اقلیمی سازگار شوند (Chang et al., 2024). دسترسی کشاورزان به اطلاعات به‌روز و شبکه‌های اجتماعی قوی‌تر در زیمبابوه، توانایی آن‌ها را برای مقابله با شوک‌های اقلیمی افزایش و بهره‌وری منابع آب را بهبود داد (Nkonya et al., 2023). علاوه بر این، بازخورد خبرگان دانشگاهی و کارشناسان محلی (در مرحله اعتبارسنجی)، موجب توصیف دقیق شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی و انگیزه نوآوری شد که منجر به نتایج معتبر برای شرایط واقعی حوضه آرومیه گردید. برای بهبود تاب‌آوری اقتصادی و افزایش پذیرش فناوری‌های نوین، سیاست‌های دولت می‌توانند شامل ارائه آموزش‌های فنی و مدیریتی، دسترسی به منابع مالی مناسب برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، تقویت شبکه‌های اجتماعی بین کشاورزان و سرمایه‌گذاری در توسعه برای معرفی فناوری‌های نوین باشد.



شکل ۵- اثر نوآوری بر پذیرش فناوری‌های نوین

Fig. 5- The effect of innovation on the adoption of new technologies

تجربیات هم‌تایان خود را به سرعت دریافت کنند و از روش‌های بهینه آبیاری و مدیریت منابع آب پیروی نمایند. در مقابل، کشاورزان عضو شبکه‌های پراکنده، با محدودیت در دسترسی به اطلاعات و مشاوره‌های تخصصی، سرعت پایین‌تری در اتخاذ تصمیم‌های بهینه داشتند و بهره‌وری آب آن‌ها نسبت به شبکه‌های متراکم کمتر بود.

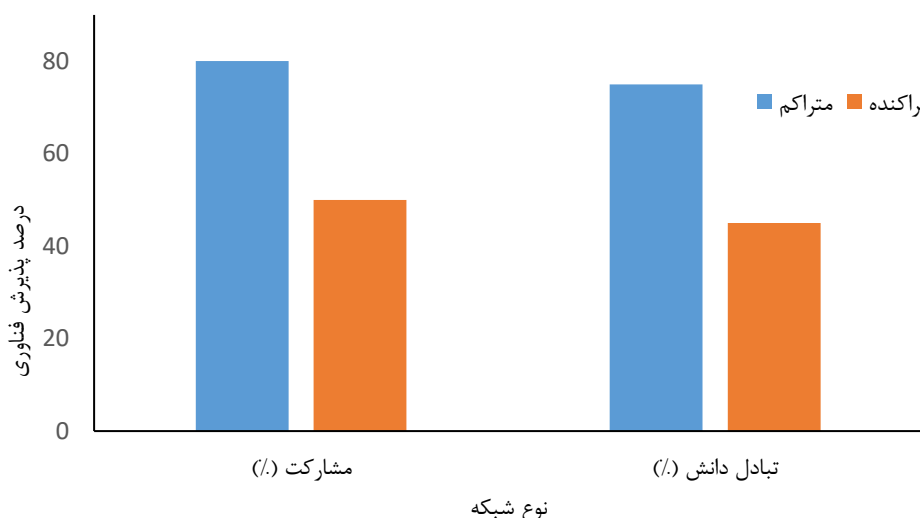
اثر فشارهای محیطی بر تغییر الگوی آبیاری کشاورزان

نتایج نشان داد شاخص فشار محیطی محرکی قدرتمند، در سرعت و میزان تغییر الگوی آبیاری کشاورزان نقش دارد. سناریوی خشکسالی‌های شدید و کمبود منابع آب نشان داد کشاورزانی که در معرض فشارهای محیطی شدید قرار داشتند، با انگیزه نوآوری بالا، سریع‌تر از سامانه‌های نوین آبیاری استفاده کردند. کشاورزانی با شاخص MPI متوسط، با وجود قرار گرفتن تحت فشارهای محیطی، سرعت تغییر الگوی آبیاری کمتری از گروه با MPI بالا داشتند. کشاورزان با MPI پایین، در شرایط کمبود شدید آب، تمایل محدودی به سیستم‌های نوین نشان دادند و الگوهای سنتی خود را حفظ کردند (شکل ۷). نتایج تأکید می‌کنند که ترکیب فشار محیطی و انگیزه فردی تأثیر هم‌افزایی بر پذیرش فناوری و مدیریت منابع آب دارد.

کشاورزانی که توانایی تغییر و تطبیق فناوری‌های آبیاری خود را دارند، بهتر می‌توانند با فشارهای محیطی و نوسانات بازار مقابله کنند و تولید و بهره‌وری منابع آبی را افزایش دهند (Oiganji et al., 2025). ایجاد ظرفیت‌های فنی و افزایش انعطاف‌پذیری فناوری در میان کشاورزان، یکی از راهکارهای کلیدی برای افزایش پذیرش فناوری‌های نوین و مدیریت بهینه منابع آب است. این یافته‌ها تأکید می‌کند که برنامه‌های آموزشی، دسترسی به تجهیزات پیشرفته و حمایت‌های فنی می‌تواند نقش مهمی در بالا بردن تاب‌آوری کشاورزان و بهره‌وری آب داشته باشد.

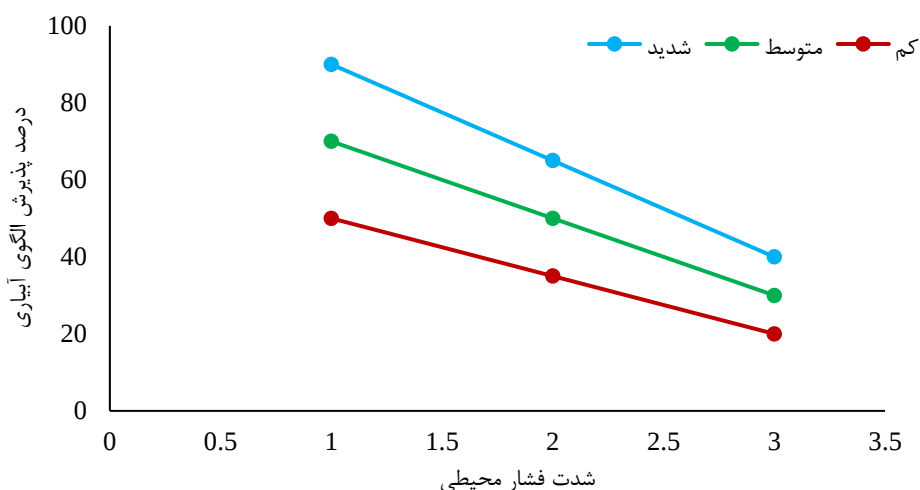
اثر شبکه‌های اجتماعی و دانش محلی بر پذیرش فناوری

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که شاخص استحکام شبکه دانش تأثیر قابل توجهی بر توانایی کشاورزان در یادگیری و اتخاذ تصمیم‌های بهینه دارد. شبکه‌های اجتماعی متراکم، روابط مستحکم بین کشاورزان، کارشناسان محلی و نهادهای دولتی، ظرفیت یادگیری جمعی و تبادل تجربیات موفق را افزایش داده و بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد (شکل ۶). کشاورزانی که عضو شبکه‌های متراکم بودند، علاوه بر افزایش بهره‌وری آب، مشارکت بیشتری در پروژه‌های دولتی و طرح‌های مدیریت منابع آب نشان دادند. این گروه توانستند



شکل ۶- اثر شبکه‌های اجتماعی و دانش محلی بر پذیرش فناوری‌های نوین

Fig. 6- The effect of social networks and local knowledge



شکل ۷- رابطه شاخص فشار محیطی با سرعت و میزان تغییر الگوی آبیاری

Fig. 7- Relationship between environmental pressure index and speed and rate of change in irrigation pattern

نمی‌تواند تصویر کاملی از سیستم ارائه دهد. نتایج مدل ABM نشان داد که مشخص کرد که استفاده توأم از شاخص انگیزه نوآوری در عمل و استحکام شبکه دانش، بیشترین اثر را بر سرعت پذیرش فناوری‌های نوین دارد. کشاورزان بالاترین انگیزه نوآوری و شبکه‌های اجتماعی و نهادی متراکم، سریع‌تر سیستم‌های پیشرفته آبیاری را پذیرفتند و بهره‌وری آب در مزارع آن‌ها افزایش یافت. نتایج حاصل با دستاوردهای Shiferaw و همکاران (۲۰۰۹) که نشان داد که همزمانی انگیزه فردی و تعاملات اجتماعی در گروه‌های کشاورزی موجب تسریع پذیرش نوآوری‌ها و بهبود عملکرد بهره‌برداری از منابع طبیعی می‌شود، هم‌خوانی دارد.

ترکیب شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی صفر و فشار زیست‌محیطی بالا، فشار بالایی را به کشاورزان وارد می‌کند. این کشاورزان نیازمند پشتیبانی و حمایت هدفمند برای سازگاری با فناوری‌های جدید در مواجهه با خشکسالی و کاهش درآمد می‌باشند جدول (۳). Reidsma و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که فشارهای اقتصادی و محیطی به‌عنوان بزرگترین موانع پذیرش فناوری‌های نوین در بخش کشاورزی هستند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. تحلیل حساسیت مدل هم‌چنین نشان داد که شاخص

خشکسالی‌های متوالی در آلمان، نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییر رفتار کشاورزان و پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری به ویژه زمانی که انگیزه و دانش فردی بالا است، دارند (Nhemachena and (Nordmeyer and Mußhoff, 2023) Hassan (2007) نتیجه گرفتند که فشارهای محیطی در آفریقای جنوبی، از جمله کاهش دسترسی به آب و تغییرات اقلیمی، به‌عنوان محرکی مهم برای اتخاذ استراتژی‌های سازگاری و نوآوری‌های کشاورزی عمل می‌کنند. یافته‌های پژوهش حاضر بر اهمیت طراحی سیاست‌های حمایتی و آموزشی تأکید دارد، به نحوی که کشاورزان تحت فشار محیطی، به ویژه کسانی که انگیزه نوآوری متوسط یا پایین دارند، بتوانند با بهره‌گیری از آموزش و پشتیبانی فنی، سریع‌تر به سیستم‌های نوین آبیاری روی آورند و تاب‌آوری کل سیستم آبیاری را افزایش دهند.

تحلیل ترکیبی شاخص‌ها

تحلیل ترکیبی شاخص‌ها در مدل بومی توسعه داده شده در پژوهش حاضر نشان داد که تأثیرات مختلف اقتصادی، فردی، فناورانه، اجتماعی و محیطی، به‌صورت هم‌افزا در رفتار کشاورزان و سرعت پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری عمل می‌کنند. بررسی هریک از شاخص‌ها به‌صورت جداگانه

شبکه‌های اجتماعی و تاب‌آوری اقتصادی از عوامل مؤثر بر پایداری سیستم و کشاورزان در مواجهه با نوسانات محیطی می‌باشند. در مطالعه‌ای مشابه، Ren و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که شبکه‌های اجتماعی و ظرفیت اقتصادی کشاورزان به‌عنوان عوامل اصلی تاب‌آوری و ظرفیت سازگاری

سیستم‌های کشاورزی هستند که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. پایداری سیستم‌های کشاورزی نتیجه درک جامع از ارتباطات بین سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و محیطی است (Hariram et al., 2023).

جدول ۳- اثر ترکیبی شاخص‌ها بر سرعت پذیرش فناوری و پایداری سیستم

Table 3- The combined effect of indicators on the speed of technology adoption and system sustainability			
ترکیب شاخص‌ها	اثر بر سرعت پذیرش فناوری	اثر بر پایداری سیستم	حمایت سیاستی
MPI بالا + KNRI بالا	بسیار زیاد	بالا	کم
MPI متوسط + KNRI بالا	متوسط	متوسط	متوسط
MPI پایین + KNRI پایین	کم	پایین	زیاد
ERI پایین + EPI بالا	کم	پایین	بسیار زیاد

پیامدهای سیاست‌گذاری و مدیریتی ناشی از مدل بومی

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی عامل‌محور در این پژوهش، چندین شاخص نهادی، مدیریتی و اجتماعی به‌عنوان عوامل کلیدی و معنادار در شکل‌گیری رفتار کشاورزان شناسایی شدند. این شاخص‌ها به‌طور مستقیم بر تمایل به مشارکت در فناوری‌های نوین آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و تخصیص اثربخش یارانه‌ها اثرگذار بودند. نتایج مدل‌سازی نشان دادند که عواملی مانند تأمین آب پایدار، نظارت و آموزش دولت و سیاست‌های هدفمند یارانه‌ای، بیشترین سهم را در افزایش مشارکت و بهبود عملکرد کشاورزی دارند. در مقابل، مداخلات صرفاً فنی بدون حمایت نهادی مناسب، به‌ویژه در غیاب برنامه‌های نظارتی و آموزشی مؤثر، اثربخشی محدودی دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب باید از رویکردهای صرفاً تکنیکی فراتر رفته و ابعاد اجتماعی- نهادی را به‌طور کامل در بر گیرد.

تجارب بین‌المللی نشان داده‌اند که بهره‌گیری از ابزارهایی همچون مدارس مزرعه‌ای کشاورزان (Farmer Field Schools)، طراحی یارانه‌های هوشمند، تقویت نهادهای

محلی مشارکتی و شفاف‌سازی فرآیندهای تصمیم‌گیری می‌تواند به پذیرش بهتر فناوری‌ها و افزایش بهره‌وری کمک کند (Rusike et al., 2005; Reichelt and Nettle; Das et al., 2022). برای نمونه، در زیمبابوه و پاکستان، مدارس مزرعه‌ای منجر به افزایش دانش و پذیرش فناوری‌های مدیریت آب در مناطق خشک شده‌اند (Rusike et al., 2005; Dahwa et al., 2023). همچنین در چین، آموزش‌های فنی به‌طور معناداری میزان پذیرش فناوری‌های آبیاری کم‌مصرف را افزایش داده‌اند (Li et al., 2022; Shi et al., 2024). این تجربه‌ها نشان می‌دهند که سرمایه‌گذاری در آموزش و ترویج، به‌ویژه با مشارکت مستقیم کشاورزان، نه تنها دانش فنی را افزایش می‌دهد، بلکه سطح اعتماد اجتماعی و مشارکت داوطلبانه را نیز بهبود می‌دهد (Kiptot and Franzel, 2014; Prajapati et al., 2025).

در همین راستا، بازنگری در نظام یارانه‌ای ضروری است. حذف یارانه‌های غیرهدفمند و تخصیص آن به تجهیزاتی مانند آبیاری قطره‌ای هوشمند یا حمایت از کشت محصولات کم‌آب‌بر می‌تواند ساختار انگیزشی بهتری در سطح مزرعه ایجاد کند (Fang, 2023; Alawode, 2025). تجربه هند در

شبیه‌سازی نشان دادند که این ابعاد می‌توانند مسیر موفقیت یا شکست سیاست‌ها را به‌طور معناداری تغییر دهند. در عین حال، پیشنهادهایی مانند آموزش هدفمند، پرداخت مشروط یارانه، و نقش شبکه‌های محلی ممکن است به‌صورت مفهومی شناخته‌شده باشند، اما پژوهش حاضر اثربخشی این سیاست‌ها را به‌صورت کمی و مبتنی بر شبیه‌سازی عامل‌محور ارزیابی کرده است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که سیاست‌هایی مانند آموزش بدون نظارت یا یارانه‌های غیرمشروط می‌توانند حتی اثر معکوس داشته باشند. این یافته، اگرچه از حیث مضمون ممکن است بدیهی به نظر برسد، اما ارائه آن در قالب یک چارچوب دینامیک و رفتارپایه، از نوآوری‌های اصلی پژوهش به شمار می‌رود.

افزون بر این، پژوهش حاضر به بررسی عوامل کمتر پرداخته شده‌ای مانند ترکیب ویژگی‌های اجتماعی افراد آغازگر شبکه، تأثیر ساختار جمعیت اولیه، و نقش شبکه‌های تعاملی در پذیرش سیاست‌ها پرداخته است. این ابعاد، که در سیاست‌گذاری منابع آب در ایران عمدتاً مغفول مانده‌اند، در قالب مدل‌سازی عامل‌محور به‌صورت کمی و شبیه‌سازی شده تحلیل شده‌اند. در نهایت، کاربرد مدل‌های عامل‌محور بومی شده در طراحی و ارزیابی سیاست‌های منابع آب، به‌ویژه در مناطق بحران‌زده‌ای مانند حوضه دریاچه ارومیه، امکان شبیه‌سازی رفتار ذینفعان، آزمون سیاست‌ها قبل از اجرا و کاهش هزینه‌های تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. بر اساس یافته‌های این پژوهش و اهمیت ابعاد نهادی، اجتماعی و مدیریتی در موفقیت سیاست‌های آبیاری نوین، نقشه راهی عملیاتی برای مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی پیشنهاد می‌شود که شامل چند بخش کلیدی است.

ابتدا باید هدف کلان تعیین شود. این هدف عبارت است از بالا بردن بهره‌وری منابع آب و مشارکت کشاورزان در فناوری‌های نوین آبیاری از طریق اصلاح نظام یارانه‌ها و تقویت نهادهای محلی. در گام‌های اجرایی، توسعه برنامه‌های آموزشی مبتنی بر مدرسه مزرعه‌ای با مشارکت فعال

اصلاح یارانه‌های انرژی و ایالات متحده در سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری نشان داده‌اند که چنین سیاست‌هایی می‌توانند منجر به صرفه‌جویی چشم‌گیر در مصرف آب شوند و هم‌زمان، بهره‌وری را نیز افزایش دهند. همچنین، شکل‌گیری نهادهای محلی همچون انجمن‌های آب یا کمیته‌های محلی مدیریت آبیاری که در چین، پاکستان و کشورهای اروپایی موفق بوده‌اند، می‌تواند در هماهنگی، کنترل مصرف و توزیع عادلانه منابع آب نقش‌آفرین باشد (Cremers *et al.*, 2005; Franzén *et al.*, 2015; Chai and Schoon, 2016; Nagrah *et al.*, 2016; Gany *et al.*, 2019). این نهادها با بهره‌گیری از مدل‌های تخصیص مبتنی بر ABM، مانند اولویت‌دهی به مزارع کم‌آب‌بر یا تخصیص دینامیک براساس عملکرد سابق، می‌توانند کارایی و عدالت را در کنار هم تأمین کنند. اعتماد اجتماعی نیز به‌عنوان یک زیرساخت نرم، نقشی اساسی در موفقیت سیاست‌های مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص‌های اعتماد نهادی و ارتباط دوسویه با کشاورزان، تأثیر مستقیمی بر پذیرش فناوری دارند (Slavova and Karanasios, 2018; Chen *et al.*, 2024).

هرچند مفاهیمی مانند آموزش هدفمند، یارانه مشروط یا نقش شبکه‌های محلی در سیاست‌گذاری آب شناخته‌شده‌اند، اما نوآوری این پژوهش در آن است که اثربخشی این سیاست‌ها را به‌طور کمی و در قالب مدل‌سازی عامل‌محور بررسی کرده است. نتایج نشان دادند که برخی سیاست‌ها در صورت اجرا به‌صورت ناقص، مانند آموزش بدون نظارت یا یارانه‌های غیرمشروط، می‌توانند حتی اثر معکوس داشته باشند. این یافته اهمیت طراحی بسته‌های سیاستی چندبعدی و مکمل را برجسته می‌سازد. از دیگر نوآوری‌های پژوهش، بررسی عواملی است که کمتر در سیاست‌گذاری‌های منابع آب ایران مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله، نقش ترکیب ویژگی‌های اجتماعی افراد آغازگر شبکه‌های محلی، ساختار جمعیت اولیه کشاورزان، و تعاملات شبکه‌ای در سرعت و پایداری پذیرش فناوری‌ها. تحلیل‌های

کشاورزان، هدفمند کردن یارانه‌ها به ویژه برای فناوری‌های کم‌مصرف مانند آبیاری قطره‌ای هوشمند، تشکیل و پشتیبانی از انجمن‌های کاربران آب و کمیته‌های محلی مدیریت منابع آب، افزایش شفافیت از طریق انتشار داده‌های تخصیص آب و برگزاری جلسات مشارکتی برای تقویت اعتماد اجتماعی و در نهایت استفاده از مدل‌های عامل‌محور برای پیش‌بینی اثر سیاست‌ها و بهینه‌سازی تخصیص منابع از جمله اقدامات اساسی هستند. این اقدامات باید با تعیین بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت و مشخص کردن نهادهای مسئول اجرا و نظارت همراه باشند تا اثربخشی آن‌ها تضمین شود. همچنین تأمین منابع مالی،

انسانی و فناوری لازم و بهره‌گیری از تجربیات بین‌المللی نقش مهمی در موفقیت این چارچوب ایفا می‌کند. اجرای این رویکرد جامع می‌تواند ضمن تحقق هدف‌های پایداری، عدالت و مشارکت اجتماعی در مدیریت منابع آب کشاورزی، سیاست‌گذاران را در تدوین برنامه‌های عملیاتی یاری دهد و مسیر را برای مدیریت بهینه و مشارکتی منابع آب هموار سازد.

برای عملیاتی‌سازی این یافته‌ها، مجموعه‌ای از پیشنهاد‌های سیاستی استخراج شده که در جدول (۴) ارائه شده‌اند.

جدول ۴- پیشنهاد‌های سیاستی مبتنی بر یافته‌های تجربی پژوهش

Table 4- Policy suggestions based on empirical research findings

ایجاد و تقویت واحدهای ترویج محلی، طراحی دوره‌های آموزشی هدفمند، و استقرار سیستم‌های نظارت مستمر بر نحوه استفاده از فناوری‌های آبیاری در مزرعه	آموزش و نظارت بالاترین اثر را بر تمایل و رفتار کشاورزان دارد.
توسعه زیرساخت‌های انتقال و ذخیره‌سازی آب، بازچرخانی منابع، و اعلام شفاف منابع قابل تأمین برای برنامه‌ریزی بهتر کشاورزان	تأمین آب پایدار مهم‌ترین عامل انگیزشی برای مشارکت کشاورزان است.
طراحی سازوکارهای پرداخت مشروط به نتایج (مانند عملکرد مصرف یا صرفه‌جویی آب)، پیوند یارانه با تعهد کشاورزان به استانداردهای مصرف و گزارش‌دهی	یارانه‌های بدون نظارت اثربخشی محدودی دارند و ممکن است منجر به سوءاستفاده شوند.
حمایت از ایجاد و تقویت تشکلهای کشاورزی محلی (مانند انجمن‌های آبیاری)، استفاده از رهبران محلی به‌عنوان واسطه در اجرای سیاست‌ها و آموزش	تعاملات شبکه‌ای و اعتماد نهادی، عامل تقویت‌کننده صداقت و مشارکت کشاورزان هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی کیفی-کمی و طراحی یک مدل عامل‌محور مبتنی بر داده‌های میدانی، نهادی و اجتماعی، تصویری واقع‌بینانه‌ای از رفتار کشاورزان در مدیریت منابع آب در حوضه بحرانی دریاچه ارومیه ارائه داد. نتایج نشان دادند که پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری توسط کشاورزان و مدیریت پایدار منابع آب، تنها نتیجه ویژگی‌های فردی کشاورزان نیست، بلکه نتیجه تعامل پیچیده‌ای از عوامل اقتصادی-اجتماعی، نهادی و محیطی است. شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی و سرمایه اجتماعی نقش کلیدی در شکل‌گیری رفتار مشارکتی و پایداری

بلندمدت ایفا کردند. کشاورزانی که از توان مالی مناسب و شبکه‌های اجتماعی قوی برخوردار بودند، فناوری‌های نوین آبیاری را بهتر پذیرفتند و پاسخ‌های تطبیقی و پایدار در برابر فشارهای محیطی ارائه دادند. در مقابل، در وضعیتی که سطح تاب‌آوری اقتصادی پایین و فشار محیطی بالا باشد، حتی ارائه سیاست‌های حمایتی مالی نیز اثرگذاری محدودی داشته و تغییرات رفتاری عمدتاً موقت بودند. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که ترکیب سیاست‌های یارانه هدفمند و برنامه‌های آموزشی و نظارتی، دارای اثر افزایشی است که فراتر از مجموع اثر هر سیاست به‌صورت مستقل است. سیاست‌های تک‌بعدی به‌تنهایی کارایی محدودی دارند و تنها

با طراحی بسته‌های سیاستی یکپارچه می‌توان پایداری و اثربخشی را تضمین کرد. علاوه بر این، سرمایه اجتماعی و توانایی درک ریسک‌های تغییرات اقلیمی می‌تواند به صورت تقویت‌کننده‌های تغییر رفتار عمل کنند، به نحوی که در جوامع با سرمایه اجتماعی بالا، پاسخ به شوک‌های اقلیمی سریع‌تر و پایدارتر بود. این در حالی است که در جوامع با سرمایه اجتماعی پایین، حتی با وجود سیاست‌های حمایتی، تغییر رفتار ناپایدار مشاهده شد. این امر دلیلی برای شناخت عوامل شناختی و اجتماعی است که باید در مدیریت منابع آب لحاظ شوند. از طرف دیگر، تأمین آب پایدار یک متغیر کلیدی در مدل شناسایی شد که می‌تواند مسیر تغییر رفتار کشاورزان را مشخص نماید. در مجموع، پژوهش حاضر نشان داد که موفقیت سیاست مدیریت منابع آب تنها به ابزارهای اقتصادی و فنی وابسته نیست، بلکه به طور قابل توجهی تابع عوامل نهادی، اجتماعی و رفتاری نیز است. مدل‌های عامل محور می‌توانند مشابه یک ابزار آزمایشگاهی برای برآورد هزینه‌های سیاست‌ها و تصمیم‌گیری به صورت پیشین عمل کنند و طراحی سیاست‌های چند سطحی یکپارچه و پایدار

را بهبود بخشند. با وجود دستاوردهای قابل توجه، محدودیت‌هایی مانند ساده‌سازی برخی روابط اجتماعی و فقدان داده در برخی بخش‌ها وجود داشت که می‌تواند در مطالعات آتی با استفاده از داده‌های رفتاری دقیق‌تر و اعتبارسنجی بین‌منطقه‌ای حل شود. هم‌چنین چارچوب بومی پیشنهادی مبتنی بر مدل عامل‌محور می‌تواند نقشه راهی برای فرموله کردن سیاست‌های پایدار و بهینه در حوضه‌های بحرانی کشور فراهم کند. بر پایه یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان تأکید کرد که طراحی سیاست‌های آبی در مدیریت منابع آب باید بر سه محور هم‌زمان توسعه زیرساخت‌های پایدار تأمین و بازچرخانی آب، ترکیب یارانه‌ها و حمایت‌های مالی با آموزش و نظارت میدانی و تقویت سرمایه اجتماعی و نهادهای محلی برای بهبود همکاری جمعی متمرکز باشد. چنین رویکردی می‌تواند ضمن افزایش اثربخشی سیاست‌ها، پیوند میان ابزارهای اقتصادی-اجتماعی و فنی را برقرار کرده و زمینه‌ساز پایداری بلندمدت مدیریت منابع آب در شرایط تغییرات اقلیمی باشد.

مراجع

- Ahmadi, A., Keshavarz, M., & Ejlali, F. (2025). Resilience to climate change in agricultural water-scarce areas: The major obstacles and adaptive strategies. *Water Resources Management*, 39(3), 1195-1214.
- Alawode, A. (2025). Evaluating agricultural subsidy reforms and their effects on smallholder farmer income and efficiency. *International Journal of Advance Research Publication and Reviews*, 2(5), 180-201.
- Cai, Y., & Xiong, W. (2017). An agent-based simulation of cooperation in the use of irrigation systems. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 5(9).
- Chai, Y., & Schoon, M. (2016). Institutions and government efficiency: decentralized irrigation management in China. *International Journal of the Commons*, 10(1).
- Chang, J., Jiang, H., Liu, J., & Li, M. (2024). How the digital economy enhances the grain supply chain resilience in China: exploring the moderating effects of government innovation-driven. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1439593.
- Chen, T., Yang, F., Li, Y., & Zhang, Z. (2024). Two-Way FDI assists agricultural sustainable development: Based on digitalization and greening perspectives. *Plos One*, 19(2), e0296896.
- Cremers, L., Ooijevaar, M., & Boelens, R. (2005). Institutional reform in the Andean irrigation sector: Enabling policies for strengthening local rights and water management. *Natural Resources Forum*, 29(1), 37-50.

- Das, U., Ansari, M. A., & Ghosh, S. (2022). Effectiveness and upscaling potential of climate smart agriculture interventions: Farmers' participatory prioritization and livelihood indicators as its determinants. *Agricultural Systems*, 203, 103515.
- Dahwa, E., Mudzengi, C. P., Mubvuma, M., Maravanyika, T., Chapungu, L., & Chikodza, E. (2022). Optimizing productivity in semi-arid dryland agriculture for developing countries: Insights from Zimbabwe. In *Climate change adaptations in dryland agriculture in semi-arid areas* (pp. 233-249). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Emami, S., & Dehghanisani, H. (2024). Fault Tree Analysis of Trade-Offs between Environmental Flows and Agricultural Water Productivity in the Lake Urmia Sub-Basin Using Agent-Based Modeling. *Water*, 16(6), 844.
- Fang, H. (2023). Actionable science for irrigation. In *Actionable science of global environment change: From big data to practical research* (pp. 203-228). Cham: Springer International Publishing.
- Franzén, F., Hammer, M., & Balfors, B. (2015). Institutional development for stakeholder participation in local water management—An analysis of two Swedish catchments. *Land Use Policy*, 43, 217-227.
- Gany, A. H. A., Sharma, P., & Singh, S. (2019). Global review of institutional reforms in the irrigation sector for sustainable agricultural water management, including water users' associations. *Irrigation and Drainage*, 68(1), 84-97.
- Hariram, N. P., Mekha, K. B., Suganthan, V., & Sudhakar, K. (2023). Sustainalism: An integrated socio-economic-environmental model to address sustainable development and sustainability. *Sustainability*, 15(13), 10682.
- Hassaniyan, A. (2024). Iran's water policy: environmental injustice and peripheral marginalisation. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 48(3), 420-437.
- Iran Water Resources Management Company. (2023). Water balance report of groundwater resources in the Miandoab plain. Tehran: Office for Protection and Utilization of Water Resources.
- Kiptot, E., & Franzel, S. (2014). Voluntarism as an investment in human, social and financial capital: evidence from a farmer-to-farmer extension program in Kenya. *Agriculture and Human Values*, 31(2), 231-243.
- Kumar, A., Devi, J. P., Bhaskar, D., Shekhar, S., Chatterjee, U., & Mohanasundari, T. (2025). Perceptions and impacts of climate change in Central India: A study of tribal communities. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(8), 1-21.
- Kumar, R., & Singh, P. (2021). Energy subsidies and sustainable irrigation in India: Policy reform for resource efficiency. *Energy Policy*, 150, 112014.
- Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., & Zommers, Z. (2023). Climate change 2023: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Li, C., Li, X., & Jia, W. (2022). Non-farm employment experience, risk preferences, and low-carbon agricultural technology adoption: Evidence from 1843 grain farmers in 14 provinces in China. *Agriculture*, 13(1), 24.
- Ministry of Energy of Iran. (2022). Water Resources Statistical Yearbook – Water Year 2021–2022. Tehran: Office of Basic Water Resources Studies.
- Mousavian, H. M., Shakouri, G. H., Mashayekhi, A. N., & Kazemi, A. (2020). Does the short-term boost of renewable energies guarantee their stable long-term growth? Assessment of the dynamics of feed-in tariff policy. *Renewable Energy*, 159, 1252-1268.
- Nagrah, A., Chaudhry, A. M., & Giordano, M. (2016). Collective action in decentralized irrigation systems: Evidence from Pakistan. *World Development*, 84, 282-298.
- Nhemachena, C., & Hassan, R. (2007). Micro-level analysis of farmer's adaption to climate change in Southern Africa. *Intl Food Policy Res Inst.*
- Nkonya, E., Kato, E., Msimanga, M., & Nyathi, N. (2023). Climate shock response and resilience of smallholder farmers in the drylands of south-eastern Zimbabwe. *Frontiers in Climate*, 5, 890465.

- Nordmeyer, E. F., & Mußhoff, O. (2023). Understanding German farmers' intention to adopt drought insurance. *Journal of Environmental Management*, 345, 118866.
- Oiganji, E., Igbadun, H., Amaza, P. S., & Lenka, R. Z. (2025). Innovative technologies for improved water productivity and climate change mitigation, adaptation, and resilience: a review. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 29(1), 123-136.
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., & Taillieu, T. (2007). Social learning and water resources management. *Ecology and Society*, 12(2).
- Prajapati, C. S., Priya, N. K., Bishnoi, S., Vishwakarma, S. K., Buvanewari, K., Shastri, S., ... & Jadhav, A. (2025). The role of participatory approaches in modern agricultural extension: bridging knowledge gaps for sustainable farming practices. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(2), 204-222.
- Reichelt, N., & Nettle, R. (2023). Practice insights for the responsible adoption of smart farming technologies using a participatory technology assessment approach: The case of virtual herding technology in Australia. *Agricultural Systems*, 206, 103592.
- Reidsma, P., Bakker, M. M., Kanellopoulos, A., Alam, S. J., Paas, W., Kros, J., & de Vries, W. (2015). Sustainable agricultural development in a rural area in the Netherlands? Assessing impacts of climate and socio-economic change at farm and landscape level. *Agricultural Systems*, 141, 160-173.
- Ren, Z., Fu, Z., & Zhong, K. (2022). The influence of social capital on farmers' green control technology adoption behavior. *Frontiers in Psychology*, 13, 1001442.
- Rusike, E. L. I. J. A. H. (2005). Exploring food and farming futures in Zimbabwe: A citizens' jury and scenario workshop experiment (pp. 249-255). London: Zed Books.
- Salajegheh, S., Jafari, H. R., & Pourebrahim, S. (2020). Modeling the impact of social network measures on institutional adaptive capacity needed for sustainable governance of water resources. *Natural Resource Modeling*, 33(4), e12277.
- Shiferaw, B. A., Okello, J., & Reddy, R. V. (2009). Adoption and adaptation of natural resource management innovations in smallholder agriculture: reflections on key lessons and best practices. *Environment, Development and Sustainability*, 11(3), 601-619.
- Shi, H., Zhang, Y., Bian, M., & Zhang, J. (2024). Influence of energy poverty on agricultural water efficiency using a panel data study in China. *Scientific Reports*, 14(1), 2064.
- Silva, T. A., Ferreira, J., Calijuri, M. L., dos Santos, V. J., do Carmo Alves, S., & de Siqueira Castro, J. (2021). Efficiency of technologies to live with drought in agricultural development in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Arid Environments*, 192, 104538.
- Slavova, M., & Karanasios, S. (2018). When institutional logics meet information and communication technologies: examining hybrid information practices in Ghana's agriculture. *Journal of the Association for Information Systems*, 19(9), 4.
- Tingey-Holyoak, J. L., & Pisaniello, J. D. (2017). Strategic responses to resource management pressures in agriculture: Institutional, gender and location effects. *Journal of Business Ethics*, 144(2), 381-400.
- Thakur, A. K., & Uphoff, N. T. (2017). How the system of rice intensification can contribute to climate-smart agriculture? *Agronomy Journal*, 109(4), 1163-1182.
- Thissen, W., Kwakkel, J., Mens, M., van der Sluijs, J., Stemmerger, S., Wardekker, A., & Wildschut, D. (2017). Dealing with uncertainties in fresh water supply: Experiences in the Netherlands. *Water Resources Management*, 31(2), 703-725.
- Wada, Y., de Graaf, I. E., & van Beek, L. P. (2016). High-resolution modeling of human and climate impacts on global water resources. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 8(2), 735-763.
- West Azerbaijan Regional Water Company. (2022). Descriptive report of the Miandoab plain. Urmia: Deputy for Basic Water Resources Studies.