

Assessing the Effects of Productivity and Pricing Policies on Water, Energy and Food Security in Iran: A Nexus Approach Based on a Computable General Equilibrium Model

Kaveh Gharehchorlouyaghdam¹ | Reza Ranjpour² | Hussein Panahi³ | Zahra Karimi Tekanloo⁴

1. Ph.D. Candidate, of Economics, University Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: kavehghch@tabrizu.ac.ir

2. Professor of Economics, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: reza.ranjpour@gmail.com

3. Professor of Economics, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran, E-mail: panahi@tabrizu.ac.ir

4. Professor of Economics, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: Z.karimi@tabrizu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history : Received:22April2026 Revised in revised form: 9 September 2026 Accepted:10September 2026 Published online: 2 October 2026 JEL: O10, Q11, Q56, Q57. Keywords : -Water-food- energy nexus Water security Food security Energy security CGE	Water, energy, and food (WEF) security constitute major macroeconomic and environmental challenges for Iran. Addressing these challenges within a sustainable development context requires a systemic nexus perspective that explicitly models cross-sectoral interdependencies. Accordingly, this study employs a WEF nexus framework to identify the inherent synergies and trade-offs that shape resource management across these sectors. Using a Computable General Equilibrium (CGE) model calibrated to Iran's Social Accounting Matrix (SAM), the research evaluates economy-wide effects of two contrasting policy strategies: productivity-enhancing measures and price-based policies, including subsidy removal and taxation. Simulations reveal that productivity-driven policies consistently generate macroeconomic dividends, improving aggregate social welfare and reinforcing security across all three WEF dimensions. These benefits are maximized when interventions are implemented as cohesive, prioritized policy packages. Specifically, enhancing energy productivity exerts the most robust positive impact compared to water or food interventions, while a bundled energy-food productivity scenario yields the highest overall efficiency gains. Conversely, relying exclusively on pricing instruments triggers widespread negative macroeconomic spillovers and diminishes public welfare. Within the price scenarios, escalating food prices precipitously degrade food security, and energy price hikes induce severe systemic shocks across the entire economic network. Interestingly, water price increases yield largely neutral systemic effects. Ultimately, the findings demonstrate that unilateral pricing policies create unsustainable socio-economic frictions. To mitigate these inherent trade-offs, policymakers must design hybrid strategies that structurally integrate price reforms with targeted productivity enhancements, thereby fostering positive nexus synergies and safeguarding Iran's sustainable development trajectory. Given the static nature of the model, the simulation results are applicable exclusively to short- and medium-term equilibrium adjustments.

Cite this article: Gharehchorlouyaghdam, K. , Ranjpour, R. , Panahi, H., Karimi Tekanloo, Z.. (2026). Assessing the Effects of Productivity and Pricing Policies on Water, Energy and Food Security in Iran: A Nexus Approach Based on a Computable General Equilibrium Model. *Stable Economy Journal*,7(3),109-147. DOI: 10.22111/sedj.2026.55223.1691



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/sedj.2026.55223.1691

Extended Abstract

Introduction

Water, energy, and food (WEF) security has increasingly been recognized as one of the most critical global challenges for sustainable development. Growing pressure on natural resources, driven by population growth, economic expansion, and climate change, has intensified the interdependence among these three strategic sectors. In response, the Water–Energy–Food (WEF) nexus has emerged as an integrated analytical and policy framework aimed at understanding and managing the complex interactions among these systems. The nexus perspective gained international prominence following the 2011 Bonn Conference and has since been closely associated with the United Nations’ Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDGs 2 (Zero Hunger), 6 (Clean Water and Sanitation), and 7 (Affordable and Clean Energy).

Theoretically, the nexus approach challenges conventional sectoral governance by emphasizing the systemic interlinkages among resource systems. Rather than treating water, energy, and food as independent policy domains, the framework conceptualizes them as mutually embedded and dynamically interacting subsystems within a broader socio-economic and environmental system. Policy interventions in one sector may generate significant spillover effects in the others, producing both synergies and trade-offs. Consequently, effective resource governance requires analytical tools capable of capturing cross-sectoral feedback and economy-wide impacts.

These considerations are particularly relevant in the case of Iran. The Iranian economy exhibits strong structural interdependencies among water, energy, and food systems. Agriculture accounts for the dominant share of water consumption, energy production remains heavily dependent on fossil fuels, and food security continues to be a strategic national priority. Under these conditions, fragmented policy-making and sector-specific planning can impose substantial cross-sectoral costs, distort resource allocation, and exacerbate environmental pressures. Policies designed to expand agricultural production, adjust energy pricing, or manage water scarcity inevitably influence the performance and sustainability of the other sectors. Ignoring these interactions may therefore lead to unintended consequences and inefficient policy outcomes.

This study develops an economy-wide quantitative framework to examine the interactions, synergies, and trade-offs within Iran’s water–energy–food nexus under its specific socio-economic and climatic conditions. The main contribution of this research lies in adopting a comprehensive analytical framework that captures inter-sectoral interactions beyond the scope of partial or purely biophysical models. To this end, the study employs a Computable General Equilibrium (CGE) model incorporating an advanced nested production structure. This framework enables the systematic evaluation of alternative policy scenarios—particularly productivity-enhancing measures and price-based interventions—and provides a consistent macroeconomic perspective on the implications of WEF interactions. The findings aim to offer policy-relevant insights for designing more coherent strategies in resource pricing, taxation, and investment planning to support sustainable economic development. The rest of this paper is organized as follows: Section 2 describes the methodology, Section 3 presents the main findings, and Section 4 offers concluding remarks.

Method

To quantitatively analyze the interdependencies within the water–energy–food (WEF) nexus, this study employs a Computable General Equilibrium (CGE) model. CGE models are particularly suitable for nexus analyses because they capture economy-wide interactions and trace how shocks in one sector propagate through production, consumption, and price mechanisms across the entire economic system. Rooted in the Walrasian general equilibrium framework developed by Arrow and Debreu, CGE models enable the simultaneous determination of prices and quantities in interconnected markets, thereby providing a consistent analytical framework for evaluating cross-sectoral policy impacts. The production side of the economy is represented through a hierarchical nested production structure. Firms combine primary factors and intermediate inputs to produce sectoral outputs, while substitution possibilities among inputs are modeled using Constant Elasticity of Substitution (CES) functions. Leontief specifications are employed in

parts of the nesting structure where inputs are used in fixed proportions. This nested structure captures substitution and complementarity relationships among key inputs related to water, energy, and food production, thereby representing the economic linkages and resource competition that characterize the WEF nexus.

The model is calibrated using a Social Accounting Matrix (SAM) constructed for the Iranian economy. The SAM was updated and balanced using a modified RAS updating procedure and compiled based on the most recent data from the Statistical Center of Iran and the Central Bank of Iran. The resulting SAM represents the structure of the Iranian economy for the year 1402 (2023–2024) and provides a consistent database describing production activities, institutional accounts, factor incomes, and inter-sectoral transactions. This dataset forms the empirical backbone of the CGE model ensuring internal consistency between national accounts, sectoral production, and income–expenditure flows.

Within this modeling framework, a set of policy simulations is designed to evaluate the economic implications of alternative resource-management strategies. In particular, the analysis focuses on two broad categories of scenarios: productivity-enhancing measures in sectors related to the WEF nexus, and price-based policy shocks such as adjustments to resource pricing and subsidy structures. These shocks are introduced exogenously into the model, and their effects are traced through sectoral production, factor allocation, and relative prices across the economy. This approach enables a systematic examination of potential synergies and trade-offs among water, energy, and food systems within Iran's broader macroeconomic structure.

Results

The CGE simulations reveal distinct macroeconomic and sectoral responses under the productivity and price-based scenarios, emphasizing the inherent trade-offs and interdependencies within the Water–Energy–Food (WEF) nexus. Productivity-enhancing scenarios consistently yielded superior welfare and resource-security outcomes relative to price-based interventions. A 10% improvement in energy productivity produced pronounced cross-sectoral spillovers, raising aggregate welfare by approximately 4.95% (as measured by EV and CV indicators). This efficiency led to downward price adjustments across all nexus components (energy –2.36%, water –0.68%, food –0.56%) and elevated household energy consumption by roughly 6.7%. Sectoral output reallocation was also observed: food production expanded by about 5%, while water and energy activities contracted moderately (–4.6% and –0.7%, respectively), resulting in an estimated 5% improvement in the composite WEF efficiency index. Similarly, isolated food productivity enhancements reduced food prices by about 3.5% and increased household welfare by over 4%, though a mild rebound effect slightly elevated total water demand. These interactions highlight the system-wide linkages captured by the model. The integrated three-sector productivity scenario (Water–Energy–Food) emerged as the most balanced configuration, maximizing economic efficiency and resource conservation while neutralizing rebound and income effects inherent in single-sector shocks.

The combined energy–food productivity scenario yielded the most substantial welfare gains, with the WEF welfare index rising by 8.3% and household food consumption increasing by 8.5%. Meanwhile, food sector activity expanded by 7.7% while energy prices declined by 2.51%, enabling household energy consumption to rise by 6.8%. These results confirm that synergistic productivity improvements across interconnected sectors generate welfare outcomes that substantially exceed single-sector interventions.”

Conversely, price-based policies, intended to reflect resource scarcity, generated severe contractionary effects. A 10% food price increase heavily impacted food security, driving a 6.9% decrease in overall welfare, a sharp 7.8% drop in household food consumption, and a notable 6.5% decline in domestic food sector output. Similarly, an energy price shock generated extensive spillover effects through cost-push channels, reducing real household income and curbing energy consumption by more than 12%, with secondary contractions in demand for water and food commodities. Notably, the water price shock (+10%) revealed critical structural limitations in single-sector pricing policies. Because

water constitutes a negligible share of intermediate production costs within the Social Accounting Matrix (SAM), the price signal failed to propagate through the economic supply chain. Consequently, total aggregate water demand and sectoral outputs remained virtually unresponsive. Rather than incentivizing systemic water conservation in production sectors, the shock merely penalized final consumers, resulting in a measurable decline in the composite WEF welfare index (-0.16%) and a negative Hicksian Equivalent Variation

(EV). This confirms that, under current structural conditions, isolated water pricing reduces welfare without achieving macro-level resource security.

In summary, the transmission mechanisms captured by the static CGE framework reveal a marked asymmetry between policy instruments. Price-based approaches—particularly in the energy and food domains—impose substantial welfare costs and propagate contractionary pressures, whereas integrated productivity-oriented strategies yield demonstrably superior outcomes in terms of welfare, allocative efficiency, and sustainable resource utilization within the WEF nexus.

Discussion and Conclusion

The findings of this study highlight the significant interdependencies within the Water-Energy-Food (WEF) nexus, revealing the critical impact of policy design on economic welfare and resource efficiency. The CGE simulations strongly suggest that integrated, productivity-enhancing measures are substantially more effective in promoting national welfare than price-based interventions. The integrated WEF productivity scenario, in particular, stands out as the optimal strategy; it not only stimulates economic activity but also generates synergistic resource conservation, effectively mitigating the rebound effects associated with single-sector efficiency gains.

Conversely, price-based shocks expose the system's structural vulnerabilities. The adverse welfare effects of energy and food price hikes underscore the risks of policies that overlook their systemic repercussions on households. Furthermore, the simulations show that using unilateral pricing as a conservation tool—particularly for water—is ineffective under Iran's current economic structure. Due to structural rigidities and the under-representation of water's true economic value in production costs, price signals fail to incentivize industrial and agricultural conservation, ultimately imposing deadweight welfare losses on final consumers without achieving resource sustainability.

This evidence supports the conclusion that the complex interdependencies of the WEF nexus are fundamentally at odds with the nation's fragmented institutional architecture. The inefficacy of isolated policies is not an anomaly but a predictable outcome of a governance system characterized by "management silos," where water, energy, and agricultural strategies are formulated without coordination. Therefore, this study reaffirms that a paradigm shift toward integrated policy design is an economic necessity. The stark contrast between the welfare-maximizing effects of coordinated productivity improvements and the contractionary impacts of siloed pricing delivers a clear message: investment in cross-sectoral technological efficiency and unified governance is paramount.

While the static CGE framework employed here offers robust insights into short-run equilibrium adjustments, its limitations define clear avenues for future research. Extensions to dynamic and spatial CGE models is necessary to capture long-term capital accumulation and regional dynamics. Furthermore, a critical next step involves delving into institutional economics to formally quantify the transaction costs of policy fragmentation and to design governance structures that overcome these systemic barriers. Such advancements will be essential for creating resilient systems that ensure sustainable food, water, and energy security

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This study was conducted in accordance with the ethical principles of scientific research

Funding: There is no funding support.

Authors' contribution: 1.Kaveh Gharehchorlouyaghdam: Conceptualization, research design, data collection, methodology, software implementation, formal data analysis, interpretation of the results, and writing – original draft. 2. Dr. Reza Ranjpour: Conceptualization, Supervision, Methodology, Validation, Writing – review & editing. 3. Dr. Hussein Panahi: Supervision, Writing – review & editing 4. Dr. Zahra Karimi Tekanloo: Supervision, Formal analysis, Validation, Writing – review & editing

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: The authors sincerely thank the esteemed reviewers and the editorial board of the Stable Economy Journal for their valuable comments, constructive criticisms, and insightful suggestions, which have significantly improved the quality of this

ارزیابی اثر سیاست‌های بهره‌وری و قیمتی بر امنیت آب، انرژی و غذا در ایران: رویکرد پیوندی مبتنی بر مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر

کاوه قره‌چورلوی اقدم^۱ | رضا رنجپور^۲ | حسین پناهی^۳ | زهرا کریمی تکانلو^۴

۱. نویسنده مسئول دانشجوی دکتری اقتصاد توسعه دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: kavehgch@tabrizu.ac.ir

۲. استاد اقتصاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: reza.ranjpour@gmail.com

۳. استاد اقتصاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: panahi@tabrizu.ac.ir

۴. استاد اقتصاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Z.karimi@tabrizu.ac.ir

* این مقاله مستخرج از رساله دکترای نویسنده اول در دانشگاه تبریز است.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۱۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۷/۱۰

JEL:

O10, Q11, Q56, Q57

واژه‌های کلیدی:

پیوند آب، انرژی و غذا؛ امنیت آب؛ امنیت انرژی، امنیت غذا، تعادل عمومی قابل محاسبه

امنیت آب، انرژی و غذا از چالش‌های مهم پیش‌روی اقتصاد ایران هستند و مدیریت این سه مسأله حیاتی در راستای رسیدن به توسعه پایدار نیازمند رویکردی سیستمی و جامع می‌باشد. در این پژوهش امنیت آب، انرژی و غذا با رویکردی پیوندی مورد بررسی قرار گرفته است. تحت رویکرد پیوندی، آب، انرژی و غذا دارای تأثیرات به شدت مرتبط فرض می‌شوند به‌طوریکه وضعیت یک بخش سایر بخش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نیاز به ترکیب اداره و مدیریت، شناسایی و مشخص نمودن فعل و انفعالات، ارتباطات درونی، هم‌افزایی‌ها و بده بستان‌های این سه فاکتور ضروری می‌باشد. این پژوهش با بهره‌گیری از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر و ماتریس حسابداری اجتماعی ایران، تأثیر سیاست‌های بهبود بهره‌وری و شوک‌های قیمتی را بر امنیت آب، انرژی و غذا و رابطه پیوندی آنها بررسی کرده است. با توجه به ایستاد بودن مدل نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها تنها برای تعدیل‌های تعادلی کوتاه تا میان‌مدت کاربرد دارند، یافته‌ها نشان می‌دهند که سیاست‌های بهبود بهره‌وری در پیوند آب، انرژی و غذا به‌طور کلی سبب بهبود رفاه عمومی و بالا رفتن امنیت سه‌گانه مورد مطالعه می‌شوند؛ این سیاست‌ها زمانی به حداکثر کارایی می‌رسند که به صورت ترکیبی و با اولویت‌بندی درست اجرا شوند. سیاست متکی بر بهبود بهره‌وری انرژی، نسبت به آب و غذا تأثیر قوی‌تری را نشان می‌دهد و ترکیب سیاست انرژی و غذا، بالاترین اثر را در بین سناریوهای اجرا شده دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که ابزارهای قیمتی، همانند حذف یارانه‌ها یا افزایش مالیات، برخلاف سیاست‌های بهره‌وری، به‌طور کلی رفاه را کاهش داده و اثرات جانبی گسترده‌ای بر امنیت آب، انرژی و غذا ایجاد می‌کنند. همچنین افزایش قیمت غذا، بیشترین آسیب را به امنیت غذایی وارد می‌کند؛ افزایش قیمت انرژی شوک سیستمی به تمام پیوند وارد می‌کند و افزایش قیمت آب تأثیر قابل توجهی بر کلیت پیوندها ندارد. در نهایت مطابق نتایج، ترکیب سیاست‌های قیمتی با سیاست‌های بهره‌وری می‌تواند تبادل و بده‌بستان‌ها بین آب، انرژی و غذا را به حداقل رسانده هم‌افزایی مثبت بین متغیرها ایجاد کند.

استناد: قره‌چورلوی اقدم، کاوه؛ رنجپور، رضا؛ پناهی، حسین؛ کریمی تکانلو، زهرا (۱۴۰۵). ارزیابی اثر سیاست‌های بهره‌وری و قیمتی بر امنیت آب، انرژی و غذا در ایران: رویکرد پیوندی مبتنی بر مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *اقتصاد باثبات*، ۷ (۳)، ۱۰۹-۱۴۷.

DOI 10.22111/sedj.2026.55223.1691



حق مؤلف © نویسندگان.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

۱. مقدمه

شتاب بالای تغییرات اجتماعی و اقتصادی طی قرن گذشته، چهره جهان را تغییر داده و شیوه زندگی نوع بشر را متحول نموده است؛ رشد بی سابقه جمعیت جهان علی الخصوص رشد جمعیت طبقه متوسط و افزایش قدرت خرید آنها، تغییرات آب و هوایی، توسعه اقتصادی و گسترش تجارت بین الملل، چالش ها و تنش هایی فزاینده بر منابع حیاتی آب، انرژی و غذا وارد نموده اند. در بیشتر کشورهای در حال توسعه، نبود استراتژی های مدیریت سیستماتیک و یکپارچه، توانایی تخصیص بهینه این منابع در راستای توسعه پایدار را کاهش داده و بر شدت بحران های موجود و بحران های پیش رو افزوده است (Daher and Mohtar, 2015). اهمیت موضوع و چالش های پیش رو در زمینه مسائل آب، انرژی و غذا سبب گردید رویکرد پیوندی به این منابع حیاتی از سال ۲۰۱۱ در مجامع بین المللی به رسمیت شناخته شود. تحت رویکرد پیوندی، آب، انرژی و غذا دارای تأثیرات به شدت مرتبط به یکدیگر فرض می شوند، به طوری که وضعیت یک بخش، سایر بخش ها را تحت تأثیر قرار می دهد و داشتن رویکرد ترکیبی در اداره و مدیریت، شناسایی و مشخص نمودن فعل و انفعالات، ارتباطات درونی، هم افزایی ها^۱ و بده بستان های^۲ این سه بخش که قبلاً به طور مجزا در نظر گرفته می شدند، ضروری می باشد (Ozturk, 2015). نگاهی سیستمی و کلی به وضعیت موجود نشان می دهد که توسعه پایدار و متوازن، بدون داشتن برنامه ریزی جامع و یکپارچه برای سیستم های مهم و حیاتی آب، انرژی و غذا و در نظر گرفتن نیازهای اجتماعی و اقتصادی آتی میسر نخواهد بود. سوال های اساسی و مهمی در مورد روابط این سه بخش مطرح است و باید معین شود تغییرات در عرضه، تقاضا، قیمت و یا سرمایه گذاری در هر بخش چه تأثیرات تقویت کننده و یا تضعیف کننده ای بر سایر بخش ها خواهد داشت. شناسایی این روابط متقابل، به پیش بینی نتایج سیاست ها و برنامه های موجود کمک کرده امکان بازنگری و اصلاح آنها را میسر خواهد ساخت. این تحقیق با چنین هدفی به دنبال شناسایی کمی روابط متقابل بین سه بخش آب، انرژی و غذا در شرایط خاص اقتصادی، اجتماعی و جغرافیایی ایران است. بر این اساس، سیاست های بهره وری و قیمتی بعنوان سناریوهای سیاستی مهم انتخاب گردیده و با استفاده از رویکرد پیوندی و مدل تعادل عمومی قابل محاسبه مورد

¹synergies

²Trade-off

بررسی قرار گرفته است. به‌طور مشخص، این مطالعه به دنبال پاسخ به سؤالات زیر است: بهبود بهره‌وری در هر یک از بخش‌های آب، انرژی و غذا چه تأثیری بر تولید، مصرف و رفاه خانوارها دارد و این اثرات چگونه از طریق پیوندهای بین‌بخشی منتقل می‌شوند؟ افزایش قیمت (ناشی از حذف یارانه‌ها یا افزایش مالیات‌ها) در هر یک از این بخش‌ها چه پیامدهایی برای امنیت آب، انرژی و غذا به همراه دارد؟ با در نظر گرفتن رویکرد پیوندی، کدامیک از سیاست‌های بهره‌وری و یا قیمتی اثر بخشی و کارایی بیشتری دارند؟

در سطح جهانی استفاده از روش‌ها و مفاهیم خاص اقتصادی برای تحلیل پیوند آب، انرژی و غذا، نسبت به روش‌های سایر رشته‌های مرتبط، کم و نسبتاً جدید می‌باشد؛ انتشار چنین تحقیقاتی رو به افزایش است و کشورهای مختلف در حال ایجاد شاخص‌های بومی و مختص خود برای بررسی وضعیت پیوندی آب، انرژی و غذا و ایجاد استراتژی‌ها و سیاست‌گذاری‌های ملی می‌باشند. تحقیق حاضر با در نظر گرفتن شرایط خاص اقلیمی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ایران در ارزیابی وضعیت خاص ایران و پیش‌بینی سناریوهای محتمل برای سال‌های آتی مفید می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی، قیمت‌گذاری‌ها، تنظیم نرخ‌های مالیاتی و اولویت‌های سرمایه‌گذاری بسیار سودمند باشد. در ادامه ابتدا مبانی نظری تحقیق و خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده مرتبط با موضوع آورده شده و سپس مدل و روش تحقیق مبتنی بر تعادل عمومی تشریح شده و در نهایت بحث، نتیجه‌گیری و تفسیر یافته‌ها بیان شده است.

۲- ادبیات موضوع

۲-۱- مبانی نظری:

در اقتصاد منابع طبیعی محدود بودن موجودی منابع نسبت به نیازهای بالقوه جامعه به‌عنوان "کمیابی منابع" مطرح می‌شود. در نتیجه کمیابی، استفاده از هر واحد منبع مستلزم چشم‌پوشی از استفاده‌های جایگزین آن است. این مفهوم به‌صورت «هزینه فرصت» در اقتصاد صورت‌بندی می‌شود. کمیابی، ضرورت انتخاب و تخصیص کاراً و بهینه منابع را ایجاد می‌کند؛ نحوه تخصیص‌ها و انتخاب‌ها به حجم ذخایر موجود، میزان تقاضا، الگوهای مصرف و تکنولوژی تولید وابسته بوده و نقطه بهینه حاتی است که منابع کمیاب به‌گونه‌ای بین کاربردهای مختلف توزیع شوند که «رفاه اجتماعی» حداکثر شود. به دلیل ویژگی‌های خاص منابع آب، انرژی و غذا، از قبیل: نبود بازار مبادله متناسب و رقابتی، محدود بودن منابع موجود، حقوق مالکیت ملی یا خصوصی و...، بازارها به خودی

خود در تخصیص کارآمد این منابع ناتوان هستند. مهم‌ترین شکل تخصیص ناکارآمد که از آن به شکست بازار یاد می‌شود، وجود «اثرات خارجی» در بهره‌برداری از منابع و محیط زیست است. در چنین شرایطی، قیمت‌های مشاهده‌شده لزوماً بازتاب دهنده کمیابی واقعی منابع نیستند و در نتیجه تخصیص منابع از دیدگاه اجتماعی بهینه نخواهد بود، لذا نیاز به دخالت بخش عمومی و دولت از طریق تصویب مقررات نهادی لازم وجود دارد (Perman, 2013). تخصیص بهینه منابع، نیازمند طراحی و اجرای سیاست‌ها و ساختارهای نهادی است که با اصلاح سیگنال‌های قیمتی و ایجاد مشوق‌های اقتصادی، منابع را به سمت فعالیت‌هایی با بیشترین ارزش افزوده هدایت کنند. به بیان دیگر، نظام قیمت‌گذاری باید به گونه‌ای اصلاح شود که ارزش واقعی و هزینه سابه‌ای این منابع کمیاب را به‌درستی منعکس کرده و از سیاست‌گذاری‌های بخشی و متعارض جلوگیری نماید. بعد از مسأله محدودیت منابع و ریسک‌های بهره‌برداری بیش از حد و فرسایش منابع، دومین جنبه اساسی، چالش‌های مربوط به ارتباطات و پیوندهای متقابل میان منابع است. براساس مطالعات پیشین برای نمونه فائو^۱ (۲۰۱۴)، لیو هال^۲ و همکاران (۲۰۱۸) و یا کورتین^۳ و همکاران (۲۰۱۵)، مشخص گردیده است که منابع حیاتی آب، انرژی و غذا، چه به‌عنوان نهاده واسطه‌ای تولید و چه به‌عنوان محصول نهایی فرایند تولید، دارای ارتباطات متقابل و پیچیده‌ای هستند که در نظر گرفتن رویکردهای سنتی انفرادی (توسط مؤسسات و سازمان‌های تخصصی) نمی‌تواند ارتباط بین آنها را به‌طور کامل نشان دهند. نتایج تحقیقات مختلف همچون هاولز^۴ و همکاران (۲۰۱۳) و یا واتس^۵ و همکاران (۲۰۲۱)، نشان داده‌اند که رویکردهای تک‌بخشی، اغلب به کاهش رفاه و اعمال استراتژی-های توسعه ناپایدار منجر شده‌اند و می‌توان با پذیرش یک دیدگاه جامع و یکپارچه مبتنی بر رویکرد پیوندی از این موارد اجتناب نمود. مفهوم پیوند در اقتصاد منابع طبیعی مبتنی بر این واقعیت نظری است که منابع طبیعی دارای وابستگی متقابل و اثرات سرریز بر یکدیگر هستند. این دیدگاه ریشه در نظریه سیستم‌های پیچیده در اقتصاد دارد و بیان می‌کند که مداخله در یک بخش (مثلاً

¹ FAO

² Liu, Hull

³ Scott, C. A., Kurian

⁴ Howells

⁵ Vats

انرژی)، از طریق کانال‌های قیمتی و مقداری به بخش‌های دیگر (آب و غذا) منتقل شده و ممکن است نتایج متفاوت از پیش‌بینی‌های تک‌بخشی به همراه داشته باشد.

با توجه به ادبیات نظری موجود، هدف این تحقیق بررسی و تحلیل آثار سیاست‌های قیمتی و بهره‌وری بر امنیت آب، انرژی و غذا با رویکردی پیوندی و استفاده از مفاهیم و روش‌های اقتصادی و تعادل بخش‌های اقتصاد، می‌باشد. سیاست‌های قیمتی (مانند حذف یارانه، افزایش مالیات بر فروش یا وضع عوارض) در چارچوب نظری اقتصاد رفاه و منابع طبیعی، ابزاری برای تصحیح شکست بازار و نزدیک‌تر کردن قیمت‌های بازاری به هزینه‌های اجتماعی واقعی به‌شمار می‌روند. در الگوی تعادل عمومی، شوک قیمتی مثبت از دو مسیر اصلی امنیت آب، انرژی و غذا را تحت تأثیر قرار می‌دهد: افزایش قیمت کالاهای ضروری یا نهاده‌های واسطه‌ای، با فشار بر بودجه خانوار و هزینه‌های تولید، «دسترسی اقتصادی»^۱ را تضعیف می‌کند و قدرت خرید را کاهش می‌دهد و هم‌زمان، این شوک از مسیر کاهش تولید و عرضه، «دسترسی فیزیکی»^۲ را نیز محدود می‌سازد و خانوارها را به جانشینی اجباری در الگوی مصرف سوق می‌دهد؛ امری که می‌تواند ترکیب مصرف آب و انرژی را نیز تغییر دهد. از سوی دیگر سیاست‌های ارتقاء بهره‌وری، از منظر اقتصاد تولید، به‌معنای کاهش مقدار نهاده‌های لازم برای تولید هر واحد محصول و در نتیجه بهبود کارایی منابع هستند. در چارچوب پیوندی، این بهبود کارایی، شدت مصرف آب، غذا و انرژی را کاهش داده و از مسیر صرفه‌جویی فیزیکی، فشار بر منابع کمیاب را کم می‌کند؛ بنابراین، دسترسی فیزیکی به این منابع در ساختار تولید تقویت می‌شود. هم‌زمان، کاهش هزینه نهایی تولید به افت قیمت تمام‌شده کالاهای به‌ویژه مواد غذایی، می‌انجامد و از این طریق دسترسی اقتصادی خانوارها و سطح رفاه را بهبود می‌بخشد. با این حال، در چارچوب تعادل عمومی، ارزان‌تر شدن نسبی محصولات می‌تواند تقاضای کل را افزایش دهد و بخشی از منافع حاصل از صرفه‌جویی اولیه را از طریق «اثر بازگشتی»^۳ خنثی سازد.

مبانی نظری ایجاب می‌کند که ارزیابی اثرات واقعی شوک‌های بهره‌وری و شوک‌های قیمتی بر امنیت منابع، در یک چارچوب تعادل عمومی (نظیر مدل‌های CGE) انجام شود تا برهم‌کنش

^۱ Economic Access or Affordability: به توانایی مالی خانوار برای تأمین کالا با توجه به سطح قیمت‌ها اشاره دارد.

^۲ Physical Access or Availability: به موجود بودن کافی کالا در بازار از طریق تولید و عرضه اشاره دارد.

^۳ Rebound Effect

همزمان اثرات متضاد به درستی محاسبه گردد. این رویکرد مبتنی است بر نظریه تعادل عمومی والراس که بعدها توسط آرو و دبرو بسط یافت؛ نظریه‌ای که بر تعیین هم‌زمان قیمت‌ها و مقادیر در بازارهای به هم پیوسته تأکید دارد. در این چارچوب، تعادل زمانی برقرار می‌شود که عرضه و تقاضا در تمامی بازارها به طور هم‌زمان سازگار شوند و واکنش هر بخش در ارتباط با سایر بخش‌ها شکل گیرد. یکی دیگر از اصول مفروض در انجام این پژوهش، نظریه رفتار تولیدکننده و ساختار توابع تولید آشیانه‌ای است. در چارچوب اقتصاد خرد، استفاده از این ساختار بر فرض «تفکیک‌پذیری ضعیف» استوار است (Blackorby, 1978)؛ به این معنا که می‌توان برخی نهاده‌ها (مانند آب و انرژی) را در یک زیرگروه قرار داد، به طوری که نرخ نهایی جانشینی فنی میان آن‌ها، به طور نسبی مستقل از میزان به کارگیری نهاده‌های خارج از آن گروه (مانند نیروی کار یا سرمایه) در نظر گرفته شود. این ویژگی به بنگاه این امکان را می‌دهد که در فرآیند تصمیم‌گیری خود برای انتخاب ترکیب نهاده‌ها، به صورت سلسله مراتبی عمل کرده و این فرایند در چند مرحله مدل‌سازی شود. در این پژوهش، با بهره‌گیری از توابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) و توابع لئونتیف، ساختاری چندآشیانه‌ای برای نشان دادن رابطه «جانشینی» و یا «مکملی» بین نهاده‌های کلیدی آب، انرژی و غذا طراحی شده است. در مجموع، بر اساس مبانی نظری مطرح شده پیوند آب، انرژی و غذا و امنیت آنها در ذات خود مسئله‌ای از جنس کمیابی منابع، تخصیص بین‌بخشی و وابستگی متقابل بازارها است؛ از این رو تحلیل آن در چارچوب اقتصاد خرد، اقتصاد منابع طبیعی و نظریه تعادل عمومی والراسی معنا پیدا می‌کند. بر پایه این مبانی، انتخاب مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) به عنوان چارچوب روش‌شناختی تحقیق، این امکان را فراهم می‌سازد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییرات در امنیت آب، انرژی و غذا در سطح کل اقتصاد بررسی شود و برهم‌کنش‌های درونی پیوند، به صورت منسجم و سازگار تحلیل گردد.

۲-۲- پیشینه تحقیق

مطالعه تحقیقات انجام شده در مورد رابطه پیوندی آب، انرژی و غذا در ایران نشان می‌دهد که این مطالعات هم از نظر کمیت و هم از نظر کیفیت برای چنین موضوع مهمی ناکافی و ناقص هستند و با توجه به مشکلات عمده اقتصاد ایران در این سه فاکتور مهم اقتصادی اجتماعی، موارد و مسائل

بسیاری وجود دارد که برای درک صحیح آنها نیازمند تحلیلی سیستمی از ابعاد گوناگون مسأله می‌باشیم. تحقیق حاضر یکی از اولین تحقیقات اقتصادی صرف در ایران می‌باشد که امنیت آب، انرژی و غذا را با رویکردی جامع و پیوندی بررسی می‌کند و امید است بتواند راهگشای تحقیقات آتی باشد. در سطح جهانی یکی از نخستین مقالاتی که از دید اقتصادی و با روش‌های علم اقتصاد به بررسی موضوع پرداخته‌اند، توسط اوزتورک^۱ (۲۰۱۵) انجام گرفت، این تحقیق با استفاده از داده‌های پنلی پنج کشور و روش GMM، پویایی‌های بین آب، انرژی، غذا، سلامت، ثروت و محیط‌زیست را بررسی نموده و نتایج آن نشان داد که کمبود انرژی و منابع آب ناکافی به امنیت غذایی کشورهای تحت مطالعه آسیب می‌رساند. فان، کونگ و زیانگ^۲ (۲۰۱۸) با استفاده از یک مدل دینامیک برگشتی تعادل عمومی^۳ نشان دادند که بهای آب می‌تواند سبب صرفه‌جویی در آب صنعتی گردد و اعمال مالیات کربن مضاف بر آن، منافع صرفه‌جویی کننده آب را افزایش می‌دهد. به‌علاوه افزایش بهای آب می‌تواند سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در چین شود. مطالعه هوف^۴ و همکاران (۲۰۱۹) که بر منطقه منا تمرکز دارد، بر اهمیت چارچوب‌های نهادی و حمایتی، سرمایه‌گذاری‌های هدفمند و نقش کنشگران پیشرو در شکستن مرزهای بخشی، تأکید می‌کند. یافته اصلی این است که کمبود شواهد تجربی از موفقیت پیوند، اراده سیاسی برای اصلاح ساختارها را تضعیف کرده و چرخه‌ای معیوب ایجاد نموده است. فان و همکاران^۵ (۲۰۱۹)، شاخصی با عنوان "شاخص پایداری پیوند آب، انرژی و غذا" ایجاد نموده با استفاده از روش "معادلات همزمان" نشان دادند با وجود اینکه بر اساس این شاخص مناطق روستایی پایدارتر از مناطق شهری هستند ولی پایداری تحت تأثیر عرضه و تقاضای آب قرار دارد. همچنین یوان و لئو^۶ (۲۰۲۰)، با تمرکز بر اهداف توسعه‌ای سازمان ملل متحد (SGD) شاخص‌هایی برای کنترل پایداری غذا، انرژی و آب ایجاد نمودند. هوانگ و همکاران^۷ (۲۰۲۰) فعل و انفعالات منطقه‌ای در مورد رابطه پیوندی آب، انرژی و غذا با استفاده از مدل معادلات همزمان و داده‌های پنلی ۳۰ ایالت چین بررسی کردند. مصرف آب

¹Ozturk²Jiang-Li Fan, Ling-Si Kong, Xian Zhang³Recursive dynamic CGE model⁴Hoff⁵Fan, C., et al⁶Yuan and Lo⁷Huang

و انرژی و تولید غذا به عنوان متغیرهای وابسته تحقیق انتخاب شدند و با استفاده از رویکردی سیستمی، نقاط پیوندی کلیدی و لوپ‌های بازگشتی (فیدبکی) و ضرایب همبستگی متقابل بین متغیرها شناسایی شدند. باردازی و بوسل^۱ (۲۰۲۱) در مروری سیستماتیک بر مقالات مرتبط با آب، انرژی و غذا نتیجه‌گیری کرده‌اند که مدل‌های CGE برای تشریح رفتار عقلایی بنگاه‌ها، بازارها، نهادها و روابط بین آنها سودمندند و ساختار آنها امکان تشخیص هم زمان وابستگی متقابل مشخصه‌های درون‌زای بین بخش‌ها و تشخیص تاثیرات برون‌زای عامل‌ها بر کل اقتصاد را ممکن می‌سازد. بنابراین می‌توانند ابزار مناسبی برای نشان دادن موضوعات پیچیده همچون پیوندهای آب، انرژی و غذا باشند. واتس^۲ و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل داده ستانده منعطف قیمتی را برای ارزیابی سیاستگذاری‌های مبتنی بر دیدگاه پیوندی امنیت آب، انرژی و غذا در هندوستان مورد استفاده قرار دادند. در این پژوهش پنج سناریو اصلی مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و نتایج نشان دادند که سناریوهای با جهت‌گیری پیوندی، نه تنها منافع مشترکی در تحولات بلند مدت و پراهمیت آب، انرژی و غذا ایجاد می‌کند بلکه به‌طور قابل ملاحظه‌ای منجر به ایجاد نتایج محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی بالاتری می‌شوند. دی مارتینو^۳ و همکاران (۲۰۲۳)، در یک مرور نظام‌مند نشان دادند که تصمیم‌سازی در پژوهش‌های پیوند آب، انرژی و غذا کمتر مورد توجه قرار گرفته و آثار عدم قطعیت بر تاب‌آوری و امنیت این نظام‌ها هنوز به‌روشنی مشخص نیست. زانگ و همکاران^۴ (۲۰۲۴)، با تلفیق مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر و روش تحلیل پوششی داده‌ها، اثر مالیات کربن بر کارایی زیست‌محیطی پیوند را در چین بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد افزایش مالیات کربن، ساختار انرژی را بهبود می‌بخشد و انتشار کربن را کاهش می‌دهد؛ در عین حال، افزایش هزینه سوخت‌های فسیلی، از مجرای پیوندهای بین‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی، اثری منفی اما محدود بر تولید اقتصادی بخش‌های عرضه آب و غذا دارد. افزون بر این، اثر هم‌افزایی صرفه‌جویی منابع آب، انرژی و غذا در بیشتر بخش‌های تولیدی (به‌جز بخش‌های انرژی پاک) مشهود است و

¹ Bardazzi & Bosell

² Garima Vats

³ Marcello Di Martino

⁴ Zhang, Tianyuan

مالیات کربن کارایی زیست‌محیطی پیوند را در قالب موازنه میان ستانده اقتصادی و انتشار کربن با مصرف منابع بهبود می‌بخشد. باردازی و همکاران^۱ (۲۰۲۴)، با استفاده از مدل تعادل عمومی محاسبه پذیر بین زمانی^۲ که مدلی برگشتی-پویا^۳، چند بخشی و چند کشوری است و با استفاده از داده‌های GTAP^۴، با وارد کردن آب، به‌عنوان عامل تولید در بخش‌های انرژی و کشاورزی آبی، رقابت بین این بخش‌ها برای استفاده از منابع آب را مدل‌سازی کرده‌اند. براساس نتایج این تحقیق اگر آب به‌عنوان عامل تولید بخش انرژی در نظر گرفته شود، در مقایسه با حالتی که آب به‌عنوان نهاده تولید تنها در بخش کشاورزی وارد شود، کمبود عرضه آب تأثیر بزرگتری بر تولید ناخالص داخلی خواهد داشت، به‌علاوه میزان این اثر به درجه جانشینی عوامل تولید بستگی دارد. در بخشی دیگر از این مطالعه تحرک‌پذیری آب در بین بخش‌های اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است و بر اساس نتایج، کاهش تولید ناخالص داخلی در صورت تحرک‌پذیری آب بین بخش‌های مختلف کمتر است و وجود بازار آب برای کاهش مشکلات عرضه آن سودمند است. گوش و همکاران^۵ (۲۰۲۴)، با هدف تحلیل همبستگی و تأثیرات متقابل بین منابع آب، تولید غذا و مصرف انرژی در سطح جهانی و با استفاده از داده‌های سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۲۳، شش متغیر کلیدی شامل منابع آب تجدیدپذیر، برداشت آب، مصرف غذا، تولید محصولات کشاورزی و مصرف برق را مورد بررسی قرار دادند. محققین نشان دادند که شوک‌های مثبت، تأثیرات قوی‌تری نسبت به شوک‌های منفی، بر ارتباطات بین بخش‌ها دارند؛ تولید محصولات کشاورزی عمدتاً به‌عنوان گیرنده شوک‌ها عمل می‌کند و تحت تأثیر تغییرات منابع آب و انرژی است. در نهایت محققین بر اهمیت درک تعاملات پیچیده بین منابع طبیعی برای سیاست‌گذاری مؤثر و نیاز به اتخاذ رویکردهای یکپارچه در مدیریت منابع آب، غذا و انرژی تأکید نمودند.

تحقیقات انجام گرفته در ایران، از نظر کمی محدود و از نظر کیفی، ناکافی می‌باشند که در ادامه به برخی از مهمترین آنها اشاره می‌گردد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از الگوی تعادل عمومی به بررسی نقش آب در فرآیند توسعه کشور، پرداختند. نویسندگان مقاله آب را به‌عنوان

¹ Bardazzi et al.

² Intertemporal Computable Equilibrium

³ Recursive-dynamic

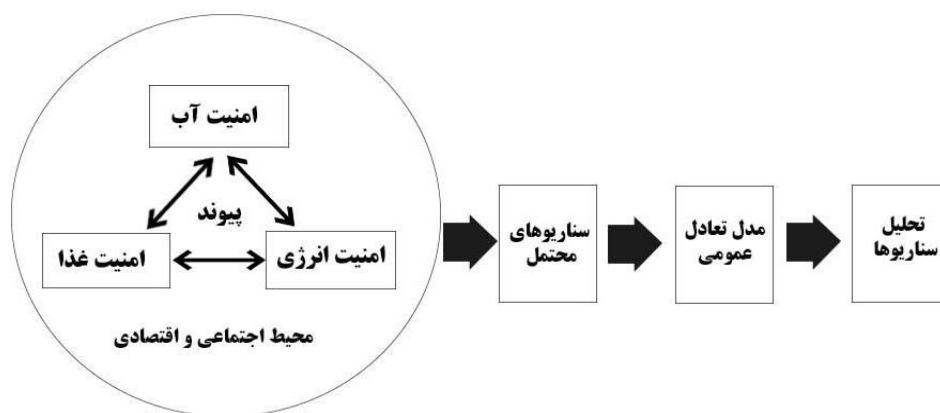
⁴ Global Trade Analysis Project

⁵ Ghosh et al.

یک عامل تولیدی در نظر گرفته و با استفاده از تخمین تابع تقاضای مشتق شده آب آبیاری از طریق روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، رانت ضمنی آب را محاسبه کرده و به جای ارزش افزوده آب در محاسبات وارد نموده ماتریس حسابداری اجتماعی با تاکید بر بخش آب ایجاد کردند. نتایج این مطالعه نشان دادند که سهم بخش آب در اقتصاد کلان کشور کم‌شماری می‌شود و عمده‌ترین دلیل این کم‌شماری، لحاظ نشدن ارزش واقعی آب در حساب‌های ملی و عدم تعیین حدود و تفکیک ارزش فروش آب در حسابداری ملی است. حسینی (۱۳۹۲)، آب را به عنوان یک نهاده تولید و کالای مصرفی استفاده کرده و نشان می‌دهد که سناریو افزایش قیمت آب، سبب کاهش مصرف خانوارهای شهری و روستایی و تولید ناخالص داخلی و افزایش شاخص قیمت‌ها و درآمد دولت در کلیه بخش‌های اقتصادی خواهد شد. نتایج نعمت الهی و همکاران (۱۳۹۴)، حاکی از آن است که با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، قیمت تمام شده محصولات در بخش کشاورزی و صنایع غذایی افزایش یافته است، این امر همراه با کاهش قدرت خرید خانوارها و کاهش تقاضای مواد غذایی می‌تواند امنیت غذایی و سلامت خانوارها و جامعه در معرض خطر قرار دهد. رنج‌پور و همکاران (۱۳۹۷)، ضمن برآورد شاخص امنیت غذایی در سطح استان‌های کشور ایران، به بررسی تأثیر متغیرهای کلان اقتصادی بر وضعیت امنیت غذایی در ایران پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی، درجه باز بودن اقتصادی و مخارج سرمایه‌گذاری دولتی در بخش کشاورزی، تأثیر مثبت و معنی‌دار و متغیر جمعیت و شاخص قیمت مواد غذایی، تأثیر منفی و معنی‌دار بر امنیت غذایی دارند. کیانی و همکاران (۱۴۰۱)، با هدف ردیابی اثرات قیمتی قابل انتقال از سوی هر کدام از اجزای پیوند آب، انرژی و غذا به یکدیگر، در مواجهه با تکانه‌های برون‌زای قیمتی، برای دستیابی به الگوهای انتقال قیمت، از ماتریس حسابداری اجتماعی و رهیافت تجزیه ضرایب فزاینده استفاده کرده در جداولی جداگانه اثرات قیمتی متقابل آب، انرژی و غذا بر یکدیگر را به صورت کلی و نیز به تفکیک سه بخش تولید، عوامل تولید و نهاده‌ها محاسبه نمودند. مقالات متعددی نیز قیمت سایه‌ای و ارزش اقتصادی آب را در سطح منطقه‌ای و کلی مورد بررسی قرار داده‌اند؛ برای نمونه تهامی‌پور و دیگران (۱۳۹۸)، نشان دادند که فاصله معنی‌دار قابل توجهی بین متوسط وزنی ارزش اقتصادی آب با متوسط وزنی تعرفه پرداختی برای آب در بخش صنعت وجود

دارد. مازندران و شکوهی‌فر (۱۴۰۲)، نشان دادند ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب در شبکه آبیاری دشت قزوین، در حدود ۲۳ برابر بیش از متوسط قیمت فروش آب در محدوده مطالعاتی است و راسخی و دیگران (۱۴۰۳)، با مطالعه موردی برای کالاهای کشاورزی منتخب ایران نتیجه گرفتند، که با اعمال قیمت سایه‌ای و افزایش قیمت آب، تقاضای آب مصرفی در بخش کشاورزی کاهش یافته و با اثرگذاری منفی بر عملکرد محصول، رقابت‌پذیری کالاهای منتخب کشاورزی کاهش می‌یابد.

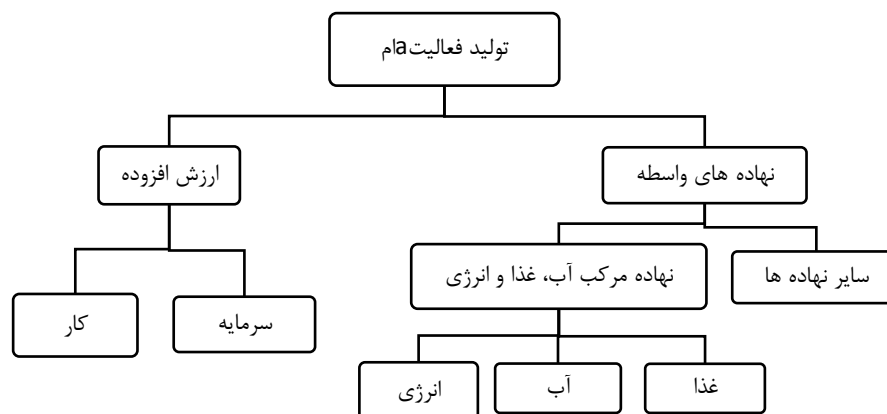
۳- روش اجرای تحقیق



شکل ۱: مدل مفهومی تحقیق (منبع: یافته‌های تحقیق بر اساس مبانی نظری و مطالعات پیشین)

۳-۱ - معرفی مدل تحقیق: با توجه به مبانی نظری شرح داده شده، این تحقیق با انتخاب سه متغیر و مفهوم مهم و اساسی شامل امنیت آب، امنیت غذا و امنیت انرژی، به دنبال بررسی فعل و انفعالات و اثرات متقابل مولفه‌های این سه متغیر بر یکدیگر در سطح ملی در ایران می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، روش تعادل عمومی به عنوان روشی سودمند برای مطالعه روابط متقابل در کل اقتصاد، مورد استفاده قرار گرفته است. مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه یکی از روش‌های مهم در تجزیه و تحلیل آثار سیاست‌های مختلف اقتصادی و ابزاری قوی برای تجزیه و تحلیل روابط پیچیده محسوب می‌شوند؛ در این مدل‌ها تعداد زیادی از سیاست‌ها می‌توانند به طور همزمان اعمال شوند که ممکن است اثر تلفیقی این سیاست‌ها با آثار تک‌تک آنها برابر نباشند. طرح کلی تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است.

۲-۳- ساختار تابع تولید و مدل تعادل عمومی: جهت استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی در قالب مدل تعادل عمومی و بر اساس اهداف تحقیق، فعالیت‌های مرتبط با امنیت آب انرژی و غذا بر اساس طبقه‌بندی بین‌المللی استاندارد فعالیت‌های اقتصادی (ISIC^۱) و کالاها و خدمات مرتبط با آب، انرژی و غذا نیز بر اساس طبقه‌بندی محوری کالاها (CPC^۲) ترکیب و تجميع شده و چهار بخش آب، انرژی، غذا و سایر را تشکیل داده‌اند.



شکل ۲: ساختار آشیانه‌ای تولید (منبع یافته‌های تحقیق، بر اساس تحلیل مبانی نظری و تحقیقات انجام شده)

روش وارد کردن نهاده‌های آب، انرژی و غذا در تابع تولید و درجه جانشینی بین آنها و سایر عوامل و ورودی‌های تولید، تاثیر مهمی در روشن کردن نقش آنها در اقتصاد دارد. در این تحقیق، تکنولوژی فرایند تولید، با ساختار آشیانه‌ای^۳ تولید نشان داده می‌شود. در این ساختارها، تولید نهایی از ترکیب ارزش افزوده عوامل تولید (کار و سرمایه) و نهاده‌های واسطه‌ای (با یک تابع لئونتیف و یا CES) به دست می‌آید. در رویکرد استاندارد مدل‌های تعادل عمومی درجه‌ای از جانشینی میان عوامل تولید آشیانه ارزش افزوده مجاز شمرده می‌شود، اما نسبت داده ستانده را در آشیانه نهاده‌های واسطه و نیز میان سبد ارزش افزوده و واسطه ثابت نگاه می‌دارد. بسته به شرایط مدل، آشیانه‌هایی به مدل افزوده می‌شود که به مدل ساز اجازه می‌دهد زیرمجموعه‌های نهاده‌ای را در

¹ International Standard Industrial Classification

² Central Product Classification

³ nesting

فرایند تولید جانشین یا مکمل توضیح دهند. برای نمونه در مدل GTAp-E (بورنیاکس و ترونک^۱، ۲۰۰۲)، با فرض جانشینی سرمایه و انرژی ساختار آشیانه‌ای خاصی برای وارد کردن انرژی به مدل ارائه می‌دهد که در تحقیقات مختلفی چون الیتون^۲ (۲۰۱۴) و بریتلا و همکاران^۳ (۲۰۰۷) به کار رفته است و در این تحقیق با الگو گرفتن از روش آنها برای ایجاد ساختار آشیانه‌ای تولید و پس از بررسی تحقیقات مختلف همچون یوسفی و همکاران (۱۳۹۰)، نعمت‌الهی و دیگران (۱۳۹۴)، و باردازی و بوسلو^۴ (۲۰۲۱) و در نظر گرفتن مبانی نظری تحقیق و همچنین ساختار ماتریس حسابداری اجتماعی ایران، مدل آشیانه‌ای نشان داده شده در شکل ۲ برای ساختار تولید در نظر گرفته شده است. در این ساختار ارزش کالای تولید داخل برابر با هزینه مواد تشکیل دهنده به اضافه ارزش افزوده است. در این تحقیق سه کالا و متغیر اصلی مورد پژوهش یعنی آب، انرژی و غذا در پایین‌ترین لایه با استفاده از تابع لئونتیف ترکیب شده و کالای مرکب یا پیوندی حاصل توسط تابع لئونتیف با سایر کالاهای واسطه جمع می‌شود؛ این بدان معناست که این سه کالا همانند سایر کالاهای واسطه‌ای مستقیماً در فرآیند تولید مصرف می‌شوند. در افق کوتاه‌مدت سیاست‌گذاری که تمرکز اصلی این مطالعه است، نسبت‌های فنی مصرف نهاده‌ها (به‌ویژه آب به‌عنوان نهاده حیاتی با محدودیت فیزیکی و نهاده‌ی شدید) نسبتاً ثابت و غیرقابل انعطاف هستند. بنابراین، فرض لئونتیف (ثابت بودن ضرایب مصرف) واقع‌گرایانه‌تر از توابع CES با کشش جانشینی مثبت عمل می‌کند. به‌علاوه در شرایط داده‌های محدود و ناکافی ایران، تخمین کشش‌های جایگزینی معتبر بین آب، انرژی و غذا با مشکل شناسایی و حساسیت شدید به فرضیات کالیراسیون مواجه است و ممکن است نتایج را ناپایدار سازد. استراتژی تفکیک سه بخش کلیدی آب انرژی و غذا و تجمیع سایر بخش‌ها، در راستای اهداف تحقیق و بر اساس مبانی نظری پیوند انجام گرفته است که ضمن حفظ سادگی نسبی مدل، امکان شبیه‌سازی مستقل شوک‌ها و تحلیل تعاملات پیوند را به فراهم آورده است. در نظر گرفتن آب، غذا و انرژی به‌عنوان نهاده واسطه تحلیل‌پذیری اقتصادی و قابلیت اتصال

¹ Burniaux and Truong

² Elliott and Fullerton

³ Berritella, Hoekstra et al.

⁴ Bardazzi & Bosello

آن به سازوکار قیمتی و سیاست‌گذاری را تسهیل می‌کند. این رویکرد در مطالعاتی چون کالزادلا (۲۰۱۱)، دودو و چومی (۲۰۰۸) و باردازی و همکاران (۲۰۲۲) مورد استفاده قرار گرفته است. همانند قریب به اتفاق تحقیقات مشابه، فرض می‌شود عوامل تولید (نیروی کار و سرمایه) که ارزش افزوده را ایجاد می‌نمایند، می‌توانند جانشین یکدیگر شوند؛ معروفترین تابع برای بررسی میزان ارزش افزوده ایجاد شده تابع تولید CES است. در نهایت و در بالاترین سطح برای تولید هر کالا نیاز به ترکیب ثابتی از دو عامل ارزش افزوده و کالاهای واسطه وجود دارد. به عبارت دیگر ترکیب ارزش افزوده و ارزش مواد اولیه با قانون لئونتیف صورت گرفته است. معادلات مورد استفاده در تابع تولید در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. حساب‌ها و معادلات مدل تعادل عمومی از ساختار استاندارد مورد استفاد در اکثر پژوهش‌ها پیروی نموده است و به منظور اجتناب از تفضیل و تکرار در پیوست ب آورده شده‌اند؛ برآورد پارامترها با استفاده از روش کالیبراسیون و حل الگو با استفاده از نرم افزار گمز^۱ و با روش مسائل ترکیبی مختلط^۲ و به شکل ایستای مقایسه‌ای انجام شده است. فرض می‌شود که عرضه عوامل تولید (کار و سرمایه) ثابت و برون‌زا باشد و همانند بسیاری از مدل‌های CGE، به ویژه برای کشورهای کوچک باز و در تحلیل‌های کوتاه‌مدت نرخ ارز نیز ثابت در نظر گرفته شده تا تمرکز تحلیل بر تغییرات نسبی قیمت کالاها و درآمدها باشد.

جدول ۱: معادلات مربوط به ساختار آشیانه‌ای تولید (منبع یافته‌های تحقیق)

معادله	توضیحات
$AD_a = \min [QVA_a, QINT_a]$ $PAD_a = \alpha_a^{int} PINT_a + \alpha_a^{va} PVA_a$	لایه اول تولید تابع تولید لئونتیف بین نهاده‌های واسطه $QINT_a$ و ارزش افزوده QVA_a
$QVA_a = \alpha_a^{va} [\sum_f \delta_{f,a}^{va} QF_{f,a}^{-\rho_a^{va}}]^{-\frac{1}{\rho_a^{va}}}$	لایه دوم بخش ارزش افزوده رابطه CES بین ارزش افزوده کل و هرکدام از عوامل تولید QF
$QINT_a = \min [QEWf_a, QOI_a]$ $PINT_a = \alpha_a^d PEWF_a + \alpha_a^{oi} POI_a$	لایه دوم بخش کالاهای واسطه تابع لئونتیف بین سایر نهاده‌های واسطه QOI و کالای مرکب آب، انرژی و غذا $QEWf_a$

^۱ GAMS

^۲ Mixed Complementarity Problems

کالای مرکب آب انرژی و غذا بصورت CES	$QWEF_{l,a} = \alpha_a^{wef} [\sum_{l=w,e,f} \delta_{l,a}^{wef} Q_{l,a}^{-\rho_a^{wef}}]^{-\frac{1}{\rho_a^{wef}}}$	لایه سوم
-------------------------------------	---	----------

۳-۳- شاخص‌های ارزیابی امنیت در پیوند آب-انرژی-غذا: امنیت آب، انرژی و غذا مفهومی

یکپارچه و چندبعدی است، با این تعریف کلی که همه افراد و بخش‌های اقتصادی، در همه زمان‌ها، به آب کافی و باکیفیت، انرژی پایدار و قابل اتکا و غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند، به گونه‌ای که نیازهای اساسی زندگی، تولید و رفاه آنان به‌طور مستمر تأمین شود. از این‌رو، هرگونه اختلال در عرضه، کاهش قدرت خرید، افزایش هزینه تأمین، یا بی‌ثباتی در دسترسی می‌تواند امنیت آب، انرژی و غذا را تضعیف کند. در سطح تحلیلی، تغییرات قیمت نشان‌دهنده فشار هزینه‌ای بر خانوارها و تولیدکنندگان است و می‌تواند توان دسترسی اقتصادی به این سه قلم اساسی را محدود سازد. همچنین، درآمد خانوار بیانگر ظرفیت اقتصادی برای حفظ مصرف ضروری و مقابله با شوک‌های قیمتی است. در همین راستا، سطح مصرف خانوار، شاخصی از دسترسی واقعی و مؤثر به آب، انرژی و غذا محسوب می‌شود. افزون بر این، میزان تولید در سطح اقتصاد کلان نیز نمایانگر ظرفیت نظام اقتصادی برای تأمین داخلی، حفظ تعادل عرضه و کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های بیرونی است؛ بنابراین در این تحقیق، امنیت آب، انرژی و غذا برآیند هم‌زمان کفایت عرضه، توان پرداخت، تداوم مصرف و پایداری تولید در نظر گرفته شده است.

۳-۴- تشریح سناریوهای تحقیق سناریوهایی شامل تغییر در برخی متغیرهای اساسی اقتصاد، طراحی شده‌اند و با استفاده از داده‌های بهنگام سازی شده ماتریس حسابداری اجتماعی ایران^۱ در سال ۱۴۰۲، برای سنجش سناریوهای طراحی شده به روش تعادل عمومی قابل محاسبه مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ ابتدا مدل با داده‌های پایه حل می‌شود و مقادیر تعادل اولیه همه متغیرها به دست می‌آید. سپس با تغییر برون‌زای پارامترهای هدف، مدل دوباره حل شده و درصد تغییر متغیرهای درون‌زا در تعادل جدید نسبت به حالت پایه، به‌عنوان اثر خالص سناریو تحلیل می‌شود. با هدف بررسی ابعاد مختلف امنیت آب، انرژی و غذا، دو دسته سناریوی اصلی طراحی و شبیه‌سازی شده‌اند: ۱. سناریوهای بهبود بهره‌وری (شوگ فناوری) که با هدف بررسی اثرات افزایش کارایی

^۱ آخرین ماتریس منتشر شده مربوط به سال ۱۳۹۵ است و ماتریس سال ۱۴۰۲ با استفاده از روش نیمه آماری راس تعدیل شده و داده‌های بانک مرکزی و مرکز آمار ایران استخراج شده است.

مصرف منابع در فرآیند تولید طراحی شده‌اند. از نظر مکانیسم مدل‌سازی، بهبود بهره‌وری معادل یک شوک مثبت فن‌آورانه است که از طریق کاهش ضرایب واسطه‌ای تابع لئونتیف برای نهاده‌های آب، انرژی و غذا در تمامی فعالیت‌های اقتصادی اعمال می‌شود.^۲ سناریوهای افزایش قیمت که برای تحلیل پیامدهای سیاست‌هایی نظیر اصلاح یارانه‌ها یا وضع مالیات‌های زیست‌محیطی طراحی شده‌اند. در چارچوب مدل، این شوک از طریق تغییر در نرخ مالیات بر فروش (به عنوان یک متغیر سیاستی و برون‌زا) اعمال می‌شود. مالیات معادل به گونه‌ای کالیبره و در سیستم معادلات تعدیل می‌شود که در نتیجه‌ی آن، قیمت بازاری و مؤثر کالای هدف (آب، انرژی یا غذا) در تعادل جدید نسبت به قیمت پایه افزایش یابد. این سناریو مسیر انتقال شوک قیمتی را از طریق تغییر رفتار مصرف‌کننده و تولیدکننده در یک چارچوب یکپارچه نشان می‌دهد.

۴- نتایج تحقیق

در این بخش ابتدا نتایج سناریوهای بهبود بهره‌وری و سپس سناریوهای قیمتی به تفصیل شرح داده شده‌اند. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار گمز^۱ انجام شده است.

۴-۱- سناریوهای تغییر شاخص بهره‌وری

نتایج مربوط به سناریوهای تغییر در شاخص بهره‌وری آب، انرژی و غذا در جدول ۲ ارائه شده و در بخش‌های بعدی سناریوهای بهبود بهره‌وری آب، انرژی، غذا و سناریوهای ترکیبی به تفصیل بررسی شده‌اند.

جدول ۲: نتایج مربوط به تغییر در بهره‌وری سیستم^۲ (منبع: محاسبات پژوهش خروج بازار گمز)

کد شاخص	نام شاخص (درصد تغییرات)	بهره- وری آب	بهره‌وری انرژی	بهره‌وری غذا	بهره- وری آب و غذا	بهره‌وری آب و انرژی	بهره‌وری آب، انرژی و غذا
dX("ENG")	مصرف کل انرژی	۰/۰۰۶	۲	۰/۰۰۲	۰/۳	۱/۷	۰/۸۲
dX("WAT")	مصرف آب	۰	-۴/۵۵	۰/۳۹	۰/۰۰۲	-۸/۷۶	-۲۰
dX("FOD")	مصرف غذا	۰/۰۳۹	۳/۳۸	-۰/۲۷	-۰/۲۳	۰/۳۸	۵/۹

GAMS

^۲ این جدول نتایج شبیه‌سازی مدل CGE را به صورت تغییرات درصدی نسبت به خط پایه نمایش می‌دهد. سناریوی پایه، نمایانگر اقتصاد ایران در سال ۱۴۰۲، بر اساس داده‌های ماتریس حسابداری اجتماعی است. بنابراین، اعداد نشان‌دهنده اثر خالص هر سیاست در مقایسه با وضعیت پایه هستند.

کد شاخص	نام شاخص (درصد تغییرات)	بهره- وری آب	بهره‌وری انرژی	بهره‌وری غذا	بهره- وری آب و غذا	بهره‌وری آب و انرژی	بهره‌وری انرژی و غذا	بهره‌وری آب، انرژی و غذا
dX("OTH")	مصرف سایر کالاها	۰	-۰/۴	۰/۱۵	۰/۱۵	-۰/۱۵	۰/۰۶۹	۰/۰۷
dPX("ENG")	قیمت انرژی	-۰/۲۵	-۲/۳۶	-۰/۱۵	-۰/۱۶	-۲/۴	-۲/۵۱	-۲/۵
dPX("WAT")	تغییر قیمت آب	-۰/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۱۵	-۰/۴	-۰/۸۸	-۰/۸۲	-۱/۱
dPX("FOD")	قیمت غذا	-۰/۰۳	-۰/۵۶	-۳/۴۵	-۳/۵	-۰/۵۸	-۴	-۴
dPX("OTH")	قیمت سایر کالاها	-۰/۰۴	-۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۰۵۷	-۰/۸	-۰/۶۸	-۰/۷
EV	معادل هیکسین	۱۵۹۵/۷	۱۴۲۰۰۰	۱۱۹۰۲۷	۱۲۰۶۶۴	۱۴۲۸۵۷	۲۳۶۹۹۲	۲۳۷۷۲۲
CV	جبرانی	-۸۵۳/۸	-۲۱۸۰۰	-۸۷۷۳۲۹	-۸۸۵۵۵	-۳۲۴۷۴۰	-۱۰۸۷۴۴	-۱۰۹۵۵۶
dUHEWF	تابع رفاه مستقیم EWF	۰/۰۵۶	۴/۹۵	۴/۱۵	۴/۲	۴/۹۷	۸/۳	۸/۳
dQH(WAT)	مصرف آب خانوار	۰/۲۸	۴/۸۷	۱/۱	۱/۴	۵/۱	۵	۵/۳
dQH(ENG)	مصرف انرژی خانوار	۰	۶/۷	۱/۱	۱/۱۵	۶/۷	۶/۸	۶/۸
dQH(FOD)	مصرف غذا خانوار	۰/۰۵	۴/۷	۴/۵	۴/۶۳	۴/۷	۸/۵	۸/۵
dYIH	درآمد خانوارها	۰/۰۲۵	۴/۱۵	۰/۹۶	۰/۹۹	۴/۱۵	۴/۱۶	۴/۱
dYIG	درآمد دولت	۰	۰/۳۶	۱/۱	-۰/۵۲	۱/۳	۰/۳۴	۰/۳۶
dAD(wat)	سطح تولید فعالیت آب	۰	-۴/۶	۰	۰	-۸/۸	-۲۰/۲	-۲۰
dAD(eng)	سطح تولید فعالیت انرژی	۰	-۰/۷	۰/۱	۰/۱	-۰/۸۷	-۱/۶	-۱/۶
dAD(fod)	سطح تولید فعالیت غذا	۰/۰۵	۵/۳	-۱/۱۴	-۱/۱	۵	۷/۷	۷/۷

۴-۱-۱- بهبود شاخص بهره‌وری انرژی: بر اساس داده‌های ستون مربوط به بهره‌وری انرژی در جدول شماره ۲، در نتیجه بهبود ۱۰ درصدی شاخص بهره‌وری انرژی و کاهش شدت مصرف آن، قیمت انرژی ۲/۳۶ درصد پایین آمده و همین افت قیمت نهاده کلیدی باعث شده قیمت آب، غذا و سایر کالاها به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۵۶ و ۰/۷۸ درصد کاهش پیدا کند؛ یعنی از منظر «دسترسی اقتصادی»، شوک بهره‌وری انرژی به کاهش عمومی سطح قیمت‌ها منجر شده و قدرت خرید را تقویت کرده است. اما در سمت تولید، اثر اصلی به شکل تغییرات ساختاری ظاهر شده است: سطح فعالیت بخش آب و انرژی و سایر به ترتیب ۴/۶، ۰/۷ و ۰/۵۲ درصد افت کرده، درحالی‌که سطح فعالیت غذا ۵/۲ درصد افزایش نشان می‌دهد؛ این یعنی کاهش نیاز واسطه‌ای انرژی و تغییر قیمت‌های نسبی، برخی بخش‌ها را کوچک‌تر می‌کند ولی هم‌زمان می‌تواند تولیدات غذایی را از مسیر ارزان‌تر شدن هزینه‌ها و تحریک تقاضا تقویت کند. از منظر انرژی می‌توان مشاهده کرد کاهش قیمت، دسترسی اقتصادی به انرژی را بهتر کرده و مصرف انرژی خانوار ۶/۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. با این حال مصرف کل انرژی ۲ درصد افزایش یافته که نشان می‌دهد اثر بهره‌وری

با اثر بازگشتی همراه بوده است، کاهش شدت مصرف و ارزان تر شدن خدمات انرژی، تقاضا را تحریک کرده و بخشی از صرفه جویی فنی را پس زده است. از طرف عرضه، سطح فعالیت انرژی ۰/۷ درصد کاهش دارد که با کاهش تقاضای واسطه‌ای اولیه و افت قیمت انرژی سازگار است، اما به دلیل افزایش تقاضای نهایی، مصرف کل انرژی در نهایت بالا رفته است. بنابراین امنیت انرژی از منظر «قابلیت پرداخت و دسترسی» بهتر می‌شود. کاهش قیمت و افزایش درآمد و مصرف خانوارها به همراه تغییرات معادل هیکسی (EV^1) با مقدار مثبت، بیانگر افزایش رفاه واقعی خانوارهاست؛ نکته مهم این است که با وجود کوچک‌تر شدن ۴/۶ درصدی فعالیت آب، خانوار آب بیشتری مصرف کرده که با افت قیمت سازگار است و نشان می‌دهد تخصیص آب از مصارف واسطه‌ای به سمت مصرف نهایی و رفاهی حرکت کرده است. بنابراین جمع‌بندی علمی این سناریو این است که امنیت غذایی و رفاه خانوار در پیوند WEF^2 تقویت می‌شود، امنیت آب از مسیر کاهش مصرف کل آب و بهبود دسترسی خانوار بهتر می‌شود، امنیت انرژی از نظر دسترسی اقتصادی بهتر می‌شود اما از نظر مقدار مصرف مقداری اثر بازگشتی وجود دارد. این یافته‌ها با مطالعات معتبر جهانی مانند آلن^۳ و همکاران (۲۰۰۷) و کورسلر^۴ و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد.

۴-۱-۲- تغییرات در شاخص بهره‌وری فعالیت آب: کاهش ضرایب لئونتیف آب در تمام فعالیت‌ها معادل نیاز کمتر آن فعالیت برای تولید یک واحد محصول و بهبود شاخص بهره‌وری است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند که تغییرات قیمت کالاها در سناریوی بهبود شاخص بهره‌وری آب، بسیار محدود بوده است؛ به‌طوری که بیشترین کاهش قیمت مربوط به بخش آب و در حدود ۰/۲۵ درصد و تغییر قیمت سایر کالاها کمتر از ۰/۱ درصد است. این مقادیر از منظر اقتصادی ناچیز تلقی می‌شوند. مصرف کل آب، انرژی و غذا در سطح اقتصاد تقریباً بدون تغییر باقی مانده و تنها نوسانات حاشیه‌ای مشاهده می‌شود. شاخص رفاه تغییر معنی داری نکرده است، مصرف خانوار

^۱ تغییرات معادل ($EV - Equivalent Variation$): شاخصی است که تغییرات رفاه مصرف‌کننده در اثر یک شوک یا سیاست را بر اساس قیمت‌های پایه ارزیابی کرده و نشان می‌دهد چه مقدار تغییر در درآمد پیش از شوک، اثری معادل آن سیاست بر مطلوبیت خانوار خواهد داشت.

^۲ Water-Energy-Food

^۳ Allan

^۴ Koesler

از آب ۰/۲۸ درصد افزایش یافته و تغییر مصرف خانوار از انرژی و غذا و تغییر درآمد خانوارها ناچیز است. در مجموع، بهبود بهره‌وری آب در ساختار فعلی مدل و ماتریس حسابداری اجتماعی، شوک قیمتی یا تولیدی قابل توجهی ایجاد نکرده و اثرات آن عمدتاً در حد تغییرات حاشیه‌ای و خنثی باقی مانده است. این نتایج حاکی از مقاومت بالای اقتصاد در برابر سیاست‌های بهبود بهره‌وری آب در کوتاه‌مدت است و نشان می‌دهد که سهم پایین آب به‌عنوان نهاده واسطه در هزینه‌های تولید، سرریز اثرات این سیاست را بسیار محدود کرده است.

۴-۱-۳- تغییرات در شاخص بهره‌وری فعالیت غذا: فرض می‌شود بهبود بهره‌وری تولید غذا از طریق بهبود تکنولوژیک، کاهش نهاده‌های واسطه لازم، بهبود روش‌های کشاورزی یا کاهش تلفات صورت می‌پذیرد. در این صورت همان‌طور که در نتایج قابل مشاهده است تغییر چندانی در تولید کلی غذا رخ نداده است و تولید ناخالص داخلی هم تغییر معناداری ندارد (جدول ۲). این نتیجه بیانگر آن است که صرفه‌جویی حاصل از بهره‌وری غذا عمدتاً به صورت کاهش قیمت و افزایش رفاه واقعی خانوارها (در حدود ۴/۱ درصد)، ظاهر شده است. مصرف غذا در کل اقتصاد تغییر چندانی نداشته (۰/۲۳-درصد) مصرف آن توسط خانوار حدود ۴/۶ درصد افزایش یافته که عمدتاً ناشی از رشد اقتصادی و کاهش قیمت ۳/۵ درصدی غذا بوده است، یعنی مردم ایران غذای بیشتر و با کیفیت‌تری مصرف کرده‌اند. این پدیده می‌تواند ناشی از اثر درآمدی^۱ باشد: وقتی غذا به‌عنوان نهاده ارزان‌تر می‌شود، هزینه زندگی کاهش می‌یابد، درآمد واقعی خانوارها بالا می‌رود و آنها می‌توانند غذای بیشتری بخرند. در نتیجه، رفاه واقعی خانوارها ۴/۶۶ درصد افزایش یافته است، تغییرات معادل هیکسی مثبت و تغییرات جبرانی منفی است که بیانگر افزایش قدرت خرید واقعی خانوارها و بهبود کلی رفاه جامعه می‌باشد. پوور و نمسک^۲ (۲۰۱۸)، نیز نشان دادند که بهبود بهره‌وری تولید غذا، اغلب منجر به کاهش هزینه‌های تولید و در نتیجه کاهش قیمت غذا برای مصرف‌کنندگان می‌شود و این کاهش قیمت، بدون تغییر عمده در تولید کل غذا رخ می‌دهد، زیرا تمرکز بر کارایی بالاتر در زنجیره تأمین است (تولید کلی نسبتاً پایدار باقی می‌ماند، اما با نهاده کمتر). بر اساس نتایج، افزایش بهره‌وری غذا تاثیر چندانی بر کاهش مصرف انرژی و آب نداشته است. یکی از دلایل مهم آن اثر درآمدی و قیمتی ناشی از بالا رفتن درآمدها و افزایش تقاضا بوده

¹ income effect

² Poore, J., & Nemecek

و نشان‌دهنده ماهیت پیچیده پیوند آب انرژی و غذا است: بهبود بهره‌وری در یک رکن (غذا) لزوماً فشار بر رکن دیگر (آب یا انرژی) را کاهش نمی‌دهد، به ویژه وقتی اثر درآمدی باعث افزایش تقاضای کلی شود. ثابت ماندن مصرف آب با وجود بهبود بهره‌وری غذا نیز تا حدی تحت تاثیر کم‌شماری مصرف آب در فعالیت‌های مرتبط با تولید غذا در ماتریس حسابداری اجتماعی ایران است.

۴-۱-۴- سناریوهای تغییرات همزمان در شاخص بهره‌وری: برای بررسی دقیق‌تر پیوند، چهار سناریو مختلف شامل افزایش همزمان شاخص بهره‌وری آب-غذا، انرژی-غذا، آب-انرژی و آب-انرژی-غذا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مندرج جدول ۲ نشان می‌دهد که پویایی‌های پیوند آب، انرژی و غذا و پیامدهای سیاست‌های بهره‌وری، عمدتاً تحت تأثیر نهاده‌هایی قرار دارد که سهم هزینه‌ای بالاتری در ساختار تولید دارند. در میان ترکیب‌ها، سناریوی «آب-غذا» تقریباً بازتاب کامل سناریوی تکی غذاست (کاهش ۳/۵ درصدی قیمت غذا و رشد ۴/۲ درصدی رفاه) و افزودن بهره‌وری آب، خنثی بودن آن را تغییر نداده است. از همه مهم‌تر، سناریوی سه‌گانه «آب-انرژی-غذا» نتایجی تقریباً منطبق با سناریوی «انرژی-غذا» دارد؛ هر دو سناریو کاهش ۲۰ درصدی مصرف کل آب، کاهش ۴ درصدی قیمت غذا، و جهش ۸/۳ درصدی شاخص رفاه را ثبت کرده‌اند. این هم‌پوشانی تأیید می‌کند که در ساختار اقتصادی مورد مطالعه، تکانه بهره‌وری آب در حضور شوک‌های پر قدرت انرژی و غذا، اثر مستقل و قابل توجهی از خود نشان نمی‌دهد. بر این اساس، و برای پرهیز از طولانی شدن مقاله، در ادامه تحلیل تفصیلی، به دو سناریوی کلیدی که پویایی‌های متقاطع مهم‌تری از پیوند را نمایان می‌سازند، اختصاص می‌یابد: بهبود همزمان انرژی-غذا و بهبود همزمان آب-انرژی.

۴-۱-۴-۱- بهبود همزمان شاخص بهره‌وری انرژی و غذا: در سناریوی بهبود همزمان شاخص بهره‌وری در دو بخش کلیدی انرژی و غذا، شوک از طریق دو کانال مستقل اما تقویت‌کننده‌ی یکدیگر عمل می‌کند: کاهش هزینه‌های انرژی (که در ساختار هزینه تولید سهم بالایی دارد)، و کاهش هزینه‌های غذا (که مستقیماً سطح قیمت مصرف‌کننده را پایین می‌آورد). با بررسی نتایج جدول ۲ می‌توان گفت، ترکیب همزمان بهبود شاخص بهره‌وری انرژی و غذا، موجب کاهش قیمت‌ها در سراسر اقتصاد شده است. قیمت انرژی ۲/۵۱ درصد کاهش یافته که عمدتاً ناشی از کاهش شدت

مصرف انرژی در فرایند تولید است. این افت قیمت از مسیر کاهش هزینه‌های واسطه‌ای به سایر بخش‌ها منتقل شده و قیمت آب را ۰/۸۲ درصد و قیمت سایر کالاها را ۰/۶۸ درصد کاهش داده است. مهم‌ترین تغییر قیمتی در بخش غذاست؛ قیمت غذا ۴ درصد کاهش یافته که ترکیبی از اثر مستقیم (کاهش هزینه تولید غذا) و اثر غیرمستقیم (کاهش هزینه انرژی به‌عنوان نهاده تولید غذا) است. این کاهش قیمت غذا که در مقایسه با سناریوی تک‌بعدی بهره‌وری غذا (۳/۴۵ درصد) کمی تقویت شده است، نشان می‌دهد که بهبود شاخص بهره‌وری انرژی از کانال کاهش هزینه تمام‌شده تولید، اثر بهره‌وری غذا را تقویت می‌کند. در سمت تقاضا مصرف کل آب به میزان ۲۰ درصد کمتر شده است. این کاهش چشمگیر در حالی رخ می‌دهد که بهره‌وری آب مستقیماً بهبود نیافته، بلکه ناشی از کاهش تقاضا در بخش‌های آب‌بر و جانشینی نهاده‌ها است. مصرف کل انرژی ۰/۸۲ درصد افزایش داشته که نشان‌دهنده وقوع اثر بازگشتی است: کاهش شدت مصرف انرژی در واحد تولید، با افزایش سطح فعالیت بخش‌های انرژی‌بر (به ویژه رشد ۷/۷۳ درصدی تولید غذا) جبران شده است. مصرف کل غذا نیز ۵/۶۸ درصد افزایش یافته که ناشی از کاهش قیمت و افزایش تقاضای نهایی است. افزایش مصرف خانوار از آب، انرژی و غذا به دنبال کاهش قیمت آنها و بهبود عرضه و بهبود شاخص‌های رفاهی نشان می‌دهند از سه منظر دسترسی‌پذیری، قابلیت خرید و مصرف، امنیت آب، غذا و انرژی در این سناریو به‌طور همه‌جانبه بهبود یافته است. این سناریو قوی‌ترین اثر رفاهی را در میان سناریوهای دوگانه ثبت کرده است. شاخص رفاه مستقیم آب-انرژی-غذا، با رشد ۸/۳ درصدی، نشان‌دهنده بهبود ترکیب مصرفی خانوارها از هر سه کالای اساسی است. تغییرات معادل هیکسی (EV) با مقدار مثبت (که بزرگ‌ترین عدد در میان سناریوهای دوگانه است) بیانگر افزایش قابل توجه رفاه واقعی خانوارهاست.

۴-۱-۲- سناریوی بهبود همزمان شاخص‌های بهره‌وری آب و انرژی: پیامد مستقیم شوک سیاستی در این سناریو نیز کاهش محسوس هزینه‌های واسطه‌ای و بهبود شاخص‌های کارایی پیوند بوده است. از منظر رفاه، تغییر معادل هیکسی مثبت و شاخص رفاه جبرانی منفی دلالت بر بهبود رفاه دارند و با کاهش قیمت‌ها سازگار است. قیمت آب ۰/۹، انرژی ۲/۴، غذا ۰/۵۸ و قیمت سایر کالاها ۰/۸ درصد کاهش یافته است. کاهش قیمت انرژی در این سناریو بیشترین مقدار را داشته و نقش موتور محرک کاهش هزینه تولید را ایفا می‌کند؛ در سمت تقاضا، کاهش قیمت‌ها همراه با افزایش درآمد، مصرف خانوار را در همه گروه‌ها بالا برده است؛ مصرف آب ۵/۰۸، انرژی ۶/۷، غذا

۴/۷ و مصرف سایر کالاها ۵ درصد افزایش یافته و هم‌زمان درآمد خانوار ۴/۲ درصد رشد کرده است؛ بنابراین از منظر «دسترسی اقتصادی»، امنیت آب و انرژی و غذا در سطح خانوار تقویت می‌شود. با این وجود، مصرف آب کل اقتصاد کاهش معنی‌داری دارد و این نکته برای تفسیر امنیت آب بسیار مهم است: مقدار کل تقاضای آب و سطح فعالیت بخش آب در اقتصاد ۸/۷ درصد کاهش یافته‌است؛ بنابراین افزایش مصرف خانوار عمدتاً از کانال کاهش قیمت و افزایش درآمد رخ داده، اما کاهش مصرف واسطه‌ای آب در کل اقتصاد (به‌ویژه به دلیل کوچک شدن بخش آب و تعدیل تقاضای تولیدی) بزرگ‌تر بوده و در نتیجه مصرف کل آب کاهش یافته است. این نتیجه با مقایسه تغییرات مصرف انرژی و غذا در اقتصاد روشن‌تر می‌شود مصرف انرژی ۱/۷ و غذا ۳/۳۸ درصد افزایش داشته‌اند. از منظر ساختار تولید، بازآرایی فعالیت‌ها قابل توجه است: فعالیت بخش غذا ۵/۱ درصد افزایش یافته، در حالی که فعالیت بخش انرژی ۰/۷۸ درصد، سایر بخش‌ها ۰/۲۶ درصد و بخش آب ۸/۸۵ درصد افت کرده است. این الگو نشان می‌دهد شوک بهره‌وری آب-انرژی با کاهش هزینه‌های کلیدی، مزیت نسبی را به نفع تولید غذا تقویت کرده و در مقابل، نیاز اقتصاد به «فعالیت آب» و بخشی از فعالیت انرژی را کاهش داده است؛ به بیان دیگر، بخشی از تقاضای خدمات-کالای آب و انرژی به دلیل کاراتر شدن مصرف نهاده‌ها، با سطح فعالیت کمتری پاسخ داده می‌شود. در نهایت، افزایش شاخص رفاه ۴/۸۹ در کنار افزایش مصرف خانوار، نشان می‌دهد که این بسته سیاستی علاوه بر بهبود رفاه از منظر امنیت آب، غذا و انرژی اثرات مثبت قابل توجهی دارد.

۲-۴- سناریوهای مبتنی بر قیمت:

نتایج مربوط به سناریوهای تغییر در شاخص قیمت آب، انرژی و غذا در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول شماره ۳ نتایج سناریو افزایش شاخص قیمت (منبع: یافته‌های تحقیق، بر اساس خروجی نرم افزار گمز)

نام شاخص (درصد تغییر)	افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب	افزایش ۱۰ درصدی قیمت انرژی	افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا
dX(eng) مصرف کل انرژی	۰	-۲/۴	۰/۵۱
dX(wat) مصرف کل آب	۰	-۲/۴	۰/۰۱
dX(fod) مصرف کل غذا	-۰/۰۳	-۳	-۵/۳
dX(oth) مصرف سایر کالاها	۰	-۲	۰/۹
dPe قیمت انرژی	۰	۱۰	۰/۱۱

نام شاخص (درصد تغییر)	افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب	افزایش ۱۰ درصدی قیمت انرژی	افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا
dPw	۱۰	-۱	۰/۱۲
dPf	۰/۰۳	۰/۶	۱۰
dPoth	۰/۰۴	۰/۹۶	-۰/۰۷
dGDP	۰	-۰/۷	-۰/۱۲
EV	-۴۵۹۴	-۱۵۹۵۹۴	-۱۹۶۵۵۵
CV	۳۸۷۰	۴۹۹۸۵	۲۵۱۰۱۹
dUHEWF	-۰/۱۵	-۵/۱	-۶/۸
dQH(wat)	-۳/۱	-۲/۶	۱/۳
dQH(eng)	-۰/۰۳	-۱۲/۳	۱/۲
dQH(fod)	-۰/۰۵	-۴/۱	-۷/۸
dQH(oth)	-۰/۰۶	۱/۲	۱/۴
dYIH	-۰/۰۲	-۳/۵	۱/۳
dYIG	۰/۴۵	۱/۲	۳/۳۷
dAD(wat)	۰	-۲/۴	۰
dAD(eng)	۰/۰۵	۱۰/۷	۰/۶۴
dAD(fod)	-۰/۰۵	-۳/۲	-۶/۵
dAD(oth)	۰	-۲/۳	۰/۱

۴-۲-۱- سناریو افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا : براساس جدول شماره ۳، در واکنش به شوک افزایش شاخص قیمت غذا، مصرف خانوار از غذا کاهش قابل توجهی در حدود ۷/۷۹ درصد یافته و در مقابل، مصرف خانوار از سایر گروه‌های کالایی اندکی افزایش یافته است (آب ۱/۱۹، انرژی ۱/۲ و سایر ۱/۳۸) که بیانگر جابه‌جایی سبد مصرف و اثر جانشینی در پاسخ به افزایش قیمت غذا بوده است، کشش قیمتی محاسبه شده حدود ۰/۶۸- است که نشان‌دهنده کشش‌ناپذیری (پایین بودن کشش قیمتی) تقاضا برای محصولات غذایی و ضروری بودن این اقلام در سبد مصرفی خانوار است؛ به عبارت دیگر، علیرغم افزایش شدید قیمت، مصرف‌کنندگان توانایی کاهش متناسب مصرف را نداشته‌اند. از نظر امنیت غذایی که بر اساس ابعاد دسترسی اقتصادی، دسترسی فیزیکی، مصرف و پایداری تعریف می‌شود، افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا بیشترین تأثیر را بر بعد دسترسی اقتصادی خانوارها داشته است. کاهش ۸/۷ درصدی مصرف غذای خانوار در کنار افزایش تنها ۳/۱ درصدی درآمد اسمی آنان به همراه EV منفی و CV مثبت، بیانگر افت شدید رفاه، قدرت خرید و توانایی تأمین غذای کافی است. از سوی دیگر، کاهش ۳/۵ درصدی مصرف کل غذا در اقتصاد و افت ۵/۶ درصدی تولید بخش غذا، بعد دسترسی فیزیکی را نیز تضعیف کرده و عرضه داخلی را با

کاهش ۴ درصدی مواجهه ساخته است. افزایش صادرات غذا نشان می‌دهد بخشی از عرضه داخلی به بازار خارجی منحرف شده و فشار بر تأمین بازار داخلی را بیشتر کرده است. در بعد امنیت آب و انرژی، با توجه به افزایش حدود ۱ درصدی مصرف و ثبات نسبی قیمت انرژی (حدود ۰/۱ درصد افزایش)، فشار این سناریو بر این بخش نسبتاً محدود است. پیوندهای آب-انرژی-غذا و یک تبادل و بده‌بستان ساختاری در نتایج این سناریو تا حدودی نمایان است: شوک قیمت غذا از طریق اثر درآمدی و جانشینی، الگوی مصرف خانوار را به نفع آب و انرژی تغییر داده و هم‌زمان با کاهش تولید غذا، نهاده‌های تولیدی (از جمله آب و انرژی مصرفی در کشاورزی) را آزاد کرده که تا حدودی به سایر بخش‌ها منتقل شده است. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های بازیلیان و همکاران^۱ (۲۰۱۱) هم‌راستا است؛ آن‌ها نیز در چارچوب پیوند آب، انرژی و غذا نشان می‌دهند که شوک‌ها و مداخلات در بخش غذا از طریق بازتخصیص نهاده‌ها و تغییر الگوی مصرف، می‌تواند فشار بر منابع آب و انرژی را در سایر بخش‌ها تغییر داده و در بلندمدت چالش‌هایی برای پایداری این منابع ایجاد کند.

۴-۲-۲- سناریو افزایش ۱۰ درصدی قیمت انرژی: افزایش هزینه و قیمت انرژی به کاهش تقاضای نهایی انرژی و انقباض عمومی فعالیت‌های اقتصادی منجر می‌شود. مصرف کل انرژی در اقتصاد کاهشی در حد ۲/۴ درصد داشته است. افت درآمد واقعی خانوار در حد ۳/۷ و درآمد شرکت‌ها در حد ۳/۴ درصد بوده است. کاهش مصرف خانوار از انرژی در حدود ۱۲/۳ درصد و کاهش مصرف از آب ۲/۶، غذا ۴/۱۵ و سایر کالاها ۳/۸ درصد، نتایجی هستند که به همراه کاهش درآمد خانوارها قابل توجه می‌باشند. در بخش تولید، با بالا رفتن هزینه انرژی تخصیص عوامل به سمت فعالیت انرژی تقویت شده و استفاده از سرمایه در فعالیت انرژی ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است. کاهش شاخص رفاه در حد ۵ درصد به همراه تغییرات معادل هیکسی منفی و تغییر جبرانی مثبت، بیانگر زیان رفاهی ناشی از شوک قیمت انرژی است. در طرف قیمت‌ها، شوک انرژی باعث افزایش قیمت‌های داخلی غذا و سایر کالاها به‌صورت محدود شده (کمتر از یک درصد)، در حالی که قیمت آب در حد یک درصد کاهش یافته است که می‌تواند ناشی از افت تقاضای کل و تعدیل قیمت‌های نسبی باشد. کاهش قابل توجه مصرف انرژی خانوار از دو کانال افزایش ۱۰ درصدی

^۱ Bazilian et al.

انرژی و کاهش ۳/۶ درصدی درآمد بوده است؛ یعنی خانوار هم با شوک قیمت و هم با شوک درآمد مواجه است. از دیدگاه امنیت انرژی این داده‌ها به معنی کاهش توانایی پرداخت خانوارها می‌باشد. کاهش ۱ درصدی قیمت آب در کنار کاهش ۲/۶ درصدی مصرف آب خانوار نشان می‌دهد که در بحث امنیت آب، کانال درآمد نسبت به قیمت غالب است، چون اگر فقط قیمت آب ملاک بود، کاهش قیمت باید مصرف را بالا می‌برد؛ اما افت درآمد خانوار در حد ۳/۵۶ آنقدر قوی است که اثر کاهش قیمت آب را خنثی می‌کند و مصرف آب پایین می‌آید. کاهش ۲/۳۶ درصدی عرضه آب نشان می‌دهد بعد عرضه هم تضعیف شده است. از منظر امنیت غذایی، در بعد دسترسی اقتصادی، کاهش ۳/۵ درصدی درآمد خانوار در کنار افزایش ۰/۶ درصدی قیمت غذا، قدرت خرید خانوارها را کاهش داده و منجر به افت ۴/۱ درصدی مصرف غذای خانوار شده است. در بعد دسترسی فیزیکی، کاهش ۳ درصدی مصرف کل غذا و افت ۳/۲ درصدی سطح تولید فعالیت غذا همراه با کاهش ۲/۸ درصدی واردات غذا، عرضه مواد غذایی در بازار داخلی را محدود ساخته است. نکته قابل تأمل آنکه صادرات غذا نیز ۱/۷ درصد کاهش یافته که نشان‌دهنده انقباض کلی بخش غذا و عدم توانایی در جبران کاهش عرضه داخلی از طریق تجارت است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد شوک قیمت انرژی از کانال هزینه تولید، درآمد عوامل، تقاضای نهایی و بازتخصیص بین بازار داخلی و خارجی، به کاهش تولید، افت رفاه و تضعیف امنیت اقتصادی-اجتماعی در اقتصاد منجر می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین نظیر سلیمانی و کاری^۱ (۲۰۱۴)، که با استفاده از مدل‌سازی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر نشان دادند شوک افزایش قیمت انرژی، بدون مکانیسم‌های جبرانی، از طریق افت درآمد واقعی و افزایش هزینه‌های تولید به کاهش مصرف و زیان رفاهی خانوارها منجر می‌شود، همسویی کامل دارد. در مورد امنیت غذا نیز این یافته با نتایج بریزینگر^۲ و همکاران (۲۰۱۸) در مورد اصلاح یارانه انرژی در مصر، مطابقت دارد. در مجموع، نتایج این سناریو نشان می‌دهد که شوک قیمت انرژی، برخلاف تصور رایج که عمدتاً بر بخش انرژی متمرکز است، از طریق زنجیره‌های پیوندی به شدت بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد و موجب تضعیف همزمان هر دو بعد دسترسی اقتصادی و فیزیکی غذا می‌شود. بنابراین، در طراحی سیاست‌های اصلاح قیمت انرژی، ضروری

¹ Solaymani & Kari

² Breisinger

است مکانیسم‌های جبرانی هدفمند برای حمایت از امنیت غذایی خانوارها، به ویژه گروه‌های آسیب‌پذیر، پیش‌بینی شود

۴-۲-۳- سناریو افزایش ۱۰ درصدی قیمت آب: در نتیجه این سیاست تولید و عرضه داخلی آب تقریباً ثابت باقی مانده و تغییرات آن در حد نزدیک به صفر است و نیز تقاضای داخلی برای آب نیز تغییری نکرده است که این رفتار نشان‌دهنده کشش کم عرضه آب در ساختار مدل و محدود بودن امکان تعدیل مقدار تولید در واکنش به شوک قیمتی است. در سمت تقاضا، واکنش خانوار به شوک قیمتی آب قابل توجه بوده و مصرف نهایی خانوار از آب حدود ۳ درصد کاهش یافته است؛ در حالی که تغییرات مصرف خانوار در سایر گروه‌های کالایی بسیار محدود و در حد چند صدم درصد بوده است. این الگو نشان می‌دهد که در این سناریو، اثر غالب سیاست از مسیر «قیمت آب-کاهش تقاضای نهایی آب» بروز کرده و سرایت آن به سایر بازارها و اجزای سبد مصرفی نسبتاً محدود مانده است. شاخص رفاه آب، انرژی و غذا کاهشی در حد ۰/۱۶ درصد را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که با توجه به عدم تغییر فعالیت کلان، اثر رفاهی شوک در شاخص پیوندی WEF در این سناریو نسبتاً محدود بوده است. از منظر شاخص‌های پولی رفاه نیز، تغییرات معادل رفاهی هیکس منفی بیانگر کاهش رفاه معادل در تعادل جدید است؛ در بخش عوامل و نهادها، اثر شوک بر درآمدها بسیار کوچک بوده است و درآمد خانوار و شرکت‌ها نیز تغییر معنی داری نداشته‌اند. در مجموع، سناریوی افزایش مالیات آب سبب کاهش مصرف نهایی آب توسط خانوار شده است، در حالی که مقدار تولید آب تقریباً ثابت باقی مانده و اثرات سرریزی به سایر کالاها و بازارها محدود است؛ این داده‌ها نشان می‌دهند شوک قیمتی آب در رفاه خانوار اثر منفی دارد و از منظر امنیت آب، مؤلفه «دسترسی و استطاعت اقتصادی» (از طریق کاهش مصرف) در تعادل جدید تضعیف می‌شود. بریتلا^۱ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل تعادل عمومی (GTAP^۲) انجام شده، نشان دادند که وقتی قیمت آب (یا مالیات بر آن) افزایش می‌یابد، تولید کل آسیب جدی نمی‌بیند. با این حال، شاخص‌های رفاهی (مانند EV) کاهش می‌یابند و مصرف نهایی خانوار افت می‌کند.

^۱ Berrittella

^۲ Global Trade Analysis Project

۵-۵. بحث و ارزیابی نتایج

یافته‌های این پژوهش آشکار می‌سازد که سیاست‌های بهبود بهره‌وری در پیوند آب، انرژی و غذا زمانی به حداکثر کارایی و پایداری می‌رسند که به صورت ترکیبی و با اولویت‌بندی درست اجرا شوند. در سناریوهای تک بعدی، بهبود بهره‌وری آب تقریباً خنثی عمل می‌کند و تنها تغییرات جزئی در قیمت، مصرف و رفاه ایجاد می‌نماید. براساس نتایج، بهبود بهره‌وری انرژی به تنهایی رفاه خانوار را به‌طور قابل توجهی افزایش داده، اما با اثر بازگشتی قابل ملاحظه در مصرف انرژی همراه بوده است. بهبود بهره‌وری غذا نیز رفاه را افزایش داده امنیت آب، انرژی و غذا را ارتقاء می‌دهد. قوی‌ترین هم‌افزایی در سناریوی بهبود بهره‌وری همزمان انرژی و غذا مشاهده شده است: مصرف کل آب به‌طور چشمگیر کاهش یافت در حالی که رفاه با رشد همراه بوده است. این کاهش قابل توجه آب، حاصل صرفه‌جویی دوجانبه است؛ کاهش ضریب مصرف آب در بخش غذا و کاهش تقاضای آب برای تولید و انتقال انرژی. سناریوی سه‌گانه نیز عملکرد مشابهی دارد و تنها سناریویی است که افزایش سطح تولید کل اقتصاد را ثبت کرده است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که آب به تنهایی یا در ترکیب با غذا تأثیر محدودی دارد، اما وقتی با انرژی همراه می‌شود، پتانسیل واقعی خود برای کاهش فشار بر منابع آبی را آشکار می‌سازد. از منظر علمی، این یافته با ادبیات نوظهور پیوند آب، انرژی و غذا (برای نمونه: باردازی^۱ و دیگران، ۲۰۲۴) همخوانی دارد که بر لزوم رویکردهای ترکیبی به جای سیاست‌های تک‌بعدی تأکید می‌کنند. بر این اساس بهبود بهره‌وری ترکیبی (به‌ویژه هم‌افزایی انرژی و غذا) و پس از آن بهبود بهره‌وری انرژی، بالاترین هزینه-اثربخشی را دارند؛ زیرا با ایجاد گسترده‌ترین سرریزهای مثبت در سایر بخش‌ها، بیشترین رشد را در رفاه اقتصادی و کارایی کل سیستم ایجاد می‌کنند. یکی از یافته‌های پژوهش حاضر، شناسایی پدیده اثر بازگشتی در سناریوهای ارتقاء بهره‌وری است. اگرچه تجزیه و تحلیل دقیق اجزای این اثر (تفکیک اثر جانشینی خالص از اثر درآمدی) به دلیل ساختار توابع تولید (لئونتیف) و سهم هزینه‌ای ناچیز آب و انرژی در ماتریس حساب‌های اجتماعی (SAM) با محدودیت‌هایی روبه‌رو است، اما محاسبه اثر خالص کلان نتایج قابل تأملی به همراه دارد. از منظر سیاست‌گذاری، این یافته متذکر می‌شود در ساختار یارانه‌ای اقتصاد ایران، ارتقاء بهره‌وری صرفاً فناورانه، به مثابه یک یارانه پنهان عمل کرده و با کاهش

¹ Bardazzi

هزینه‌های نهایی، موجب تحریک تقاضا و انبساط تولید و در نهایت جذب مجدد و باز مصرف منابع صرفه‌جویی شده می‌گردد. از این‌رو، اثربخشی سیاست‌های بهره‌وری منوط به اجرای همزمان سیاست‌های قیمتی (واقعی‌سازی تدریجی قیمت‌ها) یا اعمال سقف مصرف (سهمیه‌بندی) جهت خنثی‌سازی شوک‌های تقاضا است. یافته‌های شبیه‌سازی سناریوهای قیمتی، تصویر متفاوتی از سیاست‌گذاری در پیوند آب، انرژی و غذا ارائه داده نشان می‌دهد ابزارهای قیمتی همانند حذف یارانه‌ها یا افزایش مالیات، برخلاف سیاست‌های بهره‌وری، حداقل در کوتاه مدت رفاه را کاهش داده اثرات جانبی گسترده‌ای بر امنیت سه‌گانه ایجاد می‌کنند. در سناریوی افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا از طریق مالیات فروش، رفاه به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و تغییرات معادل هیکسی منفی بزرگی ثبت شده است؛ با این حال، مقدار مصرف غذا به نسبتی کمتر از افزایش قیمت کاهش یافت که مؤید کشش‌ناپذیری تقاضای غذا می‌باشد. این ترکیب «کشش مقداری پایین و افت رفاهی بالا»، آسیب‌پذیری خانوارهای کم‌درآمد را نشان می‌دهد، زیرا بخش عمده‌ای از درآمد آنها صرف تأمین نیاز غذایی نسبتاً ثابت و غیرقابل جانشینی می‌شود. همزمان، سطح فعالیت بخش غذا منقبض شده بعد دسترسی فیزیکی و اقتصادی امنیت غذایی را تضعیف می‌کند. جالب آنکه صادرات غذا افزایش یافت که بیانگر جابه‌جایی عرضه از بازار داخلی به خارجی و تشدید فشار بر امنیت غذایی داخلی است. مصرف آب و انرژی خانوار اندکی افزایش یافت این تغییر می‌تواند بازتابی از تغییر الگوی رفتار مصرفی (مانند افزایش پخت‌وپز در منزل به جای تهیه غذاهای آماده) و همچنین باز تخصیص بودجه به سمت اقلام به‌طور نسبی ارزان‌تر باشد. سناریوی افزایش قیمت انرژی، گسترده‌ترین و شدیدترین اثرات را نشان دادند. مصرف انرژی و درآمد واقعی خانوار افت کرده و شاخص رفاه کلی نیز پایین می‌آید. مصرف کل غذا و آب خانوار نیز کاهش یافت که نشان‌دهنده انتقال شوک انرژی به دو بخش دیگر از طریق کانال هزینه تولید و درآمد است. این الگو دقیقاً همان پدیده‌ای است که در مطالعات اصلاح یارانه انرژی در کشورهای در حال توسعه مشاهده می‌شود: شوک انرژی نه تنها امنیت انرژی را از منظر دسترسی اقتصادی تضعیف می‌کند، بلکه از طریق زنجیره تأمین، امنیت غذایی را نیز تحت فشار قرار می‌دهد. در مقابل، سناریوی افزایش قیمت آب اثرات بسیار محدود و در حد خنثی باقی گذاشت. عدم تغییر قابل توجه قیمت و مصرف کالاها در نتیجه اجرای سیاست قیمتی و

بهره‌وری آب، ناشی از شدت پایین یا ناچیز سهم هزینه‌ای آب در بخش‌های مختلف تولید است. در ماتریس حسابداری اجتماعی مورد استفاده، سهم آب در هزینه‌های تولید بسیار پایین یا نزدیک به صفر است. این ساختار مدل با واقعیت‌های مالی اقتصاد ایران همخوانی دارد؛ جایی که هزینه پرداختی برای آب سهم ناچیزی از کل هزینه‌های تولید را تشکیل می‌دهد و شوک قیمتی آب به بازار منتقل نمی‌شود. این امر ناشی از کم‌شماری سیستماتیک ارزش آب در حساب‌های ملی ایران است، زیرا مقادیر ثبت‌شده صرفاً منعکس‌کننده تعرفه‌های یارانه‌ای است و ارزش اقتصادی یا قیمت سایه‌ای آب را نشان نمی‌دهد. خنثی بودن این سناریو، حاوی یک یافته‌ی سیاستی است مبنی بر اینکه در ساختار فعلی اقتصاد ایران، اتکای صرف به ابزار قیمت‌گذاری آب (روی پایه‌ی قیمتی بسیار پایین) اهرم کارآمدی برای تغییر رفتار تولیدکننده نخواهد بود و همین امر، ضرورت اتخاذ سیاست‌های مبتنی بر ارتقاء فیزیکی بهره‌وری را توجیه می‌کند. از سوی دیگر، از منظر تحلیلی، نتایج قیمتی این پژوهش را باید به مثابه کران پایین اثرات واقعی در نظر گرفت. حتی با سهم ناچیز ثبت شده آب در ماتریس حسابداری اجتماعی، جهت تغییرات (مانند کاهش تولید در بخش‌های آبر و بازتخصیص منابع) با انتظارات نظری سازگار است؛ بنابراین با واقعی‌تر شدن قیمت آب در صورت دسترسی به داده‌های دقیق‌تر، این الگوها تشدید خواهند شد، نه معکوس. به عبارت دیگر، جهت و سازوکار انتقال اثرات در سناریوهای قیمتی معتبر باقی می‌ماند و بینش‌های کیفی قابل‌اتکایی درباره آسیب‌پذیری نسبی بخش‌ها در برابر اصلاح قیمت آب فراهم می‌کند.

مقایسه سه سناریو قیمتی، یک تبادیل و بده‌بستان ساختاری روشن را آشکار می‌سازد. افزایش قیمت غذا بیشترین آسیب را به امنیت غذایی وارد می‌کند، افزایش قیمت انرژی شوک سیستمیک به تمام پیوند وارد آورده، و افزایش قیمت آب تقریباً بی‌اثر می‌باشد. این الگو نشان می‌دهد که ابزار قیمت‌گذاری در بخش‌هایی که کشش تقاضا پایین و سهم نهاده بالا است (غذا و انرژی)، بسیار پرهزینه‌تر از بخش‌هایی است که سهم نهاده ناچیز است (آب). از منظر هم‌افزایی منفی، شوک انرژی قوی‌ترین انتقال اثر را به غذا داشته، در حالی که شوک غذا بر آب و انرژی اثر جانشینی ایجاد کرده است. از دیدگاه نظری، این یافته‌ها با ادبیات اصلاح یارانه انرژی و غذا در کشورهای در حال توسعه همخوانی دارد (برای نمونه: باردازی و بوسل، ۲۰۲۱؛ عابدی، ۲۰۲۰). افزایش قیمت بدون جبران، معمولاً رفاه خانوارهای کم‌درآمد را به شدت کاهش می‌دهد و اثر بازگشتی معکوس (کاهش مصرف ضروری) ایجاد می‌کند. در ایران، جایی که یارانه‌های انرژی و غذا بخش بزرگی از

بودجه خانوارهای پایین‌درآمد را تشکیل می‌دهند، این سیاست‌ها بدون بسته حمایتی هدفمند، بیشتر به تشدید نابرابری و تضعیف امنیت انسانی منجر می‌شوند. در نهایت، مقایسه سناریوهای بهره‌وری و قیمتی نشان می‌دهد که سیاست‌های عرضه‌محور (بهبود بهره‌وری) به‌طور معناداری بر تر از سیاست‌های تقاضا-محور (افزایش قیمت) عمل می‌کنند. بهره‌وری همزمان انرژی و غذا نه تنها رفاه را افزایش داد بلکه مصرف آب را به شدت کاهش داد، در حالی که افزایش قیمت‌ها عمدتاً رفاه را کاهش داد بدون آنکه صرفه‌جویی ساختاری قابل توجهی ایجاد کند.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی

یافته‌های کلیدی نشان می‌دهند که سناریوهای بهبود فن‌آوری و افزایش بهره‌وری، منجر به بهبود رفاه خانوارها می‌شوند، در حالی که سیاست‌های قیمتی (افزایش مالیات یا حذف یارانه‌ها) حداقل در کوتاه مدت، اثرات رکودی بر اقتصاد و پیامدهای منفی بر رفاه خانوارهای کم‌درآمد دارند. بر اساس نتایج و از منظر سیاستی، می‌توان نتیجه گرفت، سیاست‌های بهبود بهره‌وری باید به صورت بسته‌های ترکیبی، طراحی شوند. چنین رویکردی نه تنها امنیت غذایی و رفاه خانوار را تقویت می‌کند، بلکه فشار بر منابع آبی محدود کشور را به شکل ساختاری و پایدار کاهش می‌دهد. اگر اولویت‌بندی بخش‌ها بر پایه معیارهایی چون شدت اثر بر رفاه، دامنه سرریز قیمتی به سایر بخش‌ها، توانایی کاهش فشار بر منابع کمیاب و محدودیت‌های ساختاری انجام شود، در سیاست‌های بهره‌وری، بخش انرژی در اولویت نخست و بخش غذا در مرتبه بعد قرار می‌گیرد، زیرا بیشترین اثر رفاهی و گسترده‌ترین آثار سرریزی را در کل اقتصاد ایجاد می‌کند. در مقابل، در اصلاحات قیمتی، انرژی به دلیل ایجاد شوک‌های گسترده سیستمیک در اولویت پایین‌تری قرار دارد. هرگونه اصلاح قیمتی در بخش آب، انرژی یا غذا نیازمند طراحی همزمان مکانیسم‌های جبرانی مستقیم (یارانه هدفمند به خانوارهای آسیب‌پذیر)، افزایش بهره‌وری و سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های صرفه‌جویی می‌باشد. سیاست افزایش قیمت به تنهایی، به‌ویژه در شرایطی که سهم نهاده در هزینه تولید پایین است (مانند آب)، کارایی محدودی دارد و ممکن است فشار رفاهی شدیدی بر خانوارها وارد کرده امنیت غذایی را تضعیف نماید. بنابراین توصیه می‌شود اصلاح قیمت پس از یک دوره سرمایه‌گذاری در بهره‌وری و تقویت شبکه تأمین اجتماعی صورت گیرد. در این توالی، ابتدا منابع عمومی و

تسهیلات هدفمند به ارتقاء بهره‌وری (به‌ویژه در بخش آب کشاورزی) تخصیص می‌یابد؛ سپس با افزایش تدریجی قیمت‌های آب و انرژی، بخشی از بازدهی سرمایه‌گذاری‌های بهره‌وری به صورت درآمد عمومی بازیافت می‌شود و فشار بر بودجه دولت کاهش می‌یابد، بی‌آنکه خانوارهای آسیب‌پذیر دچار کاهش شدید رفاه شوند.

براساس یافته‌های این پژوهش و پژوهش‌های مشابه دیگر که در بخش پیشینه تحقیق به برخی از آنها اشاره شد اثربخشی سیاست‌های بهره‌وری و قیمتی، بدون رویکرد یکپارچه که لازمه آن اصلاحات حاکمیتی و ساختاری است، محدود خواهد بود. مهم‌ترین اصلاحات نهادی مورد نیاز عبارت‌اند از: ۱- ایجاد شورای عالی هماهنگی پیوند آب، انرژی و غذا جهت اجتناب از اتخاذ سیاست‌گذاری بخشی و جزیره‌ای ۲- بازنگری در نظام یارانه‌های آب و انرژی در جهت بالابردن بهره‌وری ۳- استقرار نظام قیمت‌گذاری سایه‌ای و حسابداری واقعی منابع آب در راستای تخصیص کارآمد منابع ۴- ایجاد یک پایگاه داده ملی برای پیوند آب، انرژی و غذا، شامل جدول داده-ستانده به‌روز شده که جریان‌های فیزیکی و پولی آب، انرژی و غذا را به‌طور هم‌زمان ردیابی می‌کند و برای ارزیابی مستمر سیاست‌ها ضروری است.

یافته‌های این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران در انتخاب ابزارهای کارآمدتر برای مدیریت پایدار منابع کمک کند، با این حال، ماهیت ایستا بودن مدل یک محدودیت محسوب می‌شود و نتایج تحقیق نمی‌توانند پویایی‌های بلند مدت، پاسخ‌های سرمایه‌گذاری و انباشت سرمایه را در نظر بگیرد لذا پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی از مدل‌های پویا برای تحلیل دقیق‌تر اثرات بلندمدت استفاده شود. همچنین، گسترش چارچوب تحلیل به منابعی دیگر مانند زمین و یا لحاظ کردن پیامدهای زیست‌محیطی نظیر انتشار کربن، می‌تواند درک جامع‌تری از توسعه پایدار ارائه دهد. تأمین امنیت منابع حیاتی کشور و توسعه پایدار در شرایط خاص جغرافیایی و اقتصادی ایران، نیازمند نگرشی جامع و علمی می‌باشد و البته برای تحلیل‌های دقیق‌تر، نیاز به داده‌های جامع‌تر و به‌روزتری وجود دارد.

References

- Abedi, H., Shahbazitabar, M., & Mohammadi-Ivatloo, B. (2020). Food, energy and water nexus: A brief review of definitions, research, and challenges. *Inventions*, 5(4), 56. Doi:10.3390/inventions5040056 [in Persian]
- Allan, G., Hanley, N., McGregor, P., Swales, K., & Turner, K. (2007). The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: a computable

- general equilibrium analysis for the United Kingdom. *Energy Economics*, 29(4), 779-798. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.12.006>
- Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B. S., & Solow, R. M. (1961). Capital-labor substitution and economic efficiency. *Review of Economics and Statistics*, 43(3), 225–250.
- Azar, B., Ranjpour, R., Tekanlu, K., Motakker Azad, M., Asadzadeh, A., & Ahmad, A. (2017). Estimating and comparing food security status and the impact of economic variables on it in Iran's provinces. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 3, 47–76. [IN PERSIAN]
- Bardazzi, E., & Bosello, F. (2021). Critical Reflections on Water-Energy-Food Nexus in Computable General Equilibrium Models: A Systematic Literature Review. *Environmental modelling & software*, 145(105201). Doi: 10.1016/j.envsoft.2021.105201
- Bardazzi, E., Gabriele, S., Francesco, B., & and Key Hernández, R. E. (2024). Toward the full implementation of the water-energy-food nexus in computable general equilibrium modelling: methods and macroeconomic implications. *Economic Systems Research*, 36(3), 422-450. Doi:10.1080/09535314.2024.2349881
- Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Ridder, P., Ofholzer, K., D'Angelo, A., & Koutroulis, A. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 39(12), 7896–7906. Doi: 10.1016/j.enpol.2011.08.015
- Blackorby, C., Primont, D., & Russell, R. R. (1978). *Duality, Separability, and Functional Structure: Theory and Economic Applications*. North-Holland.
- Breisinger, C., Mukashov, A., Raouf, M., & Wiebelt, M. (2018). Phasing out energy subsidies as part of Egypt economic reform program: Impacts and policy implications: International Food Policy Research Institute (IFPRI.)
- Berrittella, M., et al. (2007). "The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis." *Water Research* 41(8)
- Burniaux, J.-M. and T. Truong (2002). *GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model*. Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN, Global Trade Analysis Project
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., & Tol, R. (2011). Water scarcity and the impact of improved irrigation management: A computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42(305-323). Doi:10.1111/j.1574-0862.2010.00516.x

- Daher, B. T., & Mohtar, R. H. (2015). Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. *Water International*, 40(5-6), 748-771 .
- Di Martino, M., et al. (2023). "A comprehensive classification of food–energy–water nexus optimization studies: State of the art." *Journal of Cleaner Production* 420: 138293.
- Dudu, Hasan & Chumi, Sinqobile, 2008. "Economics of irrigation water management: a literature survey with focus on partial and general equilibrium models," Policy Research Working Paper Series 4556, The World Bank.
- Fan, J.-L., Kong, L.-S., & Zhang, X. (2018). Synergetic effects of water and climate policy on energy-water nexus in China: A computable general equilibrium analysis. *Energy policy*, C), 308-317. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.002>
- FAO. (2014). The water-energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture.
- Galdeano-Gómez, E., Aznar-Sánchez, J. A., Pérez-Mesa, J. C., & Piedra-Muñoz, L. (2017). Exploring synergies among agricultural sustainability dimensions: An empirical study on farming system in Almería (Southeast Spain). *Ecological Economics*, 140(99-109) .
- Gao, Z., Zhao, Y., Li, L., & Hao, Y. (2024). Economic effects of sustainable energy technology progress under carbon reduction targets: An analysis based on a dynamic multi-regional CGE model. *Applied Energy*, C), Doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123071 .
- Ghosh, B., Gubareva, M., Ghosh, A., Paparas, D., & Vo, X. V. (2024). Food, energy, and water nexus: A study on interconnectedness and trade-offs. *Energy Economics*, 133(C), S0140988324002299 .
- Hoff H, Alrahaife SA, El Hajj R, Lohr K, Mengoub FE, Farajalla N, Fritzsche K, Jobbins G, Özerol G, Schultz R and Ulrich A (2019) A Nexus Approach for the MENA Region—From Concept to Knowledge to Action. *Front. Environ. Sci.* 7:48. doi: 10.3389/fenvs.2019.00048
- Howells, M., Hermann, S., Welsch, M., Bazilian, M., Engström, R., Alfstad, T., Ramma, I. (2013). Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. *Nature Climate Change*, doi.org/10.1038/NCLIMATE1789
- Hosseini, M. (2013). Analysis of the effects of water subsidy reduction in Iran's economy (Using computable general equilibrium dynamic model) [Doctoral dissertation, University of Sistan and Baluchesta.[In Persian]

- Huang, D., Li, G., Sun, C., & Liu, Q. (2020). Exploring interactions in the local water-energy-food nexus (WEF-Nexus) using a simultaneous equations model. *Science of The Total Environment*, 703(135034).
- Kiani, S. (2018). Investigating the effect of variability and climate change on water resources, food security and economic welfare of Iran [Doctoral dissertation, University of Sistan and Baluchestan. [In Persian]
- Kiani Deh Kiani, M. (2022). Investigating the distributional effects of increasing water, food and energy prices in the economic system [In Persian]. *Agricultural Economics and Development*, 30(3), 207–236.
- Kheyabani, N. (2016). A dynamic computable general equilibrium model for evaluating the effects of energy policies on the Iranian economy. *Iranian Economic Research*, 21(69), 1–463. [In Persian]
- Koesler, S., Swales, K., & Turner, K. (2014). International spillover and rebound effects from increased energy efficiency... *Energy Economics*, 54, 444-452.
- Liu, J., Hull, V., Godfray, H. C. J., Tilman, D., Gleick, P., Hoff, H., . Sun, J. (2018). Nexus approaches to global sustainable development. *Nature Sustainability*, 1(9), 466-476 .
- Liu, Y., & Vu, K. (2017). Energy efficiency, energy prices, and economic growth: Evidence from OECD countries. *Energy Economics*, 67, 246-257
- Martinez-Hernandez, E., Leach, M., & Yang, A. (2017). Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym. *Applied Energy*, 206(1009-1021 .
- Mazandarani Zadeh, H., & Shokouhi Far, Y. (2023). Determining the shadow price of water using a chance-constrained fuzzy programming model, case study: Qazvin Irrigation Network. *Water Management in Agriculture*, 10(1), 147-158. [in Persian].
- Nematollahi, Z., Shahnavaresh, N., & Javanbakht, A. (2015). The impact of increasing energy carrier prices on food security (Application of computable general equilibrium model) [IN PERSIAN]. *Iranian Journal of Agricultural Economics Research*, 7(3), 181–201.
- Ozturk, I. (2015). Sustainability in the food-energy-water nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries. *Energy*, 93(999-1010 .
- Perman, R., Ma, Y., Common, M., Maddison, D., & Mcgilvray, J. (2013). *Natural Resource and Environmental Economics*: Pearson Education.

- Ranjpour, R., Karimi, Z., Bagherzadeh, F., Mottakker Azad, M. A., & Asadzadeh, A. (2018). Food security status and the impact of economic variables on it in Iran. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 5(4), 47–76. [In Persian]
- Rasekhi, S., Shakeri Maab, S., Zaroki, Sh., & Salmanpour Ahmadi, A. (2024). Shadow price of water and competitiveness of the agricultural sector approach. *Quarterly Journal of Applied Economic Studies of Iran*, 13(52), 135-174. <https://doi.org/10.22084/aes.2024.29672.3709> [in Persian]
- Scott, C. A., Kurian, M., & Wescoat, J. L. (2015). The water-energy-food nexus: Enhancing adaptive capacity to complex global challenges *Governing the nexus* (pp. 15-38): Springer.
- Solaymani, S., & Kari, F. (2014). Energy policy, C), 115-125. Doi: 10.1016/j.enpol.2014.03.035. [in Persian]
- Tahami Pour Zarandi, M., Khazaei, A., & Koulivand, F. (2020). Analysis of the tariff system and economic value of water in Iran's industrial sector. *Water and Sustainable Development*, 6(3), 1930. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i3.76788>. [in Persian]
- Vats, G., Sharma, D., & Sandu, S. (2021). A flexible input-output price model for assessment of a nexus perspective to energy, water, food security policymaking. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1(100012).
- Yang, Z., Liu, G., Guo, Y., Liang, S., & Zhang, L. (2026). Environmental nexus paradigm: Toward a unified framework for sustainable governance. *EnvironmentalNexus*, 1(1), 100008. doi.org/10.1016/j.enex.2026.100008
- Yang, Y., Cui, Q., & Wang, H. (2024). *Applied Energy*, C), Doi: 10.1016/j.apenergy.2024.12315
- Yousefi, A., Khalilian, S., & Bolali, H. (2011). Investigating the strategic importance of water resources in Iran's economy using the general equilibrium model [In Persian]. *Journal of Economics and Economic Development*, 25(15), 109–120.
- Yuan, M.-H., & Lo, S.-L. (2020). Developing indicators for the monitoring of the sustainability of food, energy, and water. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119(109565).
- Yuan, Y., Yang, X., Yuan, J., & Zhang, H. (2025). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C), Doi: 10.1016/j.rser.2025.115873
- Zhang, Q. Tan, and Y. Cai, “General equilibrium analysis of carbon tax policy on water-energy-food nexus efficiency,” *Energy*, vol. 304, pp. 132079, 2024/09/30/, 2024.