Vol. 15, No. 57, 2026
مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)
Scientific Association of Regional Development Economics
OPEN ACCESS

Applied Economics Studies, Iran (AESI)
P. ISSN:2322-2530 & E. ISSN: 2322-472X - Journal Homepage: https://aes.basu.ac.ir/
Scientific Journal of Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. Owner & Publisher: Bu-Ali Sina University.
Copyright © 2026 The Authors. Published by Bu-Ali Sina University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

Bu-Ali Sin University

Dynamic Modeling of the Impact of Water and Energy Subsidy Reforms in the Persian Gulf and Oman Sea Water Transfer Project on Exports and Added Value of Iran's Economic Sectors with an Environmental Sustainability Approach: Horizon 2046

Nadia Anjomshoa[1], Seyed AbdulMajid Jalaei[2], Mehdi Nejati[3]

Type of Article: Research
https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.31361.3814
Received: 2025/07/29; Revised: 2025/10/17; Accepted: 2025/10/29
Pp: 9-41

Abstract

Given the increasing challenges of water scarcity in the central plateau and eastern regions of Iran, this research aims to dynamically model the impact of water and energy subsidy reforms in the Persian Gulf water transfer project on the export and added value of Iran's economic sectors, with an environmental sustainability approach, up to the horizon of 2046. The research utilizes Vensim software to simulate three scenarios of water and electricity subsidy reforms. The results indicate that, in the short term, subsidy reforms lead to a decrease in added value in the agricultural, industrial, and mining sectors. However, in the medium and long terms, these changes can result in increased productivity, resource reallocation, and changes in the production structure, ultimately strengthening exports and improving Iran's trade position. The 2046 vision document specifically addresses the sustainable development of water resources and optimal energy management, with one of the proposed solutions in the country's development programs being the reform of water and energy subsidies to preserve natural resources and enhance productivity. This research emphasizes that the reform of water and energy pricing policies, along with environmental considerations and integrated resource management, is a prerequisite for achieving economic and commercial sustainability by 2046. Ultimately, the research shows that to achieve the country's long-term development goals, subsidy reforms and optimal resource allocation must be carried out simultaneously, considering environmental dimensions, to manage the economic and commercial impacts of large-scale water transfer projects effectively.

Keywords: Dynamic Systems, Water Transfer, Energy Economics, Environmental Sustainability.
JEL Classification: C61, Q25, Q48, Q56.

1. PhD student in Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Corresponding Author). ***Email:*** jalaee@uk.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Citations: Anjomshoa, N., Jalaei, S. A. & Nejati, M., (2026). "Dynamic Modeling of the Impact of Water and Energy Subsidy Reforms in the Persian Gulf and Oman Sea Water Transfer Project on Exports and Added Value of Iran's Economic Sectors with an Environmental Sustainability Approach: Horizon 2046". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 15(57): 9-41. https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.31361.3814
Homepage of this Article: https://aes.basu.ac.ir/article_6626.html?lang=en

1. Introduction

Iran, due to its location in a dry and semi-arid region, faces significant challenges in water resource management, which has impacted key sectors such as industry, agriculture, and mining. Over 90% of the country's water resources are consumed in agriculture, while industries and mining sectors account for a smaller share. However, the improper location of industries in water-scarce regions, such as Yazd, Kerman, and Hormozgan, has exacerbated water supply issues and jeopardized sustainable development in these areas. Projects such as the transfer of water from the Persian Gulf and the Sea of Oman have become crucial to meet the water needs of industries and mines in the southeastern part of the country. However, these projects face challenges, including the high costs of desalination and water transfer, which are highly sensitive to energy prices. Water and energy subsidies, which are widely implemented in Iran, impact the costs of these projects and place additional pressure on the public budget. From an economic perspective, this project can boost mineral production and exports, strengthening supply chains, particularly at a time when Iran is looking to increase non-oil revenues. However, the high costs and inefficient energy subsidies could put additional pressure on the public budget, limiting resource allocation to other sectors of the economy. This study analyzes the effects of energy and water subsidy reforms in the Persian Gulf water transfer project, with a long-term outlook for 2046, and its impact on exports and added value in Iran's economy. It also represents the first attempt to analyze the economic and environmental impacts of this project using a dynamic systems approach.

2. Materials and Methods

In this study, a dynamic systems approach is used to model and simulate the effects of water and energy subsidy reforms in the Persian Gulf water transfer project on exports and value-added in Iran's economic sectors, with a long-term outlook. The dynamic systems methodology includes problem identification, identifying dynamic hypotheses, developing conceptual models (causal loop diagrams) and quantitative models (stock-flow diagrams), simulating and validating the model, and finally defining and executing various scenarios. The data used were collected based on time series from 2005 to 2024, and the simulation was conducted for the long-term horizon of 2046 using Vensim software. This time frame was chosen due to the long-term nature of water infrastructure projects and the necessity of long-term planning in water and energy policies. The main components of the model include five sectors: population, water transfer, environment, economy, and finance. The validation results showed that the model's structure, using causal relationships and feedback loops, aligns well with the real-world system. Additionally, the model's behavior matches historical data, and the units of the variables in the model are precisely defined, with their consistency confirmed in the software. Overall, the model demonstrates high accuracy and reliability, effectively simulating system behavior and providing reliable results for policy analysis.

3. Data

The data used in this study were collected from reputable databases, including the Statistical Center of Iran, the World Bank, Customs, the Central Bank, and the Ministry of Energy, covering the period from 2005 to 2024. The time-series data include Gross Domestic Product (GDP), value-added in various sectors, exports, water stress, and water

and electricity consumption, along with other variables relevant to the defined dynamic system. All data were validated for consistency and accuracy before being used in the model simulations.

4. Discussion

The sensitivity, data validation, unit consistency, and behavioral validation tests showed that the model is capable of simulating the real system behavior, and its results are reliable and valid under different conditions. These tests strengthen the model's credibility and assist in policymaking decisions regarding water transfer projects and water and energy resource management for the 2046 horizon. Water transfer projects in Iran, due to their heavy reliance on energy policies, have a significant impact on the cost of water and, consequently, on the value-added and exports of various economic sectors. Since these projects are associated with environmental impacts, the dynamic model is designed to evaluate and compare three scenarios: a 50% increase in water prices, a 100% increase in water prices, and the realignment of electricity prices (removal of subsidies for the electricity sector), with and without environmental impacts. In scenarios without environmental impacts, the effect of changes in water and electricity prices on the value-added and exports of agriculture, industry, and mining sectors was examined. To observe environmental impacts, the model was estimated with new subsystems and causal feedback loops, and the results were compared with the model estimated without environmental impacts. As expected, considering the environmental impacts showed that energy policies should be given serious attention in policymaking. The simulation results of different scenarios, considering the policies and goals of national documents such as the 2046 Vision Document and economic development programs, were analyzed. These documents, particularly in the areas of water and energy resource management, are the basis for key decisions on long-term projects, including the Persian Gulf and Oman Sea water transfer projects. Additionally, the water and energy subsidy reforms outlined in the 6th and 7th development plans and national water and energy resource documents have played a crucial role in shaping these scenarios. Therefore, scenario analysis, considering the objectives of these documents, is used to evaluate the economic and environmental impacts in line with the country’s development goals. This approach helps ensure the alignment of the model with national and strategic plans and enables more accurate long-term forecasting.

5. Conclusion

This study evaluates how reforming water and energy subsidies—within the context of the Persian Gulf and Oman Sea water transfer project—shapes value-added and export performance across Iran’s main economic sectors through 2046. Scenario-based simulations demonstrate that adjustments in water and electricity prices, as core production inputs, transmit asymmetrically across sectors. Agriculture, given its high share of national water consumption and irrigation intensity, is markedly sensitive to water price increases and to environmental externalities associated with large-scale transfers, leading to sharper relative declines in value-added when environmental feedbacks are active. Industry, by contrast, exhibits greater vulnerability to electricity price realignment due to high energy intensity and scale, resulting in larger absolute losses in output in the short to medium term. Mining occupies an intermediate position, with outcomes moderated by resource endowments and export orientation.

A salient result is that realigning energy prices can, under credible policy settings, raise exports in agriculture and mining despite contractions in domestic value-added—signaling a structural shift toward less water-intensive, more efficiency-driven, and export-oriented activities. This pattern suggests that price signals, when combined with enabling measures, can catalyze technology upgrading, resource productivity, and competitiveness.

Crucially, the analysis shows that the prospective benefits of the water transfer project—stable supply for strategic industries and enhanced non-oil trade—are contingent on integrated environmental management. Without it, cumulative impacts such as water stress, pollution, and ecosystem degradation can erode comparative advantages and undermine long-run sustainability.

Policy implications follow directly: (i) targeted support to agriculture to temper relative sensitivity and accelerate adoption of water-saving technologies; (ii) energy- and water-efficiency programs in industry to curb absolute losses and smooth adjustment to cost-reflective tariffs; (iii) robust governance of transferred resources, including monitoring, leakage control, and pollution abatement; and (iv) incentives for technological innovation and circular practices across sectors. Implemented together, these measures can align subsidy reforms with export competitiveness, value creation, and environmental stewardship over the 2046 horizon.

Acknowledgments

This research has been conducted with the financial and scientific support of the Center for Innovation, Scientific Cooperation, and the Applied Research Office of the Law Enforcement Command of the Islamic Republic of Iran (FARAJA). The authors feel it is their duty to sincerely thank this organization for its cooperation, specialized guidance, and support throughout all stages of the research. The authors also feel it is their duty to sincerely thank the editor and reviewers of the Iranian Journal of Applied Economic Studies for their valuable comments, which have enriched the scientific quality of the article.

Observation Contribution

This article is derived from the first author's Ph.D. dissertation, which was developed under the supervision and guidance of the second and third authors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest while observing publication ethics in referencing.

مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)
سال پانزدهم، شمارهٔ ۵۷، ۱۴۰۵

فصلنامهٔ علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
شاپای چاپی: ۲۵۳۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۴۷۲X-۲۳۲۲ - وب‌سایت نشریه: https://aes.basu.ac.ir
نشریهٔ گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.
حق انتشار این مستند، متعلق به نویسنده(گان) آن است. ۱۴۰۵ - ناشر این مقاله، دانشگاه بوعلی‌سینا است.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مدل‌سازی پویای اثر اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با رویکرد پایداری زیست‌محیطی: افق ۱۴۲۵

نادیا انجم‌شعاع[۱]، سید عبدالمجید جلائی[۲]، مهدی نجاتی[۳]

نوع مقاله: پژوهشی
شناسهٔ دیجیتال: https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.31361.3814
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸
صص: ۴۱-۹

چکیده

با توجه به چالش‌های فزآیندهٔ کمبود آب در فلات‌مرکزی و مناطق شرقی ایران، این پژوهش با هدف مدل‌سازی پویای اثر اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با رویکرد پایداری زیست‌محیطی تا افق ۱۴۲۵هـ.ش. انجام شده است. در این پژوهش از نرم‌افزار Vensim برای شبیه‌سازی سه سناریوی اصلاح یارانه‌های آب و برق استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اصلاح یارانه‌ها در کوتاه‌مدت موجب کاهش ارزش‌افزوده در بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن می‌شود. با این‌حال، در میان‌مدت و بلندمدت، این تغییرات می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، تخصیص مجدد منابع و تغییر ساختار تولید گردد که درنهایت به تقویت صادرات و بهبود جایگاه تجاری ایران کمک خواهد کرد. در سند چشم‌انداز ۱۴۲۵ به‌طور مشخص به توسعهٔ پایدار منابع آب و مدیریت بهینهٔ انرژی پرداخته شده و یکی از راهکارهای پیشنهادی در اسناد برنامه‌های توسعهٔ کشور، اصلاح یارانه‌های آب و انرژی به‌منظور حفظ منابع طبیعی و افزایش بهره‌وری است. این پژوهش تأکید دارد که اصلاح سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و انرژی، همراه با ملاحظات زیست‌محیطی و مدیریت یکپارچه منابع، شرط لازم برای دستیابی به پایداری اقتصادی و تجاری در افق ۱۴۲۵ است. درنهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که برای تحقق اهداف بلندمدت توسعهٔ کشور، اصلاحات یارانه‌ای و تخصیص بهینهٔ منابع باید به‌طور هم‌زمان با توجه به ابعاد زیست‌محیطی انجام شود تا بتوان اثرات اقتصادی و تجاری پروژه‌های بزرگ انتقال آب را به بهترین نحو ممکن مدیریت کرد.

کلیدواژگان: سیستم‌های پویا، انتقال آب، اقتصاد انرژی، پایداری زیست‌محیطی.
طبقه‌بندی JEL: C61, Q25, Q48, Q56.

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکدهٔ اقتصاد و مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
Email: Anjom_n1371@yahoo.com
۲. استاد گروه اقتصاد، دانشکدهٔ اقتصاد و مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (نویسندهٔ مسئول).
Email: jalaee@uk.ac.ir
۳. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکدهٔ اقتصاد و مدیریت، دانشگاه باهنر کرمان، کرمان، ایران.
Email: Mnejati@uk.ac.ir

ارجاع به مقاله: انجم‌شعاع، نادیا؛ جلائی، سید عبدالمجید؛ و نجاتی، مهدی، (۱۴۰۵). «مدل‌سازی پویای اثر اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با رویکرد پایداری زیست‌محیطی: افق ۱۴۲۵». مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱۵(۵۷): ۹-۴۱. https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.31361.3814
صفحهٔ اصلی مقاله در سامانهٔ نشریه: https://aes.basu.ac.ir/article_6626.html

۱. مقدمه

ایران به‌دلیل قرارگیری در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت‌های شدید منابع آبی مواجه است که این موضوع نه‌تنها توسعهٔ اقتصادی و امنیت غذایی را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده، بلکه بر رشد بخش‌های کلیدی مانند صنعت، کشاورزی و معادن نیز تأثیرات عمیقی گذاشته است. براساس آمارهای موجود، بیش از ۹۰٪ منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، درحالی‌که سهم صنایع و معادن تنها حدود ۲٪ است؛ با این‌حال، مکان‌یابی نامناسب این صنایع در مناطق کم‌آب مانند یزد، کرمان و هرمزگان، مشکلات تأمین آب را تشدید کرده و توسعهٔ پایدار این مناطق را به خطر انداخته است. این محدودیت‌ها ضرورت اجرای طرح‌های بزرگ مانند انتقال آب از خلیج‌فارس و دریای عمان را برای تأمین آب موردنیاز صنایع و معادن جنوب‌شرقی کشور برجسته کرده است (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸).

از منظر اقتصادی، طرح انتقال آب خلیج‌فارس می‌تواند تأثیرات دوگانه‌ای بر اقتصاد ایران داشته باشد. از یک‌سو، تأمین آب پایدار برای معادن و صنایع جنوب‌شرقی کشور، تولید مواد معدنی مانند مس و فولاد را افزایش می‌دهد و ازطریق بهبود زنجیرهٔ تأمین به تقویت صادرات این محصولات کمک می‌کند. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که ایران به‌دنبال افزایش درآمدهای غیرنفتی است، اهمیت زیادی دارد (تابش و همکاران، ۱۴۰۰). با این حال، تحقق این پتانسیل‌های صادراتی مشروط به مدیریت بهینه هزینه‌های زیرساختی است. از آنجایی که هزینه‌های بالای طرح‌های انتقال آب و تداوم یارانه‌های ناکارآمد انرژی می‌تواند فشار مضاعفی بر بودجهٔ عمومی وارد کرده و فضای مانور برای سایر بخش‌های اقتصادی را محدود کند، نیاز به بازنگری در مدل‌های تأمین آب احساس می‌شود. در همین راستا، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند نمک‌زدایی آب خلیج‌فارس با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند راهکاری کارآمد باشد. مطالعات اقتصادی نشان می‌دهند که استفاده از انرژی خورشیدی در فرآیند شیرین‌سازی، نه‌تنها از تحمیل بار سنگین یارانه‌های سوخت‌های فسیلی بر اقتصاد جلوگیری می‌کند، بلکه با کاهش هزینه‌های تولید و افزایش رقابت‌پذیری محصولات صادراتی، تعادل میان توسعه صنعتی و پایداری مالی کشور را تضمین می‌کند. (صادقی و همکاران، ۱۳۹۷).

پرسش پژوهش: با توجه به این چالش‌ها، پرسش اصلی پژوهش این است که، آیا با افزایش قیمت آب و انرژی، که بخش عمده‌ای از هزینه‌های پروژهٔ انتقال آب را تشکیل می‌دهند، هم‌چنان این پروژه می‌تواند به افزایش صادرات و ارزش‌افزوده در بخش‌های اقتصادی کمک کند؟

نوآوری پژوهش حاضر در این است که برای نخستین‌بار با بهره‌گیری از رویکرد سیستم‌های پویا، اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با افق بلندمدت ۱۴۲۵، تحلیل شده است. هم‌چنین در طراحی سناریوها، سیاست‌های جاری ایران در حوزهٔ آب و انرژی به‌طور مستقیم لحاظ شده است. ازسوی دیگر، این پژوهش با افزودن زیرسیستم محیط‌زیست به مدل، امکان بررسی هم‌زمان آثار اقتصادی و زیست‌محیطی را فراهم ساخته است.

هم‌چنین انتخاب افق ۱۴۲۵ مبتنی‌بر برنامه‌های بلندمدت توسعهٔ کشور و اهداف چشم‌انداز ملی است و امکان بررسی پیامدهای بلندمدت اقتصادی و زیست‌محیطی پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس که به‌عنوان بزرگ‌ترین طرح انتقال آب ایران محسوب می‌شود را فراهم می‌کند.

۲. مبانی نظری

۲-۱. مفهوم انتقال آب و تأثیر آن بر توسعهٔ اقتصادی و بهره‌وری منابع

انتقال آب بین‌حوضه‌ای به‌عنوان یک راهکار برای تأمین آب در مناطق کم‌آب، می‌تواند با افزایش دسترسی به منابع آبی، بهره‌وری و تولید را در بخش‌های اقتصادی بهبود بخشد. با این وجود، پیاده‌سازی این طرح‌ها در بستر توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی آب، با چالش‌های جدی مدیریت منابع در مقیاس بزرگ مواجه است. بررسی ویژگی‌های پروژه‌های بین‌المللی حاکی از آن است که اگرچه انتقال آب در کوتاه‌مدت با کاهش مشکلات کم‌آبی در حوضه مقصد، زمینه‌ساز فعالیت‌های اقتصادی می‌شود، اما در بلندمدت می‌تواند تعادل اکولوژیک و اقتصادی میان حوضه مبدأ و مقصد را بر هم زده و منجر به تضعیف شرایط محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی در یکی از دو طرف شود .این مسئله، پایداری منافع کوتاه‌مدت اقتصادی را در معرض تردید قرار داده و اهمیت رویکردهای مدیریتی جامع را برجسته می‌سازد (تیموری یگانه،۱۴۰۱)؛ با این‌حال، پروژه‌های انتقال آب با چالش‌هایی هم‌چون هزینه‌های بالای شیرین‌سازی و انتقال، اثرات زیست‌محیطی (مثل تخریب اکوسیستم‌های دریایی) و وابستگی به انرژی مواجه هستند که می‌تواند بهره‌وری این طرح‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد (جونز[1] و همکاران، ۲۰۱۹)؛ بنابراین، برای بهینه‌سازی این پروژه‌ها و تأثیرگذاری بیشتر بر توسعهٔ پایدار، بهره‌وری منابع آبی و انرژی باید درنظر گرفته شود.

۲-۲. نظریه‌های تجارت بین‌الملل و رقابت‌پذیری صادراتی در اقتصادهای منابع‌محور

تجارت بین‌الملل به‌عنوان محرک رشد اقتصادی، برپایهٔ نظریه‌هایی مانند مزیت نسبی ریکاردو[2] و مدل هکشر–اوهلین[3] استوار است، که بر تخصیص منابع و عوامل تولید تأکید دارند. طبق این نظریه‌ها، کشورها باید بر تولید و صادرات کالاهایی تمرکز کنند که در آن‌ها مزیت نسبی دارند، مانند محصولات کشاورزی کم‌آب‌بر در ایران (مانند پسته و زعفران). با این‌حال، مؤلفه‌های تأثیرگذار مانند دسترسی به منابع طبیعی (آب و انرژی) می‌توانند این مزیت را تغییر دهند. در اقتصادهای وابسته به منابع، کمبود آب می‌تواند هزینه‌های تولید را افزایش دهد و رقابت‌پذیری صادراتی را کاهش دهد، که این امر نیاز به تحلیل دینامیکی عوامل را برجسته می‌کند.

۲-۳. عوامل مؤثر بر رقابت‌پذیری صادراتی در تجارت بین‌الملل: تمرکز بر منابع آب و انرژی

تجارت بین‌الملل به تبادل کالا و خدمات بین کشورها گفته می‌شود و تحت‌تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. در زمینهٔ ایران و پروژه‌های انتقال آب، این عوامل می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- **ساختار تولید داخلی و مزیت نسبی:** نوع محصولات تولیدی و قابلیت رقابت آن‌ها در بازارهای جهانی، به‌ویژه محصولاتی که کم‌آب‌بر و با ارزش‌افزودهٔ بالا هستند، تعیین‌کنندهٔ سهم کشور در تجارت جهانی است.

---

[1] Jones et al.
[2] Ricardo
[3] Heckscher-Ohlin

- **قیمت نهاده‌ها و هزینهٔ تولید:** تغییرات قیمت آب و انرژی، به‌عنوان ورودی‌های اصلی تولید، مستقیماً بر هزینهٔ تولید و به‌دنبال آن بر قیمت تمام‌شده محصولات صادراتی تأثیر می‌گذارد. افزایش هزینه‌ها می‌تواند تولید کم‌بهره و پرمصرف را کاهش داده و به‌سمت تولید محصولات رقابتی‌تر هدایت کند.
- **سیاست‌های تجاری و حمایتی:** معافیت‌های مالیاتی، یارانه‌های هدفمند و سازوکارهای حمایتی صادرات می‌توانند اثرات منفی افزایش قیمت منابع را تعدیل کنند و توان رقابت‌پذیری صادراتی را حفظ نمایند.
- **بهره‌وری و نوآوری تکنولوژیک:** بهبود بهره‌وری منابع و به‌کارگیری فناوری‌های کم‌آب‌بر و کم‌انرژی، امکان افزایش تولید صادرات‌محور و کاهش آسیب‌های ناشی از فشار بر منابع طبیعی را فراهم می‌کند.
- **پایداری زیست‌محیطی:** فشار بر منابع آب و انرژی، آلودگی و تنش‌های زیست‌محیطی می‌توانند مزیت نسبی صادراتی را کاهش دهند. مدیریت یکپارچهٔ زیست‌محیطی و حفاظت از منابع، شرط لازم برای استمرار توان صادراتی است.

به‌طورکلی مؤلفه‌های کلیدی تأثیرگذار بر تجارت بین‌الملل شامل سیاست‌های قیمت‌گذاری نهاده‌ها، دسترسی به منابع و اثرات زیست‌محیطی هستند. قیمت‌گذاری آب و انرژی به‌عنوان نهاده‌های اصلی تولید، طبق نظریهٔ هزینه‌های حاشیه‌ای[1]، می‌تواند بهره‌وری را افزایش دهد؛ اما در کوتاه‌مدت صادرات را تضعیف کند (کروگمن[2]، ۱۹۹۰). در ایران، وابستگی بخش‌های کشاورزی (۹۰ ٪ مصرف آب) و صنعت (انرژی‌بر) به این نهاده‌ها، تجارت را آسیب‌پذیر می‌کند. علاوه‌بر این، اثرات زیست‌محیطی می‌توانند مزیت نسبی را از بین ببرند و هزینه‌های پنهان ایجاد کنند (یو ان ای پی[3]، ۲۰۲۲). پروژه‌های انتقال آب مانند خلیج‌فارس، اگرچه دسترسی را بهبود می‌بخشد؛ اما بدون مدیریت زیست‌محیطی می‌تواند تجارت را مختل نماید.

۲-٤. سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و انرژی

قیمت‌گذاری منابع آب و انرژی نقش کلیدی در مدیریت تقاضا و تخصیص بهینهٔ منابع دارد. نظریهٔ قیمت‌گذاری مبتنی‌بر هزینهٔ تمام‌شده تأکید می‌کند که قیمت‌ها باید هزینه‌های واقعی تولید، انتقال و اثرات زیست‌محیطی را منعکس کنند تا انگیزه برای مصرف بهینه ایجاد شود (سرخ[4] و همکاران، ۲۰۲۰). اگرچه پرداخت یارانه‌های انرژی و مصرف بی‌رویه آن در سال‌های اخیر پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای از جمله آلودگی هوا و تشدید اثرات گلخانه‌ای و آسیب‌های بهداشتی را در پی داشته است، اما واقعی‌شدن قیمت‌ها با تغییر ساختار تولید، می‌تواند ترکیب صادراتی را به سمت محصولات با ارزش‌افزودگی بالاتر و مصرف منابع کمتر سوق دهد و از این طریق به کاهش این فشارهای زیست‌محیطی کمک کند (رضایی و همکاران، ۱۴۰۴).

---

[1] Marginal Cost Pricing
[2] Krugman
[3] United Nations Environment Programme (UNEP)
[4] Sarrakh et al.

اصلاح یارانه‌ها در سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و انرژی در برنامهٔ ششم توسعه (ماده ۳۶) و برنامهٔ هفتم توسعه (ماده ۳۸) به‌طور خاص در جهت واقعی‌سازی قیمت‌ها و کاهش یارانه‌های غیرمستمر و ناعادلانه در بخش‌های آب و انرژی طراحی شده‌اند. طبق ماده ۳۶ برنامهٔ ششم، دولت موظف به اصلاح یارانه‌های انرژی و آب به‌طور تدریجی است تا از مصرف بی‌رویهٔ این منابع جلوگیری شود و بهره‌وری در تمامی بخش‌ها بهینه گردد.

پروژه‌های انتقال آب، به‌ویژه پروژه‌های شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس در ماده ۷۳ برنامهٔ ششم و ماده ۳۸ برنامهٔ هفتم توسعه گنجانده شده‌اند که هدف آن‌ها تأمین منابع آبی برای مناطق خشک و کم‌آب ایران است. این پروژه‌ها نه‌تنها به حل مشکل تأمین آب برای صنایع و معادن کمک می‌کنند، بلکه با سیاست‌های قیمت‌گذاری و تخصیص منابع بهینه، می‌توانند به بهره‌وری بهتر منابع آب و انرژی در کشور کمک کنند.

سند چشم‌انداز ملی ۱۴۲۵ بر توسعهٔ پایدار منابع آب به‌ویژه در بخش‌های مرتبط با امنیت غذایی، توسعهٔ کشاورزی پایدار و مدیریت منابع طبیعی تأکید دارد؛ لذا با توجه به کمبود منابع آبی در فلات‌مرکزی ایران، پروژه‌های انتقال آب از خلیج فارس و دریای عمان می‌توانند به‌عنوان راهکارهایی برای تأمین منابع آبی پایدار در این مناطق درنظر گرفته شوند. هم‌چنین در این سند به مدیریت بهینهٔ انرژی و اصلاح الگوی مصرف انرژی اشاره شده است. این موضوع در راستای توسعهٔ پایدار و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی مطرح گردیده است. پروژه‌های انتقال آب از دریا، به‌ویژه در فازهای شیرین‌سازی، نیازمند مصرف بالای انرژی هستند؛ بنابراین، اصلاح یارانه‌های انرژی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری در این پروژه‌ها موردتوجه قرار گیرد.

۲-۵. رویکرد سیستم‌های پویا

مدل‌سازی پویای سیستم رویکردی تحلیلی برای درک ساختارهای علی زیربنایی سیستم‌های پیچیده است که رفتار آن‌ها را در طول زمان تعیین می‌کند و با تمرکز بر متغیرهای انباشت، جریان، حلقه‌های بازخورد و تأخیرهای زمانی، تعاملات غیرخطی میان اجزای سیستم را شبیه‌سازی می‌کند (استرمن[1]، ۲۰۰۰). این رویکرد با مدل‌سازی تعاملات بین متغیرهای منابع آب، تولید اقتصادی و صادرات، امکان تحلیل بلندمدت و پیش‌بینی رفتار سیستم را فراهم می‌کند. در این پژوهش، از این رویکرد برای بررسی اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران استفاده شده است.

۳. پیشینهٔ پژوهش

۳-۱. مطالعات داخلی

در حوزهٔ ادبیات داخلی، به‌دلیل محدودیت داده‌ها و اجرای پروژه‌های انتقال آب در سال‌های اخیر، مطالعات معدودی مرتبط با موضوع پژوهش انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

«تابش» و همکاران (۱۴۰۰) با بهره‌گیری از مدل تعادل عمومی قابل محاسبهٔ مالی[2]، اثرات اقتصادی پروژهٔ ملی شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج‌فارس به معادن جنوب‌شرقی ایران را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که

[1] Sterman
[2] FCGE

اجرای این پروژه ارزش‌افزودهٔ صنایع معدنی مانند فولاد و مس را افزایش داده و توسعهٔ اقتصادی منطقه را تقویت می‌کند. این مطالعه بر ضرورت طراحی سیاست‌های قیمت‌گذاری و مالی بهینه برای بهره‌وری حداکثری و تقویت صادرات غیرنفتی تأکید دارد.

«علیپور» و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه خود به بررسی جامع چالش‌های طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ای بهشت‌آباد پرداختند. این پژوهش که با رویکردی بین‌رشته‌ای و به شیوه تحلیلی-توصیفی انجام شد، نشان داد که برخلاف تمرکز سنتی مدیران بر ابعاد فنی، عمده‌ترین چالش‌های این طرح در حوزه‌های اجتماعی، سیاسی و امنیتی نهفته است. نتایج این تحقیق بر لزوم اتخاذ راهکارهای حکمرانی برای مدیریت پیامدهای غیرفنی در دو حوضه مبدأ و مقصد تأکید دارد.

«عرب‌پور» و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبهٔ پویا[1]، اثرات سیاست‌های قیمت‌گذاری آب را بر ساختار اقتصادی ایران بررسی و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان می‌دهد که اصلاح قیمت‌گذاری آب می‌تواند منجر به تغییر در ترکیب بخش‌های اقتصادی، افزایش بهره‌وری منابع آبی و بهبود کارایی بخش‌های صنعتی و معدنی شود.

«فدایی‌تهرانی» و «ابارشی» (۱۴۰۳) در پژوهش خود به ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سه کشور پیشرو در نمک‌زدایی آب دریا پرداختند. چهار چالش اصلی نمک‌زدایی آب دریا شامل: پساب شور، آسیب در ورودی، مصرف بالای انرژی و فقر مواد معدنی در آب شناسایی شده است. تحلیل اقتصادی نشان‌داد قیمت تمام‌شدهٔ هر مترمکعب آب برای مناطق مجاور دریا، کرمان، یزد و بیرجند به‌ترتیب ۴۳۲، ۷۰۲، ۹۷۲ و ۱۰۲۶ هزار ریال است. ازنظر شوری و ملاحظات زیست‌محیطی، سواحل مکران برای مکان‌یابی واحدهای نمک‌زدایی نسبت به سواحل خلیج‌فارس مزیت دارد.

۳-۲. مطالعات خارجی

با توجه به این‌که جریان انتقال آب در کشورهای معدودی صورت گرفته است و بیشتر مطالعات جهانی مربوط به آب مجازی و انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد، در این بخش سعی‌شده بیشتر از مطالعاتی که مرتبط با موضوع پژوهش باشد، استفاده شود. در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد.

«کولی‌بالی» و همکاران[2] (۲۰۱۷) در پژوهشی اقتصادی-جغرافیایی، تأثیر انتقال آب بین حوضه‌ای بر اندازه و توسعهٔ مناطق مختلف را تحلیل کرد. یافته‌ها حاکی از آن بود که پروژه‌های انتقال آب می‌توانند الگوی رشد منطقه‌ای و توزیع منابع را تغییر دهند و اثرات اقتصادی مهمی بر ارزش‌افزوده و صادرات به‌همراه داشته باشند.

«ژائو» و همکاران[3] (۲۰۲۰) در مطالعهٔ خود با استفاده از مدل سیستم‌های پویا به بررسی اثرات تخصیص منابع آب فرامرزی در منطقهٔ سین‌کیانگ چین پرداخت. نتایج این تحقیق نشان‌داد که تغییرات در سیاست‌های تخصیص آب می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر بخش‌های اقتصادی و الگوی صادراتی داشته باشد و اهمیت رویکرد بلندمدت در مدیریت منابع آب را برجسته کرد.

---

[1] Dynamic CGE
[2] Coulibaly et al.
[3] Zhao et al.

«لیو» و همکاران[1] (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی پروژهٔ انتقال آب از جنوب به شمال چین پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که این پروژه منجر به افزایش تولید ناخالص داخلی در منطقهٔ دریافت‌کنندهٔ آب شده و تأثیرات مثبتی بر بخش‌های صنعتی و کشاورزی داشته است. هم‌چنین، این پروژه موجب بهبود دسترسی به آب شرب برای بیش از ۱۷۰ میلیون نفر شده است.

«ملو گالیندو»[2] (۲۰۲۵) در مطالعهٔ خود به بررسی تأثیرات اقتصادی کوتاه‌مدت پروژهٔ انتقال آب بین حوضه‌ای رودخانهٔ سائو فرانسیسکو در برزیل پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که این پروژه موجب افزایش در درآمد، مصرف و پس‌انداز شده است؛ درحالی‌که کاهش مهاجرت را تجربه کرده است. این پروژه هم‌چنین تأثیرات مثبتی بر بخش‌های کشاورزی و صنعتی داشته و منجر به افزایش تولید و صادرات شده است. هم‌چنین، این پروژه به‌دلیل نیاز به پمپاژ آب در مسافت‌های طولانی، فشار زیادی را بر منابع انرژی وارد کرده که می‌تواند به افزایش هزینه‌های انرژی و تأثیرات بلندمدت بر بخش‌های اقتصادی منجر شود.

مرور مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها به بررسی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌های انتقال آب در سطح ملی یا تحلیل مفاهیم آب مجازی و تجارت غیرمستقیم منابع آبی پرداخته‌اند؛ درحالی‌که ارتباط مستقیم اثرات اصلاحات یارانه‌های آب و انرژی در این پروژه‌ها بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌هایی مانند: صنعت، معدن و کشاورزی موردتوجه قرار نگرفته است. این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد سیستم‌های پویا، این خلأ را پر کرده و با طراحی سناریوهای مرتبط با سیاست‌های جاری ایران، اثرات بلندمدت این سیاست‌ها در انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌های کلیدی اقتصادی کشور را شبیه‌سازی می‌کند. علاوه‌بر این، با افزودن زیرسیستم محیط‌زیست به مدل، امکان بررسی هم‌زمان آثار اقتصادی و زیست‌محیطی فراهم آمده است.

٤. روش پژوهش

در این پژوهش از رویکرد سیستم‌های پویا برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با افق بلندمدت استفاده شده است. روش‌شناسی سیستم‌های پویا شامل: شناسایی و تعریف مسئله، شناسایی فرضیه‌های پویا، توسعهٔ مدل مفهومی (نمودار حلقهٔ علّی و معلولی) و کمّی (نمودار انباشت جریان)، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل و درنهایت تعریف و اجرای سناریوهای مختلف می‌باشد. داده‌های مورداستفاده براساس سری زمانی ۱۳۸۴–۱۴۰۳ گردآوری شده و با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[3]، شبیه‌سازی برای افق بلندمدت ۱۴۲۵ انجام گرفته است. این بازهٔ زمانی باتوجه به ماهیت بلندمدت پروژه‌های زیرساختی آب و ضرورت برنامه‌ریزی بلندمدت در سیاست‌های آب و انرژی انتخاب شده است. عناصر اصلی مدل شامل پنج بخش: جمعیت، انتقال آب، محیط‌زیست، اقتصادی و مالی می‌باشد.

[1] Liu et al.
[2] Melo Galindo
[3] Vensim

٤-١. تعریف متغیرها

برای مدل‌سازی سیستم پویا جهت ارزیابی اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران، متغیرهای مختلفی در مدل استفاده شده‌اند که می‌توان آن‌ها را به سه دستهٔ اصلی تقسیم کرد. مدل شامل متغیرهای حالتی است که نشان‌دهندهٔ وضعیت یا موجودی سیستم در زمان هستند؛ هم‌چنین متغیرهای جریانی در مدل تعریف شده‌اند که نشان‌دهندهٔ تغییرات در متغیرهای حالت بوده و نرخ تغییرات را نشان می‌دهند. علاوه‌بر این، متغیرهای کمکی نیز در مدل وجود دارند که روابط میان متغیرهای اصلی را مشخص می‌کنند و در جدول (۱) به‌صورت کامل شرح داده شده است.

جدول ۱: متغیرهای مدل سیستم پویا (یافته‌های پژوهش).

Table 1: Variables of the Dynamic System Model (Research Findings).

نوع متغیر	نام متغیر	نماد	واحد	نقش در مدل
حالت	جمعیت کل	Pop	نفر	تعیین‌کنندهٔ تقاضای آب و نیروی کار
حالت	تولید ناخالص داخلی واقعی	GDP real IR	میلیارد ریال	شاخص اصلی عملکرد اقتصادی
برون‌زا	تولید ناخالص داخلی اسمی	GDP nom	میلیارد ریال	شاخص اسمی اقتصاد
حالت	ارزش‌افزودهٔ بخش کشاورزی	VAAgr	میلیارد ریال	تعیین‌کنندهٔ بخشی از تولید و صادرات
حالت	ارزش‌افزودهٔ بخش صنعت	VAInd	میلیارد ریال	تعیین‌کنندهٔ بخشی از تولید و صادرات
حالت	ارزش‌افزودهٔ بخش معدن	VAMin	میلیارد ریال	تعیین‌کنندهٔ بخشی از تولید و صادرات
حالت	ذخیرهٔ آب	WS	میلیون مترمکعب	تعیین‌کنندهٔ ظرفیت عرضه آب
حالت	کیفیت محیط‌زیست	EcoQuality	بدون واحد	تعیین‌کنندهٔ کیفیت زیست‌محیطی
حالت	بدهی دولت	DebtGov	میلیارد ریال	تعیین‌کنندهٔ نقش دولت
حالت	ظرفیت صادرات	Export Capacity	میلیارد دلار	تعیین‌کنندهٔ نقش تجارت بین‌الملل
حالت	سرمایه‌گذاری زیربنایی	Infra Investment	میلیارد ریال	شاخص پتانسیل تولید
حالت	ظرفیت انتقال آب	CapTrans	میلیون مترمکعب	تعیین‌کنندهٔ انتقال آب
جریان	نرخ تولد	Births	نفر/سال	نرخ رشد جمعیت
جریان	نرخ مرگ	Deaths	نفر/سال	نرخ مرگ‌ومیر
جریان	نرخ مهاجرت ورودی	InflowMig	نفر/سال	نرخ مهاجرت خالص
جریان	نرخ رشد بخش کشاورزی	Growth Agr	میلیارد ریال/سال	شاخص رشد اقتصادی بخش
جریان	نرخ رشد بخش صنعت	Growth Ind	میلیارد ریال/سال	شاخص رشد اقتصادی بخش
جریان	نرخ رشد بخش معدن	Growth Min	میلیارد ریال/سال	شاخص رشد اقتصادی بخش
جریان	نرخ تخریب محیط‌زیست	EcoDegradationRate	بدون واحد/سال	شاخص معرف محیط‌زیست
جریان	کسری بودجه دولت	GovDeficit	میلیارد ریال/سال	شاخص اندازهٔ دولت/ نرخ تغییر بدهی دولت
جریان	نرخ سرمایه‌گذاری	Investment rate	میلیارد ریال/سال	شاخص آینده‌نگری رشد تولید
جریان	نرخ استهلاک	Depreciation rate	میلیارد ریال/سال	نرخ استهلاک زیرساخت
جریان	نرخ صادرات	Export Rate	میلیارد دلار/سال	شاخص تجارت خارجی
جریان	نرخ کاهش صادرات	Export Decay	میلیارد دلار/سال	شاخص تجارت خارجی

پارامتر	نرخ تورم	IR	درصد/سال	نرخ تورم
پارامتر	مالیات مستقیم	Direct Tax	درصد/سال	شاخص اندازهٔ دولت
پارامتر	مالیات غیرمستقیم	Indirect Tax	درصد/سال	شاخص اندازهٔ دولت
پارامتر	نرخ تولد	BR rate	درصد/سال	نرخ تولد
پارامتر	نرخ مرگ	DR rate	درصد/سال	نرخ مرگ
پارامتر	نرخ مهاجرت	NetMig rate	درصد/سال	نرخ مهاجرت
پارامتر	نسبت استهلاک	dep ratio	درصد/سال	نرخ استهلاک سرمایه
پارامتر	نرخ کاهش صادرات	decay rate export	درصد/سال	نرخ کاهش صادرات
پارامتر	نسبت سرمایه‌گذاری	invest ratio	بدون واحد	نسبت سرمایه‌گذاری
کمکی	نسبت هزینه دولت	gov spend ratio real	بدون واحد	شاخص اندازهٔ دولت
کمکی	شدت آلودگی	PollutionIntensity	تن/میلیارد ریال	شاخص محیط‌زیست
کمکی	تنش آبی	WaterStress	بدون واحد	شاخص محیط‌زیست
کمکی	ضریب اعتماد	trust factor	بدون واحد	ضریب اعتماد نهادی
کمکی	دسترسی به بازار	Market Access	بدون واحد	شاخص معرف شرکای تجاری
کمکی	سطح تحریم	Sanction Level	بدون واحد	نرخ تحریم
کمکی	تعرفه تجاری	Trade Tariff	بدون واحد	سیاست بازرگانی بین‌الملل
کمکی	شاخص قیمت انرژی	priceEnergyIndex	بدون واحد	شاخص قیمت انرژی
پارامتر	ضریب تبدیل سرمایه	convInvtoCap	میلیارد ریال/میلیون مترمکعب	نرخ تبدیل سرمایه به تولید
پارامتر	سهم صادرات کشاورزی	export share ag	بدون واحد	نقش بخش در تراز تجاری
پارامتر	سهم صادرات صنعت	export share ind	بدون واحد	نقش بخش در تراز تجاری
پارامتر	سهم صادرات معدن	export share min	بدون واحد	نقش بخش در تراز تجاری
پارامتر	قیمت جهانی انرژی	Global Energy Price	دلار	شاخص رفتار اقتصاد بین‌الملل یا شاخص تجارت بین‌الملل
پارامتر	قیمت نفت	Oil Price	دلار/بشکه	معرف نقش اوپک
پارامتر	حجم صادرات نفت	Oil Export Volume	میلیون بشکه	حجم صادرات نفت
پارامتر	نرخ ارز رسمی	Official Exchange Rate	ریال/دلار	معرف تعاملات بین‌المللی
پارامتر	نرخ ارز بازار	Market Exchange Rate	ریال/دلار	معرف تعاملات بین‌المللی
کمکی	نرخ ارز مؤثر	EXR	ریال/دلار	نرخ ارز مؤثر
پارامتر	قیمت پایه انرژی	Base Energy Price	ریال	قیمت پایه انرژی
پارامتر	ضریب یارانه پایه	base subsidy factor	بدون واحد	نقش دولت در سیاست‌گذاری
کمکی	ضریب یارانه جاری	subsidy factor	بدون واحد	ضریب یارانهٔ جاری
کمکی	یارانه انرژی	SubsidyEnergy	بدون واحد	یارانهٔ انرژی
کمکی	درآمد نفتی	Oil Revenue	میلیارد ریال/سال	درآمد نفتی
کمکی	درآمد مالیاتی	Tax Revenue	میلیارد ریال/سال	درآمد مالیاتی
کمکی	هزینه دولت	GovExpenditure	میلیارد ریال/سال	هزینه دولت
کمکی	هزینه پایه دولت	BestExpenditure	میلیارد ریال/سال	هزینه پایه دولت
کمکی	انتقال آب	TransferIN	میلیون مترمکعب/سال	انتقال آب
کمکی	مصرف آب کشاورزی	WaterUse Agr	میلیون مترمکعب/سال	معرف ورودی به بخش در مقابل خروجی
کمکی	مصرف آب صنعت	WaterUse Ind	میلیون مترمکعب/سال	معرف ورودی به بخش در مقابل خروجی

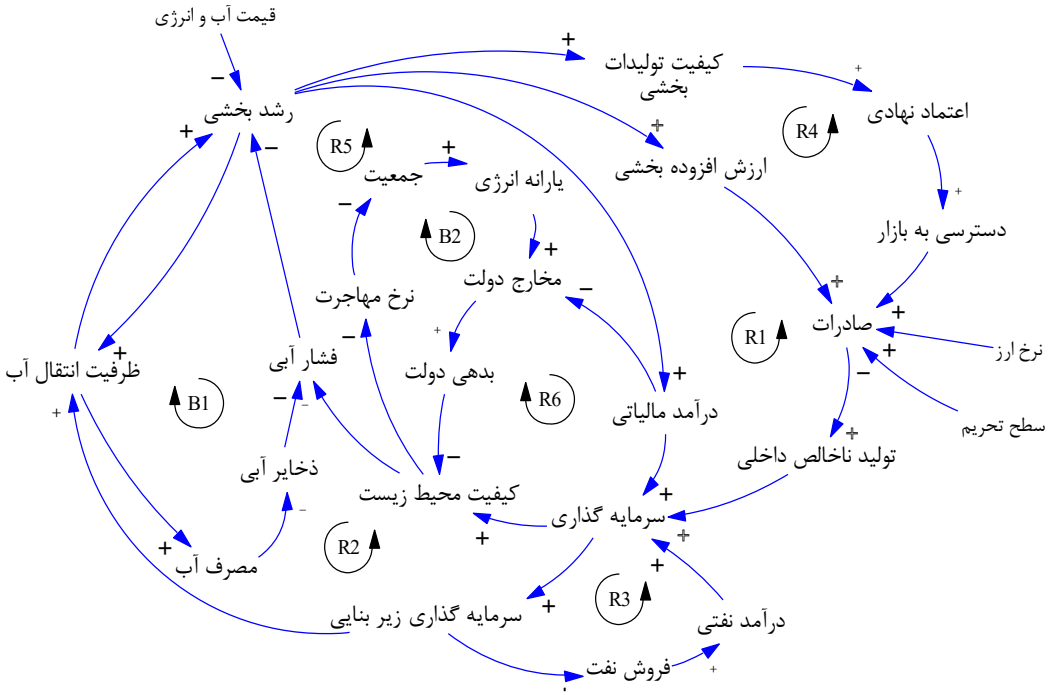
کمکی	مصرف آب معدن	WaterUse Min	میلیون مترمکعب/سال	معرف ورودی به بخش در مقابل خروجی
پارامتر	بهره‌وری آب کشاورزی	WPAgr	ریال/مترمکعب	شاخص بهره‌وری
پارامتر	بهره‌وری آب صنعت	WPInd	ریال/مترمکعب	شاخص بهره‌وری
پارامتر	بهره‌وری آب معدن	WPMin	ریال/مترمکعب	شاخص بهره‌وری
پارامتر	وزن اثر آب کشاورزی	WEF Agr	بدون واحد	تأثیر مصرف آب بخش کشاورزی روی خروجی مدل
پارامتر	وزن اثر آب صنعت	WEF Ind	بدون واحد	تأثیر مصرف آب بخش صنعت روی خروجی مدل
پارامتر	وزن اثر آب معدن	WEF Min	بدون واحد	تأثیر مصرف آب بخش معدن روی خروجی مدل
برون‌زا	قیمت واقعی آب	WaterPrice Real	ریال/مترمکعب	ورودی برون‌زا برای هزینه‌ها
برون‌زا	قیمت واقعی برق	RealElectricityPrice	ریال/کیلووات ساعت	ورودی برون‌زا برای هزینه‌ها
پارامتر	شدت مصرف آب کشاورزی	WaterIntensityAgr	میلیون ریال/مترمکعب	ثابت برای محاسبهٔ هزینهٔ کشاورزی
پارامتر	شدت مصرف آب صنعت	WaterIntensityInd	میلیون ریال/مترمکعب	ثابت برای محاسبهٔ هزینهٔ صنعت
پارامتر	شدت مصرف آب معدن	WaterIntensityMin	میلیون ریال/مترمکعب	ثابت برای محاسبهٔ هزینهٔ معدن
کمکی	هزینه آب کشاورزی	CostAgr	میلیون ریال/سال	متغیر کمکی برای ضریب تعدیل کشاورزی
کمکی	هزینه آب صنعت	CostInd	میلیون ریال/سال	متغیر کمکی برای ضریب تعدیل صنعت
کمکی	هزینه آب معدن	CostMin	میلیون ریال/سال	متغیر کمکی برای ضریب تعدیل معدن
کمکی	ضریب تعدیل کشاورزی	ModifierAgr	بدون واحد	متغیر کمکی برای رشد کشاورزی
کمکی	ضریب تعدیل صنعت	ModifierInd	بدون واحد	متغیر کمکی برای رشد صنعت
کمکی	ضریب تعدیل معدن	ModifierMin	بدون واحد	متغیر کمکی برای رشد معدن

٤-۲. نمودار علّی و معلولی

یکی از مراحل کلیدی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده، ترسیم روابط علت و معلول میان متغیرهای مختلف سیستم است. این روابط می‌توانند تأثیرات متقابل و پیچیده‌ای میان اجزای مختلف سیستم ایجاد کنند که برای تحلیل دقیق رفتار سیستم ضروری است. در این‌راستا، نمودار علّی و معلولی ابزاری است که به ما کمک می‌کند تا ارتباطات علّی میان متغیرهای مختلف را شبیه‌سازی کرده و تأثیرات آن‌ها را در سیستم‌های پویا بهتر درک کنیم. در این پژوهش، نمودار علّی و معلولی برای تحلیل روابط پیچیدهٔ میان ظرفیت انتقال آب، هزینه‌ها، منابع انرژی و توسعهٔ اقتصادی استفاده می‌شود. این نمودار نشان‌دهندهٔ روابط تأثیرگذار میان این متغیرهاست و به‌ویژه می‌تواند در شبیه‌سازی تأثیرات قیمت‌های آب و انرژی، بهره‌وری منابع و رقابت‌پذیری صادرات کمک کند. از طریق نمودار علّی و معلولی، می‌توان حلقه‌های بازخورد مثبت و منفی را شبیه‌سازی کرد؛ به‌طور مثال، افزایش ظرفیت انتقال آب می‌تواند به بهره‌وری بیشتر در بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن منجر شود و این به نوبهٔ خود رشد اقتصادی

و افزایش صادرات را تقویت کند. با این‌حال، چالش‌هایی هم‌چون هزینه‌های بالا و اثرگذاری بر محیط‌زیست می‌تواند موجب حلقه‌های بازخورد منفی شود که تأثیرات منفی بر رقابت‌پذیری و توسعهٔ پایدار خواهد داشت.

در ادامه، نمودار (۱) به‌عنوان نمودار علّی و معلولی، روابط موجود در سیستم انتقال آب و چالش‌های مرتبط با آن را به‌طور شفاف‌تر نمایش می‌دهد و به تحلیل‌گران این امکان را می‌دهد که نتایج بلندمدت این پروژه‌ها را در برابر تغییرات مختلف پیش‌بینی کنند.



نمودار ۱: نمودار علّی و معلولی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 1: Causal Loop Diagram (Research Findings).

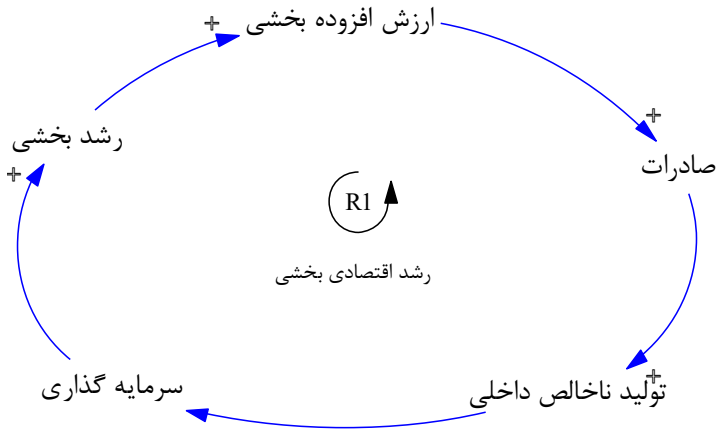
٤-۲-۱. حلقه‌های بازخوردی مدل

در روش سیستم‌های پویا، بازخورد نقش اساسی در تحلیل رفتار سیستم‌ها دارد. حلقه‌های بازخورد، شامل حلقه‌های مثبت (تقویت‌کننده) و منفی (متعادل‌کننده)، ابزاری برای درک تعاملات پیچیده در سیستم‌ها هستند. حلقه‌های مثبت با تقویت تغییرات، می‌توانند به افزایش یا کاهش بیشتر یک متغیر منجر شوند، درحالی‌که حلقه‌های منفی با ایجاد تعادل، از تغییرات شدید جلوگیری می‌کنند. ترکیب این دو نوع حلقه، الگوهای پویایی متنوعی را در سیستم‌ها ایجاد می‌کند (ایرانمنش و همکاران، ۱۴۰۰). در این پژوهش، این مفاهیم برای تحلیل اثرات اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران به‌کار گرفته شده تا تعاملات بین متغیرهای اقتصادی و منابع آبی بهتر درک شود.

حلقه‌های بازخوردی در نمودارهای زیر به صورت مجزا شرح داده شده‌اند.

حلقهٔ تقویتی R1 در نمودار (۲)، نشان‌دهندهٔ ارتباطات درون‌زای زیرسیستم اقتصادی است. این حلقه نشان می‌دهد که با افزایش ارزش‌افزوده در هر یک از بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن، رشد صادرات این محصولات افزایش می‌یابد. این امر به نوبهٔ خود باعث رشد تولید ناخالص داخلی می‌شود که منجر به افزایش سرمایه‌گذاری و

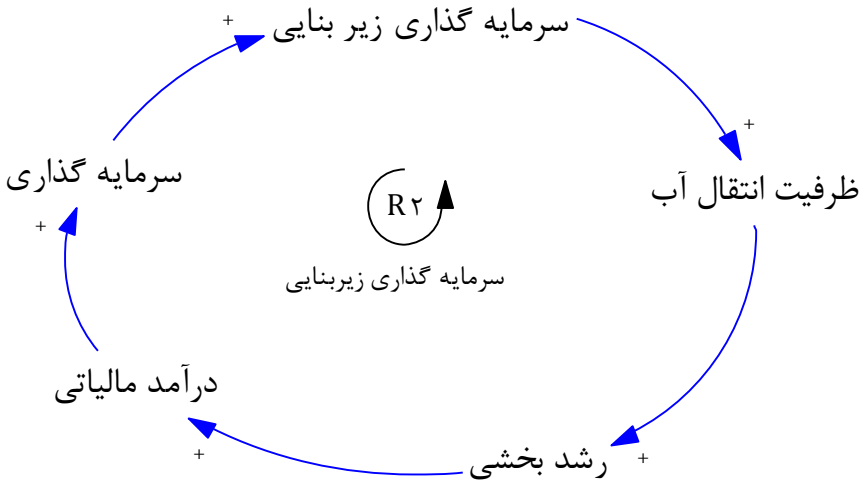
تقویت بیشتر رشد اقتصادی در این بخش‌ها می‌گردد؛ درنهایت، این تقویت‌ها منجر به ارتقای ارزش‌افزودهٔ بیشتر در هر یک از بخش‌ها می‌شود، و این فرآیند به‌طور مداوم تکرار و تقویت می‌شود.



نمودار ۲: حلقهٔ تقویتی رشد اقتصادی بخشی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 2: Reinforcing Loop of Sectoral Economic Growth (Research Findings).

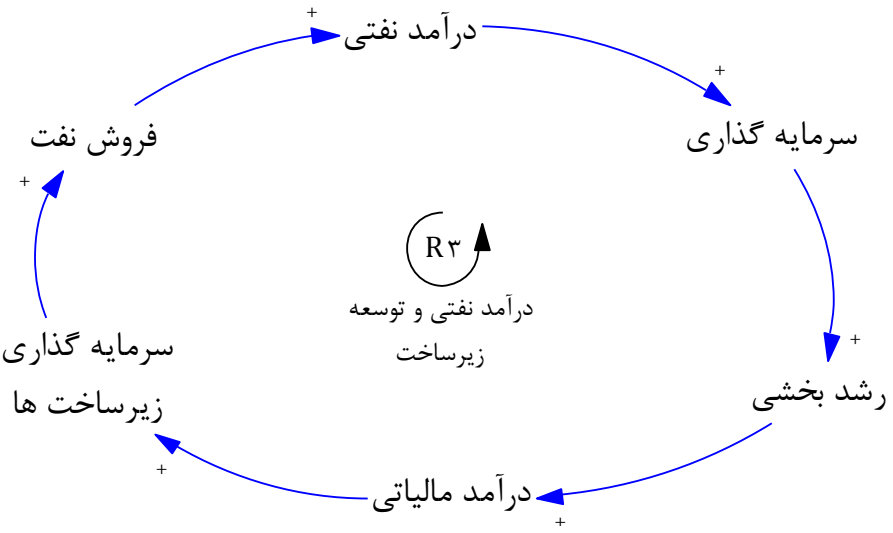
حلقهٔ تقویتی R2 در نمودار (۳)، به نقش سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس پرداخته و نشان می‌دهد که چگونه رشد هر یک از بخش‌های مدل (کشاورزی، صنعت و معدن) به‌واسطهٔ دسترسی به منابع آبی، باعث افزایش درآمدهای مالیاتی می‌شود. این افزایش درآمد مالیاتی موجب تقویت سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مرتبط با انتقال آب می‌گردد. به این‌ترتیب، این حلقه به‌عنوان رابطی بین زیرسیستم اقتصادی و زیرسیستم انتقال آب عمل کرده و به تقویت بیشتر این دو بخش کمک می‌کند.



نمودار ۳: حلقهٔ تقویتی سرمایه‌گذاری زیربنایی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 3: Reinforcing Loop of Infrastructure Investment (Research Findings).

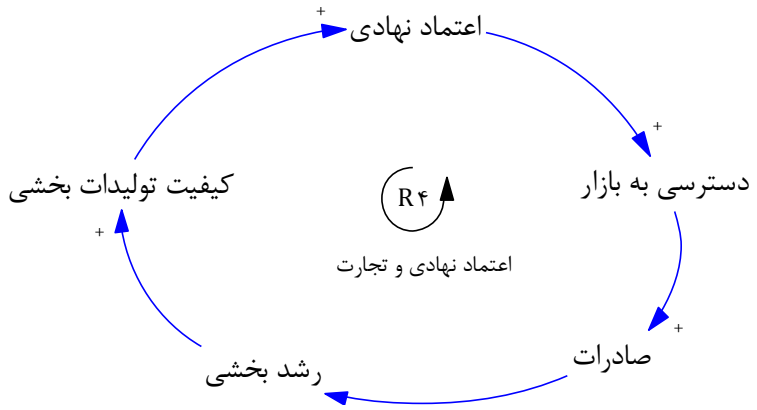
حلقهٔ تقویتی R3 در نمودار (۴)، به نقش درآمدهای نفتی و درآمدهای مالیاتی در توسعهٔ زیرساخت‌ها و افزایش سرمایه‌گذاری‌های زیربنایی پرداخته است. افزایش درآمدهای نفتی و مالیاتی موجب تقویت سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها می‌شود که درنتیجه، به بهبود شرایط اقتصادی و افزایش تولید ناخالص داخلی کمک می‌کند. این فرآیند منجر به رشد بیشتر در سایر بخش‌های اقتصادی و تقویت منابع مالی برای سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در آینده خواهد شد. این حلقهٔ ارتباط میان زیرسیستم مالی و زیرسیستم اقتصادی را مشخص می‌کند و به‌طور مداوم رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری را تقویت می‌نماید.



نمودار ٤: حلقهٔ تقویتی درآمد نفتی و توسعه زیرساخت (یافته‌های پژوهش).

Graph. 4: Reinforcing Loop of Oil Revenue and Infrastructure Development (Research Findings).

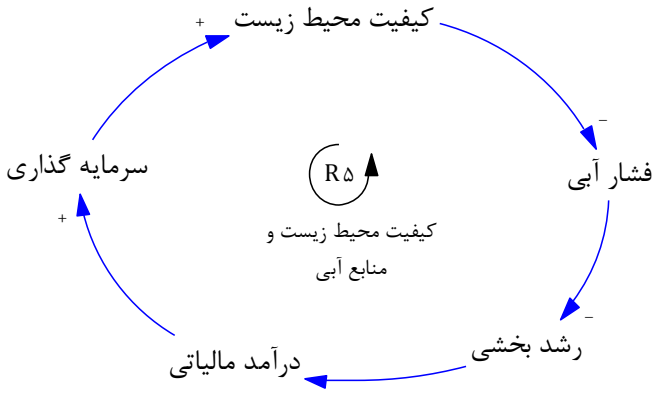
حلقهٔ تقویتی R4 در نمودار (۵)، به نقش اعتماد نهادی در رشد صادرات و دسترسی به بازارهای جدید پرداخته است. افزایش اعتماد به نهادهای اقتصادی و قانونی می‌تواند به بهبود محیط کسب‌وکار و شرایط صادرات کمک کند. این اعتماد، با افزایش رقابت‌پذیری محصولات صادراتی، موجب دسترسی بهتر به بازارهای جدید می‌شود. درنتیجه، افزایش صادرات باعث تقویت تولید داخلی و رشد اقتصادی می‌شود و این فرآیند باعث تقویت بیشتر اعتماد به نهادهای اقتصادی خواهد شد. درنهایت، این حلقهٔ تقویتی به‌طور مداوم باعث افزایش ظرفیت صادرات و بهبود دسترسی به بازارهای جهانی می‌شود.



نمودار ۵: حلقهٔ تقویتی اعتماد نهادی و تجارت (یافته‌های پژوهش).

Graph. 5: Reinforcing Loop of Institutional Trust and Trade (Research Findings).

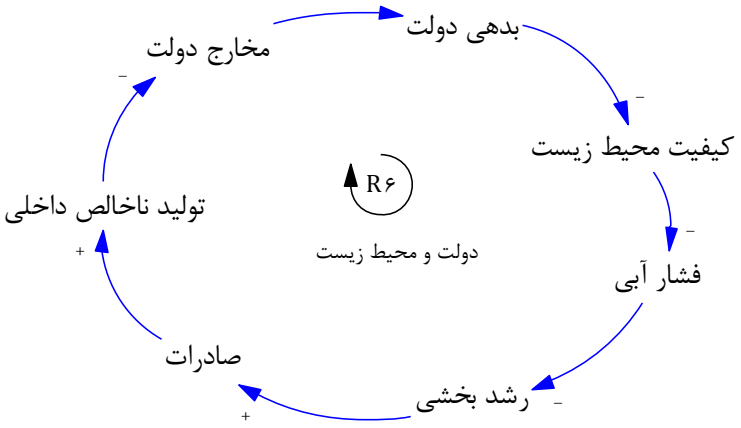
حلقهٔ R5 در نمودار (۶)، ارتباط تقویتی میان زیرسیستم‌های مالی، اقتصادی، انتقال آب و محیط‌زیست را نشان می‌دهد. رشد بخش‌های مختلف اقتصادی ازطریق سرمایه‌گذاری‌های حاصل از درآمدهای مالیاتی و نفتی، منجر به بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی می‌شود. این سرمایه‌گذاری‌ها به تقویت زیرساخت‌های زیست‌محیطی و بهره‌برداری پایدار از منابع آبی کمک کرده و درنتیجه، موجب رشد پایدار اقتصادی و حفظ محیط‌زیست می‌شود.



نمودار ٦: حلقهٔ تقویتی کیفیت محیط‌زیست و منابع آبی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 6: Reinforcing Loop of Environmental Quality and Water Resources (Research Findings).

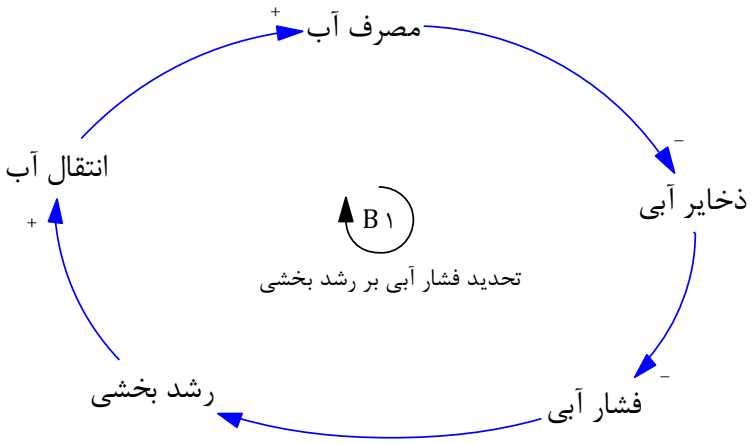
حلقهٔ R6 در نمودار (۷)، یک حلقهٔ شوم را نشان می‌دهد که ارتباط میان زیرسیستم‌های مالی، اقتصادی، انتقال آب و محیط‌زیست را به‌طور منفی نشان می‌دهد. افزایش بدهی‌های دولت و کسری بودجه می‌تواند برنامه‌های دولت برای اجرای طرح‌های محیط‌زیست را تحت‌الشعاع قرار دهد. یکی از نتایج مهم این فرآیند، افزایش تنش‌های آبی در شرایط زیست‌محیطی است که منجر به کاهش توان تولید و درآمدزایی در بخش‌های مختلف می‌شود. این امر باعث کاهش درآمدهای دولت از این بخش‌ها می‌شود و درنتیجه، کسری بودجه و مشکلات مالی تکرار خواهند شد. درنهایت، این حلقهٔ شوم به ایجاد یک سیکل معیوب منجر می‌شود که تأثیرات منفی آن بر روی اقتصاد و محیط‌زیست ادامه خواهد داشت.



نمودار ۷: حلقهٔ تقویتی دولت و محیط‌زیست (یافته‌های پژوهش).

Graph. 7: Reinforcing Loop of Government and Environment (Research Findings).

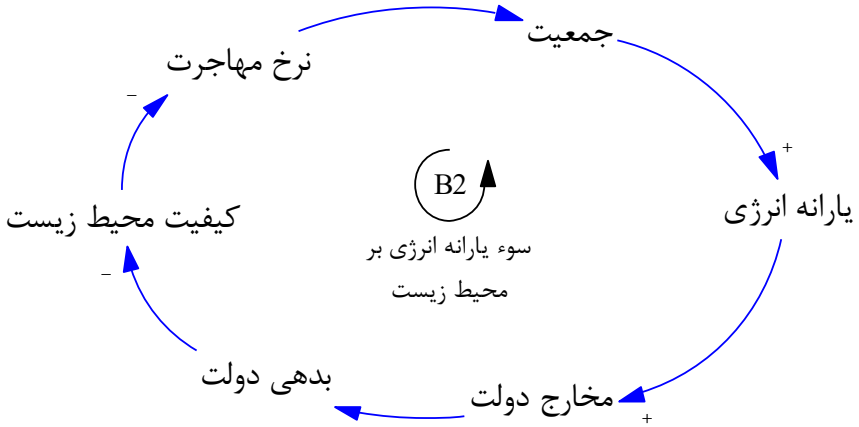
حلقهٔB1 در نمودار (۸)، به‌عنوان یک حلقهٔ تعادلی بین زیرسیستم‌های انتقال و اقتصادی عمل می‌کند. با افزایش مصرف آب توسط بخش‌های اقتصادی، بحران و تنش‌های آبی تشدید می‌شود. این وضعیت بحرانی موجب افزایش نیاز به انتقال آب به‌منظور مواجهه با بحران و رسیدن به تعادل در منابع آبی می‌شود. درنتیجه، این حلقه سعی‌می‌کند تا وضعیت بحرانی را به تعادل برساند و منابع آبی را به‌طور پایدار در اختیار بخش‌های مختلف اقتصادی قرار دهد.



نمودار ۸: حلقه تعادلی تنش آبی و رشد بخشی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 8: Balancing Loop of Water Stress and Sectoral Growth (Research Findings).

حلقهٔ B2 در نمودار (۹) بر نقش تعادلی بین زیرسیستم‌های جمعیت، محیط‌زیست و مالی تأکید دارد. یکی از پیامدهای آب خیزی در مناطق، سوق جمعیت به آن منطقه می‌باشد. ولی افزایش جمعیت دولت‌ها را در تأمین شرایط مالی منطقه با مشکل روبرو می‌کند. به خصوص در کشور ما که یارانه‌های انرژی به‌عنوان یک عامل مؤثر ضمن افزایش مخارج دولت و تراز کسری بودجه‌ای، وضعیت طرح‌های محیط‌زیستی را در اولویت‌های بعدی قرار می‌دهد. چنین شرایطی به مرور زمان، میزان مهاجرت از آن منطقه را افزایش خواهد داد و بخش‌ها با مشکلات عدیده من‌جمله از ناحیهٔ انسانی روبه‌رو خواهند شد.



نمودار ۹: حلقهٔ تعادلی یارانهٔ انرژی و محیط‌زیست (یافته‌های پژوهش).

Graph. 9: Balancing Loop of Energy Subsidy and Environment (Research Findings).

٤-۳. زیرسیستم‌ها و معادلات اصلی مدل پویا

معادلات مدل پویای طراحی‌شده با نرم‌افزار ونسیم در جدول (۲) ارائه شده است. مدل، شامل پنج زیرسیستم (جمعیت، انتقال آب، اقتصادی، مالی و محیط‌زیست) است که تعاملات پیچیده بین متغیرهای کلیدی را شبیه‌سازی می‌کند. معادلات برگرفته از فایل مدل شبیه‌سازی شده، داده‌های جمع آوری شده و اصول پویایی سیستم‌ها است.

جدول ۲: زیرسیستم‌ها و معادلات اصلی مدل پویا (یافته‌های پژوهش).

Table 2: Subsystems and Main Equations of the Dynamic Model (Research Findings).

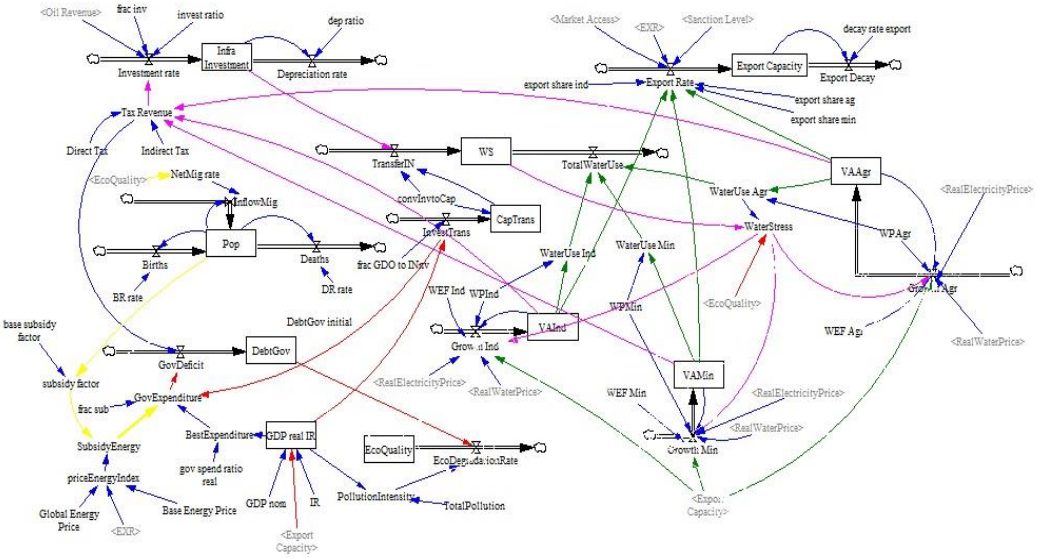
زیرسیستم	متغیر	معادلهٔ اصلی
جمعیت	جمعیت کل	INTEG (Births - Deaths + InflowMig, InitialPop)
	نرخ تولد	Pop * BR rate
	نرخ مرگ	Pop * DR rate
	نرخ مهاجرت	Pop * NetMig rate
انتقال آب	ظرفیت انتقال	INTEG (Investment rate * convInvtoCap - Depreciation rate, InitialCapTrans)
	انتقال آب	CapTrans * TransferEfficiency
	ذخیرهٔ آب	INTEG (TransferIN - (WaterUse Agr + WaterUse Ind + WaterUse Min), InitialWS)
	مصرف آب	VAAgr / WPAgr
اقتصادی	ارزش‌افزودهٔ کشاورزی	INTEG (Growth Agr, InitialVAAgr)
	نرخ رشد کشاورزی	2e-006 * Export Capacity * frac sec + VAAgr * base gr ag * Max(1 - WEF Agr * WaterStress, 0.1) * ModifierAgr - percent of water price variation * RealWaterPrice / 100 - percent of elec price variation * (RealElectricityPrice * (WEF Agr / WPAgr * 0.001))
	ارزش‌افزودهٔ صنعت	INTEG (Growth Ind, InitialVAInd)
	نرخ رشد صنعت	(2e-006 * Export Capacity * frac sec + base gr ind * VAInd * Max(1 - (WEF Ind * WaterStress), 0.1) * ModifierInd - percent of water price variation * frac sec * ModifierInd * RealWaterPrice) - percent of elec price variation * (RealElectricityPrice / (0.1 * WPInd * WEF Ind))

	ارزش‌افزودهٔ معدن	INTEG (Growth Min, InitialVAMin)
	نرخ رشد معدن	(2e-006 * Export Capacity * frac sec + VAMin * base gr min * Max(1 - WEF Min * WaterStress, 0.1) * ModifierMin - percent of water price variation * ModifierMin * (1 / WEF Min - 2.65) * RealWaterPrice) - percent of elec price variation * (RealElectricityPrice / (0.2 * frac sec * WEF Min * WPMin))
	ظرفیت صادرات	INTEG (Export Rate - Export Decay, InitialExportCapacity)
	نرخ صادرات	(VAAgr * export share ag + VAInd * export share ind + VAMin * export share min) * EXR * Market Access * (1 - Sanction Level) * E frac
مالی	بدهی دولت	INTEG (GovDeficit, InitialDebtGov)
	کسری بودجه	GovExpenditure - (Tax Revenue + Oil Revenue)
	درآمد مالیاتی	GDP nom * (Direct Tax + Indirect Tax)
	درآمد نفتی	Oil Price * Oil Export Volume * EXR
محیط‌زیست	کیفیت محیط‌زیست	INTEG (- EcoDegradationRate, InitialEcoQuality)
	نرخ تخریب	PollutionIntensity * (VAAgr + VAInd + VAMin)
	تنش آبی	(WaterUse Agr + WaterUse Ind + WaterUse Min) / WS

٤-٤. نمودار انباشت-جریان

در این بخش، نمودار انباشت جریان که در نرم‌افزار ونسیم شبیه‌سازی شده است، روابط پیچیده بین متغیرهای کلیدی سیستم انتقال آب و اقتصاد ایران را نشان می‌دهد. این نمودار خروجی مدل‌سازی سیستم‌های پویا است که تأثیرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس را بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران تا افق ۱۴۲۵ مورد بررسی قرار می‌دهد.

در نرم‌افزار ونسیم، مدل‌سازی پویای سیستم به‌طور دقیق شبیه‌سازی می‌شود و نمودار (۱۰) نمایانگر تغییرات در انباشت‌ها (مثل: ذخیرهٔ آب و تولید اقتصادی) و جریان‌ها (مانند: مصرف انرژی، انتقال آب و رشد اقتصادی) براساس سیاست‌های مختلف است. خروجی‌های این مدل کمک می‌کند تا بتوان رفتار سیستم در سناریوهای مختلف قیمت‌گذاری و تخصیص منابع را پیش‌بینی و اثرات آن را به‌طور جامع ارزیابی کرد.



نمودار ۱۰: نمودار انباشت – جریان (یافته‌های پژوهش).

Graph. 10: Stock-Flow Diagram (Research Findings).

٤-٥. اعتبارسنجی مدل

قبل از تحلیل نتایج مدل و شبیه‌سازی‌های مختلف، اعتبار مدل از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. اعتبارسنجی مدل یکی از مراحل کلیدی در فرآیند مدل‌سازی است که به‌منظور اطمینان از دقت و قابلیت اعتماد نتایج آن انجام می‌شود. در این مرحله، صحت ساختار مدل، تطابق رفتار مدل با داده‌های تاریخی، سازگاری واحدهای مدل و پذیرش مفهومی آن توسط کارشناسان مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول (۳) به تفصیل انواع اعتبارسنجی‌های انجام‌شده مطابق با دسته‌بندی تعریف‌شده در ادبیات سیستم‌های پویا و نتایج آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳: اعتبار سنجی مدل (یافته‌های پژوهش).

Table 3: Model Validation (Research Findings).

تعریف علمی	نوع اعتبار	توضیح	وضعیت در مدل
بررسی تطابق ساختار مدل با واقعیت سیستم، شامل روابط علی، حلقه‌های بازخورد و مرزهای مدل	ساختاری[1]	با توجه به تعریف مرز بسته، شناسایی حلقه‌های علی و استفاده از ساختارهای استاندارد در زیرسیستم‌های تولید، آب، بودجه و محیط‌زیست، اعتبار ساختاری مدل توسط نرم‌افزار تأیید گردیده است.	برقرار
بررسی تطابق رفتار خروجی مدل با داده‌های تاریخی و روندهای واقعی	رفتاری[2]	با استفاده از داده‌های واقعی برای مقادیر اولیه و نرخ‌ها و تعریف رفتار نوسانی برای متغیرهایی مانند کیفیت محیط‌زیست، رفتار مدل با روندهای تاریخی سازگار ارزیابی می‌شود.	قابل قبول

[1] Structural Validity
[2] Behavioral Validity

بررسی سازگاری واحدها در معادلات و تطابق ابعاد ریاضی	بعدی[1]	واحد تمامی متغیرها به‌صورت دقیق تعریف شده و در معادلات رعایت شده‌اند؛ آزمون سازگاری واحد در نرم‌افزار قابل اجرا بوده و نتایج آن مثبت است.	برقرار
بررسی پذیرش مدل توسط خبرگان و ذی‌نفعان و منطق‌پذیری ساختار	مفهومی[2]	ساختار مدل منطبق با منطق اقتصاد ایران و منابع معتبر جهانی طراحی شده و قابلیت ارائه به خبرگان جهت تأیید نهایی را داراست.	قابل دفاع

۵. ارزیابی مدل و تحلیل نتایج

در این بخش، ابتدا به ارزیابی مدل پرداخته می‌شود تا اطمینان حاصل شود که مدل طراحی‌شده به‌درستی عملکرد سیستم را شبیه‌سازی می‌کند و نتایج آن قابل اعتماد است. پس از اطمینان از صحت مدل، نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بررسی و تحلیل می‌شود. این تحلیل‌ها به‌منظور ارزیابی تأثیر تغییرات در پارامترهای کلیدی مانند قیمت آب و انرژی و بررسی اثرات زیست‌محیطی بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های مختلف اقتصادی انجام می‌گیرند. درنهایت، این بخش به تحلیل جامع نتایج مدل و ارزیابی پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌های انتقال آب می‌پردازد.

۵-۱. آزمون‌های مدل

در این بخش، آزمون‌های مدل برای ارزیابی دقت و صحت مدل انجام شده است. ضرورت این آزمون‌ها به این‌دلیل است که قبل از تحلیل‌های اصلی، باید اطمینان حاصل کرد که مدل به‌طور صحیح رفتار سیستم را شبیه‌سازی می‌کند و نتایج آن قابل‌اعتماد هستند. برای این‌منظور، آزمون‌های زیر انجام و نتایج آن‌ها بیان شده است.

۵-۱-۱. آزمون حساسیت[3]

آزمون حساسیت به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات در پارامترهای ورودی مدل بر خروجی‌های مدل انجام شد. در این آزمون، تغییرات مختلف در پارامترهایی نظیر قیمت آب، قیمت انرژی و ظرفیت انتقال آب شبیه‌سازی شد تا میزان حساسیت مدل نسبت به این پارامترها ارزیابی گردد. نتایج آزمون حساسیت نشان‌داد که مدل به تغییرات در قیمت انرژی و قیمت آب، به‌ویژه در بخش‌های صنعت و کشاورزی حساس است. تغییرات در این پارامترها تأثیر قابل‌توجهی بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌های مختلف اقتصادی داشت. این آزمون کمک کرد تا پاسخ مدل به شرایط مختلف اقتصادی سنجیده شود و تصمیم‌گیری‌های بهینه‌تری در سیاست‌گذاری‌های قیمت‌گذاری صورت گیرد.

[1] Dimensional Consistency
[2] Face Validity
[3] Sensitivity Analysis

۵-۱-۲. آزمون تطبیق با داده‌های واقعی[1]

در این بخش، مدل با استفاده از داده‌های واقعی اقتصادی ایران کالیبره شد. داده‌های سری زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۳ برای پارامترهای اصلی به‌عنوان داده‌های مرجع استفاده گردید. هدف این آزمون تطبیق نتایج مدل با روندهای واقعی سیستم در طول زمان بود. پس از کالیبراسیون مدل، مشاهده شد که مدل به‌خوبی قادر است رفتار تاریخی پارامترهای اصلی را شبیه‌سازی کند. انحرافات مدل در مقایسه با داده‌های واقعی در حدود ۵٪ بود، که نشان‌دهندهٔ تطابق مناسب مدل با واقعیت‌های اقتصادی است.

۵-۱-۳. آزمون اعتبار واحد[2]

آزمون اعتبار واحد به‌منظور بررسی تطابق واحدهای مدل انجام شد. در این بخش، واحدهای متغیرها و معادلات ریاضی مدل بررسی و اطمینان حاصل شد که تمامی متغیرها به‌درستی تعریف‌شده‌اند و معادلات مدل در نرم‌افزار ونسیم سازگار با واحدها هستند. نتایج آزمون نشان‌داد که تمامی واحدهای مدل به‌طور دقیق تعریف شده‌اند و معادلات مدل در نرم‌افزار ونسیم به درستی پیاده‌سازی شده‌اند. هیچ خطای واحدی در مدل وجود نداشت و تمامی معادلات با واحدهای مربوطه هم‌خوانی دارند.

۵-۱-٤. آزمون اعتبار رفتاری[3]

آزمون اعتبار رفتاری بررسی کرد که آیا خروجی‌های مدل با روندهای واقعی سیستم هم‌خوانی دارند یا خیر. در این آزمون، خروجی‌های مدل با داده‌های تاریخی مقایسه شد تا رفتار مدل در برابر تغییرات تاریخی و سیستم‌های واقعی ارزیابی شود. نتایج آزمون اعتبار رفتاری نشان‌داد که مدل رفتار سیستم اقتصادی ایران را در زمینهٔ مصرف آب، صادرات و تولید ناخالص داخلی به‌طور دقیق شبیه‌سازی کرده است. تطابق رفتار مدل با داده‌های واقعی در سطح بالایی قرار داشت، به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی و صنعت. این امر نشان‌دهندهٔ توانایی مدل در پیش‌بینی تأثیرات تغییرات مختلف در سیاست‌های قیمت‌گذاری و تخصیص منابع است.

آزمون‌های مدل انجام‌شده نشان‌داد که مدل طراحی‌شده در این پژوهش از دقت بالا و قابلیت اعتماد برخوردار است. آزمون‌های حساسیت، تطبیق با داده‌های واقعی، اعتبار واحد و اعتبار رفتاری به‌طور کامل نشان‌دادند که مدل قادر است رفتار واقعی سیستم را شبیه‌سازی کرده و نتایج آن در شرایط مختلف قابل اتکا و معتبر است. این آزمون‌ها به تقویت اعتبار مدل و کمک به تصمیم‌گیری‌های سیاستی در زمینهٔ انتقال آب و مدیریت منابع آب و انرژی در افق ۱۴۲۵ کمک می‌کند.

---

[1] Calibration & Data Fitting
[2] Unit Testing
[3] Behavioral Validation

۵-۲. تحلیل رفتار مدل با شبیه‌سازی سناریوها

پروژه‌های انتقال آب در ایران به‌دلیل وابستگی شدید به سیاست‌های انرژی، تأثیر قابل‌توجهی بر هزینهٔ تمام‌شده آب و به‌تبع آن بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌های مختلف اقتصادی دارند و از آنجا که این پروژه همراه با آثار زیست‌محیطی است، مدل پویا به‌گونه‌ای طراحی شده است که بتوان سه سناریوی افزایش ۵۰٪ قیمت آب، افزایش ۱۰۰٪ قیمت آب و واقعی شدن قیمت برق (حذف یارانه پرداختی به بخش برق) را با و بدون آثار زیست‌محیطی مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد؛ بنابراین در سناریوهایی که بدون آثار زیست‌محیطی هستند اثر تغییر قیمت آب و برق بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن مورد بررسی قرار گرفت و برای مشاهدهٔ آثار زیست‌محیطی مدل پژوهش با زیرسیستم و حلقه‌های علّی و معلولی جدید برآورد شد و نتایج آن با مدل برآوردی بدون آثار زیست‌محیطی مقایسه گردید. همان‌طورکه انتظار می‌رفت درنظر گرفتن آثار زیست‌محیطی ازنظر خروجی‌های مدل نشان‌داد که بایستی در سیاست‌گذاری‌های انرژی، موردتوجه جدی قرار گیرد.

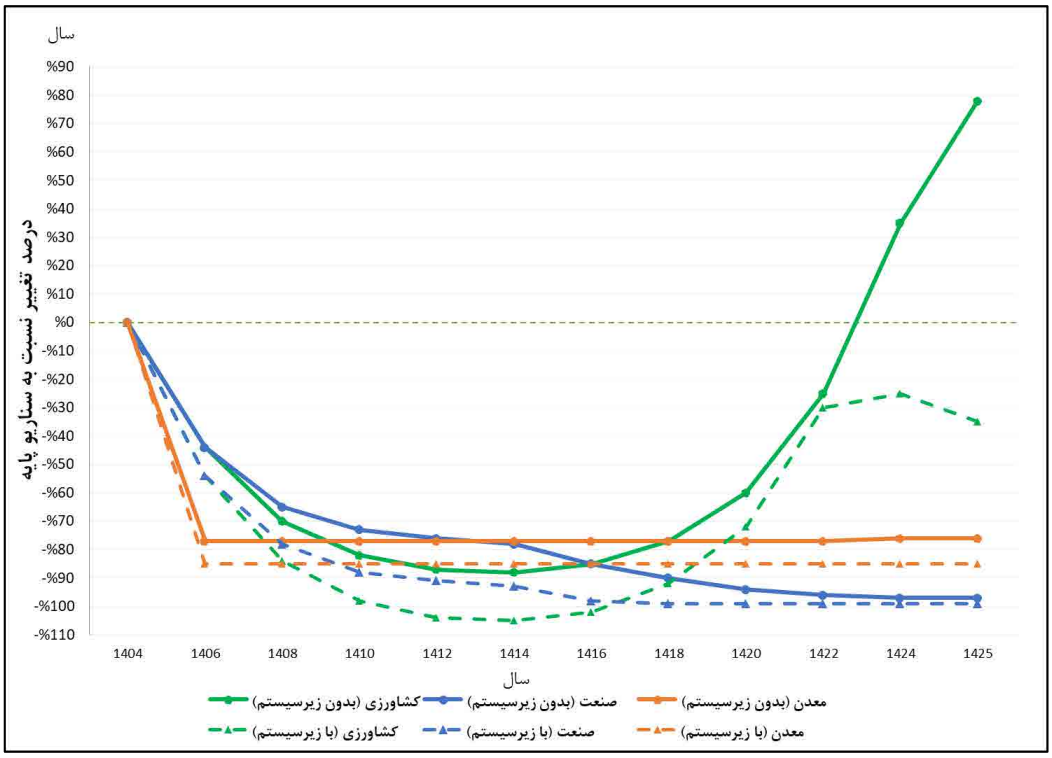
در این بخش، نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف با توجه به سیاست‌ها و اهداف اسناد بالادستی کشور مانند سند چشم‌انداز ۱۴۲۵ و برنامه‌های توسعهٔ اقتصادی مورد تحلیل قرار گرفته است. این اسناد، به‌ویژه در حوزهٔ مدیریت منابع آب و انرژی، مبنای تصمیم‌گیری‌های کلیدی برای طرح‌های بلندمدت ازجمله پروژه‌های انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان هستند. هم‌چنین، سیاست‌های اصلاح یارانه‌های آب و انرژی که در برنامهٔ ششم و هفتم توسعه و اسناد ملی منابع آب و انرژی مطرح شده‌اند، نقش مهمی در شکل‌دهی این سناریوها داشته است؛ بنابراین، تحلیل سناریوها با درنظر گرفتن اهداف این اسناد به‌منظور ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی در راستای تحقق اهداف توسعهٔ کشور انجام می‌شود. این رویکرد به اطمینان از هم‌راستایی مدل با برنامه‌های ملی و استراتژیک کمک می‌کند و امکان پیش‌بینی دقیق‌تر پیامدهای بلندمدت را فراهم می‌سازد.

۵-۲-۱. سناریوی اول: افزایش ۵۰٪ قیمت آب بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی

نتایج خروجی مدل سیستم پویا برای این سناریو نشان‌داد که اثرات این سیاست بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن هم‌چنان تحت‌تأثیر قابل‌توجه زیرسیستم محیط‌زیست قرار می‌گیرد. نمودار (۱۱)، کاهش ارزش‌افزوده در سال ۱۴۲۵ را بدون و با لحاظ اثرات زیست‌محیطی نمایش می‌دهد که میانگین کاهش از ۶۴٪ (بدون محیط‌زیست) به ۷۳٪ (با محیط‌زیست) افزایش‌یافته و تشدید میانگین ۹٪ را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که حتی در سناریوی افزایش متوسط قیمت، عدم توجه به اثرات زیست‌محیطی، ازجمله کاهش کیفیت آب، افزایش تنش آبی و آلودگی ناشی از مصرف منابع، اثرات مخرب را تشدید می‌کند.

در بخش کشاورزی، کاهش ارزش‌افزوده بدون اثرات زیست‌محیطی ۲۰٪ بود که نشان‌دهندهٔ ظرفیت نسبی برای بازیابی ازطریق تعدیل الگوهای کشت یا بهره‌وری بالاتر است. با درنظر گرفتن زیرسیستم محیط‌زیست، این کاهش به ۳۵٪ رسید (تشدید ۱۵٪) که به‌دلیل تنش آبی و کاهش کیفیت آب، آسیب بیشتری به این بخش وارد کرده و پتانسیل بازیابی را محدود می‌سازد. بخش صنعت با کاهش ۹۷٪ بدون محیط‌زیست مواجه شد، اما با افزودن اثرات زیست‌محیطی، این مقدار به ۹۹٪ افزایش یافت (تشدید ۲٪) که ناشی از آلودگی آب و هزینه‌های پنهان کیفیت پایین است و این بخش را به مرز فروپاشی کامل نزدیک کرده است. در بخش معدن، کاهش بدون

محیط‌زیست ۷۶٪ بود که با محیط‌زیست به ۸۵٪ رسید (تشدید ۹٪) که به‌دلیل آلودگی آب و کاهش دسترسی به منابع پاک رخ‌داده و آسیب‌های قابل‌توجهی ایجاد کرده است.



نمودار ۱۱: تحلیل حساسیت ۵۰٪ قیمت آب بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی (یافته‌های پژوهش).

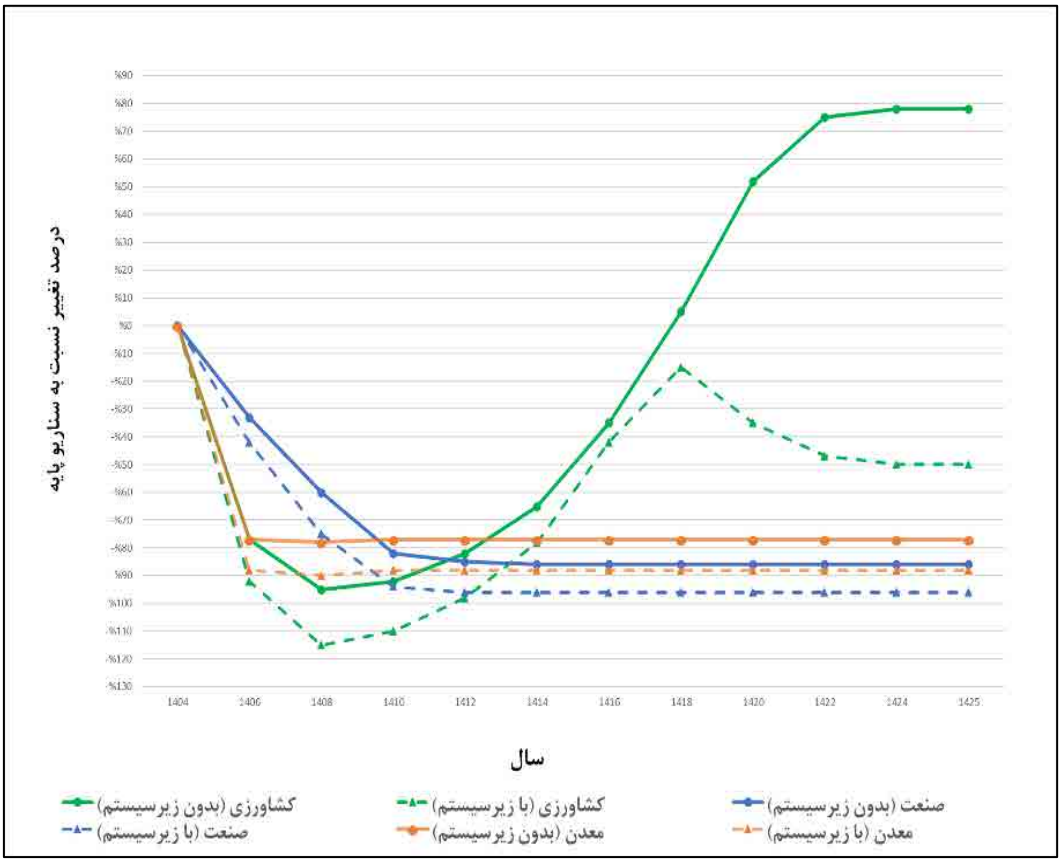
Graph. 11: Sensitivity Analysis of 50% Water Price Increase on Value-Added in Economic Sectors (Research Findings).

۵-۲-۲. سناریوی دوم: اثر افزایش ۱۰۰٪ قیمت آب بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی

نتایج خروجی مدل سیستم پویا برای این سناریو نشان‌داد که اثرات این سیاست بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر درنظر گرفتن زیرسیستم محیط‌زیست قرار می‌گیرد. نمودار (۱۲)، کاهش ارزش‌افزوده در سال ۱۴۲۵ را بدون و با لحاظ اثرات زیست‌محیطی نمایش می‌دهد که میانگین کاهش از ۶۲٪ (بدون محیط‌زیست) به ۷۸٪ (با محیط‌زیست) افزایش یافته و تشدید میانگین ۱۶٪ را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که عدم توجه به اثرات زیست‌محیطی، ازجمله کاهش کیفیت آب، افزایش تنش آبی و آلودگی ناشی از مصرف منابع، اثرات مخرب سیاست افزایش قیمت را به‌طور چشمگیری تشدید می‌کند.

در بخش کشاورزی، کاهش ارزش‌افزوده بدون اثرات زیست‌محیطی ۲۲٪ بود که نشان‌دهندهٔ ظرفیت نسبی برای تعدیل الگوهای کشت است. با درنظر گرفتن زیرسیستم محیط‌زیست، این کاهش به ۵۰٪ رسید (تشدید ۲۸٪) که به‌دلیل تنش آبی شدید و کاهش کیفیت آب، ظرفیت بازیابی این بخش را از بین برده و به کاهش تولید پایدار منجر می‌شود. بخش صنعت با کاهش ۸۶٪ بدون محیط‌زیست مواجه شد، اما با افزودن اثرات زیست‌محیطی، این مقدار به ۹۶٪ افزایش یافت (تشدید ۱۰٪) که ناشی از آلودگی آب و هزینه‌های پنهان کیفیت پایین است و این

بخش را به آستانهٔ فروپاشی نزدیک کرده است. در بخش معدن، کاهش بدون محیطزیست ۷۷٪ بود که با محیطزیست به ۸۸٪ رسید (تشدید ۱۱٪) که به‌دلیل آلودگی آب و کاهش دسترسی به منابع پاک رخداده و آسیب‌های قابل‌توجهی ایجاد کرده است.



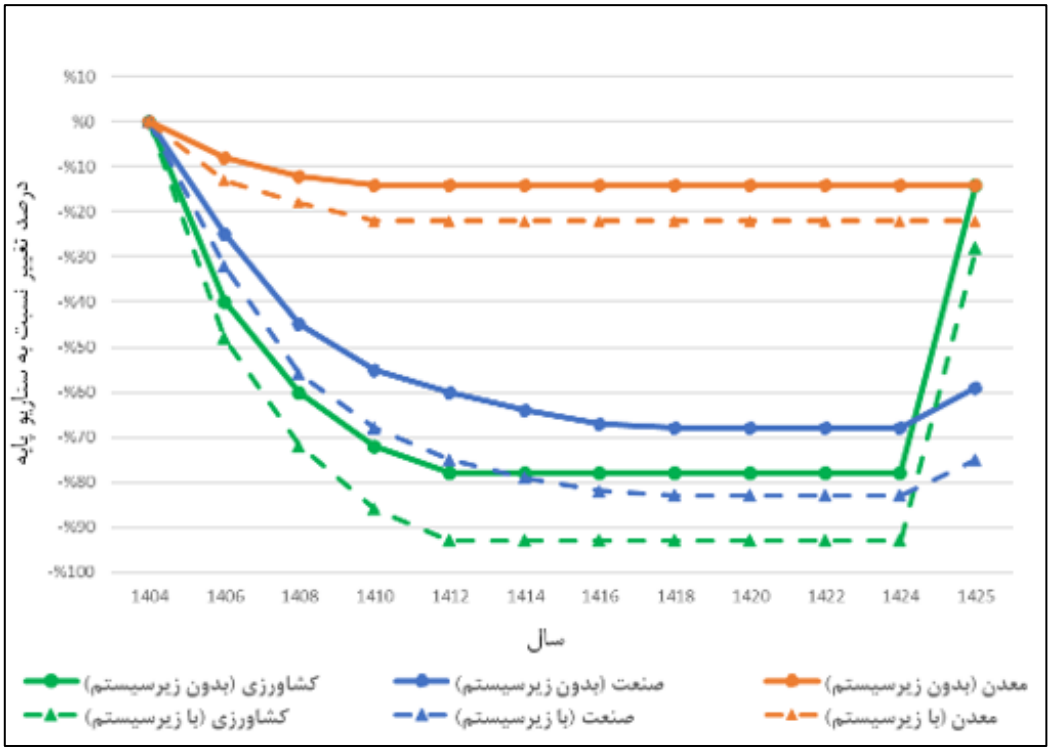
نمودار ۱۲: تحلیل حساسیت ۱۰۰٪ قیمت آب بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 12: Sensitivity Analysis of 100% Water Price Increase on Value-Added in Economic Sectors (Research Findings).

۵-۲-۳. سناریوی سوم: اثر واقعی شدن قیمت برق (حذف یارانه پنهان) بر ارزش‌افزوده بخش‌های اقتصادی و صادرات

نتایج خروجی مدل سیستم پویا برای این سناریو نشان‌داد که اثرات این سیاست بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر درنظر گرفتن زیرسیستم محیطزیست قرار می‌گیرد. نمودار (۱۳)، کاهش ارزش‌افزوده در سال ۱۴۲۵ را بدون و با لحاظ اثرات زیست‌محیطی نمایش می‌دهد که میانگین کاهش از ۲۹٪ (بدون محیطزیست) به ۴۷٪ (با محیطزیست) افزایش‌یافته و تشدید میانگین ۱۸٪ را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که حتی در سناریوی نسبتاً ملایم حذف یارانهٔ پنهان، عدم توجه به اثرات زیست‌محیطی، ازجمله کاهش کیفیت آب، افزایش تنش آبی و آلودگی ناشی از مصرف منابع، اثرات مخرب را تشدید می‌کند.

در بخش کشاورزی، کاهش ارزش‌افزودهٔ بدون اثرات زیست‌محیطی ۱۴٪ بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر متوسط افزایش هزینه‌های انرژی است. با درنظر گرفتن زیرسیستم محیطزیست، این کاهش به ۳۵٪ رسید (تشدید ۲۱٪) که به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی نظیر تنش آبی و آلودگی، آسیب بیشتری به این بخش وارد کرده و پتانسیل بازیابی را محدود می‌سازد. بخش صنعت با کاهش ۵۹٪ بدون محیطزیست مواجه شد، اما با افزودن اثرات زیست‌محیطی، این مقدار به ۷۸٪ افزایش یافت (تشدید ۱۹٪) که ناشی از آلودگی و هزینه‌های پنهان کیفیت پایین منابع است و این بخش را به وضعیت بحرانی نزدیک کرده است. در بخش معدن، کاهش بدون محیطزیست ۱۴٪ بود که با محیطزیست به ۲۸٪ رسید (تشدید ۱۴٪) که به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی مانند آلودگی و کاهش دسترسی به منابع پاک رخداده، اما مقاومت نسبی بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها نشان می‌دهد.

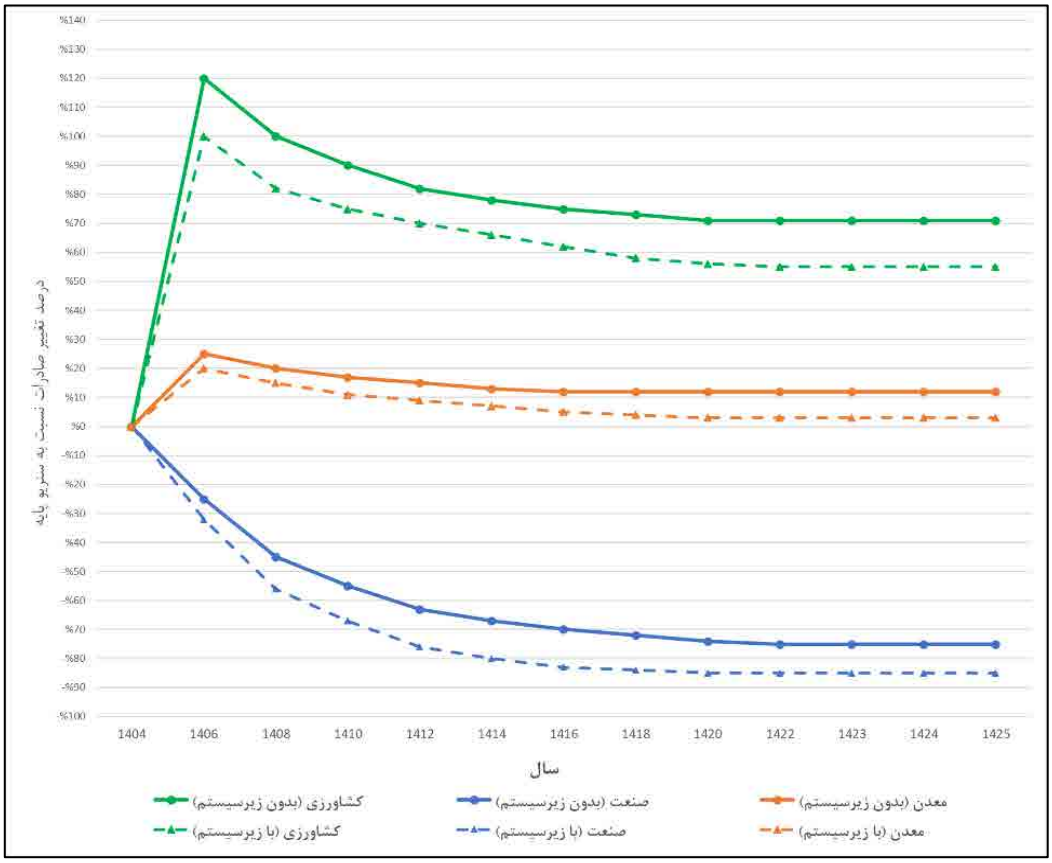


نمودار ۱۳: تحلیل حساسیت واقعی شدن قیمت برق بر ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی (یافته‌های پژوهش).

Graph. 13: Sensitivity Analysis of Realization of Electricity Price on Value-Added in Economic Sectors (Research Findings).

نتایج خروجی مدل سیستم پویا برای این سناریو نشان داد که اثرات این سیاست بر صادرات بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر درنظر گرفتن زیرسیستم محیطزیست قرار می‌گیرد. نمودار (۱۴)، تغییرات صادرات در سال ۱۴۲۵ را بدون و با لحاظ اثرات زیست‌محیطی نمایش می‌دهد که میانگین تغییر از +۲.۷٪ (بدون محیطزیست) به −۹٪ (با محیطزیست) کاهش‌یافته و تشدید میانگین −۱۱.۷٪ را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که حتی در سناریوی حذف یارانهٔ پنهان، عدم توجه به اثرات زیست‌محیطی، ازجمله کاهش کیفیت آب، افزایش تنش آبی و آلودگی ناشی از مصرف منابع، اثرات مخرب را تشدید می‌کند.

در بخش کشاورزی، تغییر صادرات بدون اثرات زیست‌محیطی +۷۱٪ بود که نشان‌دهندهٔ رشد قابل‌توجه ناشی از تعدیل‌های اقتصادی و مزیت‌های نسبی است. با درنظر گرفتن زیرسیستم محیطزیست، این افزایش به +۵۵٪ رسید (کاهش رشد ۱۶٪) که به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی نظیر تنش آبی و آلودگی، پتانسیل صادراتی این بخش را محدود می‌سازد. بخش صنعت با کاهش ۷۵٪ بدون محیطزیست مواجه شد، اما با افزودن اثرات زیست‌محیطی، این کاهش به ۸۵٪ افزایش یافت (تشدید ۱۰٪) که ناشی از آلودگی و هزینه‌های پنهان کیفیت پایین منابع است و این بخش را به وضعیت بحرانی نزدیک کرده است. در بخش معدن، تغییر بدون محیطزیست +۱۲٪ بود که با محیطزیست به +۳٪ رسید (کاهش رشد ۹٪) که به‌دلیل اثرات زیست‌محیطی مانند آلودگی و کاهش دسترسی به منابع پاک رخ‌داده، اما مقاومت نسبی بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها نشان می‌دهد.



نمودار ۱٤: روند و پیش‌بینی میزان صادرات بخش‌های مختلف (یافته‌های پژوهش).

Graph. 14: Trend and Forecast of Exports in Different Sectors (Research Findings).

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با این‌حال باوجود دقت و اعتبار بالای مدل طراحی‌شده، باید توجه‌داشت محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که باید درنظر گرفته شوند. یکی از این محدودیت‌ها، وابستگی مدل به داده‌های تاریخی و موجود است که ممکن است در برخی موارد به‌طور کامل بازتاب‌دهندهٔ تغییرات آینده نباشد؛ علاوه‌بر این، درنظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی به‌طور کامل در مدل ممکن است برخی جزئیات دقیق‌تر این اثرات را پوشش ندهد. هم‌چنین یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها مربوط به کمبود

داده‌های دقیق و جزئی درخصوص شرایط انتقال آب و مدیریت منابع آبی است که می‌تواند بر دقت نتایج اثرگذار باشد. این محدودیت‌ها باید در هنگام تفسیر نتایج و سیاست‌گذاری‌ها مدنظر قرار گیرند.

٦. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات اصلاح یارانه‌های آب و انرژی در پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس و دریای عمان بر صادرات و ارزش‌افزودهٔ بخش‌های اقتصادی ایران با افق بلندمدت ۱۴۲۵ (براساس برنامه‌های بلندمدت توسعهٔ کشور و اهداف چشم‌انداز ملی انتخاب گردیده) انجام شده است. یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف نشان‌داد که تغییرات قیمت آب و انرژی به‌عنوان نهاده‌های کلیدی تولید، آثار متمایزی بر ارزش‌افزوده و صادرات بخش‌های مختلف اقتصادی برجای می‌گذارد.

هم‌چنین به‌دلیل ویژگی‌های انتقال آب، آثار زیست‌محیطی نیز به‌عنوان یک عامل مؤثر موردتوجه قرار گرفت؛ بر این‌اساس، اثر افزایش قیمت آب و برق در سه سناریوی افزایش ۵۰٪ و ۱۰۰٪ قیمت آب و واقعی‌سازی قیمت برق بررسی شد. نتایج نشان‌داد که بخش کشاورزی به‌دلیل سهم بالای مصرف آب (حدود ۹۰٪ مصرف کل کشور) و ساختار اقتصاد ایران، نسبت به افزایش قیمت آب و اثرات زیست‌محیطی حساسیت بیشتری دارد؛ به‌طوری‌که تشدید کاهش ارزش‌افزوده در این بخش قابل‌توجه است. با این‌حال، بخش صنعت به‌دلیل وابستگی شدید به انرژی و مقیاس بالای تولید، کاهش مطلق بیشتری را تجربه کرده است. این آسیب‌پذیری در صنعت و معدن می‌تواند به اولویت پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس برای آب‌رسانی به این بخش‌ها (مانند: صنایع معدنی و سنگین) مرتبط باشد؛ زیرا اختلال در زنجیرهٔ تأمین آب انتقالی، اثرات زیست‌محیطی مانند آلودگی و تنش آبی را تشدید کرده و کاهش دسترسی به منابع پاک را به‌دنبال دارد.

یکی از یافته‌های مهم، افزایش صادرات بخش‌های کشاورزی و معدنی در سناریوی واقعی‌سازی قیمت انرژی باوجود کاهش ارزش‌افزودهٔ داخلی است، که بیانگر تغییر ساختاری به سمت فعالیت‌های کم‌آب‌بر و صادرات‌محور است. این امر نشان می‌دهد که افزایش هزینهٔ نهاده‌ها می‌تواند انگیزهٔ بهبود بهره‌وری و رقابت‌پذیری را تقویت کند. درمجموع، این یافته‌ها تأکید می‌کنند که پروژهٔ انتقال آب خلیج‌فارس، بدون مدیریت یکپارچه زیست‌محیطی، می‌تواند آثار مثبت خود مانند تأمین پایدار برای صنایع و تجارت خارجی را خنثی کند و مزیت‌های نسبی صادراتی را کاهش دهد؛ بنابراین، سیاست‌های مکمل شامل حمایت هدفمند از کشاورزی (برای کاهش حساسیت نسبی)، بهینه‌سازی مصرف انرژی و آب در صنایع (برای کاهش آسیب مطلق)، حفاظت از منابع انتقالی و نوآوری‌های تکنولوژیکی ضروری است تا پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی تضمین شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و علمی مرکز نوآوری، همکاری‌های علمی و دفتر تحقیقات کاربردی فرماندهی انتظامی جمهوری اسلامی ایران (فراجا) انجام شده است. نویسندگان بر خود واجب می‌دانند از همکاری‌ها، راهنمایی‌های تخصصی و پشتیبانی‌های این سازمان در تمامی مراحل تحقیق، صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند.

هم‌چنین نویسندگان از سردبیر و داوران فصلنامهٔ مطالعات اقتصادی کاربردی ایران به‌دلیل نظرات ارزشمندشان که باعث غنای علمی مقاله شده است، قدردانی می‌کنند.

مشارکت نویسندگان

این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول می‌باشد که تحت راهنمایی و مشاورهٔ نویسندهٔ دوم و سوم تدوین شده است.

تعارض منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

کتابنامه

- ایرانمنش، سعید؛ صالحی، نورالله؛ و جلایی، سید عبدالمجید، (۱۳۹۷). «بررسی اثر تحریم‌های خارجی بر تراز پرداخت‌های خارجی جمهوری اسلامی ایران: رویکرد سیستم‌های پویا». *فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۸ (۲): ۷۵-۱۰۶. https://doi.org/10.22034/ecoj.2021.11417

– تابش، علیرضا؛ ساعتی، محمد؛ صمدی، سحر؛ فرهادیان، محمد؛ و کیانی، غلامحسین، (۱۴۰۰). «ارزیابی اقتصادی پروژه ملی نمک‌زدایی و انتقال آب خلیج‌فارس به معادن جنوب شرق ایران با رویکرد تعادل عمومی قابل محاسبه». *نشریه سیاست‌گذاری اقتصادی*، ۱۳ (۲۵): ۱۴۳–۱۸۰. http://doi.org/10.22034/epj.2021.14676.2110

– تیموری یگانه، مریم، (۱۴۰۱). «مروری بر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان و تأثیر آن بر عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی». *فصلنامه آب و توسعه پایدار*، ۹ (۲): ۵۷–۶۸. https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2202.1121

– حکمت‌نیا، محمد؛ صفدری، مجید؛ و حسینی، سید محمد، (۱۳۹۸). «برآورد و ارزیابی ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در تجارت بین‌الملل محصولات کشاورزی ایران». *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴ (۲): ۴۴۶–۴۶۳. https://idj.iaid.ir/article_110733.html

– رضایی، رضا؛ تقی پور، حسن؛ و شاکر خطیبی، محمد، (۱۴۰۴). «مقایسه سناریوهای پرداخت یارانه انرژی از نظر پیامدهای بهداشتی و زیست محیطی: تأکید بر آلودگی هوا از طریق روش AHP». *مجله تصویر سلامت*، ۱۶(۲): ۱۲۲–۱۳۸. https://doi.org/10.34172/doh.2025.11

– صادقی، زین العابدین؛ حری، حمیدرضا؛ و صفی نتاج، مهلا، (۱۳۹۷). «مقایسه اقتصادی شیرین کردن آب خلیج فارس با استفاده از انرژی های نو و فسیلی». *اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ۲(۲): ۱۴۳–۱۷۱. https://doi.org/10.22054/eenr.2016.8410

– عرب‌پور، ریحانه؛ جلائی اسفندآبادی، عبدالمجید؛ و نجاتی، مهدی، (۱۴۰۳). «بررسی و پیش‌بینی تأثیر قیمت‌گذاری آب بر تغییرات ساختاری در ایران با رهیافت مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا». *فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد مقداری*، ۲۱ (۳): ۳۰–۵۴. https://doi.org/10.22055/jqe.2022.38973.2434

– علیپور نصیرمحله، فرشاد؛ میرعباسی نجف آبادی، رسول؛ و ترابی حقیقی، علی، (۱۴۰۳). «بررسی چالش‌های طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای». *فصلنامه آب و توسعه پایدار*، ۱۱(۳): ۲۷–۴۰. https://doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2410-1375

– فدایی تهرانی، محمد رضا؛ و ابارشی، مریم، (۱۴۰۳). «ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نمک‌زدایی در سه کشور پیشرو». *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۹(۱): ۷۱–۸۵. https://doi.org/10.22112/JWWSE.2023.394456.1362

References

- Alipour Nasirmahaleh, F., Mirabbasi Najafabadi, R. & Torabi Haghighi, A., (2024). "Investigating the Challenges of Inter-Basin Water Transfer Projects". *Water and Sustainable Development*, 11(3): 27-40. https://doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2410-1375 (In Persian).

- Arabpour, R., Jalaei Esfandabadi, A. & Nejati, M., (2024). "Investigating and Forecasting the Impact of Water Pricing on Structural Changes in Iran Using a Dynamic Computable General Equilibrium Model". *Quantitative Economics Quarterly*, 21(3): 30-54. https://doi.org/10.22055/jqe.2022.38973.2434(In Persian).

- Coulibaly, M., Lopez, J. C. & Smith, R., (2017). "Interbasin Water Transfers and the Size of Regions: An Economic Geography Model". *Journal of Urban Economics*, 102: 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jue.2016.11.003.

- Fadaei Tehrani, M. R. & Abarshi, M., (2024). "Technical, Economic and Environmental Assessment of Desalination in Three Leading Countries". *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 9(1): 71-85. https://doi.org/10.22112/JWWSE.2023.394456.1362(In Persian).

- Hekmatnia, M., Safdari, M. & Hosseini, S. M., (2019). "Estimation and Assessment of Green, Blue and Grey Water Footprints in Iran's International Trade of Agricultural Products". *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(2): 446-463. https://idj.iaid.ir/article_110733.html (In Persian).

- Iranmanesh, S., Salehi, N. & Jalaei, S. A., (2018). "Investigating the Effect of Foreign Sanctions on the Balance of Payments of the Islamic Republic of Iran: A System Dynamics Approach". *Applied Economic Theories,* 8(2): 75-106. https://doi.org/10.22034/ecoj.2021.11417 (In Persian).

- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V. & Kang, S.-M., (2019). "The State of Desalination and Brine Production: A Global Outlook". *Science of the Total Environment*, 657: 1343-1356. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.07.

- Krugman, P., (1990). "Rethinking International Trade". Cambridge, MA: MIT Press. https://mitpress.mit.edu/books/rethinking-international-trade.

- Liu, Y., Zhang, J., Wang, X. & et al., (2023). "Assessing Environmental, Economic, and Social Impacts of Inter-Basin Water Transfer Projects: A Case Study of the South-to-North Water Diversion Project in China". *Journal of Environmental Management*, Article 116745. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.116745.

- Melo Galindo, V. R. M., (2025). "Short-Term Economic Effects of the São Francisco Interbasin Water Transfer Project in Brazil". *Journal of Development and Sustainability Studies*, 10(2): 123-145. https://doi.org/10.1016/j.jdsci.2025.02.002.

- Rezaei, R., Taghipour, H. & Shaker Khatibi, M., (2025). "Comparison of Energy Subsidy Payment Scenarios in Terms of Health and Environmental Consequences: Emphasis on Air Pollution Using the AHP Method". *Journal of Health in Disasters*, 16(2): 122-138. https://doi.org/10.34172/doh.2025.11 (In Persian).

- Ricardo, D., (1817). "On the Principles of Political Economy and Taxation". London: John Murray. https://oll.libertyfund.org/title/ricardo-the-principles-of-political-economy-and-taxation.

- Sadeghi, Z., Hari, H. R. & Safi Nataj, M., (2017). "Economic Comparison of Persian Gulf Water Desalination Using Renewable and Fossil Energies". *Environmental Economics and Natural Resources*, 2(2): 143-171. https://doi.org/10.22054/eenr.2016.8410 (In Persian).

- Sarrakh, R., Renukappa, S., Suresh, S. & Mushatat, S., (2020). "Impact of Subsidy Reform on the Kingdom of Saudi Arabia's Economy and Carbon Emissions". *Energy Strategy Reviews*, 28: Article 100465. https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.10046.

- Sterman, J. D., (2000). "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". New York: McGraw-Hill. https://www.mit.edu/~jsterman/businessdynamics.html.

- Tabesh, A., Saati, M., Samadi, S., Farhadian, M. & Kiani, G. H., (2021). "Economic Evaluation of the National Persian Gulf Water Desalination and Transfer Project to the Mines of Southeast Iran Using a Computable General Equilibrium Approach". *Economic Policy Journal*, 13(25): 143-180. https://doi.org/10.22034/epj.2021.14676.2110 (In Persian).

- Teymouri Yeganeh, M., (2022). "A Review of Inter-Basin Water Transfer Projects in the World and Their Environmental, Economic and Social Impacts". *Water and Sustainable Development*, 9(2): 57-68. https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2202.1121 (In Persian).

- United Nations Environment Programme (UNEP), (2020). "Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People". Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

- Zhao, S., Wang, Y., Li, X. & Zhang, L., (2020). "System Dynamics Model for Evaluating Socio-Economic Impacts of Transboundary Water Resources Allocation in Xinjiang, China". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23): 9091. https://doi.org/10.3390/ijerph17239091.