Agricultural Economics and Development

Vol. 33, No. 132, Winter 2026

Research Paper

Strategic Planning for Productivity Enhancement in Iran's Horticultural Sector: A Sustainable Approach to Energy Imbalance Management

A. Ahmadi Firouzjaei [1], N. Alizadeh [2], M. Mirzaei Bafti [3], P. Shokri Firouzjah [4]

Received: 26 October, 2025 Accepted: 24 December, 2025

Introduction: The Iranian horticultural sector, a critical element of the national economy, currently confronts profound structural challenges stemming from the pervasive national energy imbalance. This phenomenon, which is characterized by significant and often unpredictable volatility in the supply of critical inputs such as electricity and natural gas, introduces considerable and persistent risk to operational stability. This risk is most acute for energy-intensive production nodes, particularly groundwater pumping for irrigation (a process marked by high operational dependency) and the complex climate control systems vital for high-value greenhouse production. Such instability in energy supply directly constrains the potential for sustained growth in Total Factor Productivity (TFP). Furthermore, this challenging external environment is exacerbated by deep-seated structural rigidities, notably the distortionary effects of heavy volumetric energy subsidies. These subsidies inadvertently suppress the necessary economic incentive for producers to undertake significant capital investments in cost-effective, high-efficiency technologies. This disincentive effect consequently contributes to widespread allocative inefficiency across the sector. Therefore, this

1 . Corresponding Author and Research Assistant Professor, Socio-Economic and Extension Research Department, Mazandaran Agricultural Research and Natural Resource and Education Center, AREEO, Sari, Iran (a_ahmadi@areeo.ac.ir).

2 . Research Assistant Professor, AREEO, Tehran, Iran.

3 . Research Assistant Professor of Research, Economic Affairs, Agricultural Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

4 . Research Assistant Professor, Socio-Economic and Extension Research Department, Mazandaran Agricultural Research and Natural Resource and Education Center, AREEO, Sari, Iran.

DOI: 10.30490/aead.2026.367548.1702

study mainly aimed at developing a comprehensive, analytically sound, and prioritized strategic framework for enhancing energy productivity and securing long-term TFP growth within the Iranian horticultural sector, focusing specifically on mitigating the complex, interwoven risks associated with energy supply volatility and climate change-induced stress.

Materials and Methods: This research employed a robust, sequential, three-stage strategic management methodology, grounded in an applied, descriptive-analytical approach utilizing a mixed-method (qualitative-quantitative) design. The statistical population consisted of 21 principal experts and senior specialists from relevant governmental agencies and academia, selected via purposive sampling to ensure specialized domain expertise. Data collection utilized structured interviews and the iterative Delphi technique to achieve expert consensus on factor identification and weighting. The initial phase involved a detailed Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) analysis, which yielded an Internal Factor Evaluation (IFE=2.670) and an External Factor Evaluation (EFE=3.116) score. The calculation placed the sector's strategic position in the Aggressive (SO) Strategic Quadrant, suggesting a strong potential for leveraging internal strengths to exploit external opportunities. Subsequently, the Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) was utilized in the final analytical phase to quantitatively prioritize the six overarching strategies developed from the preceding stages against the weighted SWOT factors, resulting in a Total Attractiveness Score (TAS) for each strategy.

Results and Discussion: The QSPM prioritization provided a clear, evidence-based hierarchy for strategic action, primarily underscoring that structural and economic reforms are a necessary condition for successful technological and infrastructural adoption. The six strategies were analytically ranked based on their TASs: Government Support and Targeted Incentives (TAS=7.020); Optimal Energy Management in Microclimates (TAS=6.724); Farmer Education and Awareness Improvement (TAS=6.620); Renovation of Structures and Facilities (TAS=6.089); Use of Renewable Energy and Energy Storage (TAS=5.930); and Use of Waste-to-Energy Systems (TAS=5.539). The assignment of the highest priority (Rank 1) to the economic-institutional strategy, Government Support and Targeted Incentives, is the most significant finding, reinforcing the hypothesis that allocative inefficiency (W3) stemming from subsidized energy prices constitutes the primary structural impediment to TFP growth. This finding suggests a policy transition is warranted: moving away from volumetric consumption subsidies

toward targeted investment incentives to restore rational economic motivation. Furthermore, the second and third prioritized strategies focus on crucial complementary actions. Optimal Energy Management in Microclimates (Rank 2) addresses the need to enhance Technical Efficiency in high-risk areas—greenhouses— through the integration of passive and active efficiency technologies. Lastly, Farmer Education and Awareness Improvement (Rank 3) is identified as the vital human capital development component, essential for ensuring that financial and technological investments are effectively utilized by directly mitigating the pervasive poor consumption culture (W1) and technical unawareness (W2) that could otherwise undermine long-term TFP gains. The ranking of the capital-intensive strategies (Ranks 4 and 5) emphasizes that the successful and economically viable implementation of these large-scale investments is highly contingent upon the prior or simultaneous implementation of the higher-ranked economic and behavioral reforms.

Conclusions and Policy Recommendations: The study concluded that the transition of the horticultural sector away from the energy imbalance crisis would require a deliberate, coordinated, and three-pronged program: Economic Reforms (to correct price signals and revitalize incentives), Human Capital Development (to improve behavior and technical skill), and Targeted Investment in Efficient Technologies (to modernize vulnerable infrastructure). This integrated approach is critical for building sectoral resilience and sustaining TFP growth. Based on the strategic priorities identified in this research, a comprehensive set of policy recommendations is proposed, centered on the modernization of irrigation pumps with solar panels as a critical measure to reduce grid dependency and mitigate the water-energy nexus crisis. To ensure a successful transition, the gradual phasing out of volumetric energy subsidies must be immediately coupled with low-interest, long-term financing and fiscal incentives, such as tax exemptions and reduced customs duties on efficiency-enhancing agricultural technologies. Furthermore, it is recommended that the Ministry of Energy establish guaranteed feed-in tariffs for surplus electricity to improve investment viability. To ensure technical efficiency, government aid and licensing should be contingent upon mandatory training in energy and water management. Finally, the establishment of a permanent Water-Energy-Agriculture Working Group is essential to streamline bureaucratic processes, such as PV permitting, and to foster the cross-sectoral coordination necessary for the harmonized implementation of national strategies.

Keywords: *Solar Energy, Total Factor Productivity (TFP), Aggressive Strategy, Energy Imbalance, Energy Subsidies.*

JEL Classification: Q12, Q18, Q48, D24, O13

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۳، شماره ۱۳۲، زمستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

برنامه‌ریزی راهبردی ارتقای بهره‌وری در زیربخش باغبانی ایران: رویکردی پایدار به مدیریت ناترازی انرژی*

علی احمدی فیروزجائی[۱]، ندا علیزاده[۲]، مهرنوش میرزایی بافتی[۳]، پری شکری فیروزجاه[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

چکیده

در پژوهش حاضر، یک چارچوب راهبردی جامع برای ارتقای بهره‌وری انرژی و تضمین رشد بلندمدت بهره‌وری کل عوامل تولید در زیربخش باغبانی ایران ارائه شد، که همواره با چالش‌های اقتصادی و ساختاری

---

* مطالعه حاضر برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «تدوین برنامه راهبردی ارتقای بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی ایران»، با کد مصوب ۰۱۰۸۷۱- ۰۱۰۴۱ -۰۱۴-۳۰-۳۰-۰۱، در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی بوده، که در بازه زمانی ۱۴۰۱/۰۳/۰۱ تا ۱۴۰۳/۰۳/۰۱ به اجرا درآمده است.

۱ – نویسندهٔ مسئول و استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (a_ahmadi@areeo.ac.ir)

۲ – استادیار پژوهشی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳ – استادیار پژوهشی، دفتر امور اقتصادی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۴ – استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

DOI: 10.30490/aead.2026.367548.1702

ناشی از ناترازی فراگیر انرژی و همچنین، ناکارآمدی تخصیصی آن مواجه بوده است. افزون بر این، در تحقیق کاربردی- راهبردی حاضر، از روش‌شناسی مدیریت راهبردی سه‌مرحله‌ای با رویکرد آمیخته (کیفی- کمی) استفاده شد. اعضای نمونه شامل ۲۱ نفر از خبرگان کلیدی بودند که با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند، انتخاب شدند؛ و فرآیند جمع‌آوری اطلاعات از آنها به کمک فن دلفی صورت گرفت. یافته‌های ماتریس سوات (SWOT) موقعیت راهبردی زیربخش باغبانی را در ربع تهاجمی نشان داد، که بیانگر ظرفیت قوی برای بهره‌برداری از فرصت‌ها با استفاده از نقاط قوت است. نتایج ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM)، به‌طور قاطع، نشان داد که ریشه مشکل بهره‌وری کل عوامل تولید در زیربخش باغبانی سیاستی، ساختاری و رفتاری است، زیرا برای اصلاح ناکارآمدی تخصیصی ، بالاترین اولویت به راهبرد حمایت‌های دولتی و مشوق‌های هدفمند با امتیاز جذابیت کل معادل ۷/۰۲۰ اختصاص یافت. راهبردهای رتبه‌های دوم و سوم (یعنی، مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌ها با امتیاز جذابیت کل ۶/۷۲۴ و آموزش و ارتقای آگاهی کشاورزان با امتیاز جذابیت کل ۶/۶۲۰ نیز به‌عنوان اقدام‌های مکمل در راستای ارتقای کارآیی فنی و توسعه سرمایه انسانی حیاتی تشخیص داده شدند. این یافته‌ها نشان داد که گذار پایدار زیربخش باغبانی مستلزم اجرای همگام یک برنامه سه‌جانبه شامل اصلاحات سیاستی، توسعه سرمایه انسانی و سرمایه‌گذاری فنی به‌منظور رفع ناترازی انرژی است. از این‌رو، توصیه‌های سیاستی کلیدی بر اعطای تسهیلات برای نصب سامانه‌های خورشیدی و ارائه یارانه انرژی مشروط به اجرای طرح‌های مدیریت مصرف تأکید دارند.

کلیدواژه‌ها: *انرژی خورشیدی، بهره‌وری کل عوامل تولید، راهبرد تهاجمی، ناترازی انرژی، یارانه‌های انرژی.*

طبقه‌بندی JEL: Q12, Q18, Q48, D24, O13

مقدمه

بخش کشاورزی، به‌عنوان یکی از ستون‌های اصلی اقتصاد ملی، نقش حیاتی در امنیت غذایی، اشتغال‌زایی و توسعه روستایی ایفا می‌کند. در میان زیربخش‌های مختلف کشاورزی، زیربخش باغبانی، به‌دلیل ارزش افزوده بالا، قابلیت صادرات و تنوع محصولات، از اهمیت راهبردی ویژه برخوردار است (Banaeian et al., 2022). دستیابی به رشد پایدار و افزایش رقابت‌پذیری در این زیربخش مستلزم ارتقای مستمر بهره‌وری است (Fuglie et al., 2012). با این همه، در سال‌های اخیر، زیربخش باغبانی ایران با چالش‌های متعدد روبرو بوده که بر بهره‌وری آن تأثیر منفی گذاشته است. یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین این چالش‌ها «ناترازی انرژی» است که به‌دلیل پیامدهای ساختاری در اقتصاد کلان، به یک بحران ملی تبدیل شده است. برخلاف تصور رایج، ریشه این ناترازی، بیش از آنکه کمبود ذاتی منابع باشد، در انحراف و اخلال در ساختار قیمت‌گذاری انرژی است، جایی که بر اثر اعطای یارانه‌های سنگین حجمی، انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کارآ و بهبود بهره‌وری تخصیصی از بین می‌رود و تقاضای مازاد غیربهینه و مصرف ناکارآمد ایجاد می‌شود (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019). پیامد عملیاتی این ناترازی قیمتی به‌صورت «ناترازی عرضه فیزیکی»

به زیربخش باغبانی تحمیل می‌شود. ناترازی انرژی به وضعیتی گفته می‌شود که در آن، میزان عرضه انرژی (به‌ویژه، گاز و برق) پاسخ‌گوی تقاضای فزاینده بخش‌های مختلف اقتصادی، از جمله کشاورزی، نیست. این ناترازی، به‌ویژه در تأمین سوخت، برق و گاز مورد نیاز برای سامانه‌های آبیاری، گلخانه‌ها، سردخانه‌ها و حمل‌ونقل محصولات باغی، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر کل زنجیره ارزش باغبانی داشته است. نتیجه عملی این انحراف قیمتی ناپایداری و عدم قطعیت در عرضه فیزیکی انرژی (مانند نوسان‌ها و قطعی‌های برق در اوج گرمای تابستان و جیره‌بندی گاز در زمستان) است که به‌طور مستقیم، مخاطره (ریسک) عملیاتی را به سامانه‌های پرمصرف مانند پمپاژ آب برای آبیاری و کنترل اقلیم در گلخانه‌ها تحمیل می‌کند. علاوه بر این چالش محوری، زیربخش باغبانی با محدودیت‌هایی چون بهره‌وری پایین آب، ناکارآمدی نظام‌های بازاریابی، و تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی و خشکسالی‌های پیاپی نیز مواجه است. ابعاد این مسئله با ارائه شواهد کمی ملموس است، به‌گونه‌ای که در سال‌های اخیر، ایران با کسری هجده تا ۲۵ هزار مگاواتی برق در اوج مصرف تابستان مواجه بوده است. این کمبود، به‌طور مستقیم، به اعمال محدودیت‌های زمانی و قطعی‌های برنامه‌ریزی‌شده بر تأمین برق چاه‌های آب کشاورزی می‌انجامد، در حالی که بخش کشاورزی حدود پانزده درصد از مصرف برق کشور را به خود اختصاص می‌دهد؛ این محدودیت‌ها ثبات عملیاتی تلمبه آب زیرزمینی را که بزرگ‌ترین آسیب‌پذیری بخش است، مختل می‌کند و بهره‌وری را کاهش می‌دهد. افزون بر آن، در فصل سرما، به‌دلیل کسری روزانه گاز (که می‌تواند به بیش از سی‌صد میلیون متر مکعب برسد)، مخاطرهٔ محدودیت یا قطع گاز برای تولیدات انرژی‌بر، به‌ویژه در گلخانه‌ها، افزایش می‌یابد. گلخانه‌ها، به‌طور میانگین، روزانه حدود ۱۳/۵ میلیون متر مکعب گاز مصرف می‌کنند و این مصرف در مناطق سردسیر می‌تواند تا بیست برابر بیش از مناطق گرمسیر باشد. این ناکارآمدی، که ناشی از قیمت‌های یارانه‌ای است، تولید خارج از فصل را به‌شدت تهدید می‌کند و در عمل، منجر به صادرات غیرمستقیم گاز یارانه‌ای در قالب محصولات کشاورزی می‌شود. از آنجا که مصرف انرژی در زیربخش باغبانی ایران سهمی قابل توجه از کل انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص می‌دهد، پرداختن بدین مسئله از طریق تحلیل‌های دقیق و ارائه راهکارهای عملی ضروری به‌نظر می‌رسد (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019; Abbasi, 2015). همچنین، زیربخش باغبانی در ایران، به‌دلیل تنوع اقلیمی و تولید محصولات راهبردی مانند پسته، خرما، زعفران و میوه‌های صادراتی دیگر، نقش محوری در اقتصاد کشور دارد. با این همه، بهره‌وری این زیربخش با چالش‌های متعدد مانند بهره‌وری پایین آب، ناکارآمدی نظام‌های بازاریابی، و فقدان زیرساخت‌های مناسب روبه‌روست. علاوه بر این، تغییرات آب‌وهوایی و خشکسالی‌های پیاپی

تهدیدی جدی برای پایداری تولیدات باغی در کشور محسوب می‌شود (Habibi & Rahmati, 2024; Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019).

بهره‌وری، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های توسعه اقتصادی، عبارت است از نسبت حجم ستاده به حجم نهادهٔ مورد استفاده در فرآیند تولید. به زبان ساده، بهره‌وری نشان‌دهنده میزان کارآمدی یک بنگاه اقتصادی در تبدیل منابع به محصولات یا خدمات است. به باور اُدانل (O'Donnell, 2018)، رشد بهره‌وری که کلید اصلی دستیابی به رشد پایدار، کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری در بازارهای داخلی و بین‌المللی است، از طریق مؤلفه‌هایی محقق می‌شود، که عبارت‌اند از: پیشرفت فنی (حرکت مرز تولید به سمت بالا)، تغییر کارآیی فنی (حرکت بنگاه به سمت مرز تولید از طریق بهبود در استفاده از فناوری موجود)، تغییر کارآیی تخصیصی (حرکت بنگاه به سمت ترکیب بهینه نهاده‌ها/ستاده‌ها با توجه به قیمت‌های نسبی)، تغییر کارآیی مقیاس (تغییر در عملکرد ناشی از حرکت به اندازه بهینه «مقیاس» تولید) و تغییر کارآیی ترکیبی (تغییر در ترکیب ستاده‌ها/نهاده‌ها به‌دلیل انحراف از ترکیب بهینه)؛ و بر اساس تعداد نهاده‌های در نظر گرفته‌شده، بهره‌وری را می‌توان به سه دسته اصلی بهره‌وری جزئی (حجم ستاده تقسیم بر حجم تنها یک نهاده یا عامل تولید)، چندعاملی (حجم ستاده تقسیم بر حجم مجموعه‌ای از نهاده‌ها (بیش از یک نهاده، اما نه همه آنها) و کل عوامل (حجم ستاده تقسیم بر حجم تمام نهاده‌های مورد استفاده در فرآیند تولید) تقسیم کرد. خود اُدانل (O'Donnell, 2018) نیز بر اساس تعداد نهاده‌های در نظر گرفته‌شده، بهره‌وری را به سه دسته اصلی بهره‌وری جزئی (ستاده تقسیم بر یک نهاده)، چندعاملی (ستاده تقسیم بر مجموعه‌ای از نهاده‌ها) و کل عوامل بهره‌وری تولید[1] (ستاده تقسیم بر تمام نهاده‌های مورد استفاده) تقسیم می‌کند. امنیت غذایی بلندمدت و پایداری تولید کشاورزی در قرن بیست‌ویکم، نه بر گسترش منابع، بلکه بر رشد کل عوامل بهره‌وری تولید (TFP) استوار است (Fuglie et al., 2012). گزارش‌های بین‌المللی تأیید می‌کنند که TFP عامل اصلی افزایش تولید در کشاورزی کشورهای توسعه‌یافته بوده است (Wang et al., 2015).

چارچوب روش‌شناختی اُدانل (O'Donnell, 2018) برای تحلیل ناترازی انرژی در ایران حیاتی است، زیرا امکان تجزیه TFP را به مؤلفه‌های دقیق‌تر نظیر کارآیی تخصیصی فراهم می‌کند تا انحراف از رفتار بهینه اقتصادی ناشی از قیمت‌های غیرواقعی (مانند انرژی یارانه‌ای) اندازه‌گیری شود. تجزیه TFP در بخش کشاورزی ایران برای دروه زمانی۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ نشان داد که رشد کلی بهره‌وری کاملاً مبتنی بر تغییرات فناوری بوده، در حالی که تغییرات کارآیی (نزدیک شدن به مرز تولید) در این بخش

1. Total Factor Productivity (TFP)

کاهش یافته یا راکد بوده است (Habibi & Rahmati, 2024). این پدیده دوگانه نشان‌دهنده شکست مدیریت منابع در استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود و فناوری‌های واردشده است. علت اصلی کارآیی پایین، وابستگی شدید کشاورزی مرسوم به نهاده‌های پرانرژی است. مطالعات تطبیقی در آلمان نشان داد که کشاورزی مرسوم، ورودی انرژی تقریباً دو برابر بیش از کشاورزی ارگانیک دارد؛ با این همه، کارآیی مصرف انرژی نظام‌های ارگانیک بالاتر است (Chmelíková et al., 2024). این برتری ناشی از کاهش شدید وابستگی به انرژی غیرمستقیم به‌ویژه کودهای نیتروژنی معدنی است. این ناکارآیی در باغبانی ایران نیز مشهود است، به‌گونه‌ای که محصولات راهبردی مانند پسته و انار کمترین کارآیی مصرف انرژی را دارند (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019). این ناکارآیی با قیمت‌گذاری یارانه‌ای انرژی که انگیزه بهره‌برداران برای بهینه‌سازی را از بین می‌برد و به ناکارآیی تخصیصی می‌انجامد، تشدید می‌شود (Behroozeh et al., 2024).

شواهد حاصل از بررسی پیشینهٔ پژوهش بیانگر این است که برای بهبود کارآیی فنی به‌منظور مدیریت ناترازی انرژی در زیربخش باغبانی، به‌ویژه گلخانه‌ها، یک تغییر پارادایم از مدل‌های ورودی‌محور به مدل‌های دانش‌محور ضروری است. پارادایم توسعه پایدار، کشت گلخانه‌ای را به‌عنوان یک راهکار راهبردی برای افزایش تولید در واحد سطح، هم‌زمان با کاهش اثرات زیست‌محیطی، معرفی می‌کند، که خود مستلزم گذار به یک مدل دانش‌محور و انطباق با اصول اقتصاد چرخشی مبتنی بر بازیافت منابع است؛ این اصول بر بازیابی مواد مغذی و آب از ضایعات و تأمین دی‌اکسید کربن (CO_2) از طریق همزیستی‌های صنعتی تأکید دارد. غنی‌سازی با CO_2 یک رویکرد پایدار برای افزایش تولید محصول در سطح جهانی است (Campana et al., 2025). همچنین، استفاده از نظام‌های هوشمند تصمیم‌یار برای مدیریت دقیق اقلیم، آبیاری و مواد مغذی و نیز ترویج نظام‌های بدون خاک از الزامات مدل دانش‌محور است (Campana et al., 2025). برای افزایش بهره‌وری انرژی نیز استفاده از چراغ‌های LED مرسوم است، اما دستیابی به حداکثر صرفه اقتصادی در آب‌وهوای سرد نیازمند ترکیب آن با پرده‌های حرارتی و عایق‌بندی یا سامانه‌های بازیابی حرارت است تا هزینه‌های عملیاتی و بازده محصول بهینه‌سازی شود (Trépanier et al., 2025).

برای بهبود کارآیی تخصیصی در زیربخش باغبانی، باید بر اصلاحات اقتصادی متمرکز شد. این اصلاحات، که ریشه در واقعی‌سازی قیمت حامل‌های انرژی دارد، محرک اصلی بهبود کارآیی تخصیصی است (O'Donnell, 2018)؛ همچنین، باید با ترویج الگوهای مدیریتی کارآمد (مانند کشاورزی ارگانیک) همراه شود تا ورود نهاده‌های فسیلی به حداقل رسیده، انگیزه برای پذیرش فناوری‌های ترکیبی و بهینه افزایش یابد (Trépanier et al., 2025). پژوهشگران بر این باورند که حفظ و تقویت TFP

در باغبانی مستلزم یک راهبرد بلندمدت است که هم‌زمان سیاست‌های اقتصادی و سرمایه‌گذاری را هدف قرار دهد. رشد TFP در بلندمدت وابستگی فراوان به تداوم و تقویت سرمایه‌گذاری عمومی در تحقیق و توسعه (R&D) کشاورزی و خدمات ترویجی دارد (Wang et al., 2015). چالش‌های آینده ایجاب می‌کند که این تحقیقات بر فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی متمرکز شوند تا با کاهش وابستگی به نهاده‌های فسیلی (Chmelíková et al., 2024)، رشد بهره‌وری را پایدار سازند (Fuglie et al., 2012).

بررسی ادبیات موجود نیز نشان می‌دهد که تحقیقات پیشین بیشتر بر دو محور اساسی متمرکز بوده‌اند: الف) اندازه‌گیری و تجزیه‌وتحلیل TFP در بخش کشاورزی در سطح ملی یا استانی (Habibi & Rahmati, 2024; O'Donnell, 2018) و ب) ارزیابی‌های فنی و جزئی راندمان مصرف انرژی در سامانه‌های خاص باغبانی، به‌ویژه در گلخانه‌ها و زیربخش آبیاری (Chmelíková et al., 2024; Trépanier et al., 2025). هرچند، از رهگذر این مطالعات، دانشی ارزشمند به‌دست آمده، اما این پژوهش‌ها فاقد رویکردی بودند که بتواند به‌صورت راهبردی و یکپارچه، بهره‌وری را به چالش ساختاری و کلان ناترازی انرژی پیوند بزند. در حقیقت، خلأ اصلی پژوهش‌های پیشین عبارت است از نبود یک چارچوب جامع راهبردی که بتواند برای فعالان بخش، مسیر عملی و اولویت‌دار سرمایه‌گذاری‌های کارآیی‌محور را برای مدیریت مخاطرات ناشی از عدم قطعیت‌های عرضه انرژی مشخص سازد. پژوهش حاضر، با تدوین چنین چارچوبی، در پی پر کردن این شکاف بوده و با تمرکز بر حکمرانی بهره‌وری پایدار، برخلاف مطالعات مبتنی بر اندازه‌گیری صرف (Fuglie et al., 2012)، به ارائهٔ یک الگوی اقدام عملی و قابل اجرا برای تضمین ثبات و رشد درازمدت باغبانی ایران در مواجهه با تنگناهای ساختاری انرژی پرداخته است؛ و بر این اساس، به‌دنبال پاسخ بدین پرسش اساسی بوده است که «نقاط قوت، تقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای زیربخش باغبانی ایران با تمرکز بر مسئله پیامدهای عملیاتی ناترازی انرژی و همچنین، مهم‌ترین راهبردها و اقدامات عملیاتی برای ارتقای آن کدامند؟». نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به سیاست‌گذاران، مدیران و باغداران کمک کند تا با شناخت دقیق‌تر از چالش‌ها و فرصت‌ها، به اتخاذ تصمیمات مؤثرتر برای افزایش بهره‌وری و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی بپردازد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر، با هدف تحلیل راهبردهای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی ایران در پرتو ناترازی انرژی، از یک رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) و تلفیقی از فن‌های دلفی[1]، سوات[2] و ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی[3] بهره گرفته و از نظر هدف، کاربردی است، زیرا به‌دنبال ارائه راهبردهای عملی برای حل مشکل بهره‌وری در شرایط ناترازی انرژی است؛ همچنین، از نظر ماهیت، یک تحلیل راهبردی به‌شمار می‌رود. جامعه آماری مطالعه دربرگیرندهٔ متخصصان و خبرگان مرتبط با زیربخش باغبانی، مدیریت انرژی و برنامه‌ریزی کشاورزی در سطح ملی (شامل دانشگاهیان برجسته، پژوهشگران کلیدی مراکز تحقیقاتی، مدیران ارشد وزارتخانه‌های جهاد کشاورزی و نیرو، و کارشناسان سازمان برنامه و بودجه) بوده است. با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی[4]، تعداد ۲۱ نفر از این خبرگان (با حداقل ده سال سابقه کار) برای مشارکت انتخاب شدند. لدین ترتیب، حجم نمونه ۲۱ نفره، بر اساس اصل تمرکز بر کیفیت تخصص در پژوهش‌های راهبردی (و نه گستردگی آماری)، توزیع دانش و تخصص را در سطح ملی تضمین کرده و البته، ابزار اصلی گردآوری داده‌ها نیز پرسشنامه‌های نیمه‌ساختاریافته و ساختاریافته بوده است.

مراحل اجرایی پژوهش در دو مرحلهٔ اصلی پیگیری شده است. هدف مرحلهٔ اول شناسایی جامع و دقیق عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) بود، که با کمک فن دلفی و استفاده از تحلیل مضمون و محتوای نظرات تخصصی برای استخراج عوامل داخلی و خارجی آغاز شد. در این مرحله، مصاحبه‌ها تا رسیدن به «اشباع نظری» ادامه یافت. پس از جمع‌آوری عوامل، نسبت به حذف موارد تکراری، ادغام موارد مشابه، و نگارش عوامل اقدام شد و سپس، بازبینی فهرست نهایی عوامل توسط خبرگان صورت گرفت و سرانجام، روایی محتوایی تأیید شد. همچنین، بخشی از مصاحبه‌ها (حدود ده درصد) با فواصل زمانی تکرار شدند تا ثبات درونی نظرات و عدم تغییر اساسی در مفاهیم اصلی استخراج‌شده تأیید شود. از آنجا که پژوهش‌های راهبردی متکی بر اجماع نظر کارشناسان است، ضریب هماهنگی W کندال برای سنجش میزان توافق کلی بین رتبه‌بندی‌ها در مرحله دوم (وزن‌ها و امتیازات) توسط ۲۱ متخصص در قالب رابطه (۱) برابر با ۰/۸۷محاسبه شده، که نشان‌دهنده هماهنگی و قابلیت اعتماد بالای ارزیابی‌های خبرگان است:

1. Delphi techniques
2. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)
3. Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM)
4. snowball sampling

$$W = \frac{12\sum(R_j - \bar{R})^2}{k^2(N^3 - N)} \quad (۱)$$

که در آن، K تعداد خبرگان، N تعداد گویه‌ها، Rj مجموع رتبه‌های اختصاص‌یافته توسط تمام ارزیاب‌ها به گویه j و سرانجام، $\bar{R}$ میانگین مجموع رتبه‌هاست.

در مرحله دوم، ابتدا برای تعیین وزن عوامل و میزان اهمیت نسبی هر کدام از آنها، پرسشنامه‌های ساختاریافته طیف لیکرت پنج‌گزینه‌ای تدوین شد. در این مرحله برای ضریب اهمیت هر عامل امتیازی بین صفر تا یک محاسبه شد، به‌گونه‌ای که مجموع وزن‌های ماتریس داخلی و مجموع وزن‌های ماتریس خارجی هر کدام از عوامل برابر با یک باشد. همچنین، خبرگان برای هر نقطه قوت رتبه یا امتیازی بین سه (متوسط) تا چهار (خیلی خوب) و برای هر نقطه ضعف امتیازی بین یک (خیلی ضعیف) تا دو (متوسط) و نیز برای هر فرصت و تهدید، بر اساس میزان واکنش و توانایی زیربخش در استفاده یا مقابله با آن عامل، امتیازی بین یک (واکنش ضعیف) تا چهار (واکنش قوی) لحاظ کردند. وزن‌ها یا ضرایب اهمیت و امتیازات با استفاده از میانگین‌گیری از نظرات ۲۱ متخصص محاسبه شد و امتیاز کل عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) یعنی، مجموع حاصل‌ضرب وزن در امتیاز (رتبه) برای هر کدام از عوامل برای تعیین موقعیت راهبردی زیربخش، تهاجمی (SO: استفاده از قوت‌ها برای بهره‌برداری از فرصت‌ها)، رقابتی (ST: استفاده از قوت‌ها برای مقابله با تهدیدها)، ترمیمی (WO: غلبه بر ضعف‌ها از طریق بهره‌برداری از فرصت‌ها)، یا تدافعی (WT: حداقل‌سازی ضعف‌ها و اجتناب از تهدیدها) به‌دست آمد. سپس، بر اساس امتیازهای کل عوامل داخلی و عوامل خارجی و تعیین موقعیت راهبردی زیربخش، ماتریس سوات (SWOT) چهارخانه‌ای برای تدوین راهبردهای چهارگانه (SO, ST, WO, WT) به‌کار گرفته شد. در نهایت، برای تبدیل این راهبردها به یک برنامه عملیاتی و اولویت‌بندی آنها، از ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM) استفاده شد. در این مرحله، خبرگان با اختصاص امتیاز جذابیت[1] بین یک (جذابیت خیلی کم) تا چهار (جذابیت خیلی زیاد) به هر راهبرد در مقابل هر کدام از عوامل داخلی و خارجی، میزان برتری نسبی راهبردها را مشخص کردند. از حاصل‌ضرب این امتیازات در وزن‌های به‌دست‌آمده در مراحل قبلی (W)، امتیاز جذابیت کل[2] در قالب رابطه (۲) محاسبه شد و در نتیجه، راهبردهای ارتقای بهره‌وری باغبانی در

1. Attractiveness Score (AS)
2. Total Attractiveness Score (TAS)

شرایط ناترازی انرژی اولویت‌بندی شدند؛ تحلیل داده‌ها در کلیه مراحل کمی با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS و Excel انجام گرفت:

$$TAS_{\text{Total},j} = \sum_{i=1}^{n} (AS_{ij} \times W_i) \quad (۲)$$

که در رابطه (۲)، W_i وزن‌های به‌دست‌آمده در مراحل قبلی، AS_{ij} امتیاز جذابیت و $TAS_{Total,j}$ امتیاز جذابیت کل است.

بحث و نتایج

مهمترین نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای زیربخش باغبانی با توجه به مسئله «ناترازی انرژی»

بر اساس نتایج ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) در جدول ۱، جمع امتیاز وزنی عوامل داخلی زیربخش باغبانی ایران در مواجهه با مسئله ناترازی انرژی ۲/۶۷۰ محاسبه شده، که نشان‌دهنده قدرت نسبی این زیربخش در عوامل داخلی است. حیاتی‌ترین نقاط قوت زیربخش باغبانی برای مقابله با چالش انرژی، به‌ترتیب، عبارت‌اند از: تنوع اقلیمی گسترده در کشور (S6) با امتیاز وزنی ۰/۳۴۰، توان (پتانسیل) بسیار بالای مناطق باغی و گلخانه‌ای برای استفاده از انرژی خورشیدی (فتوولتائیک) (S4) با امتیاز وزنی ۰/۳۱۶ و تولید محصولات راهبردی و ارزآور برای تأمین مالی انرژی جایگزین (S5) با امتیاز وزنی ۰/۲۶۰؛ در مقابل، جدی‌ترین موانع داخلی عبارت‌اند از: ضعف فرهنگ مصرف انرژی (W1)، انگیزه پایین باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف (W3) و وابستگی شدید به پمپاژ آب زیرزمینی (W9)، که هر سه با امتیاز وزنی یکسان ۰/۱۵۲ شناسایی شدند. همچنین، عملکرد نامناسب مدیران در حوزه تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر (W5) با امتیاز وزنی ۰/۱۳۶ به‌عنوان یک ضعف مدیریتی مهم مطرح است.

تحلیل نتایج پژوهش نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری ساختاری زیربخش باغبانی در برابر ناترازی انرژی ریشه‌ای عمیق در ناکارآمدی تخصیصی و شکست مدیریت منابع دارد. حیاتی‌ترین موانع داخلی یعنی، انگیزه پایین باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف (W3) و ضعف فرهنگ مصرف انرژی (W1)، به‌طور مستقیم، با ریشه اصلی ناترازی یعنی، یارانه‌های سنگین حجمی و اخلال در ساختار قیمت‌گذاری انرژی مرتبط است. بر اثر اعمال این قیمت‌های غیرواقعی، انگیزه اقتصادی برای بهبود بهره‌وری تخصیصی از بین می‌رود، که خود به تقاضای مازاد و مصرف ناکارآمد می‌انجامد،

به‌گونه‌ای که باغداران دلیلی برای نوسازی سامانه‌های قدیمی آبیاری و تجهیزات فرسوده پمپاژ آب (W8) نمی‌بینند. علاوه بر این، وابستگی شدید به پمپاژ آب زیرزمینی (W9)، که بزرگ‌ترین آسیب‌پذیری زیربخش باغبانی است، چالش ناترازی را از یک مسئله انرژی به یک بحران هم‌افزای آب–انرژی تبدیل کرده است، زیرا ناپایداری عرضه فیزیکی برق در اوج مصرف تابستان، به‌طور مستقیم، ثبات عملکردی پمپاژ را مختل کرده، بهره‌وری را کاهش می‌دهد. این چالش‌ها در کنار عملکرد نامناسب مدیران در حوزه تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر (W5) نشان‌دهنده ناکارآمدی در حکمرانی انرژی است، که مانع از تحقق تغییرات کارآیی (نزدیک شدن به مرز بهره‌وری تولید) شده است. این نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعه حبیبی و رحمتی (Habibi & Rahmati, 2024) همسوست.

با وجود موانع یادشده، زیربخش باغبانی از توان‌های قوی برای خوداتکایی و مقابله با مخاطرات ناترازی برخوردار است. توان بسیار بالای مناطق برای استفاده از انرژی خورشیدی (S4) حیاتی‌ترین نقطه قوت برای دستیابی به هدف مستقل شدن باغداران در تأمین انرژی چاه‌های آبیاری و تأسیسات است و می‌تواند به‌طور مستقیم، آسیب‌پذیری ناشی از نقطه ضعف W9 را کاهش دهد. همچنین، تولید محصولات راهبردی و ارزآور (S5) اهرم مالی لازم برای پذیرش فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی و آب را فراهم می‌کند و می‌تواند پشتوانه سرمایه‌گذاری برای تأمین منابع گران‌قیمت انرژی جایگزین (نقطهٔ مقابل نقطه ضعف W4) باشد. این ترکیب از قابلیت‌ها نشان می‌دهد که راهکار برون‌رفت از دام انرژی یارانه‌ای در گرو اصلاحات قیمتی و نهادی هدفمند است تا انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کارآ فراهم و فعال شود. در این صورت، زیربخش باغبانی قادر خواهد بود تا با تکیه بر دانش بومی و ارقام مقاوم (S3) و تنوع اقلیمی (S6)، مسیر رشد بهره‌وری را از مدل ورودی‌محور به مدل دانش‌محور و پایدار تغییر دهد. این نتایج پژوهش حاضر نیز همسو با نتایج مطالعه کامپانا و همکاران (Campana et al., 2025) است.

جدول ۱- ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) زیربخش باغبانی با توجه به مسئله «ناترازی انرژی»

عوامل	گویه‌ها	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز وزنی
نقاط قوت (S)	تحقیق و توسعه کارآمد در خصوص انرژی در سطح ملی (S1)	۰/۰۵۱	۳	۰/۱۵۳
	ظرفیت بالای نیروی انسانی ماهر و متخصص در حوزه انرژی (S2)	۰/۰۳۷	۳	۰/۱۱۱
	وجود دانش بومی و ارقام باغی مقاوم به تنش‌های آبی و اقلیمی (S3)	۰/۰۶۲	۴	۰/۲۴۸
	توان بسیار بالای مناطق باغی و گلخانه‌ای ایران برای استفاده از انرژی خورشیدی (فتوولتائیک) (S4)	۰/۰۷۹	۴	۰/۳۱۶
	تولید محصولات راهبردی و ارزآور برای تأمین مالی انرژی جایگزین (S5)	۰/۰۶۵	۴	۰/۲۶
	تنوع اقلیمی گسترده در کشور (S6)	۰/۰۸۵	۴	۰/۳۴
نقاط ضعف (W)	ضعف فرهنگ مصرف انرژی و عدم رعایت استاندارد در مصرف انرژی (W1)	۰/۰۷۶	۲	۰/۱۵۲
	سطح پایین آگاهی نسبت به مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر (W2)	۰/۰۶۸	۲	۰/۱۳۶
	انگیزه پایین باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف و سامانه‌های تولید انرژی (W3)	۰/۰۷۶	۲	۰/۱۵۲
	هزینه بالا و کمبود منابع مالی و اعتبارات برای تأمین منابع انرژی جایگزین بویژه انرژی‌های تجدیدپذیر (W4)	۰/۰۶۸	۲	۰/۱۳۶
	عملکرد نامناسب مدیران در حوزه تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر و یا انرژی‌های فسیلی ارزان قیمت‌تر مانند گاز (W5)	۰/۰۶۸	۲	۰/۱۳۶
	مشکلات فنی مربوط به استفاده از انرژی‌های جایگزین (W6)	۰/۰۶۵	۲	۰/۱۳
	آسیب‌پذیری گلخانه‌های تولید خارج از فصل نسبت به قطع انرژی (W7)	۰/۰۵۶	۲	۰/۱۱۲
	استفاده از سامانه‌های قدیمی آبیاری (مانند غرقابی) و تجهیزات فرسوده پمپاژ (W8)	۰/۰۶۸	۲	۰/۱۳۶
	وابستگی شدید به پمپاژ آب زیرزمینی (W9)	۰/۰۷۶	۲	۰/۱۵۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE) در جدول ۲، جمع امتیاز وزنی عوامل خارجی زیربخش باغبانی ۳/۱۱۶ محاسبه شده است. از آنجا که این امتیاز به میزان قابل ملاحظه از حد خنثی (۲/۵۰۰) بالاتر است، نشان می‌دهد که زیربخش باغبانی از توانایی بسیار قوی برای پاسخ‌گویی به عوامل و بهره‌برداری از فرصت‌های محیطی خارجی برخوردار است. حیاتی‌ترین فرصت‌ها شامل فعالیت شرکت‌های دانش‌بنیان در حوزه بهبود فناوری‌های مصرف انرژی (O10) با امتیاز وزنی ۰/۲۵۰ و فرصت‌های مرتبط با زیرساخت‌های فناوری و گلخانه یعنی، فراهم شدن زیرساخت‌های دسترسی به انرژی‌های جایگزین سوخت‌های فسیلی (O5)، در دسترس بودن پوشش‌های گلخانه‌ای نوین (O8) و

در دسترس بودن تجهیزات کم‌مصرف و دارای راندمان انرژی بالا برای گلخانه‌ها (O9) است، که هر کدام با امتیاز وزنی ۰/۲۴۱ در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. در حوزه تهدیدها، محدودیت‌های واردات و تحریم فناوری‌های نوین و تجهیزات با راندمان بالا (T5) و تغییرات اقلیمی، خشکسالی و تشدید بحران آب–انرژی (T8) هر دو با امتیاز وزنی ۰/۱۲۵ به‌عنوان جدی‌ترین تهدیدها معرفی شدند.

تحلیل عوامل خارجی نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری زیربخش باغبانی در برابر ناترازی انرژی ریشه‌ای دوگانه در تهدیدهای ساختاری و محدودیت‌های محیطی دارد. استمرار سیاست‌های قیمت‌گذاری یارانه‌ای (T1) به‌عنوان یک تهدید ساختاری حیاتی است که ریشه اصلی ناترازی و ایجاد تقاضای مازاد غیربهینه معرفی شد. این تهدید، با جلوگیری از تغییر کارآیی تخصیصی، به‌طور مستقیم، انگیزه باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف را کاهش می‌دهد. این نتایج پژوهش حاضر همسو با نتایج مطالعه بهروزه و همکاران (Behroozeh et al., 2024) است. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی، خشکسالی و تشدید بحران آب–انرژی (T8)، که به‌عنوان یک تهدید جدی برای پایداری تولیدات باغی محسوب می‌شود، چالش ناترازی را حادتر می‌کند، زیرا کمبود آب نیاز به پمپاژ بیشتر و در نتیجه، برق بیشتر را ضروری می‌سازد، در حالی که سیاست‌های ناپایدار مدیریت انرژی و قطعی‌ها (T2) مخاطرات عملیاتی و ناپایداری در عرضه فیزیکی انرژی را به‌طور مستقیم، به سامانه‌های حیاتی تحمیل می‌کند. تهدید محدودیت‌های واردات و تحریم فناوری‌های نوین (T5) نیز مانع دسترسی به تجهیزات با راندمان بالای جهانی می‌شود و روند ارتقای فنی زیربخش باغبانی برای مقابله با این تهدیدها را کُند می‌سازد.

با وجود تهدیدهای یادشده، امتیاز بالای ۳/۱۱۶ در ماتریس EFE حاکی از آن است که زیربخش باغبانی ایران از یک موقعیت خارجی بسیار قوی برای تحقق رشد TFP برخوردار است. حیاتی‌ترین فرصت‌ها بر محور فناوری‌های دانش‌محور و انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکزند. فعالیت شرکت‌های دانش‌بنیان (O10)، توسعه فناوری‌های آبیاری هوشمند (O2) و دسترسی به تجهیزات کم‌مصرف گلخانه‌ای (O9) زمینه را برای یک تغییر پارادایم از مدل‌های ورودی‌محور به مدل‌های دانش‌محور فراهم می‌کنند، که در مطالعه کامپانا و همکاران (Campana et al., 2025) به‌عنوان یک راهکار راهبردی برای افزایش تولید در واحد سطح و کاهش اثرات زیست‌محیطی معرفی شده است. توسعه آبیاری هوشمند، به‌طور خاص، می‌تواند مصرف برق پمپاژ را کاهش دهد و فشار ناشی از بحران آب–انرژی (T8) را تعدیل کند. همچنین، وجود تسهیلات و حمایت‌های دولتی برای توسعه انرژی‌های نو (O3) و فراهم شدن زیرساخت‌های دسترسی به انرژی‌های جایگزین (O5) فرصت نهادی لازم برای

کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی را فراهم می‌کند. این فرصت‌ها لزوم تمرکز بر سرمایه‌گذاری عمومی در تحقیق و توسعه (R&D) بر فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی را تأیید می‌کنند (Wang et al., 2015) تا رشد بهره‌وری باغبانی پایدار شود.

جدول ۲- ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (IFE) زیربخش باغبانی با توجه به مسئله «ناترازی انرژی»

عوامل	گویه‌ها	ضریب اهمیت	رتبه	امتیاز وزنی
فرصت‌ها (O)	رشد تقاضای جهانی برای محصولات با ردپای کربن کم و مصرف انرژی پایین (O1)	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰۵
	توسعه فناوری‌های آبیاری هوشمند برای کاهش برق پمپاژ (O2)	۰/۰۵۸	۴	۰/۲۳۲
	تسهیلات و حمایت‌های دولتی برای توسعه انرژی‌های نو (O3)	۰/۰۵۸	۴	۰/۲۳۲
	پیشرفت‌های فناوری در خصوص استفاده از انرژی (O4)	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰۵
	فراهم شدن زیرساخت‌های دسترسی به انرژی‌های جایگزین سوخت‌های فسیلی (O5)	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۱
	دسترسی به ماشین‌آلات و تجهیزات مصرف بهینه انرژی (O6)	۰/۰۴۹	۴	۰/۱۹۶
	شکل‌گیری زیست‌بوم نوآوری ملی در خصوص مدیریت پایدار انرژی (O7)	۰/۰۴۷	۴	۰/۱۸۷
	در دسترس بودن پوشش‌های گلخانه‌ای نوین (O8)	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۱
	در دسترس بودن تجهیزات کم‌مصرف و دارای راندمان انرژی بالا برای گلخانه‌ها (O9)	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۱
	فعالیت شرکت‌های دانش‌بنیان در حوزه بهبود فناوری‌های مصرف انرژی (O10)	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۰
تهدیدها (T)	استمرار سیاست‌های قیمت‌گذاری یارانه‌ای و غیرواقعی حامل‌های انرژی (T1)	۰/۰۶۰	۲	۰/۱۲۱
	سیاست‌های ناپایدار مدیریت انرژی و قطعی‌ها (T2)	۰/۰۵۶	۲	۰/۱۱۲
	عدم حمایت کافی و مناسب دولت در خصوص تأمین و مدیریت پایدار انرژی در زیربخش باغبانی (T3)	۰/۰۵۶	۲	۰/۱۱۲
	اقتصاد متکی به نفت (T4)	۰/۰۴۷	۲	۰/۰۹۴
	محدودیت‌های واردات و تحریم فناوری‌های نوین و تجهیزات با راندمان بالا (T5)	۰/۰۶۳	۲	۰/۱۲۵
	افزایش شدید قیمت حامل‌های انرژی و کاهش قدرت رقابت‌پذیری محصولات باغی (T6)	۰/۰۴۲	۲	۰/۰۸۵
	وجود رقبای قوی در جذب اعتبارات مربوط به مدیریت پایدار انرژی (T7)	۰/۰۵۶	۲	۰/۱۱۲
	تغییرات اقلیمی، خشکسالی و تشدید بحران آب-انرژی (T8)	۰/۰۶۳	۲	۰/۱۲۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

تحلیل عوامل داخلی و خارجی زیربخش باغبانی ایران در پرتو ناترازی انرژی نشان‌دهنده یک تضاد راهبردی است. این زیربخش، در عین برخورداری از توان ذاتی بالا برای خودکفایی انرژی، هم‌زمان دچار آسیب‌پذیری ساختاری شدید است. به دیگر سخن، زیربخش باغبانی ایران در یک وضعیت متناقض قرار دارد؛ این زیربخش هم‌زمان با چالش‌های عمیق اقتصادی و زیست‌محیطی روبه‌رو است، اما ابزارهای (نقاط قوت و فرصت‌ها) لازم برای حل آنها را نیز در اختیار دارد. باید راهبردهای آینده بر جایگزینی یارانه‌های سنتی با مشوق‌های فناورانه و تقویت هم‌افزایی آب–انرژی از طریق سرمایه‌گذاری در استفاده از پنل‌های خورشیدی متمرکز شوند تا TFP به‌صورت پایدار ارتقا یابد. امتیاز بالای عوامل خارجی بر فرصت‌های بزرگ فناورانه و حمایتی دلالت دارد، که می‌تواند به‌عنوان یک نیروی محرک برای خروج از بحران عمل کند. برای تحلیل و تعیین موقعیت راهبردی زیربخش باغبانی ایران، از آنجا که جمع امتیاز وزنی ماتریس عوامل داخلی و خارجی در جدول ۱، به‌ترتیب، برابر با ۲/۶۷۰ و ۳/۱۱۶ یعنی، بالاتر از ۲/۵ محاسبه شده، زیربخش باغبانی ایران در موقعیت راهبردی تهاجمی (SO) است و باید از راهبردهای تهاجمی استفاده کند. این موقعیت نشان می‌دهد که زیربخش باغبانی، علی‌رغم چالش‌های داخلی، از قوت‌ها و ظرفیت‌های نهفته بالا برخوردار است که در صورت بهره‌برداری مؤثر از فرصت‌های بیرونی، می‌تواند از بحران ناترازی انرژی با موفقیت عبور کند. به دیگر سخن، باید راهبردهای پیشنهادی بر ترکیب فعالانه نقاط قوت با فرصت‌ها متمرکز شوند (Trépanier et al., 2025). برای نمونه، باید زیربخش باغبانی، با تکیه بر نقاط قوت مانند توان خورشیدی (S4) و ارزآوری محصولات صادراتی (S5)، به‌طور فعالانه، از فرصت‌های حمایت‌های دولتی (O3) و فناوری‌های دانش‌بنیان (O10) برای غلبه بر ضعف‌های ساختاری و رفتاری (W9, W3) و مقابله با تهدیدها (T8) بهره ببرد. همچنین، نتایج این تحلیل ایجاب می‌کند که راهبردهای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی ایران بر ترکیبی از راهبردهای استقلال در تأمین منابع مالی (O3, S5) و تأمین انرژی (O5, S4) مورد نیاز این زیربخش و همچنین، اصلاحات رفتاری مصرف انرژی و حکمرانی مدیریت انرژی (مقابله با W5, W4, W1) مبتنی باشد (Trépanier et al., 2025) تا زیربخش باغبانی بتواند موقعیت تهاجمی خود را به یک رشد پایدار و رقابتی (Fuglie et al., 2012) تبدیل کند.

شناسایی و اولویت‌بندی راهبردهای کلی ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی با توجه به مسئله «ناترازی انرژی»

بر اساس نتایج تحلیل مرحله اول، راهبرد انتخابی برای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی در مواجهه با ناترازی انرژی از نوع راهبرد تهاجمی بوده و نتایج ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی

(QSPM) در جدول ۳ نیز شش راهبرد کلی ارتقای بهره‌وری در زیربخش باغبانی ایران را بر اساس میزان جذابیت کلی (TAS) اولویت‌بندی کرده است. بر این اساس، «حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها» با کسب بالاترین امتیاز جذابیت کلی (۷/۰۲۰) به‌عنوان مهم‌ترین و اولویت‌دارترین راهبرد معرفی شده، که نشان‌دهنده لزوم تمرکز بر اصلاحات ساختاری و انگیزشی برای غلبه بر ناکارآمدی تخصیصی ناشی از ناترازی انرژی است. در رتبه‌های بعدی، راهبرد «مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها» (TAS =۶/۷۲۴) قرار دارد که بر افزایش کارآیی فنی در سامانه‌های پرمصرف متمرکز است؛ و پس از آن، «آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان» (TAS =۶/۶۲۰) در جایگاه سوم قرار می‌گیرد، که تأکیدی بر ابعاد رفتاری و مدیریتی برای تسهیل پذیرش فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی است. سه راهبرد بعدی نیز به‌ترتیب، عبارت‌اند از «نوسازی سازه‌ها و تأسیسات» (TAS =۶/۰۸۹)، «استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره انرژی» (TAS =۵/۹۳۰) و «استفاده از سامانه‌های تبدیل زباله به انرژی» (TAS =۵/۵۳۹)، که مکمل راهبردهای اصلی است و بر استقلال در تأمین انرژی و تغییر فنی زیرساخت‌ها تأکید دارند.

جدول ۳- ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM) برای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی با توجه به مسئله «ناترازی انرژی»

عوامل	وزن	راهبردهای کلی											
		مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها		استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره انرژی		استفاده از سامانه‌های تبدیل زباله به انرژی		نوسازی سازه‌ها و تأسیسات		آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان		حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها	
		AS*	TAS**	AS	TAS	AS	TAS	AS	TAS	AS	TAS	AS	TAS	AS	TAS
S_1	۰/۰۵۱	۳	۰/۱۵۳	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴
S_2	۰/۰۳۷	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸	۴	۰/۱۴۸
S_3	۰/۰۶۲	۴	۰/۲۴۸	۴	۰/۲۴۸	۴	۰/۲۴۸	۱	۰/۰۶۲	۱	۰/۰۶۲	۱	۰/۰۶۲	۴	۰/۱۲۴
S_4	۰/۰۷۹	۴	۰/۳۱۶	۴	۰/۳۱۶	۱	۰/۰۷۹	۱	۰/۰۷۹	۱	۰/۰۷۹	۱	۰/۰۷۹	۳	۰/۲۳۷
S_5	۰/۰۶۵	۱	۰/۰۶۵	۴	۰/۲۶۰	۱	۰/۰۶۵	۱	۰/۰۶۵	۱	۰/۰۶۵	۱	۰/۰۶۵	۱	۰/۰۶۵
S_6	۰/۰۸۵	۱	۰/۰۸۵	۴	۰/۳۴۰	۱	۰/۰۸۵	۱	۰/۰۸۵	۱	۰/۰۸۵	۱	۰/۰۸۵	۱	۰/۰۸۵
W_1	۰/۰۷۶	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۱	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴
W_2	۰/۰۶۸	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۱	۰/۰۶۸	۱	۰/۰۶۸	۱	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲
W_3	۰/۰۷۶	۲	۰/۱۵۲	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۱	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴
W_4	۰/۰۶۸	۳	۰/۲۰۴	۱	۰/۰۶۸	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۱	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲
W_5	۰/۰۷۰	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۱	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲
W_6	۰/۰۶۵	۳	۰/۱۹۵	۲	۰/۱۳۰	۲	۰/۱۳۰	۴	۰/۲۶۰	۴	۰/۲۶۰	۱	۰/۲۶۰	۴	۰/۲۶۰
W_7	۰/۰۵۶	۲	۰/۱۱۲	۲	۰/۱۱۲	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۱	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴
W_8	۰/۰۶۸	۴	۰/۲۷۲	۲	۰/۱۳۶	۱	۰/۰۶۸	۴	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲	۱	۰/۲۷۲	۴	۰/۲۷۲
W_9	۰/۰۷۶	۴	۰/۳۰۴	۲	۰/۱۵۲	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴	۱	۰/۳۰۴	۴	۰/۳۰۴
O_1	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۵۱
O_2	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸
O_3	۰/۰۵۸	۴	۰/۲۳۲	۴	۰/۲۳۲	۱	۰/۰۵۸	۱	۰/۰۵۸	۴	۰/۲۳۲	۴	۰/۲۳۲	۴	۰/۲۳۲
O_4	۰/۰۵۱	۳	۰/۱۵۳	۴	۰/۲۰۴	۲	۰/۱۰۲	۱	۰/۰۵۱	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴	۴	۰/۲۰۴
O_5	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۱	۰/۰۶۰	۱	۰/۰۶	۱	۰/۰۶	۴	۰/۰۶	۴	۰/۲۴۰
O_6	۰/۰۴۹	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶	۴	۰/۱۹۶
O_7	۰/۰۴۷	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸
O_8	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۱	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰
O_9	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۲	۰/۱۲۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰
O_{10}	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲
T_1	۰/۰۶۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰	۴	۰/۲۴۰
T_2	۰/۰۵۶	۴	۰/۲۲۴	۱	۰/۰۵۶	۱	۰/۰۵۶	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴
T_3	۰/۰۵۶	۴	۰/۲۲۴	۱	۰/۰۵۶	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴
T_4	۰/۰۴۷	۴	۰/۱۸۸	۱	۰/۰۴۷	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸	۴	۰/۱۸۸
T_5	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۲	۱	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲
T_6	۰/۰۴۲	۴	۰/۱۶۸	۳	۰/۱۲۶	۴	۰/۱۶۸	۴	۰/۱۶۸	۴	۰/۱۶۸	۴	۰/۱۶۸	۴	۰/۱۶۸
T_7	۰/۰۵۶	۴	۰/۲۲۴	۲	۰/۱۱۲	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴	۴	۰/۲۲۴
T_8	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۲	۱	۰/۰۶۳	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲	۴	۰/۲۵۲
امتیاز			۶/۷۲۴		۵/۹۳۰		۵/۵۳۹		۶/۰۸۹		۶/۶۲۰		۷/۰۲۰	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

* AS: امتیاز جذابیت، ** TAS: امتیاز جذابیت کل

در تحلیل جدول ۳، یک راهبرد تهاجمی برای ارتقای بهره‌وری در زیربخش باغبانی ایران در مواجهه با ناترازی انرژی تأیید می‌شود. مهم‌ترین یافته QSPM یعنی، اولویت راهبرد «حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها»، با بالاترین امتیاز جذابیت کل (TAS =۷/۰۲۰)، با این ادعا که ریشه ناترازی در انحراف ساختار قیمت‌گذاری و یارانه‌های سنگین حجمی (T1) است، بسیار همخوانی دارد. این قیمت‌های غیرواقعی انگیزه لازم برای بهبود بهره‌وری تخصیصی را از بین برده، منجر به تقاضای مازاد غیربهینه و مصرف ناکارآمد می‌شوند (Vafabakhsh & Mohammadzadeh, 2019). این راهبرد، به‌طور مستقیم، ضعف‌های حیاتی زیربخش (W9, W3, W1) را هدف قرار می‌دهد، ضعف‌هایی که ناشی از انگیزه پایین باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف (W3) است و به نوبه خود، ریشه در عدم وجود صرفه اقتصادی لازم برای بهبود کارآیی تخصیصی (O'Donnell, 2018) دارد. مشوق‌های هدفمند (به‌جای یارانه‌های حجمی) می‌توانند این انگیزه را فعال کنند و از طریق استفاده از فرصت‌های موجود نظیر تسهیلات دولتی برای توسعه انرژی‌های نو (O3) و تولید محصولات ارزآور (S5)، پشتوانه مالی لازم برای خروج از وابستگی به نهاده‌های فسیلی یارانه‌ای را فراهم سازند. به دیگر سخن، ارتقای بهره‌وری ابتدا مستلزم اصلاحات نهادی و قیمتی است تا سرمایه‌گذاری‌های فناورانه بعدی توجیه‌پذیر شود.

راهبردهای دوم و سوم یعنی، «مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌های کنترل‌شده» (TAS =۶/۷۲۴) و «آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان» (TAS =۶/۶۲۰) بر اجرای تغییرات فنی و رفتاری مورد نیاز تأکید دارند. این راهبردها، با تکیه بر موقعیت تهاجمی زیربخش و قوت‌هایی نظیر توان بالای انرژی خورشیدی (S4) و فرصت‌های شرکت‌های دانش‌بنیان (O10)، به‌دنبال بهبود کارآیی فنی هستند. مدیریت بهینه انرژی، به‌طور مستقیم، مخاطرات عملیاتی ناشی از ناپایداری عرضه فیزیکی انرژی (T2) را که به‌ویژه سامانه‌های حیاتی مانند گلخانه‌ها (W7) و پمپاژ آب زیرزمینی (W9) را تهدید می‌کند، کاهش می‌دهد. همچنین، از آنجا که در کشاورزی مرسوم، ورودی انرژی تقریباً دو برابر بیش از کشاورزی ارگانیک است (Chmelíková et al., 2024)، راهبرد آموزش، به‌عنوان پیش‌نیاز پذیرش فناوری، مقابله با ضعف فرهنگ مصرف انرژی (W1) و استفاده بهینه از فناوری‌های آبیاری هوشمند (O2) را ممکن می‌سازد. ترکیب این سه راهبرد اولویت‌دار نشان می‌دهد که باید برنامه راهبردی ارتقای بهره‌وری یکپارچه باشد و ابتدا با ایجاد انگیزه اقتصادی (مشوق‌ها) آغاز شود و سپس، با تغییرات فنی (مدیریت بهینه) و تغییرات رفتاری (آموزش) ادامه یابد تا زیربخش باغبانی بتواند مسیر رشد TFP خود

را از مدل ورودی‌محور به یک الگوی پایدار و دانش‌محور (Campana et al., 2025; Fuglie et al., 2012) تغییر دهد.

اقدامات عملیاتی

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها

جدول ۴ اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد حمایت‌های دولتی را در قالب سه دسته فرعی از اقدامات ارائه می‌کند. راهبرد کلیدی «حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها» که در QSPM بالاترین اولویت را کسب کرده، حول محور اصلاح ساختار انگیزشی و قیمتی برای فعال‌سازی بهبود بهره‌وری تخصیصی (O'Donnell, 2018) بنا شده است. اقدامات عملیاتی زیرمجموعهٔ این راهبرد به‌درستی سه ابزار اصلی حکمرانی اقتصادی را پوشش می‌دهند، که هر کدام درپی تشریح می‌شود.

مشوق‌های مالی و تسهیلاتی برای مدیریت انرژی و منابع آب: این اقدامات، به‌طور مستقیم، به مقابله با ضعف‌های حیاتی زیربخش باغبانی یعنی، انگیزه پایین باغداران برای سرمایه‌گذاری (W3) و وابستگی شدید به پمپاژ آب زیرزمینی (W9) می‌پردازند. اعطای تسهیلات کم‌بهره با دوره بازپرداخت طولانی برای نوسازی سامانه‌های آبیاری (تبدیل به سامانه‌های تحت فشار هوشمند) و تجهیزات تولید کم‌مصرف، هزینه سرمایه‌گذاری (W4) اولیه را برای باغداران کاهش می‌دهد. همچنین، تأکید بر یارانه هدفمند (نه حجمی)، به شرط اجرای طرح‌های مدیریت مصرف، یک سازوکار اصلاحی است که انحراف قیمتی را تعدیل و انگیزه برای تغییر کارآیی تخصیصی را ایجاد می‌کند. تسهیلات خرید و نصب مولدهای برق تجدیدپذیر (پنل‌های خورشیدی) نیز یک راهبرد تهاجمی (SO) است که با استفاده از توان انرژی خورشیدی (S4)، مخاطرهٔ ناشی از قطعی‌های برق (T2) را برای سامانه‌های حیاتی مانند پمپ‌ها کاهش می‌دهد.

حمایت‌های فنی و ترویجی برای افزایش راندمان: این اقدامات بر مقابله با ضعف‌های رفتاری و مدیریتی مانند ضعف فرهنگ مصرف انرژی (W1) و عملکرد نامناسب مدیران (W5) تمرکز دارد. آموزش و ترویج تخصصی و توسعه مزارع نمایشی به‌عنوان یک راهبرد (WO/SO)، زمینه‌ساز پذیرش فناوری و دانش نوین (Campana et al., 2025) و غلبه بر ناکارآمدی‌های فنی موجود است. همچنین، تشویق به اصلاح ساختار (مانند توسعه کشت‌های کنترل‌شده و تجمیع اراضی)، با بهره‌گیری از تنوع اقلیمی (S6)، به تسهیل به‌کارگیری مکانیزاسیون و مدیریت هوشمند (O2) کمک کرده، راندمان تولید را ارتقا می‌دهد.

مشوق‌ها و حمایت‌های زیرساختی: این بخش با تمرکز بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در مزرعه و توسعه زنجیره ارزش، به تقویت زیرساخت‌های لازم برای پایداری و خودکفایی انرژی می‌پردازد. تضمین خرید برق تولیدی با قیمت‌های تشویقی به باغداران، استفاده فعالانه از فرصت زیرساخت‌های انرژی جایگزین (O5) را تضمین می‌کند و زیربخش باغبانی را از مصرف‌کننده صرف انرژی یارانه‌ای به یک تولیدکننده کوچک تبدیل می‌سازد. حمایت از تأسیس و نوسازی انبارها و سردخانه‌های مجهز به دستگاه‌های کم‌مصرف، به کاهش شدید ضایعات محصول کمک کرده، با مدیریت بهتر انرژی پس از برداشت، ارزش افزوده محصولات راهبردی و ارزآور (S5) را تثبیت می‌کند.

جدول ۴- اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبردهای حمایت‌های دولتی و مدیریت انرژی در گلخانه‌ها

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها	مشوق‌های مالی و تسهیلاتی برای مدیریت انرژی و منابع آب	*تسهیلات بانکی کم‌بهره:* – اعطای تسهیلات ویژه و کم‌بهره با دوره بازپرداخت طولانی به باغداران برای نوسازی سامانه‌های آبیاری (تبدیل به سامانه‌های تحت فشار هوشمند و میکرو)، تجهیزات تولید (ماشین‌آلات با راندمان بالا) و به‌ویژه ایجاد و توسعه گلخانه‌های کم‌مصرف و هوشمند. – ارائه تسهیلات برای خرید و نصب مولدهای برق تجدیدپذیر (مانند پنل‌های خورشیدی کوچک‌مقیاس) برای تأمین برق مورد نیاز پمپ‌ها و تجهیزات گلخانه‌ای، با هدف کاهش فشار بر شبکه برق عمومی. *تخفیف و یارانه هدفمند:* – تخفیف در قیمت انرژی (برق و گاز) یا یارانه نهاده‌ها (مانند کود و سم) به شرط اجرای طرح‌های مدیریت مصرف انرژی و آب (مانند استفاده از سامانه‌های آبیاری دقیق و پوشش‌های محافظ در گلخانه‌ها). – اعطای یارانه سرمایه‌ای برای خرید و به‌کارگیری تجهیزات باغبانی نوین مانند دستگاه‌های پیوندزنی، ابزار هرس مکانیزه، و سامانه‌های کنترل اقلیم هوشمند در گلخانه‌ها. *معافیت‌های مالیاتی و گمرکی:* – اعمال معافیت‌های مالیاتی برای تولیدکنندگانی که به اصلاح و نوسازی باغ‌های فرسوده، کاشت ارقام پرمحصول و کم‌آب‌بر، و استفاده از انرژی‌های پاک اقدام می‌کنند. – کاهش یا حذف تعرفه گمرکی بر واردات ماشین‌آلات، تجهیزات کشاورزی دقیق و هوشمند، و فناوری‌های نوین صرفه‌جویی در انرژی.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
	حمایت‌های فنی و ترویجی برای افزایش راندمان	*آموزش و ترویج تخصصی:* – برگزاری دوره‌های آموزشی کاربردی با تمرکز بر مدیریت انرژی و آب، از جمله: زمان‌بندی دقیق آبیاری، بهینه‌سازی مصرف سوخت در ماشین‌آلات، و استفاده از سامانه‌های تهویه کم‌مصرف در انبارها و سردخانه‌ها. – توسعه مزارع نمایشی و آزمایشی (پایلوت) در مناطق باغبانی برای نمایش عملی فناوری‌ها و ارقام پرمحصول و کم‌نهاده (آب و انرژی) به باغداران. *تشویق به اصلاح ساختار:* – ارائه مشوق برای توسعه باغ‌ها در محیط‌های کنترل‌شده (گلخانه‌ها و سایبان‌ها) با تأکید بر راندمان بالای تولید و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و آب. – حمایت از طرح‌های تجمیع اراضی خرد و ایجاد مگافارم‌ها (مزارع کلان‌مقیاس) برای تسهیل در به‌کارگیری مکانیزاسیون و مدیریت هوشمند انرژی. *استانداردسازی و نظارت:* – الزام و تشویق به شناسنامه‌دار کردن باغ‌ها و محصولات برای پایش دقیق بهره‌وری و مصرف نهاده‌ها. – تدوین و اجرای استانداردهای مصرف بهینه انرژی برای ماشین‌آلات و تجهیزات باغبانی و الزام تولیدکنندگان به رعایت آنها.
	مشوق‌ها و حمایت‌های زیرساختی	*توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در مزرعه:* – ارائه تضمین خرید برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر توسط باغداران (مانند برق خورشیدی) با قیمت‌های تشویقی. – تخصیص زمین و تسهیل فرآیند صدور مجوز برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی کوچک‌مقیاس در باغ‌ها یا نزدیک آنها. *حمایت از توسعه زنجیره ارزش:* – اعطای مشوق‌های مالی و فنی برای تأسیس و نوسازی انبارها و سردخانه‌های مجهز به دستگاه‌های تبرید کم‌مصرف برای کاهش ضایعات محصول و مدیریت بهتر مصرف انرژی. – حمایت از توسعه صنایع تبدیلی و فرآوری محصولات باغبانی با تأکید بر استفاده از فناوری‌های با راندمان انرژی بالا.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
مدیریت بهینه انرژی در میکرو اقلیم‌های کنترل شده مانند گلخانه‌ها	به‌کارگیری فناوری‌های نوین در گلخانه‌ها	*سامانه‌های کنترل اقلیم هوشمند:* نصب سیامانه‌هایی که دما، رطوبت، میزان دی‌اکسید کربن و نور را به‌صورت خودکار تنظیم می‌کنند. این سامانه‌ها از حسگرها (سنسورها) برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده کرده و با توجه به نیاز گیاه و شرایط محیطی، مصرف انرژی را بهینه می‌کنند. *سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی با راندمان بالا:* جایگزینی کوره‌های قدیمی با بویلرهای چگالشی و یا سامانه‌های گرمایشی تابشی که سوخت کمتری مصرف می‌کنند. همچنین، استفاده از سامانه‌های سرمایشی تبخیری (مانند فن و پد) برای خنک‌سازی با مصرف برق کمتر. *استفاده از لامپ‌های LED مخصوص رشد گیاه:* جایگزینی لامپ‌های پرمصرف سدیمی و متال هالید با لامپ‌های LED که علاوه بر مصرف برق کمتر، طول عمر بیشتری دارند و طیف نوری مناسب‌تری برای رشد گیاه فراهم می‌کنند.
	بهینه‌سازی ساختار و مصالح گلخانه	*عایق‌بندی و درزبندی:* استفاده از پوشش‌های دوجداره یا پلی‌کربنات برای دیواره‌ها و سقف گلخانه‌ها برای کاهش اتلاف حرارت. همچنین، اطمینان از درزبندی کامل پنجره‌ها و درب‌ها برای جلوگیری از هدررفت انرژی. *استفاده از پرده‌های حرارتی:* نصب پرده‌های حرارتی در داخل گلخانه‌ها که در شب‌ها یا روزهای سرد کشیده می‌شوند. این پرده‌ها با کاهش حجم هوای قابل گرمایش و جلوگیری از فرار حرارت به سمت پوشش گلخانه، به میزان چشمگیر مصرف سوخت را کاهش می‌دهند. *تغییر جهت و طراحی سازه:* طراحی گلخانه با جهت‌گیری مناسب (شمالی–جنوبی) برای بهره‌مندی حداکثری از نور خورشید و کاهش نیاز به نور مصنوعی. همچنین، طراحی گلخانه‌ها با ارتفاع و ابعاد مناسب برای سهولت در مدیریت تهویه و دما.
	استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر	*سامانه‌های خورشیدی:* نصب پنل‌های فتوولتائیک (خورشیدی) برای تأمین بخشی از برق مصرفی گلخانه، به‌ویژه برای پمپ‌ها، دستگاه‌های روشنایی و تهویه‌ها (فن‌ها). *استفاده از انرژی ژئوترمال (زمین‌گرمایی):* در مناطقی که توان زمین‌گرمایی وجود دارد. استفاده از این منابع برای تأمین گرمایش گلخانه‌ها می‌تواند بسیار مقرون‌به‌صرفه باشد. *استفاده از بیوگاز:* تبدیل پسماندهای کشاورزی به گاز زیستی (بیوگاز) و استفاده از آن برای تأمین گرمایش گلخانه، ضمن کاهش هزینه‌ها، به مدیریت پسماند نیز کمک می‌کند.
	اقدامات مدیریتی و ترویجی	*آموزش و مشاوره تخصصی:* برگزاری دوره‌های آموزشی برای بهره‌برداران در مورد اصول مدیریت انرژی، معرفی فناوری‌های جدید و روش‌های بهینه‌سازی مصرف. *حمایت مالی و تسهیلاتی:* ارائه وام‌های کم‌بهره و یارانه‌های هدفمند برای تشویق باغداران به نوسازی تجهیزات و به‌کارگیری فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی. *تدوین استانداردهای مصرف انرژی:* تعریف استانداردهایی برای مصرف انرژی در گلخانه‌ها و ارائه مشوق به کسانی که افزون بر رعایت این استانداردها، از آنها هم فراتر می‌روند. این کار به‌تدریج فرهنگ بهینه‌سازی مصرف را در زیربخش باغبانی نهادینه می‌کند.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌های کنترل‌شده

این راهبرد که دومین اولویت کلی است، نقش محوری در افزایش کارآیی فنی زیربخش دارد. اقدامات زیرمجموعهٔ این راهبرد، به‌طور مستقیم، آسیب‌پذیری گلخانه‌های تولید خارج از فصل (W7) نسبت به قطع انرژی را کاهش می‌دهند و از فرصت‌های فناورانه (O10, O9, O8) استفاده می‌کنند. این اقدامات عبارت‌اند از:

به‌کارگیری فناوری‌های نوین در گلخانه‌ها: این اقدامات شامل نصب سامانه‌های کنترل اقلیم هوشمند و استفاده از لامپ‌های LED مخصوص رشد گیاه است که با تکیه بر دانش‌محور بودن تولید (Campana et al., 2025)، میزان دقیق مصرف انرژی و نهاده را بر اساس نیاز گیاه تنظیم می‌کند. جایگزینی لامپ‌های پرمصرف با LED، به‌طور مستقیم، به افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف برق گلخانه‌ها می‌انجامد.

بهینه‌سازی ساختار و مصالح گلخانه: این اقدامات بر اساس قوانین فیزیکی انرژی و با هدف کاهش اتلاف حرارت و افزایش راندمان انرژی تدوین شده‌اند. استفاده از پرده‌های حرارتی و عایق‌بندی مضاعف برای کاهش اتلاف حرارت، مطابق با یافته‌های علمی (Trépanier et al., 2025)، به میزان چشمگیر مصرف سوخت گرمایشی را کاهش می‌دهد. این اقدامات یک پاسخ فنی قوی به مخاطرات ناشی از جیره‌بندی گاز در فصول سرد است.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر: این بخش یک هم‌پوشانی نزدیک با راهبرد حمایت‌های زیرساختی دارد، اما تمرکز آن بر مقیاس گلخانه‌ای است. تأکید بر نصب سامانه‌های خورشیدی (S4) برای تأمین برق پمپ‌ها و فن‌ها و همچنین، استفاده از بیوگاز (تبدیل پسماندهای کشاورزی)، نه‌تنها وابستگی به سوخت فسیلی را کاهش می‌دهد، بلکه با استفاده از اصول اقتصاد چرخشی (Campana et al., 2025)، به مدیریت پسماند و تولید انرژی پاک نیز کمک می‌کند.

اقدامات مدیریتی و ترویجی: اقدامات مدیریتی و ترویجی هسته نرم‌افزاری و دانشی لازم برای افزایش کارآیی فنی گلخانه‌ها را تشکیل می‌دهند. این اقدامات از طریق «آموزش و مشاوره تخصصی»، به‌طور مستقیم، با هدف رفع سطح پایین آگاهی (W2) در مورد فناوری‌های نوین (مانند سامانه‌های هوشمند، LED و پرده‌های حرارتی) اجرا می‌شوند. این آموزش‌ها انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهند و تضمین می‌کنند که سرمایه‌گذاری‌های سخت‌افزاری به حداکثر بهره‌وری عملیاتی برسند.

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان

این راهبرد هسته اصلی مقابله با ضعف‌های رفتاری و دانشی شناسایی‌شده در تحلیل عوامل داخلی است. هدف اقدامات زیرمجموعهٔ این راهبرد ایجاد بستر ذهنی و دانشی لازم برای فعال‌سازی تغییر کارآیی فنی است (جدول ۴). این اقدامات عبارت‌اند از:

آموزش مدیریت مصرف و بهره‌وری انرژی: این بخش از راهبرد آموزش، با تمرکز بر مقابله با ضعف فرهنگ مصرف انرژی (W1)، بر ارائه دانش کاربردی برای بهینه‌سازی استفاده از نهاده‌ها استوار است. اقدامات کلیدی شامل آموزش روش‌های مدیریت هوشمند انرژی در پمپاژ آب، از طریق برنامه‌ریزی آبیاری دقیق بر اساس نیاز گیاه و حسگرهای رطوبت، برای کاهش زمان کارکرد پمپ‌ها و صرفه‌جویی در مصرف برق یا سوخت است. علاوه بر این، ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر و کار با سامانه‌های خورشیدی کوچک‌مقیاس به باغداران کمک می‌کند تا از نقطه قوت توان خورشیدی (S4) استفاده کرده، مخاطرات عملیاتی ناشی از قطعی برق (T2) را کاهش دهند.

آموزش روش‌های نوین باغبانی و کشاورزی دقیق: این بخش از راهبرد آموزش بر انتقال دانش فنی لازم برای حرکت از کشاورزی ورودی‌محور به مدل دانش‌محور تمرکز دارد. اقدامات عملیاتی شامل آموزش تخصصی در زمینه سامانه‌های نوین آبیاری میکرو و زیرسطحی برای به حداقل رساندن تبخیر و صرفه‌جویی در آب و انرژی است. همچنین، آموزش اصلاح و نوسازی باغ‌ها، کاشت ارقام پربازده و کم‌آب‌بر، و به‌کارگیری ابزارهای کشاورزی دقیق (مانند حسگرها، پهپاد و نقشه‌های ماهواره‌ای) برای پایش سلامت گیاه، به باغداران این امکان را می‌دهد که نهاده‌ها را صرفاً در مناطق مورد نیاز به‌کار برده، از مصرف بی‌رویه نهاده‌های پرانرژی (مانند کودها) جلوگیری کنند.

به‌کارگیری ابزارها و روش‌های ترویجی مؤثر: هدف این بخش نهادینه‌سازی تغییر رفتار و تضمین اثربخشی آموزش‌ها از طریق روش‌های ترویجی نوین است. اقدامات حیاتی شامل ایجاد مزارع آموزشی و آزمایشی (پایلوت) در مناطق باغبانی، به‌منظور نمایش ملموس و قابل درک نتایج استفاده از فناوری‌های جدید صرفه‌جویی در انرژی و آب، به‌ویژه سامانه‌های خورشیدی و آبیاری هوشمند است. همچنین، استفاده فعالانه از رسانه‌های نوین و تقویت نظام مشاوره فنی متمرکز با محوریت بهره‌وری انرژی، امکان دستیابی آسان و سریع باغداران به دانش مورد نیاز برای مدیریت مخاطرات ناترازی را فراهم می‌سازد.

حمایت قانونی و نهادی از آموزش: این بخش بر ایجاد انگیزه اجباری و هدفمند برای مشارکت در آموزش‌ها و پیوند زدن راهبرد آموزش به اصلاحات انگیزشی تأکید دارد. اقدام کلیدی شامل مشروط کردن اعطای تسهیلات دولتی و یارانه‌ها به گذراندن موفقیت‌آمیز دوره‌های تخصصی مدیریت آب و انرژی است. این سازوکار تضمین می‌کند که کمک‌های مالی عمومی صرفاً به باغدارانی اختصاص می‌یابد که متعهد به ارتقای بهره‌وری و کاهش وابستگی به انرژی یارانه‌ای باشند؛ و بدین ترتیب، به‌طور غیرمستقیم، به بهبود کارآیی تخصیصی زیربخش کمک می‌کند.

جدول ۵- اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبردهای آموزش و نوسازی

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان	آموزش مدیریت مصرف و بهره‌وری انرژی	*مدیریت هوشمند انرژی در باغ‌ها:* آموزش استفاده بهینه از ماشین‌آلات (مانند تراکتور و سم‌پاش) از طریق تنظیمات صحیح، نگهداری پیشگیرانه، و انتخاب سوخت مناسب. *بهره‌وری انرژی در پمپاژ آب:* آموزش روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری (بر اساس نیاز واقعی گیاه و شرایط اقلیمی) برای کاهش دفعات و مدت‌زمان کارکرد پمپ‌ها، که شامل آموزش کار با نرم‌افزارهای زمان‌بندی آبیاری و حسگرهای رطوبت خاک است. *معرفی فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی:* آموزش اصول و مزایای استفاده از تجهیزات با راندمان بالا (مانند موتورپمپ‌های کم‌مصرف، سامانه‌های سرمایشی و گرمایشی بهینه در سردخانه‌ها و گلخانه‌ها) و روش‌های عایق‌بندی و بهینه‌سازی ساختمان‌های باغبانی (انبارهای محصول، کارگاه‌ها). *ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر:* آموزش عملی نصب، نگهداری و بهره‌برداری از سامانه‌های خورشیدی کوچک‌مقیاس در مزارع برای تأمین برق مورد نیاز پمپاژ و روشنایی.
	آموزش روش‌های نوین باغبانی و کشاورزی دقیق	*سامانه‌های نوین آبیاری:* آموزش تخصصی باغداران در زمینه نصب، نگهداری و مدیریت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و میکرو، به‌ویژه روش‌های آبیاری زیرسطحی که تبخیر را به حداقل می‌رساند. *اصلاح و نوسازی باغ‌ها:* آموزش شیوه‌های هرس علمی، پیوند ارقام پربازده، کشت متراکم و جایگزینی ارقام قدیمی با ارقام کم‌آب‌بر و مقاوم به تنش‌های محیطی. *کشاورزی دقیق:* آموزش استفاده از ابزارهای ساده مانند نقشه‌های ماهواره‌ای، پهپادها و حسگرهای مزرعه‌ای برای پایش وضعیت سلامت گیاه، مدیریت آفات و بیماری‌ها و به‌کارگیری نهاده‌ها صرفاً در مناطق مورد نیاز. *مدیریت تغذیه گیاه:* آموزش روش‌های تغذیه متعادل و اصولی (مانند فروت‌ست و کوددهی برگی) برای افزایش کارآیی جذب مواد غذایی و جلوگیری از مصرف بی‌رویه کود که می‌تواند به هدررفت انرژی در فرآیند تولید کود نیز مرتبط باشد.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
	به‌کارگیری ابزارها و روش‌های ترویجی مؤثر	*مزارع آموزشی و آزمایشی (پایلوت):* ایجاد باغ‌ها و گلخانه‌های نمونه (پایلوت) در مناطق باغبانی مختلف برای نمایش عملی و ملموس نتایج استفاده از فناوری‌های جدید و روش‌های بهینه‌سازی انرژی. *استفاده از رسانه‌های نوین:* تولید محتوای آموزشی (ویدئوهای کوتاه، پادکست‌ها، اینفوگرافیک‌ها) و انتشار آنها از طریق رسانه‌های اجتماعی، پیام‌رسان‌ها و سکوها یا همان پلتفرم‌های تخصصی کشاورزی که دسترسی باغداران به آنها آسان است. *نظام مشاوره فنی متمرکز:* تقویت و حمایت از خدمات مشاوره‌ای مهندسان کشاورزی با محوریت بهره‌وری انرژی و آب. ارائه مشوق به باغداران برای عقد قرارداد با این مشاوران فنی. *آموزش کشاورز–مربی:* شناسایی و آموزش باغداران پیشرو و موفق در هر منطقه به‌عنوان «مربی» تا دانش و تجربه خود را به‌صورت عملی و بومی به سایر کشاورزان انتقال دهند.
	حمایت قانونی و نهادی از آموزش	*الزام به آموزش برای دریافت تسهیلات:* مشروط کردن اعطای تسهیلات دولتی، یارانه‌ها و مجوزهای توسعه‌ای (مانند احداث گلخانه) به گذراندن دوره‌های تخصصی مدیریت آب و انرژی. *تسهیلات ویژه برای شرکت‌کنندگان:* ارائه مشوق‌هایی مانند تخفیف در تعرفه مصرف انرژی یا تخصیص سهمیه نهاده‌های ارزان‌تر به باغدارانی که گواهینامه دوره‌های آموزشی بهره‌وری را کسب کرده‌اند. *مشارکت تشکل‌های صنفی:* استفاده از ظرفیت تعاونی‌ها، اتحادیه‌ها و تشکل‌های صنفی باغبانی برای نیازسنجی آموزشی و برگزاری دوره‌های متناسب با مشکلات خاص هر منطقه.
نوسازی سازه‌ها و تأسیسات گلخانه‌ها	به‌روزرسانی زیرساخت‌های آبیاری	*تبدیل سامانه‌های آبیاری سطحی به تحت فشار:* جایگزینی روش‌های آبیاری سنتی با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و میکرو. این اقدام، علاوه بر کاهش مصرف آب، نیاز به پمپاژ در حجم بالا را کاهش می‌دهد و در نتیجه، مصرف برق یا سوخت را به میزان چشمگیر پایین می‌آورد. *هوشمندسازی دستگاه‌های پمپاژ:* استفاده از پمپ‌های دور متغیر (VSD) که با تنظیم دور موتور بر اساس نیاز واقعی، از مصرف بی‌رویه برق جلوگیری می‌کنند. همچنین، نصب سامانه‌های اتوماسیون و حسگرهای رطوبت خاک برای زمان‌بندی دقیق آبیاری بهینه‌سازی مصرف انرژی را به‌همراه دارد.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
	نوسازی سازه‌ها و تجهیزات گلخانه‌ای و انبارها	*عایق‌بندی و بهینه‌سازی سازه:* استفاده از پوشش‌های دوجداره پلی‌کربنات یا شیشه‌های دوجداره برای گلخانه‌ها به‌منظور جلوگیری از اتلاف حرارت. همچنین، نصب پرده‌های حرارتی در داخل گلخانه‌ها برای کاهش مصرف انرژی گرمایشی در شب‌ها و روزهای سرد. *به‌کارگیری تجهیزات با راندمان بالا:* جایگزینی سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی فرسوده با نمونه‌های پیشرفته و کم‌مصرف. همچنین، استفاده از لامپ‌های LED هوشمند به‌جای لامپ‌های قدیمی پرمصرف برای تأمین نور مورد نیاز گیاهان در گلخانه‌ها. جایگزینی پمپ‌های آب قدیمی با موتورپمپ‌های برقی و سامانه‌های پمپاژ خورشیدی یا گازی با راندمان بالا. نوسازی کوره‌های قدیمی و فرسوده در گلخانه‌ها با بویلرهای پیشرفته و پربازده که مصرف سوخت کمتری دارند. جایگزینی دستگاه‌های تبرید سنتی در سردخانه‌ها با دستگاه‌های تبرید آمونیاکی یا سایر دستگاه‌های پربازده با مصرف برق کمتر. *تأمین انرژی از منابع پاک:* نصب پنل‌های خورشیدی بر روی سقف گلخانه‌ها یا در فضای باز اطراف آنها برای تأمین بخشی از برق مورد نیاز دستگاه‌های پمپاژ، تهویه، روشنایی و کنترل اقلیم. همچنین، استفاده از سامانه‌های بازیافت انرژی مانند سامانه‌های تلفیقی گرمایش و برق[1] موسوم به سامانه‌های CHP در گلخانه‌های بزرگ برای تولید هم‌زمان برق و گرما از یک منبع سوخت، که راندمان کلی را به‌شدت افزایش می‌دهد. *بهبود سامانه‌های ذخیره‌سازی:* نوسازی سردخانه‌ها و انبارهای نگهداری میوه و سبزی با نصب سامانه‌های سرمایشی با راندمان بالا و عایق‌بندی مناسب. این کار به کاهش مصرف برق و حفظ کیفیت محصول کمک می‌کند.
	مکانیزاسیون و اتوماسیون فرآیندهای باغبانی	*استفاده از ماشین‌آلات باغبانی پیشرفته:* جایگزینی تجهیزات فرسوده با ماشین‌آلات نو و با راندمان سوخت بالا. همچنین، ترویج استفاده از ابزارهای هرس و برداشت مکانیزه که نیاز به نیروی انسانی و زمان را کاهش می‌دهند. *مکانیزاسیون فرآیندهای تولید:* استفاده از سورتینگ‌ها و بسته‌بندی‌های خودکار که ضمن افزایش سرعت فرآیند، از هدررفت انرژی در مراحل دستی جلوگیری می‌کنند. *حمایت از فناوری‌های بومی:* تشویق شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی به تولید ماشین‌آلات و تجهیزات باغبانی با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و متناسب با شرایط اقلیمی ایران.

1. Combined Heat and Power (CHP)

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
	تأمین مالی و سیاست‌گذاری حمایتی	*اعطای تسهیلات بانکی:* ارائه وام‌های کم‌بهره و بلندمدت به باغداران برای خرید تجهیزات نوین و نوسازی تأسیسات. *یارانه‌های هدفمند:* اختصاص یارانه به تجهیزاتی که به‌طور مستقیم، باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و آب می‌شوند (مانند پنل‌های خورشیدی یا پمپ‌های کم‌مصرف). *وضع قوانین حمایتی:* تدوین و اجرای سیاست‌هایی که باغداران را به سمت استفاده از تجهیزات با راندمان بالا سوق دهد؛ برای نمونه، مشروط کردن اعطای مجوزهای جدید به رعایت استانداردهای مصرف انرژی.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد نوسازی سازه‌ها و تأسیسات

این راهبرد هسته سخت‌افزاری برنامه بوده و بر تغییرات فنی زیرساختی و سرمایه‌گذاری متمرکز است، که به‌ویژه برای غلبه بر استفاده از سامانه‌های قدیمی (W8)، وابستگی به پمپاژ (W9) و آسیب‌پذیری گلخانه‌ها (W7) حیاتی است. اقدامات این راهبرد، زیرساخت فیزیکی لازم برای پیاده‌سازی دانش را فراهم می‌کنند و بر هم‌افزایی بهره‌وری آب–انرژی متمرکزند (جدول ۴). این اقدامات عبارت‌اند از:

به‌روزرسانی زیرساخت‌های آبیاری: این بخش به جنبه فنی–عملیاتی راهبرد نوسازی می‌پردازد و بر مدیریت هم‌افزایی آب–انرژی تمرکز دارد. اقدام محوری، تبدیل سامانه‌های آبیاری سطحی سنتی به سامانه‌های تحت فشار هوشمند (قطره‌ای و میکرو) است که هم مصرف آب را کاهش می‌دهد و هم نیاز به پمپاژ حجمی بالا را از بین می‌برد. هوشمندسازی دستگاه‌های پمپاژ از طریق نصب پمپ‌های با دور متغیر، با تنظیم دور موتور بر اساس نیاز واقعی، مصرف برق یا سوخت را به میزان چشمگیر بهینه می‌سازد و به‌طور مستقیم، با وابستگی شدید به پمپاژ آب زیرزمینی (W9) و ناترازی فیزیکی برق (T2) مقابله می‌کند.

نوسازی سازه‌ها و تجهیزات گلخانه‌ای و انبارها: این بخش بر سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های با راندمان بالا برای کاهش شدید اتلاف انرژی متمرکز است. اقدامات عملیاتی شامل عایق‌بندی و نصب پرده‌های حرارتی در گلخانه‌ها برای کاهش مصرف سوخت گرمایشی، جایگزینی سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی فرسوده با تجهیزات پیشرفته و کم‌مصرف (مانند بویلرهای پربازده) و نصب پنل‌های خورشیدی بر روی

سقف گلخانه‌هاست. این اقدامات، آسیب‌پذیری گلخانه‌ها (W7) را در مواجهه با جیره‌بندی گاز زمستان کاهش داده، به تثبیت ارزش افزوده محصولات راهبردی (S5) کمک می‌کند.

مکانیزاسیون و اتوماسیون فرآیندهای باغبانی: این بخش بر افزایش کارآیی در مراحل کاشت، داشت و برداشت از طریق به‌کارگیری فناوری متمرکز است. این اقدامات شامل جایگزینی ماشین‌آلات باغبانی فرسوده با نمونه‌های نوین و با راندمان سوخت بالا و ترویج استفاده از ابزارهای هرس و برداشت مکانیزه برای صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه‌های عملیاتی است. همچنین، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی (O10) برای تولید تجهیزات باغبانی متناسب با شرایط بومی ایران یک راهبرد تهاجمی (SO) است که روند ارتقای فنی بخش را تسریع می‌بخشد.

تأمین مالی و سیاست‌گذاری حمایتی: این بخش جنبه‌های تأمین مالی و نهادی راهبرد نوسازی را برجسته می‌کند. این اقدامات شامل اعطای تسهیلات بانکی کم‌بهره و بلندمدت برای نوسازی تأسیسات و خرید تجهیزات نوین، و اختصاص یارانه‌های هدفمند به تجهیزاتی است که به‌طور مستقیم، باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و آب می‌شوند (مانند پمپ‌های کم‌مصرف یا پنل‌های خورشیدی). این اقدامات، با ایجاد صرفه اقتصادی و کاهش هزینه اولیه سرمایه‌گذاری (W4)، موانع مالی برای پذیرش فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی را برطرف می‌سازند.

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره انرژی

اقدامات این راهبرد بر استقلال در تأمین انرژی و بهره‌برداری از نقطه قوت توان خورشیدی (S4) و فرصت‌های اقتصاد چرخشی تاکید دارند و مکمل راهبردهای نوسازی و مشوق‌ها هستند (جدول ۵). این اقدامات عبارت‌اند از:

توسعه تولید انرژی خورشیدی در محل مصرف: این بخش، با استفاده از توان بالای انرژی خورشیدی (S4)، بر خودکفایی باغداران در تأمین برق متمرکز است. اقدامات عملیاتی شامل ارائه تسهیلات و یارانه‌های هدفمند برای نصب سامانه‌های فتوولتائیک کوچک‌مقیاس بر روی تأسیسات مزرعه، به‌ویژه ایستگاه‌های پمپاژ، گلخانه‌ها و سردخانه‌هاست. حیاتی‌ترین اقدام نهادی، تضمین خرید برق مازاد تولیدی کشاورزان با نرخ‌های تشویقی توسط وزارت نیرو است تا انگیزه سرمایه‌گذاری را افزایش دهد و از مخاطره وابستگی به شبکه سراسری بکاهد. همچنین، ارائه وام‌های حمایتی برای تبدیل پمپ‌های دیزلی به پمپ‌های خورشیدی، به‌ویژه در مناطق دورافتاده با شبکه ناپایدار، به‌طور مستقیم، به کاهش مصرف سوخت فسیلی (T4) و بهبود پایداری عملیاتی پمپاژ (مقابله با W9) کمک می‌کند.

بهره‌گیری از سایر انرژی‌های تجدیدپذیر و پسماند: این بخش، پایداری تولید انرژی را از طریق متنوع‌سازی منابع تجدیدپذیر پیگیری می‌کند. این اقدامات شامل نصب توربین‌های بادی کوچک در دشت‌های مستعد و مهم‌تر از آن، تولید بیوگاز با استفاده از پسماندهای گیاهی و فضولات دامی در مجاورت باغ‌ها و گلخانه‌هاست. بیوگاز تولیدی می‌تواند به‌طور مستقیم، به‌جای گاز طبیعی یا گازوئیل، برای گرمایش گلخانه‌ها استفاده شود. این اقدام نه‌تنها به تأمین انرژی پاک کمک می‌کند، بلکه با استفاده از اصول اقتصاد چرخشی، معضل پسماند باغبانی را نیز مدیریت می‌کند.

توسعه زیرساخت و فناوری‌های ذخیره انرژی: برای تضمین قابلیت اطمینان منابع تجدیدپذیر، این راهبرد بر ذخیره‌سازی انرژی متمرکز است. این اقدامات شامل ارائه تسهیلات برای خرید و نصب دستگاه‌های ذخیره باتری است تا برق تولیدشده توسط پنل‌های خورشیدی در طول روز ذخیره و در شب یا زمان قطعی برق، مصرف شود. همچنین، در گلخانه‌ها، توسعه ذخیره حرارتی با استفاده از مخازن بزرگ آب گرم، به مدیریت اوج مصرف سوخت کمک می‌کند و گرمای مازاد تولیدی در طول روز را برای حفظ دمای گلخانه در ساعات سرد شب به‌کار می‌گیرد.

سیاست‌گذاری و حمایت نهادی: اجرای موفق راهبرد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره انرژی نیازمند یک چارچوب نهادی حمایتی قوی است. این اقدامات شامل معافیت گمرکی و مالیاتی برای تجهیزات کلیدی انرژی‌های تجدیدپذیر (پنل‌ها، باتری‌ها و مبدل‌ها) به‌منظور کاهش هزینه اولیه سرمایه‌گذاری (W4)، و تدوین استانداردهای فنی و ایمنی برای سامانه‌های خورشیدی و بیوگاز است. همچنین، الزام‌های تدریجی برای جایگزینی بخشی از مصرف سوخت فسیلی گلخانه‌های بزرگ با منابع تجدیدپذیر، همراه با ارائه بسته‌های حمایتی، مسیر انتقال انرژی در زیربخش باغبانی را ترسیم می‌کند.

جدول ۶- اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبردهای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تبدیل زباله به انرژی

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره انرژی	توسعه تولید انرژی خورشیدی در محل مصرف	*سامانه‌های فتوولتائیک کوچک‌مقیاس:* نصب در محل (on-site): ارائه تسهیلات و یارانه‌های هدفمند به باغداران برای نصب پنل‌های خورشیدی بر روی سقف گلخانه‌ها، سردخانه‌ها، انبارها و ایستگاه‌های پمپاژ. تضمین خرید برق مازاد: شایسته است که وزارت نیرو (یا سازمان‌های وابسته) قراردادهای تضمینی برای خرید برق مازاد تولیدی کشاورزان با نرخ‌های تشویقی منعقد کند تا انگیزه سرمایه‌گذاری افزایش یابد. *پمپ‌های خورشیدی:* جایگزینی دیزل ژنراتورها: ارائه وام‌های حمایتی برای تبدیل پمپ‌های آب کشاورزی با موتور دیزلی یا برقی معمولی به پمپ‌های مجهز به پنل خورشیدی، به‌ویژه در مناطق دورافتاده که شبکه برق ناپایدار است.
	بهره‌گیری از سایر انرژی‌های تجدیدپذیر و پسماند	*انرژی باد:* نصب توربین‌های بادی کوچک: باید در مناطقی که سرعت باد مناسب است، از جمله دشت‌های مستعد، توربین‌های بادی کوچک برای تأمین برق مزارع و گلخانه‌ها نصب شود. *تبدیل زیست‌توده (بیومس) و پسماند:* تولید بیوگاز: احداث واحدهای کوچک تولید بیوگاز با استفاده از پسماندهای گیاهی (برگ، شاخه، ضایعات میوه) و فضولات دامی در مجاورت باغ‌ها و گلخانه‌ها. از بیوگاز تولیدی می‌توان به‌طور مستقیم، برای گرمایش گلخانه‌ها، به‌جای گاز طبیعی یا گازوئیل استفاده کرد. سوزاندن کنترل‌شده پسماند: آموزش و ترویج استفاده از کوره‌های پیشرفته و کنترل‌شده برای سوزاندن ضایعات چوبی هرس‌شده (در صورت عدم امکان تولید بیوگاز) به‌منظور تولید گرما.
	توسعه زیرساخت و فناوری‌های ذخیره انرژی	*دستگاه‌های ذخیره باتری:* ذخیره‌سازی برق خورشیدی: ارائه تسهیلات برای خرید و نصب بسته‌های باتری برای ذخیره برق تولیدشده توسط پنل‌های خورشیدی در طول روز و استفاده از آن در شب یا زمان قطعی برق. *ذخیره حرارتی:* مخازن آب گرم: باید در گلخانه‌ها، آب گرم تولیدشده در طول روز (توسط سامانه‌های خورشیدی حرارتی یا گرمای مازاد) در مخازن بزرگ ذخیره و در ساعات سرد شب، برای حفظ دمای گلخانه استفاده شود. این کار به تأخیر در استفاده از گاز یا گازوئیل و مدیریت اوج مصرف سوخت کمک می‌کند.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
استفاده از سیستم‌های تبدیل زباله به انرژی	سیاست‌گذاری و حمایت نهادی	آموزش و ترویج تخصصی: برگزاری دوره‌های آموزشی متمرکز بر نحوه محاسبه، نصب، و نگهداری سامانه‌های تجدیدپذیر برای باغداران و فن‌ورزان یا همان تکنسین‌های فنی. مشوق‌های مالی مستقیم: معافیت گمرکی و مالیاتی برای تجهیزات انرژی‌های تجدیدپذیر (پنل‌ها، مبدل‌ها، باتری‌ها) مورد استفاده در زیربخش باغبانی. استانداردسازی: تدوین استانداردهای فنی و ایمنی برای نصب سامانه‌های خورشیدی و بیوگاز در باغ‌ها و نظارت بر رعایت آنها. الزام‌های تدریجی: تعیین یک افق زمانی مشخص برای جایگزینی بخشی از مصرف انرژی فسیلی گلخانه‌های بزرگ و باغ‌های صنعتی با منابع تجدیدپذیر، همراه با ارائه بسته‌های حمایتی.
	شناسایی و دسته‌بندی پسماندهای قابل تبدیل به انرژی	نقشه‌برداری از پسماندهای باغبانی: انجام مطالعات منطقه‌ای برای تعیین حجم و نوع پسماندهای تولیدی (ضایعات هرس، میوه‌های درجه پایین، بقایای گیاهی، پسماندهای فرآوری) در قطب‌های باغبانی کشور. تشویق به تفکیک در مبدأ: اجرای برنامه‌های ترویجی و آموزشی برای باغداران و صنایع تبدیلی به‌منظور جداسازی پسماندهای آلی مناسب برای تولید انرژی از سایر زباله‌ها. استانداردسازی کیفیت بیومس: تعریف استانداردهایی برای رطوبت و ترکیب پسماندهای مورد استفاده در فرآیندهای تبدیل انرژی، مانند بیوگاز یا سوزاندن.
	توسعه زیرساخت‌ها و فناوری‌های تبدیل انرژی	*ترویج بیوگاز مقیاس کوچک و متوسط:* احداث رآکتورهای بیوگاز: ارائه تسهیلات و مشوق‌های دولتی برای ایجاد واحدهای بیوگاز در مزارع بزرگ، مجتمع‌های گلخانه‌ای و مناطق تجمع دامداری‌ها (برای ترکیب با پسماند دامی). استفاده از بیوگاز در گرمایش: هدف‌گذاری برای استفاده از بیوگاز تولیدی به‌عنوان منبع اصلی گرمایش گلخانه‌ها و جایگزینی گاز طبیعی یا گازوئیل. *سامانه‌های ترموشیمیایی (سوزاندن کنترل‌شده):* گرمایش مستقیم از بیومس: تشویق به استفاده از بویلرها و کوره‌های پیشرفته با راندمان بالا (با کنترل آلایندگی) برای سوزاندن ضایعات چوبی هرس و تأمین گرمایش سردخانه‌ها یا گلخانه‌های مناطق سردسیر. تولید کمپوست با بازیابی حرارت: استفاده از فرآیند کمپوست‌سازی سریع (که گرما تولید می‌کند) به‌عنوان منبع گرمای کمکی برای برخی گلخانه‌ها و بستر کشت.

راهبرد کلی	راهبردهای عملیاتی	اقدامات مورد نیاز
	ایجاد زنجیره تأمین و مشوق‌های مالی	تسهیلات مالی و اعتباری: ارائه وام‌های کم‌بهره با بازپرداخت طولانی و یارانه‌های سرمایه‌ای برای خرید تجهیزات سامانه‌های تبدیل زباله به انرژی. حمایت از جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند: ایجاد و تقویت شرکت‌های تعاونی و خصوصی برای جمع‌آوری متمرکز پسماندهای باغبانی و حمل آنها به واحدهای تبدیل انرژی یا همان قطب‌های زیست‌توده (biomass hubs) به‌صورت کارآمد و ارزان. *مشوق‌های برق و گرما :* تضمین خرید برق تولیدی: اعمال نرخ‌های خرید تشویقی و تضمینی برای برق تولیدی از گاز زیستی یا زیست‌توده (بیوگاز یا بیومس) توسط وزارت نیرو. اولویت‌بندی تخصیص سوخت در صورت استفاده از بیوگاز: در صورت استفاده از بیوگاز برای گرمایش، اولویت و تضمین تأمین سهمیه گاز یا گازوئیل (به‌عنوان سوخت پشتیبان) به گلخانه‌داران.
	سیاست‌گذاری و آموزش	آموزش بهره‌برداران: برگزاری کارگاه‌های عملی برای باغداران در مورد مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی تبدیل پسماند به انرژی و نحوه بهره‌برداری از واحدهای بیوگاز. تدوین مقررات تسهیل‌کننده: اصلاح قوانین و مقررات زیست‌محیطی و ساختمانی به‌منظور تسهیل در صدور مجوز احداث واحدهای بیوگاز و تأسیسات تبدیل زیست‌توده. پشتیبانی فنی و نگهداری: ایجاد مراکز خدمات فنی برای ارائه مشاوره و نگهداری دوره‌ای سامانه‌های بیوگاز، که اغلب نیازمند نگهداری تخصصی است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

اقدامات عملیاتی مورد نیاز برای راهبرد استفاده از سامانه‌های تبدیل زباله به انرژی

اقدامات این راهبرد بر استقلال در تأمین انرژی و فرصت‌های اقتصاد چرخشی تأکید دارند و مکمل راهبردهای نوسازی و مشوق‌ها هستند (جدول ۵). این اقدامات عبارت‌اند از:

شناسایی و دسته‌بندی پسماندهای قابل تبدیل به انرژی: این بخش، مرحله اولیه و مدیریتی راهبرد تبدیل زباله به انرژی است. اقدام محوری شامل نقشه‌برداری دقیق از پسماندهای باغبانی و فرآوری در قطب‌های تولیدی کشور، برای تعیین حجم و ترکیب پسماندهای قابل استفاده (زیست‌توده) است. همچنین، تشویق به تفکیک در مبدأ و استانداردسازی کیفیت زیست‌توده (رطوبت و ترکیب) برای فرآیندهای تبدیل انرژی، پیش‌نیاز حیاتی برای بهره‌برداری کارآمد از این منبع انرژی است.

توسعه زیرساخت‌ها و فناوری‌های تبدیل انرژی: این بخش بر اجرای فنی راهبرد تمرکز دارد. این اقدامات شامل ترویج بیوگاز کوچک‌مقیاس و میان‌مقیاس در مجتمع‌های گلخانه‌ای و باغ‌های بزرگ، و هدف‌گذاری برای استفاده از بیوگاز تولیدی به‌عنوان منبع اصلی گرمایش گلخانه‌هاست. علاوه بر بیوگاز،

تشویق به استفاده از سامانه‌های ترموشیمیایی (سوزاندن کنترل‌شده) با بویلرهای پیشرفته و راندمان بالا برای استفاده از ضایعات چوبی هرس و همچنین، استفاده از گرمای بازیابی‌شده از فرآیند کمپوست‌سازی به‌عنوان منبع گرمای کمکی، به تنوع‌بخشی به منابع گرمایشی گلخانه‌ها کمک می‌کند.

ایجاد زنجیره تأمین و مشوق‌های مالی: تضمین پایداری اقتصادی و عملیاتی این راهبرد مستلزم حمایت مالی و پشتیبانی (لجستیک) است. این اقدامات شامل ارائه تسهیلات مالی و یارانه‌های سرمایه‌ای برای خرید تجهیزات واحدهای تبدیل زباله به انرژی است. علاوه بر این، حمایت از جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند از طریق ایجاد شرکت‌های تعاونی و خصوصی برای انتقال کارآمد پسماند به واحدهای تبدیل انرژی یک گام حیاتی برای تکمیل زنجیره ارزش است. همچنین، تضمین خرید برق و اولویت‌بندی تخصیص سوخت پشتیبان، در صورت استفاده از بیوگاز، مخاطرات عملیاتی باغداران را کاهش می‌دهد.

سیاست‌گذاری و آموزش: برای نهادینه‌سازی این راهبرد، اقدامات مورد نظر شامل آموزش بهره‌برداران در مورد مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی تبدیل پسماند به انرژی و نحوه بهره‌برداری از واحدهای بیوگاز است. با تدوین مقررات تسهیل‌کننده برای صدور مجوزهای لازم و ایجاد مراکز پشتیبانی فنی و نگهداری دوره‌ای برای سامانه‌های بیوگاز، پایداری و پذیرش فناوری‌های تبدیل زباله به انرژی در زیربخش باغبانی تضمین می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر، با به‌کارگیری شیوهٔ سوات (SWOT)، مسیری روشن و اولویت‌بندی‌شده را برای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی ایران در مواجهه با چالش حیاتی «ناترازی انرژی» ارائه می‌دهد. نتایج تحلیل راهبردی نشان می‌دهد که زیربخش باغبانی کشور، در مواجهه با چالش حیاتی ناترازی انرژی، در یک موقعیت تهاجمی قرار دارد. این موقعیت یک فرصت مهم را فراهم می‌آورد تا با تکیه بر قوت‌های درونی، به‌ویژه توان عظیم انرژی خورشیدی و ارزآوری محصولات صادراتی، از فرصت‌های بیرونی مانند تسهیلات دولتی و فناوری‌های دانش‌بنیان بهره‌برداری لازم صورت گیرد و بر ضعف‌های ساختاری مانند ناکارآمدی تخصیصی ناشی از یارانه‌های انرژی و آسیب‌پذیری زیرساختی (مانند گلخانه‌ها و پمپاژ) غلبه شود. در مجموع، راهبردهای اولویت‌بندی‌شده یک نقشه راه سه‌مرحله‌ای را برای ارتقای پایدار کل عوامل بهره‌وری تولید (TFP) به شکل اصلاحات اقتصادی، مدیریت فنی و توسعه سرمایه انسانی به‌دست می‌دهند. تحلیل‌ها به‌وضوح نشان دادند که مشکل بهره‌وری در این زیربخش، بیش از آنکه یک نقص فنی صرف باشد، یک معضل اقتصادی، ساختاری و رفتاری است. موفقیت در این حوزه

نیازمند یک اقدام سه‌وجهی و همگام در حوزه‌های سیاست‌گذاری، فناوری و توانمندسازی است. نتایج پژوهش نشان داد که برای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی، اصلاح ساختارها نسبت به اصلاح فناوری در اولویت قرار دارد. بالاترین اولویت راهبردی به راهبرد «حمایت‌های دولتی و اتخاذ مشوق‌ها» اختصاص یافت، گویای آنکه تأکید جدی بر «ساختاری و اقتصادی» بودن ریشه اصلی مشکل است و نه صرفاً فنی. این راهبرد، با جایگزینی یارانه‌های مصرف با مشوق‌های سرمایه‌گذاری هدفمند (مانند تسهیلات نصب سامانه‌های فتوولتائیک برای چاه‌های آبیاری)، به‌دنبال رفع ناکارآمدی تخصیصی است و انگیزه لازم را برای تغییر رفتار و فناوری فراهم می‌آورد. از این‌رو، تأکید جدی این یافته مبتنی بر این واقعیت است که ریشه اصلی مشکل در ناکارآمدی تخصیصی ناشی از یارانه‌های سنگین حجمی حامل‌های انرژی است. این یارانه‌ها انگیزه اقتصادی باغداران برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پرهزینه اما کم‌مصرف (مانند پنل‌های خورشیدی یا پمپ‌های دور متغیر) را از بین برده است. تا زمانی که قیمت نسبی انرژی تصحیح نشود، سرمایه‌گذاری در نوسازی سازه‌ها و انرژی‌های تجدیدپذیر از نظر اقتصادی جذابیت کافی نخواهد داشت. بر این اساس، باید دولت نقش خود را از تأمین‌کننده یارانه به تسهیل‌گر سرمایه‌گذاری هدفمند تغییر دهد تا با برطرف کردن ضعف مالی، بخش خصوصی را برای استفاده از توان خورشیدی و فناوری‌های نوین فعال سازد.

به‌عنوان مکمل، راهبرد دوم، «مدیریت بهینه انرژی در میکرواقلیم‌ها»، بر ارتقای کارآیی فنی در نقاط حساس (گلخانه‌ها و سامانه‌های آبیاری) تمرکز دارد که از طریق استفاده از فناوری‌های هوشمند و نوسازی سازه‌ها، برای کاهش اتلاف انرژی و مدیریت مخاطرات ناشی از نوسان در شبکه‌های برق و گاز صورت می‌گیرد. در نهایت، موفقیت دو راهبرد اول کاملاً به اجرای موفق راهبرد سوم یعنی، «آموزش و ارتقای سطح آگاهی کشاورزان» وابسته است. این راهبرد بر توسعه سرمایه انسانی متمرکز بوده و هدف آن غلبه بر ضعف‌های فرهنگ مصرف انرژی و ناآگاهی فنی است. برنامه‌های آموزشی و پشتیبانی فنی، به‌ویژه در زمینه نگهداری سامانه‌های خورشیدی و مدیریت آبیاری هوشمند، کلید انتقال دانش فنی و اطمینان از پایداری عملکرد سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی به‌شمار می‌روند. بنابراین، باید راهبرد کلان برای زیربخش باغبانی بر یک برنامه میان‌مدت (سه تا پنج‌ساله) مبتنی بر همگرایی نهادی (وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و سازمان‌های مالیاتی) برای ایجاد انگیزه، دانش، و زیرساخت‌های فیزیکی لازم در راستای دستیابی به خودکفایی انرژی و تثبیت TFP در محیط پرمخاطرهٔ ناترازی انرژی متمرکز باشد.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر و اولویت‌بندی راهبردها، پیشنهادهایی به‌شرح زیر برای ارتقای بهره‌وری زیربخش باغبانی در مواجهه با ناترازی انرژی ارائه می‌شوند:

۱- در راستای بازنگری در سیاست یارانه‌ای و مشوق‌های هدفمند، رفع ناکارآیی تخصیصی و فعال‌سازی توان انرژی خورشیدی، بهتر است که یارانه‌های حجمی به‌صورت تدریجی و هدفمند حذف و با تسهیلات کم‌بهره و بلندمدت برای خرید تجهیزاتی مانند پمپ‌های خورشیدی و سامانه‌های آبیاری هوشمند که به‌طور مستقیم، در مصرف انرژی و آب صرفه‌جویی می‌کنند، جایگزین شود.

۲- در راستای بازنگری در سیاست یارانه‌ای و مشوق‌های هدفمند، کاهش مخاطرات سرمایه‌گذاری و تضمین بازگشت سرمایه، بهتر است که معافیت‌های مالیاتی و گمرکی برای تجهیزات صرفه‌جویی در انرژی اعمال شوند و برق تولیدی کشاورزان با نرخ تشویقی برای تضمین بازگشت سرمایه خریداری شود.

۳- در راستای افزایش تاب‌آوری تولیدات خارج از فصل در برابر نوسان‌های عرضه انرژی، بهتر است که سرمایه‌گذاری‌ها بر تلفیق فناوری‌های غیرفعال (عایق‌بندی، پرده حرارتی) و فناوری‌های فعال (سامانه‌های کنترل اقلیم هوشمند و LEDها) متمرکز شوند تا مخاطرهٔ تلفات محصول در گلخانه‌ها در برابر قطعی‌های ناگهانی به حداقل برسد.

٤- در راستای افزایش کارآیی فنی و مدیریت مخاطره، بهتر است که فرآیند نوسازی به‌صورت عمده بر جایگزینی پمپ‌های پرمصرف و تبدیل آبیاری سطحی به میکرو/قطره‌ای هوشمند متمرکز شود تا فشار شدید بر شبکه برق ناشی از پمپاژ آب و بحران هم‌افزای آب–انرژی کاهش یابد.

٥- در راستای غلبه بر ضعف فرهنگ مصرف و تضمین پایداری عملکرد، از آنجا که در مطالعه حاضر، راهبرد آموزش به‌عنوان مکمل ضروری فناوری معرفی شد، بهتر است که اعطای تسهیلات نوسازی و یارانه‌ها به گذراندن دوره‌های عملی مدیریت انرژی و آب مشروط شود تا تغییر رفتار و استفاده بهینه از فناوری‌های جدید در بهره‌برداران نهادینه شود.

٦- در راستای توزیع مخاطره و افزایش امنیت سرمایه‌گذاری در تولیدات حساس، بهتر است که بند خسارت ناشی از قطع برق و گاز به پوشش‌های بیمه محصولات باغی، به‌ویژه برای گلخانه‌ها و چاه‌های عمیق، به‌منظور توزیع مخاطره و افزایش امنیت سرمایه‌گذاری اضافه شود.

۷- در راستای بهبود وضعیت حکمرانی آب–انرژی و همچنین، هماهنگی بین‌بخشی برای تسریع در اجرای راهبردهای تهاجمی، بهتر است که یک کارگروه دائمی آب–انرژی–کشاورزی با حضور

بالاترین سطوح تصمیم‌گیری در وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی برای حذف موانع دیوان‌سالاری (مانند صدور مجوزهای نصب سامانه‌های فتوولتائیک و اتصال به شبکه) و تضمین اجرای هماهنگ طرح‌های ملی تشکیل شود.

۸- به‌عنوان تکمیل‌کننده پژوهش راهبردی حاضر، شایسته است که تحقیقات آتی بر اندازه‌گیری کمی و مقایسه‌ای اثرات اقتصادی جایگزینی یارانه‌های سنتی با مشوق‌های هدفمند (مانند تسهیلات نصب سامانه‌های فتوولتائیک در یک منطقه آزمایشی) بر مؤلفه‌های کارآیی تخصیصی و کل عوامل بهره‌وری تولید (TFP) متمرکز شوند تا شواهد تجربی بیشتری برای سیاست‌گذاران فراهم آید.

منابع

1. Abbasi, A. (2015). Energy consumption forecasting in Iran’s agricultural sector. *Financial Economics*, 9(32), 81-102. DOR: 20.1001.1.25383833.1394.9.32.5.0. [In Persian]
2. Banaeian, N., Zangeneh, M., & Golinska-Dawson, P. (2022). Multi-criteria sustainability performance assessment of horticultural crops using DEA and ELECTRE IV methods. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 37(6), 649-659. DOI: 10.1017/S1742170522000242.
3. Behroozeh, S., Hayati, D., Karami, E., Nassiri, S. M., & Rezaei-Moghaddam, K. (2024). Evaluation and comparison of energy use efficiency among cucumber greenhouses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1427530. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1427530.
4. Campana, E., Ciriello, M., Rouphael, Y., & De Pascale, S. (2025). A new paradigm in greenhouse horticulture: integrating resource efficiency for sustainable intensification. *Environment, Development and Sustainability*, 1-40. DOI: 10.1007/s10668-025-06861-6.
5. Chmelíková, L., Schmid, H., Anke, S., & Hülsbergen, K. J. (2024). Energy-use efficiency of organic and conventional plant production systems in Germany. *Scientific Reports*, 14(1), 1806. DOI: 10.1038/s41598-024-51768-3.

6. Fuglie, K. O., Wang, S. L., & Ball, V. E. (Eds.) (2012). Productivity growth in agriculture: an international perspective. CABI. DOI: 10.1079/9781845939212.0000.
7. Habibi, F., & Rahmati, M. (2024). Total factor productivity decomposition of different economic sectors in Iran by province. *Majles and Economy*, 2(4), 231–256. DOI: 10.22034/mec.2024.17185.1056. [In Persian]
8. O'Donnell, C. J. (2018). Productivity and efficiency analysis: an economic approach to measuring and explaining managerial performance. Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-2984-5.
9. Trépanier, M. P., Gosselin, L., & Jørgensen, B. N. (2025). Best combinations of energy-efficiency measures in greenhouses considering energy consumption, yield, and costs: comparison between two cold climate cities. *Applied Energy*, 382, 125163. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.125163.
10. Vafabakhsh, J., & Mohammadzadeh, A. (2019). Investigating energy flow and greenhouse gas emissions in field and horticultural crop production systems (case study: Sharifabad Plain). *Agricultural Ecology*, 11(2), 365-382. DOI: 10.22067/jag.v11i2.81742. [In Persian]
11. Wang, S. L., Heisey, P., Schimmelpfennig, D., & Ball, V. E. (2015). Agricultural productivity growth in the United States: measurement, trends, and drivers. Economic Research Report No. 207954. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. Available at https://ideas.repec.org/p/ags/uersrr/207954.html.